

Ontwikkeling van een filamentreststukken lasmachine



Hergebruiken van restmateriaal, afkomstig van het FDM 3D printen proces

Afstudeeropdracht

Datum: 12.06.2020

Voorletters en achternaam auteur: P Trappe

Studentnummer: 432649

Ontwikkeling van een filamentreststukken lasmachine

Hergebruiken van restmateriaal afkomstig van het FDM 3D printen proces

Saxion Lectoraat Industrial Design

M. H. Tromplaan 28
7513 AB Enschede
088 019 8888

Naam Bedrijfsbegeleider: Sebastiaan Moes

Naam Saxion begeleider: Lando Lemmers

Voorwoord

Door de tijdens het project actuele COVID-19 situatie zijn er meerdere problemen in het proces ontstaan. Vooral de productie voor de gebouwde prototypes was hierdoor sterk beïnvloed. De werkplaatsen die hiervoor ter beschikking stonden zijn over 90% van de afstudeerperiode gesloten geweest. Hierdoor moest tijdens het project niet alleen anders ontworpen worden, er moesten ook creatieve oplossingen voor de productie gevonden worden. Door middel van 3D printen zijn hier meerdere gereedschappen ontwikkelt en gebouwd worden om een productie überhaupt mogelijk te kunnen maken in een klein studenten appartement. Voor veel constructieve en creatieve hulp bij het ontwikkelen van de deelsystemen en het algemene proces wil ik mij hier vooral bij mijn bedrijfscoach Sebastiaan Moes bedanken. Verder hebben Marius Meyer en Daniel Sauret aan deze project een helpende bijdrage geleverd.

I. Samenvatting

In het FabLab, welk onderdeel is van het lectoraat Industrial Design op Saxion hogeschool, staan over 30 3D-printers die volgens het FDM-proces werken. Deze printers werken met een plastic draad, ook filament genoemd, als basismateriaal. Door het proces ontstaat restmateriaal dat niet meer gebruikt wordt daar het vaak te weinig is om een volledig object hiermee te kunnen printen. Om deze reden worden in het FabLab rond de 30kg restmateriaal per jaar weggegooid.

Het afstudeerproject wat hieruit is ontstaan, is het ontwerpen van een machine die in staat is deze reststukken aan elkaar te lassen en vervolgens op een spoel te wikkelen voor hergebruik. In een pakket van eisen zijn hiervoor meerdere deelsystemen met functies en eisen uitgewerkt.

Uit het pakket van eisen volgde een vooronderzoek. Deze was vooral erop gericht te onderzoeken welke oplossingen al bestonden en om de werking van het lassysteem voor de machine voorafgaand te testen. Aansluitend hieraan is er een berekening over de terugverdientijd en de omzet van de machine gedaan om het vooronderzoek af te ronden. Hieruit zijn door middel van een morfologisch overzicht drie concepten ontstaan waaruit het concept “Triangle” met behulp van de kesselringmethode is gekozen. Dit concept is gericht op productie met standaardonderdelen en een snelwerkend lasproces om de doorlooptijd laag te houden.

Vervolgens is elk deelsysteem van het gekozen concept in detail uitgewerkt. Deze systemen zijn modulair opgebouwd zodat ze uiteindelijk tot een machine samengevoegd kunnen worden op een basis van 20x20 aluminium profielen. Voor elk deelsysteem is er een prototype gebouwd en getest zo veel mogelijk. Het grootste deel van de prototypes is door middel van 3D-printen geproduceerd. Afsluitend zijn de ontworpen deelsystemen in een CAD-tekening samengevoegd. Aan de hand hiervan is de werking van de machine door een basisschema voor de benodigde software uitgebreid toegelicht. De belangrijkste resultaten uit de testen zijn:

- Snelle lasproces met het ontworpen concept mogelijk.
- Tolerantieafwijking van de lasnaad valt binnen de vereiste tolerantie.
- Snijsysteem motor te zwak door foute specificaties op leverancier website.
- Mechanische werking van de overige deelsystemen succesvol getest.

Deze resultaten onderbouwen de werking van de machine. Sommige onderdelen voor de uiteindelijke machine moeten echter nog verbeterd worden. Voor het snijsysteem bijvoorbeeld moet er in een vervolgonderzoek de aandrijving aangepast worden daar deze te zwak is. Een manuele test van het snijprincipe bevestigde dat de motor het zwakpunt is en niet het principe. Om dit project in een vervolgonderzoek af te ronden zijn samengevat de volgende stappen nodig:

- 1) Elektronica aan de hand van het opgestelde basisschema uitwerken.
- 2) Machine assembleren.
- 3) Programma voor de machine schrijven op basis van een Arduino framework.
- 4) Machine op een gestructureerde wijze testen en verbeteren zoals nodig.

II. Inhoudsopgave

Ontwikkeling van een filamentreststukken lasmachine	i
Voorwoord	iii
I. Samenvatting	iv
II. Inhoudsopgave.....	v
1 Inleiding.....	1
1.1 Probleemstelling.....	1
1.2 Doelstelling	2
1.3 Afbakening	2
1.4 Aanpak	2
1.5 Leeswijzer.....	3
2 Probleemdefiniëring	4
2.1 Inleiding	4
2.2 Pakket van Eisen.....	4
2.3 Vooronderzoek.....	5
2.3.1 Inleiding.....	5
2.3.2 Bestaande technieken.....	5
2.3.3 Proof of Principle Lassen.....	6
2.3.4 Terugverdientijd en Winst.....	7
3 Conceptontwikkeling en Conceptkeuze	8
3.1 Inleiding	8
3.2 Morfologisch overzicht	9
3.3 Concept Triangle.....	11
3.4 Concept Pentagon	15
3.5 Concept Cross.....	18
3.6 Conceptkeuze	21
4 Vormgeving.....	22

4.1	Inleiding	22
4.2	Lassysteem	23
4.2.1	Verwarming	23
4.2.2	Aandrijving	25
4.2.3	CAD-uitwerking	27
4.2.4	Filament aan elkaar drukken	28
4.2.5	Prototype en testen	30
4.3	Snijsysteem	33
4.3.1	Aandrijving	34
4.3.2	Uitwerpmechanisme	35
4.3.3	Prototype en testen	36
4.4	Opwikkelsysteem	39
4.4.1	Snelheid opwikkelen	39
4.4.2	Opwikkeltchniek	42
4.4.3	Prototype en testen	44
4.5	Filament-invoersysteem	46
4.5.1	Prototype en testen	47
5	Implementatie deelsystemen	48
5.1	Inleiding	48
5.2	Assemblage machine	48
5.3	Basisschema software	49
6	Conclusies en aanbevelingen	51
6.1	Inleiding	51
6.2	Conclusie	51
6.3	Aanbevelingen	53
III.	Nawerk	54
	Literatuurlijst	54
	Bijlagen	56
	Bijlage A	56

Bijlage B	59
Bijlage C	64
Bijlage D	66
Bijlage E	68
Bijlage F	69
Bijlage G	70
Bijlage H	71
Bijlage I	74
Bijlage J	75
Bijlage K	76
Bijlage L	78
Bijlage M	82
Bijlage N	86
Bijlage O	87
Bijlage P	89
Bijlage Q	91
Bijlage R	93
Bijlage S	94
Bijlage T	95
Bijlage U	96
Bijlage V	97

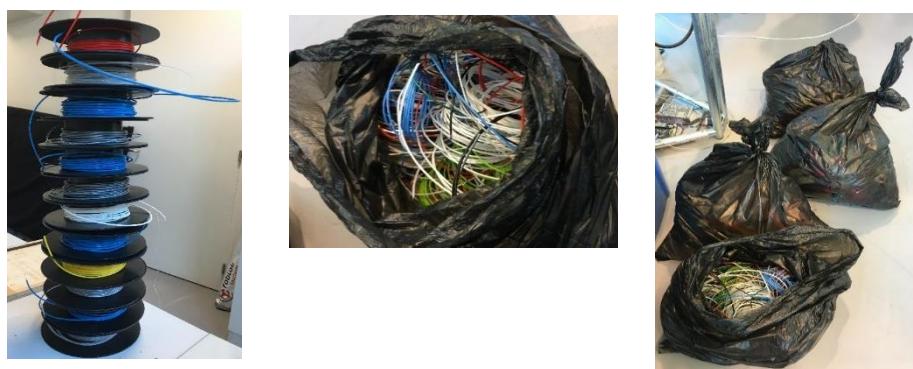
1 Inleiding

De afstudeeropdracht wordt voor het lectoraat Industrial Design in samenwerking met het FabLab uitgevoerd. Het lectoraat Industrial Design richt zich vooral op kennis delen en praktijkgericht onderzoek van vernieuwde producten en diensten gericht op bedrijven. Hierbij worden technische oplossingen creatief geïntegreerd met menselijke behoeftes. Het lectoraat is geen bedrijf op traditionele manier en is daardoor ook niet bezig in bepaalde afzetmarkten. De opdracht zelf wordt in nauwe samenwerking met het FabLab uitgevoerd die hier de belanghebbende partij is.

Het FabLab Enschede is een digitale werkplek voor iedereen die met de nieuwste techniek innovatieve dingen willen maken en is onderdeel van het lectoraat Industrial Design. Er bestaat een netwerk van rond de 1500 FabLab's over de hele wereld verspreid, welke onderling kennis delen (Fab Foundation, 2020). In het FabLab zelf staan verschillende machines die door studenten, bedrijfsleven en tevens particuliere klanten gebruikt kunnen worden. Het grootste aantal van de machines binnen het FabLab zijn 3D printers. Deze afstudeeropdracht sluit aan op het materiaalverbruik van deze machines.

1.1 Probleemstelling

Bij het printen met "Fused Deposition Modeling" (kort FDM) 3D printers wordt er gebruikt gemaakt van filament. Filament is een plastic draad met een specifieke diameter die in de printer gesmolten wordt. Vervolgens wordt het object laag voor laag met een vooraf bepaalde toolpath op een bouwplaats aangebracht. Het filament wordt vaak op 1kg of 0.75kg spoelen verkocht. Voor elk object wordt hierbij een bepaalde hoeveelheid filament verbruikt, wat uiteindelijk tot een restbestand op de spoel leidt. Dit restbestand wordt tegenwoordig in het FabLab weggegooid, omdat er geen volledig model meer van geprint kan worden, hoewel dit materiaal nog gewoon te gebruiken is (Figuur 1).



Figuur 1 Restmateriaal in het FabLab van een kwartiel

Theoretisch is het mogelijk van deze reststukken nog een volledige print te maken door middel van een andere reststuk tijdens het printen handmatig in te voeren. Dit is echter een tijdrovend proces en studenten en klanten kiezen om deze reden liever voor een nieuwe spoel filament. Het gaat om ongeveer 600 spoelen filament per jaar waar nog tussen de drie en de tien meter aan filament op zit. Omdat er steeds meer 3D printers in het FabLab aangeschaft worden, stijgt hier automatisch ook de hoeveelheid aan restmateriaal. Om de stijgende milieu impact te verkleinen, is in overleg met Sebastiaan Moes van het FabLab de volgende opdracht tot stand gekomen:

De opdracht die hiervoor moet worden uitgevoerd is het ontwikkelen van een machine die de uiteinden van de twee reststukken filament aan elkaar last en dit op een lege spoel wikkelt zodat het restmateriaal volledig opgebruikt kan worden.

1.2 Doelstelling

Het doel van deze opdracht is een machine te ontwikkelen die in staat is de volgende functies automatisch uit te kunnen voeren:

- Filament uiteinden afknippen voorafgaand het las proces
- Reststukken filament aan elkaar lassen
- Filament tijdens het lassen aan elkaar drukken
- Gelast filament netjes op een spoel wikkelen

Het gaat hierbij dus om een ontwerpopdracht. Deze opstelling zal ervoor zorgen dat er geen nieuw filament, in de vorm van reststukken, meer weggegooid moet worden. Daaruit volgt een kleinere milieu impact, minder afval, minder kosten en de mogelijkheid voor FabLab klanten de machine met hun eigen restmateriaal te kunnen gebruiken.

1.3 Afbakening

Het doel is om de boven genoemde opstelling in een half jaar te ontwikkelen en enkele prototypes te bouwen om het ontwerp te verifiëren. Daar bij het eerste prototype zeker nog ontwerfouten boven water komen is het verder de bedoeling deze te testen. Vanuit Saxion bestaan hier talrijke mogelijkheden wat productieprocessen betreft, die in overleg gebruikt mogen worden. Het enige wat extern verloopt is het bestellen van onderdelen. Binnen Saxion is voldoende kennis aanwezig waarvan tijdens dit project gebruik gemaakt kan worden.

Sommige prototypen moeten elektrisch aangestuurd worden waarvoor testprogramma's geschreven moeten worden. Deze software wordt zelf ontwikkeld met de basiskennis opgedaan tijdens de opleiding werktuigbouwkunde.

Samengevat worden dus het volgende opgeleverd:

- Concepten ontwikkelen
- Werktekeningen maken
- Mechanische onderdelen ontwikkelen en bouwen (productiestappen...)
- Berekeningen uitvoeren voor de boven genoemde onderdelen
- Elektrische aansturing
- Programmeren van testprogramma's
- Uitzoeken en bestellen van benodigde onderdelen
- Communicatie tussen verschillende afdelingen
- Testen en optimaliseren van enkele prototypes

1.4 Aanpak

Voor deze opdracht wordt in overleg met de bedrijfscoach een pakket van eisen opgesteld. Vervolgens wordt er een vooronderzoek uitgevoerd om te bepalen in welke mate het idee al bestaat/geïmplementeerd is, winstgevend is en hoe lang de terugverdientijd ongeveer bedraagt. Hier

worden onder andere ook kritische systemen met een proof of principle test onderzocht om de haalbaarheid te testen. Hieruit worden er meerdere concepten met behulp van een morfologisch overzicht opgesteld en kort toegelicht. Ten slotte wordt met behulp van de kesselringmethode het meest geschikte concept of een combinatie uit meerdere concepten gekozen.

Het uiteindelijk gekozen concept wordt vervolgens in detail uitgewerkt met alle bijbehorende berekeningen, testen, materiaalkeuzes en simulaties. Aan de hand hiervan worden de benodigde onderdelen in afspraak met het lectoraat besteld en met de desbetreffende afdeling een afspraak voor de productie ingepland.

Nadat alle onderdelen geleverd zijn wordt met de productie begonnen. Hieruit gaan meerdere prototypes ontstaan welke aansluitend uitgebreid getest zullen worden. Aan de hand van deze testen worden er alle mogelijke ontstane problemen identificeert en waar mogelijk geëlimineerd. De geteste prototypen worden dan tot een machine in een 3D-bestand samengevoegd en een basisschema voor de software opgesteld.

1.5 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt het probleem van deze opgavenstelling uitgebreid toegelicht. Hierbij wordt nadruk gelegd op het pakket van eisen en het vooronderzoek. Hoofdstuk 3 behandelt de drie ontwikkelde concepten die met behulp van een morfologisch overzicht opgesteld zijn. Afsluitend wordt het eindconcept gekozen en de keuze toegelicht. In hoofdstuk 4 worden alle deelsystemen van het gekozen concept uitgewerkt. Elk deelsysteem wordt hierbij eerst theoretisch uitgewerkt en vervolgens met een prototype op werking getest. In hoofdstuk 5 worden alle ontwikkelde deelsystemen tot een machine in een 3D-bestand samengevoegd en een basisschema van de werking van de software toegelicht. Ten slotte worden in hoofdstuk 6 de conclusies en aanbevelingen bediscussieerd.

2 Probleemdefiniëring

2.1 Inleiding

In het FabLab worden actueel alle restbestanden filament weggegooid omdat deze niet meer gebruikt worden. Dit is voor het project de beginsituatie. Er is nog geen voorwerk of vooronderzoek hierop verricht. Verder maakt de opdracht geen deel uit van een groter project.

Voor het definiëren van deze opdracht wordt eerst een vooronderzoek uitgevoerd waaruit een pakket van eisen volgt. Hieruit worden dan in het volgende hoofdstuk meerdere concepten met behulp van een morfologisch overzicht opgesteld.

2.2 Pakket van Eisen

Het doel van deze opdracht is meerdere werkende prototypen te bouwen en te testen. Hiervoor moeten de volgende deelsystemen met bijbehorende functies en eisen ontworpen worden welke in overleg met de bedrijfscoach vastgelegd in Tabel 1 vastgelegd zijn.

Tabel 1 Pakket van eisen

Deelsysteem	Functie	Eisen
Lassysteem	PLA-filament smelten, aan elkaar drukken en afkoelen.	-Mag niet langer dan 60 seconden duren. -Smelttemperatuur van 180-220°C
Snij-systeem	Afsnijden van ingaande filament en uitwerpen van afgesneden stuk voorafgaand aan het lassen.	-De uiteinden moeten recht afgesneden worden om een betrouwbaar resultaat tijdens het lassen te bereiken en de benodigde snijkracht laag te houden.
Kwaliteitscontrole-systeem	Controle van de diameter.	-De diameter moet binnen een tolerantie van + - 0.1mm van het basismateriaal liggen.
Opwikkelsysteem	Gelaste filament op een spoel wikkelen en controle van hoeveelheid materiaal op de spoel.	-Hoeveelheid filament zelfstandig controleren -Snelheid van opwikkelen automatisch sturen (afhankelijk van de hoeveelheid materiaal op de spoel) -750 gram spoelen breedte (ICE Filaments merk) -Filament netjes op de spoel wikkelen
Filament-invoersysteem	Het systeem moet herkennen waar een stuk filament begint en eindigt en deze informatie verder geven aan de andere systemen.	-Het systeem moet gebogen filament kunnen handelen, dit is een eigenschap van het basismateriaal. -Filament concentrisch uitlijnen

2.3 Vooronderzoek

2.3.1 Inleiding

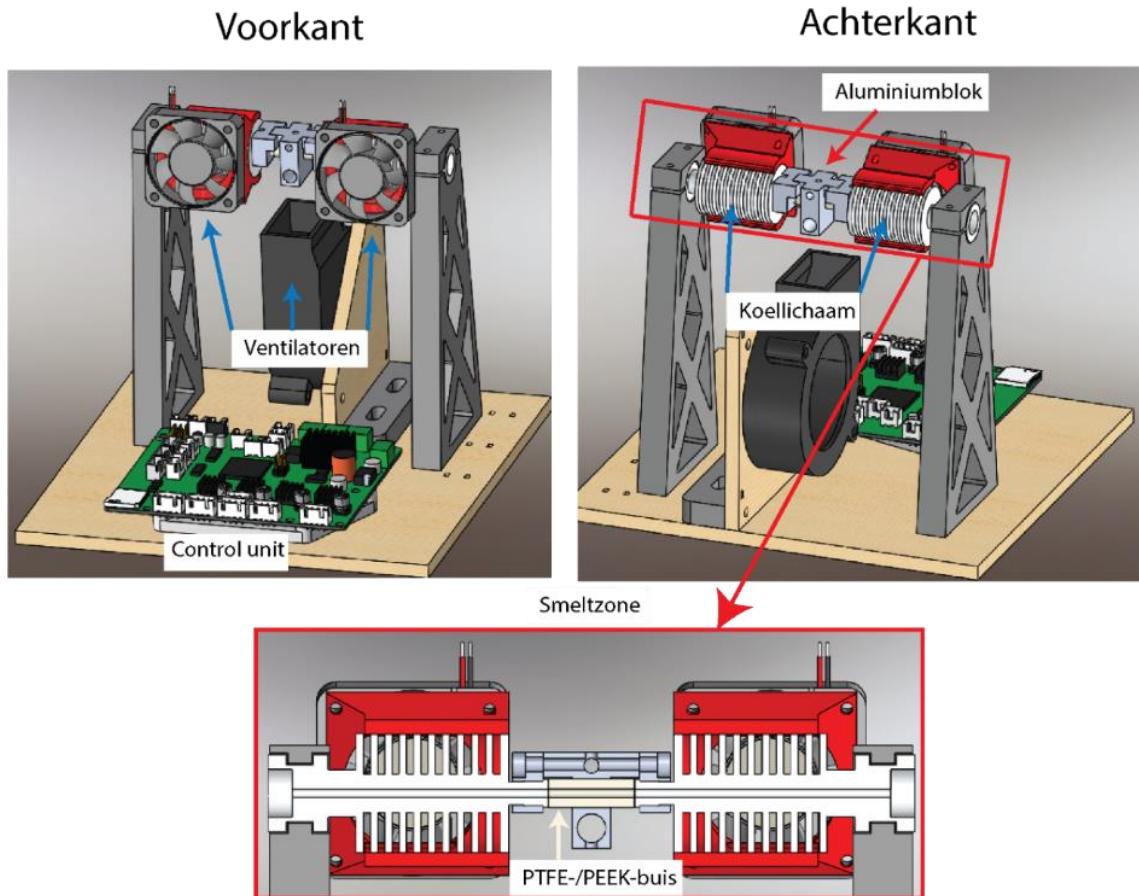
Het vooronderzoek is bedoeld om een indruk te verkrijgen van wat er op het moment van het onderzoek al voor technieken/machines bestaan die gelijk of vergelijkbaar zijn met de te ontwerpen machine. Dit is vooral belangrijk om problemen met al bestaande patenten te voorkomen en zich te laten inspireren. Verder wordt er een proof of principle test uitgevoerd om voor het lassysteem de haalbaarheid te bewijzen en hierdoor de conceptkeuze te ondersteunen. Aan het einde van deze hoofdstuk wordt de terugverdientijd berekend en gekeken of de machine winst zal opleveren. Als dit niet het geval zal zijn zou de machine geen echte meerwaarde ten opzichte van de huidige situatie hebben.

2.3.2 Bestaande technieken

Uit het vooronderzoek van al bestaande technieken welk uitgebreid in *Bijlage A* beschreven is, blijkt dat er een machine bestaat die wel de technieken in zich heeft filament af te snijden en aan elkaar te lassen maar met een ander doel is ontworpen. Het gaat hierbij om de machine Palette 2 Pro. De Palette Pro maakt het mogelijk met meerdere kleuren door een nozzle te 3D printen. Tijdens het printen worden vooraf berekende lengtes filament gesneden en aan elkaar gelast om een kleurwissel mogelijk te maken. Deze machine is echter alleen voor een enkele printer geschikt en niet om puur materiaal aan elkaar te lassen. Het las- en snijproces van de Palette productrij worden in het volgende hoofdstuk in het morfologische overzicht opgenomen daar dit inspirerende processen voor deze opdracht kunnen zijn. Verder is af te leiden dat PTFE voor deze toepassing een geschikt materiaal is daar hier het gesmolten filament niet aan vast plakt.

2.3.3 Proof of Principle Lassen

Voor het basisprincipe van het lassen is er een verwarmde aluminiumblok ontworpen met een PTFE/PEEK inlay, daar dit redelijk snel met toegankelijke machines op Saxion geproduceerd kon worden. Een schematische tekening van deze concept is hieronder weergegeven (Figuur 2).



Figuur 2 Schematische tekening proof of principle lassen

Het lassen wordt door middel van een gefreesd aluminium blok omgezet welke door een heating cartridge opgewarmd en door een temperatuursensor gecontroleerd wordt. In de blok zelf bevindt zich een anti plakkende buis. Bij deze proof of principle is er PTFE en PEEK als materiaal getest. PTFE en PEEK hebben een lage wrijvingsweerstand waardoor gesmolten plastic minder kans heeft hieraan vast te plakken. Verder hebben deze materialen een hoge continue temperatuur van 260°C (PTFE) (Kern, Polytetrafluorethylen (PTFE), 2020) en 300°C (PEEK) (Kern, Polyetheretherketon (PEEK), 2020). Het filament PLA wat voor deze proces gebruikt wordt heeft een smelttemperatuur 180-220°C waarvoor PEEK en PTFE uitstekend geschikt zijn.

De PTFE/PEEK buizen zijn voorzien van een gat met +0.05mm tolerantie om een doorvoer van materiaal mogelijk te maken. Daar op moment van testen geen passende ruimer aanwezig was om de binnengaat zo glad mogelijk te produceren is voor een normale boor met een diameter van 1,8mm gekozen. Dit gaat het resultaat beïnvloeden maar voor het testen is dit nog niet meteen van belang. Het systeem wordt door een oude 3D printer moederboard aangestuurd daar hier al kant-en-klare software opzit. Voor het begin is er gekozen om eerst met 1,75mm materiaal te testen omdat dit minder warmte vermogen nodig heeft. Deze testen zijn vermeld in *Bijlage B* met aansluitende informatie in *Bijlage C*. Aan het begin van dit project is er gepland 1,75 en 2,85mm filament te

gebruiken wat door de COVID-19 situatie naar 2,85mm veranderd is daar anders dubbel zoveel testen en onderdelen geproduceerd moeten worden. 2,85mm is gekozen omdat dit het meest gebruikte filament in het FabLab is. Daar 1,75mm hierdoor wegvalt kunnen volgende conclusie uit deze test getrokken worden:

- PTFE-buis gebruiken als anti plak bescherming
- Minimale tolerantie van +0.05 mm voor de smeltzone
- Snellere afkoeltijden door andere concept bereiken
- Smeltzone klein houden
- Smelttemperatuur vanaf 220°C gebruiken
- Boven 40W verwarmingsvermogen voor 2,85mm filament gebruiken
- Smeltzone gat met een ruimer bewerken om een gladdere overgang van het materiaal en de lasnaad te creëren

2.3.4 Terugverdientijd en Winst

De volledige berekening van de terugverdientijd en de winst zijn in *Bijlage D* te vinden. De resultaten hiervan zijn:

Terugverdientijd: 0,86 jaar

Winst op jaarbasis: 4519 euro

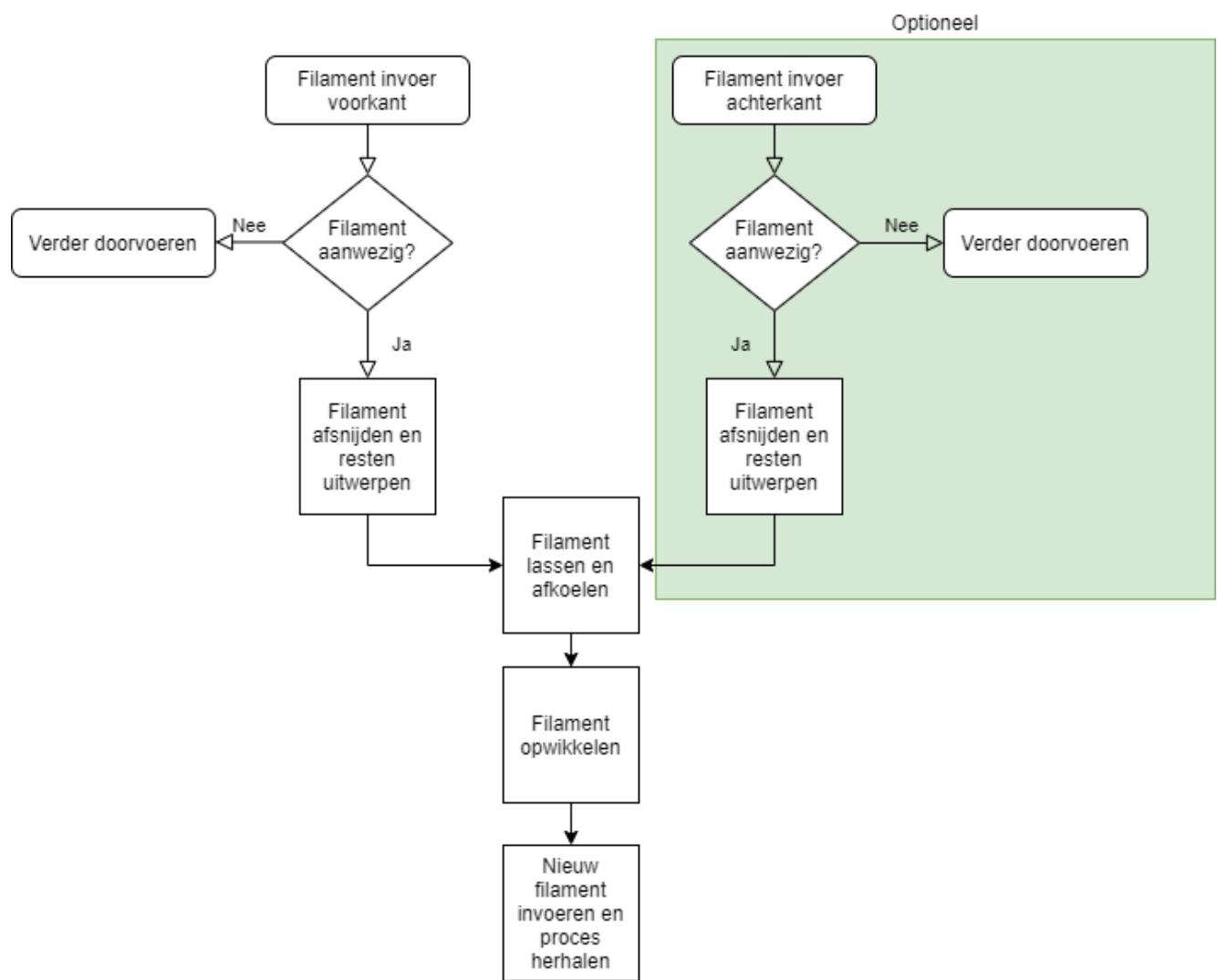
Het project is dus realistisch en levert winst op.

3 Conceptontwikkeling en Conceptkeuze

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden door middel van een morfologisch overzicht meerdere concepten opgesteld. Elk concept wordt aansluitend kort toegelicht en de voor- en nadelen opgesomd. Met de kesselringmethode wordt vervolgens bepaald welk concept aan de eisen van deze opdracht het best voldoet.

Voor alle concepten geldt het basis werkschema volgens Figuur 3. Het doel van de verschillende concepten is om andere manieren te vinden voor de verschillende deelfuncties binnen de machine.

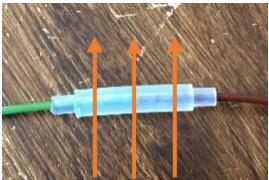
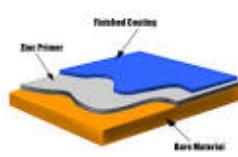
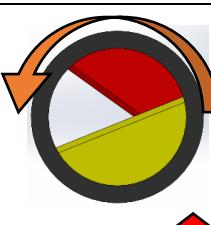
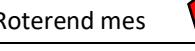
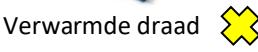


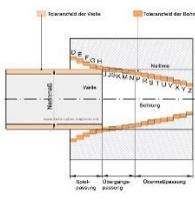
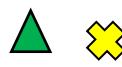
Figuur 3 Basis werkschema machine

De filament invoer aan de achterkant bij deze basisschema is optioneel daar na een lasproces hier al filament aanwezig is.

3.2 Morfologisch overzicht

Tabel 2 Morfologisch overzicht

Deelsysteem	Functie	Oplossingen			
Lassysteem	Lassen	 Klem 	 Verwarmde draad 	 Hete lucht 	
	Filament-uiteinden aan elkaar drukken	 Dual gear aandrijving 	 Single gear aandrijving 	 Rubberwielen aandrijving 	
	Afkoelen	 Lucht  	 Water 	 Koelmedium	
	Bescherming tegen vastplakken van gesmolten plastic	 PTFE-buis   	 PEEK-buis	 "Polyphobic"-coating	
Snijsysteem	Snijden	 Snijtang principe 	 Roterend mes 	 Verwarmde draad 	 Ultrasoon
	Gesneden Filament uitwerpen		Beweegbare smeltzone  	Beweegbare snijzone  	Afgesneden stukken volledig doordrukken

Kwaliteitscontrolesysteem	Diameter controle	 Laser	 Inductieve sensor met bal	 Strakke passing lasgat 	
Opwikkelsysteem	Hoeveelheid filament meten	 Rotary encoder	 Spring loaded encoder	 	
	Filament opwikkelen	Links-rechts opwikkelpoging 	Spanning van motor door trekken		
Filamentinvoersysteem	Filament invoer	  PTFE-slang	 3D-geprinte geleiding	 Handmatige geleiding	
	Filament herkennung	 	 Inductieve sensor met bal	 Ultrasoon sensor	 Licht sensor

Uit Tabel 2 kunnen de drie gekozen concepten afgeleid worden. Deze zijn:

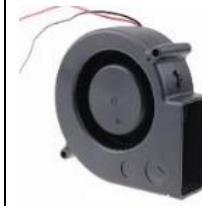
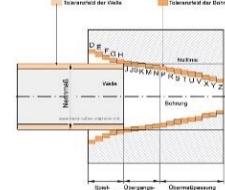
- Concept "Triangle" 
- Concept "Pentagon" 
- Concept "Cross" 

In het volgende hoofdstuk worden deze concepten in detail uitgelegd.

3.3 Concept Triangle

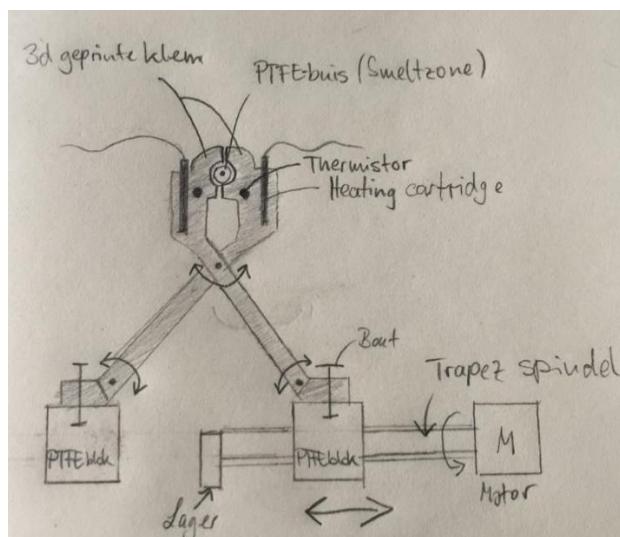
Hieronder worden de gekozen oplossingen voor het concept "Triangle" kort samengevat (Tabel 3). Een uitgebreide toelichting met voor- en nadelen is te vinden in *Bijlage E*.

Tabel 3 Overzicht gekozen oplossingen concept "Triangle"

Functie	Lassen	Filamentuiteinden aan elkaar drukken	Afkoelen	Bescherming tegen vastplakken van gesmolten plastic	Snijden	Gesneden Filament uitwerpen
Oplossing	 Klem	 Dual gear aandrijving	 Lucht	 PTFE-buis	 Snijtang principe	Beweegbare smeltzone
Functie	Diameter controle	Hoeveelheid filament meten	Filament opwikkelen	Filament invoer	Filament herkenning	
Oplossing	 Strakke passing lasgat	 Spring loaded encoder	Links-rechts opwikkelpoging	 PTFE-slang	 Mechanische schakelaar	

Lassen

Het concept “Triangle” richt zich vooral op onderdelen die makkelijk te produceren of te kopen zijn in verband met de Covid-19 situatie 2020. Het enige complexe onderdeel hiervan is de “klem” welke geen standaard onderdeel is. Voor dit onderdeel kan 3D metaal printen of lasersnijden gebruikt worden. Op Saxion bestaat de mogelijkheid met RVS 316L te printen. Dit materiaal heeft een lagere warmtegeleidingscoëfficiënt als aluminium maar dit is hier van minder belang daar het verwarmingselement doorgaand actief moet blijven. Het idee is door een klem een snellere afkoel en opwarmtijd te bereiken. Bij de scharnierpunten van deze klem moet een materiaal met een kleine warmtegeleidingscoëfficiënt (bijv. PTFE) toegepast worden om de warmte in de klem te houden. Een eerste schets hiervan is in Figuur 4 te zien.



Figuur 4 Schets lasklemmen

Filamentuiteinden aan elkaar drukken

Om ervoor te zorgen dat tijdens het proces geen fouten optreden door het slippen van het filament worden voor dit concept twee “tandwielen” als aandrijving gebruikt. Hierdoor kan meer kracht op het filament overdragen worden tijdens het aandrijven en drukken voor de verschillende processen.

Afkoelen

Om de las af te koelen, wordt de verwarmde klem geopend en de las met lucht gekoeld. Hierdoor moet niet bij elke las eerst het verwarmingselement op temperatuur gebracht en dan weer afgekoeld worden. Lucht wordt hier als afkoelmedium gebruikt daar ook hier weer het doel is om het systeem zo makkelijk als mogelijk te houden.

Bescherming tegen vastplakken van gesmolten plastic

Voor het materiaal van de smeltzone is PTFE gekozen daar het gesmolten plastic hier niet aan vastplakt zoals onderzocht in het vooronderzoek. Het gaat hierbij om een buis van PTFE met een passing van 0,05mm groter als het basismateriaal van 2,85mm zoals uit het vooronderzoek naar voren is gekomen. Dit principe wordt voor alle andere concepten gebruikt en alleen bij deze genoemd.

Snijden

Het snijden zal door middel van een snijtang achtig principe plaats vinden. Bij deze proces is het ontstaan van bramen bij een strakke uitlijning minimaal. Verder is dit geen complexe oplossing en het is makkelijk te produceren.

Gesneden Filament uitwerpen

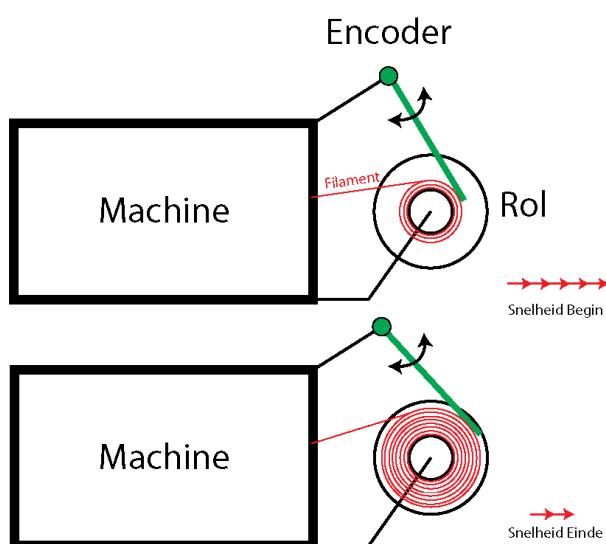
Om het afgesneden filament uit te kunnen werpen wordt na de snijzone een beweegbaar helft ingebouwd die na het snijproces uit de weg beweegt. Dit bespaart ruimte ten opzichte van een beweegbare smeltzone die ook nog nauwkeuriger aangestuurd moet worden vanwege het concentrische uitlijnen van de invoer.

Diameter controle

Door de passing in het PTFE-buis van +0,05mm wordt de maximaal afwijking van de lasnaad vastgelegd. Dit zorgt ervoor dat de lasnaad niet groter wordt dan de vereiste tolerantie van +/- 0,1mm. De reden waarom hier geen andere controle van de diameter is gekozen is omdat dit een kosten efficiënte en betrouwbare methode is als er rekening wordt gehouden met het uitzetten van het materiaal onder warmte invloed. Dit principe wordt voor alle andere concepten gebruikt en alleen bij deze genoemd.

Hoeveelheid filament meten

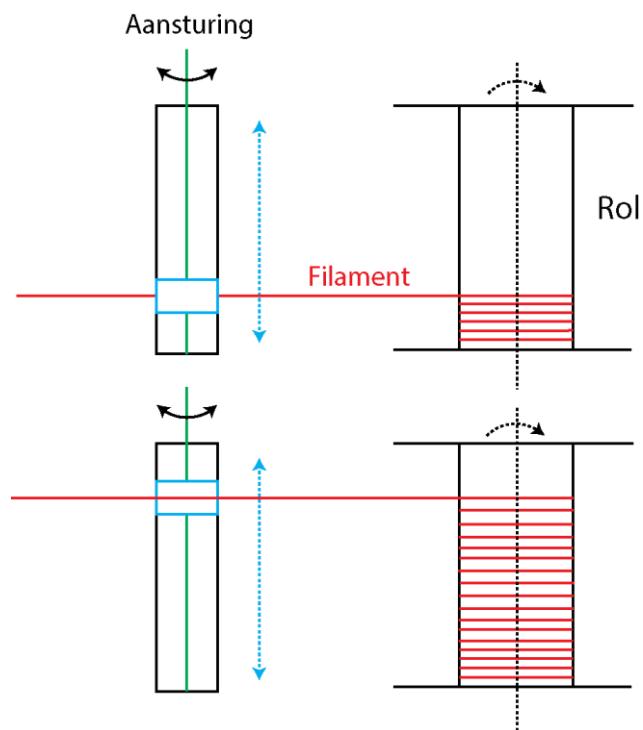
Om de hoeveelheid filament en de opwikkelsnelheid te kunnen bepalen is ervoor gekozen om een encoder te gebruiken die gekoppeld is aan een veersysteem. Zo kan op elk moment de hoeveelheid materiaal naar een bepaalde opwikkelsnelheid omgezet worden onafhankelijk van de beginsituatie. Hierdoor wordt het filament aan het begin sneller opgewonden daar hier de omtrek kleiner is ten opzichte van een volle spoel filament (Figuur 5). Het mechanisme zelf zal vouwbaar zijn om het monteren van een nieuwe spoel voor de gebruiker te vereenvoudigen.



Figuur 5 Spring loaded encoder werkschema

Filament opwikkelen

De opwikkeltchniek die voor deze en bij alle andere concepten toegepast wordt is een zig zag techniek daar dit een betrouwbaar resultaat zal geven ten opzichte van het opwikkelen alleen door de trek beweging van de opwikkeltmotor. Om deze reden wordt dit niet meer bij de andere concepten beschreven. Hierbij wordt het filament door een geleider die heen en weer beweegt op de spoel opgewonden zoals in Figuur 6 te zien is.



Figuur 6 Filament opwikkeltchniek

Filament invoer

De geleiding van het filament in de machine zal door middel van PTFE-buizen plaats vinden welke bijv. ook op FDM 3D printers te vinden zijn. Door de geleidende eigenschappen van PTFE zal het materiaal hierdoor makkelijk door het systeem gevoerd kunnen worden. Op bepaalde punten in het systeem moeten voor de slangen koppelingen ingebouwd worden welke deze vast houden.

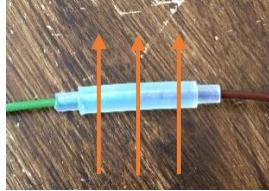
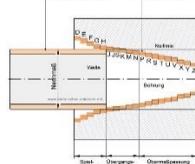
Filament herkenning

In combinatie met geprinte blokken waar een mechanische schakelaar in gebouwd is, wordt gecontroleerd of en waar filament in het systeem aanwezig is. Mechanische schakelaars zijn hiervoor gekozen omdat deze makkelijk naar eigen wensen omgebouwd kunnen worden en daarmee, afhankelijk van de bouwwijze, betrouwbaarder dan andere methodieken zijn. Een lichtgevoelige sensor kan bijvoorbeeld bij licht doorlatend materiaal foute metingen produceren wat bij een mechanische schakelaar niet het geval zou zijn.

3.4 Concept Pentagon

Hieronder worden de gekozen oplossingen voor het concept "Pentagon" kort samengevat (Tabel 4). Een uitgebreide toelichting met voor- en nadelen is te vinden in *Bijlage F*.

Tabel 4 Overzicht gekozen oplossingen concept "Pentagon"

Functie	Lassen	Filamentuiteinden aan elkaar drukken	Afkoelen	Bescherming tegen vastplakken van gesmolten plastic	Snijden	Gesneden Filament uitwerpen
Oplossing	 Hete lucht	 Single gear aandrijving	 Lucht	 PTFE-buis	 Roterend mes	Beweegbare snijzone
Functie	Diameter controle	Hoeveelheid filament meten	Filament opwikkelen	Filament invoer	Filament herkenning	
Oplossing	 Strakke passing lasgat	 Motor met encoder	Links-rechts opwikkelpoging	 Geleidende geleiding Geprinte structuur	 Inductieve sensor met bal	

Lassen

Concept “Pentagon” is hoofdzakelijk gericht op productie door middel van traditionele processen zoals frezen en draaien. Het lassen van het materiaal gebeurt hier door middel van een met hete lucht verwarmde PTFE-buis. Deze zal uit een krachtige ventilator met een verwarmingselement bestaan zoals bijvoorbeeld een haardroger. Tijdens het lassen wordt dit element aangeschakeld en de opgewarmde lucht om het PTFE-buis geleid. Dit systeem zal minder efficiënt zijn als bijv. een verwarmd block aluminium daar hier veel warmte aan de omgeving verloren gaat. De verwarmde lucht moet onder andere zo afgeleid worden dat andere onderdelen geen schade raken en de gebruiker hierdoor niet gewond kan raken.

Filamentuiteinden aan elkaar drukken

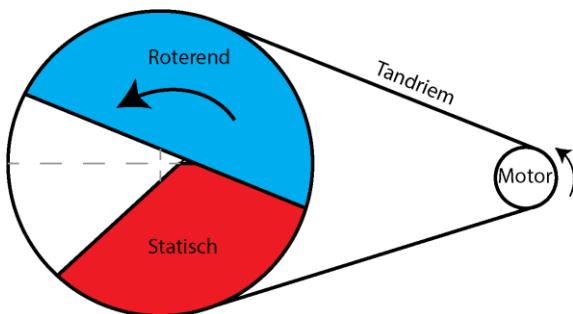
De aandrijving van het filament wordt hier door middel van een single gear extruder omgezet. Deze zijn minder betrouwbaar als een dual gear extruder maar daarvoor goedkoper. Verder moet hier alleen de veerspanning veranderd worden als er een ander materiaal diameter gebruikt wordt.

Afkoelen

Het afkoelen zal door middel van lucht gebeuren om een snelle afkoeltijd te kunnen bereiken. Door het haardroger principe moet hiervoor geen extra ventilator ingebouwd worden. Als het lasproces klaar is wordt het verwarmingselement uit geschakeld en de ventilator blijft draaien waardoor het koelproces geïnitieerd wordt.

Snijden

Voorafgaand het lassen wordt het filament bij deze concept door middel van een roterend mes afgesneden. Deze proces is van de Palette Pro product serie uit het vooronderzoek afgeleid. Het proces zal door middel van een tandriem en een motor bestuurd worden. Hierdoor kan de op te brengen motorkracht door een grote overbrengverhouding laag gehouden worden en dus ook de grootte van de motor (Figuur 7).



Figuur 7 Roterend mes werkschema

Gesneden Filament uitwerpen

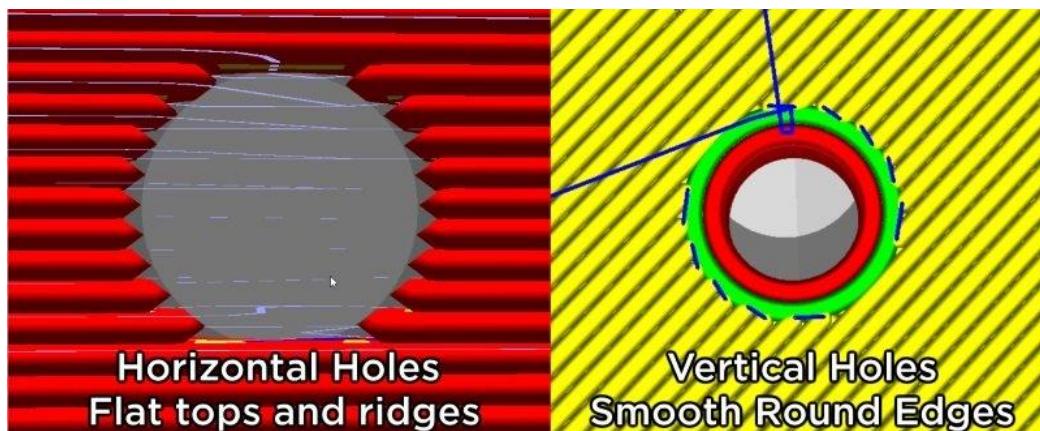
Het uitwerpen van het filament zal zoals bij het eerder beschreven concept “Triangle” door middel van een beweegbare snijzone uitgevoerd worden. Dit maakt het uitlijnen van het filament makkelijker ten opzichte van een zich bewegende smeltzone. Verder zijn hier ook minder componenten nodig die in aanraking met hoge temperaturen komen.

Hoeveelheid filament meten

Het meten van de hoeveelheid filament op de uiteindelijke spoel wordt omgezet door middel van een motor met een encoder. Met deze techniek is op elk moment bekend hoeveel omwentelingen de motor al gedaan heeft. Deze informatie kan dan gebruikt worden om de opwikkelsnelheid te sturen. Als uitgangspunt moet hierbij een lege spoel gebruikt worden daar anders de beginwaarde niet meer klopt.

Filament invoer

De invoer en geleiding van het filament kan worden gerealiseerd door middel van geprinte blokken met een structuur waar het filament door kan geleiden. Dit maakt de productie eenvoudig een flexibel daar zelfs complexe vormen mogelijk zijn. Aandacht moet hier op de printrichting gelegd worden daar bij een foute opbouw ruwe oppervlakten kunnen ontstaan (Figuur 8). Hierdoor kunnen fouten tijdens het doorvoeren ontstaan welke het systeem onbetrouwbaar maken. De gaten kunnen bijvoorbeeld met een boor of ruimer na bewerkt worden om dit te voorkomen.



Figuur 8 Verschillende printrichtingen voor een gat van het FDM print-proces (Aidan, 2002)

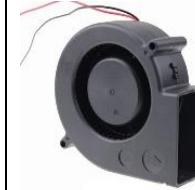
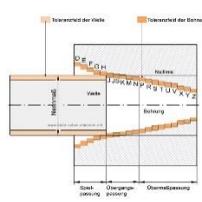
Filament herkenning

De herkenning van het filament wordt door middel van een inductieve sensor met een metalen kogel omgezet. Op moment van het invoeren van filament gaat de kogel omhoog bewegen wat de sensor activeert. Hierdoor wordt herkend dat zich materiaal onder de sensor bevindt.

3.5 Concept Cross ✕

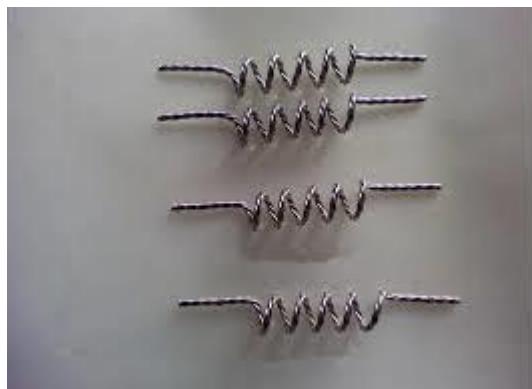
Hieronder worden de gekozen oplossingen voor het concept "Cross" kort samengevat (Tabel 5). Een uitgebreide toelichting met voor- en nadelen is te vinden in *Bijlage G*.

Tabel 5 Overzicht gekozen oplossingen concept "Cross"

Functie	Lassen	Filamentuiteinden aan elkaar drukken	Afkoelen	Bescherming tegen vastplakken van gesmolten plastic	Snijden	Gesneden Filament uitwerpen
Oplossing	 Verwarmde draad	 Rubberwiel aandrijving	 Lucht	 PTFE-buis	 Verwarmde draad	Beweegbare smeltzone
Functie	Diameter controle	Hoeveelheid filament meten	Filament opwikkelen	Filament invoer	Filament herkennung	
Oplossing	 Strakke passing lasgat	 Motor met encoder	Links-rechts opwikkelpoging	 PTFE-slang	 Inductieve sensor met bal	

Lassen

Concept Cross richt zich hoofdzakelijk op een compact ontwerp en het gebruik van standaardonderdelen. Dit vooral om de kosten en de productietijd laag te houden. Met een verwarmde draad wordt hitte in de smeltzone geïnduceerd om twee losse stukken filament aan elkaar te lassen (Figuur 9). Deze oplossing is van de Palette Pro product serie afgeleid zoals in het vooronderzoek is beschreven. De voordelen hiervan zijn de compacte bouwwijze, het snelle opwarmen en afkoelen en de lage productiekosten. Het enige onderdeel wat hierbij niet gekocht kan worden is het PTFE-buis waar de draad omheen gewikkeld wordt daar hier nog een passing ingeboord moet worden. Belangrijk bij deze oplossing is dat zich het omgewikkeld draad niet aanraakt daar anders een kortsluiting veroorzaakt wordt.



Figuur 9 Verwarmd draad basismateriaal (Titanium, 2020)

Filamentuiteinden aan elkaar drukken

De aandrijving zal door middel van rubberen wielen plaatsvinden welke makkelijk voor meerdere diameters gebruikt kunnen worden door bijvoorbeeld een in hoogte verstelbare mechaniek. Het nadeel is dat deze wielen niet goed vastgrijpen op het filament waardoor slip ontstaan kan.

Afkoelen

Om het gelaste materiaal af te koelen wordt een of meerdere standaard ventilatoren gebruikt. Omdat geen aluminiumblok mee afgekoeld moet worden zoals bij het proof of principle test is lucht hier goed toepasbaar als koelmedium. Hierdoor zijn geen complexe onderdelen nodig en er kan ruimtebesparend ontworpen worden.

Snijden

Het snijden van het filament wordt door middel van een rechte verwarmde draad uitgevoerd. De snijkracht die hiervoor nodig is zal minimaal zijn daar het materiaal tijdens het proces gesmolten wordt. Hierdoor zijn geen grote motoren met grote overbreng verhoudingen nodig. Het nadeel van deze techniek is dat er een grote kans op het ontstaan van bramen bestaat. Dit kan het gehele proces onbetrouwbaar maken.

Gesneden Filament uitwerpen

Om ervoor te zorgen dat na het snijproces het filament uitgeworpen wordt, wordt bij dit concept gebruikt gemaakt van een beweegbare smeltzone. Daar door de verwarmde draad de smeltzone compact en eenvoudig gebouwd kan worden is ervoor gekozen om hier een bewegende zone in te

bouwen. Belangrijk is hierbij het concentrisch uitlijnen na het bewegen daarmee geen kantelpunten ontstaan bij het doorvoeren van filament.

Hoeveelheid filament meten

Het controleren van de opwikkelsnelheid wordt hier zoals bij het concept “Pentagon” door middel van een motor met encoder omgezet.

Filament invoer

Het filament wordt door het systeem door middel van PTFE-slangen geleid. De voordelen hiervan zijn de flexibiliteit, een klein weerstand en de makkelijke verwerking van dit onderdeel. Op bepaalde punten in het systeem moeten voor de slangen koppelingen ingebouwd worden welke deze vast houden.

Filament herkenning

Voor het herkennen van filament wordt zoals bij concept “Pentagon” een inductief sensor met bal gebruikt.

3.6 Conceptkeuze

Om af te wegen welk concept het meest geschikt is om aan het pakket van eisen te voldoen wordt vervolgens met behulp van de kesselringmethode een van de concepten gekozen. Dit gebeurt door middel van maximaal 10 punten per eis aan elk concept te verdelen en deze punten bij elkaar op te tellen (Tabel 6). Elk eis krijgt hierbij een weegfactor waardoor aan sommige eisen meer belangstelling toegewezen worden dan andere. Het concept met de meeste punten voldoet dus het meest aan de eisen.

Tabel 6 Kesselringmethode

Eis	Concept "Triangle"	Concept "Pentagon"	Concept "Cross"	Maximaal	Weegfactor (1-3)
Lassen onder 60 sec. (schatting)	10	6	9	10	3
Afsnijden uiteinden los filament	7	9	6	10	2
Tolerantie diameter +-0.1	10	10	10	10	3
Hoeveelheid filament meten	9	5	5	10	1
Filament gelijkmatig opwikkelen	10	10	10	10	1
Gebogen filament handhaving	8	5	8	10	3
Filament concentrisch uitlijnen	8	8	5	10	2
Kosten	8	5	4	10	1
Resultaat met weegfactoren	141	117	122	160	
Percentage	88.13%	73.125%	76.25%	100%	

Uit de kesselringmethode blijkt dat het concept "Triangle" het meeste aan de gestelde eisen voldoet. Met betrekking tot het lasproces is dit concept naar schatting het snelste. Dit maakt het concept zo interessant daar een snel lasproces voor het succes van de machine leidend is. Bij een te lang durend lasproces is er meer interactie tijd tussen de gebruiker en de machine nodig wat tot een langere doorlooptijd leidt en het gehele proces onaantrekkelijk maakt.

Het meten van de hoeveelheid filament is hier door een eenvoudige encoder mogelijk welk makkelijk uitgewisseld kan worden bij een defect. Verder hoeft hierdoor de gebruiker er niet op te letten hoeveel materiaal nog op de spoel zit. Bij de andere concepten kan alleen een lege spoel voor het opwikkelen gebruikt worden door de gebruikte manier van meten.

Verder wordt door het gebruik van PTFE-slangen als geleiding ervoor gezorgd dat het filament met zo min mogelijke wrijving door het systeem gevoerd kan worden.

Al deze punten leiden ertoe dat dit concept uitstekend geschikt is voor makkelijke productie een korte procesduur.

4 Vormgeving

4.1 Inleiding

Hieronder worden de te ontwerpen deelsysteem voor het gekozen concept “Triangle” ter duidelijkheid opgesomd (Tabel 7).

Tabel 7 Deelsystemen met functies en gekozen oplossingen

Deelsysteem	Functie	Oplossing/en
Lassysteem	Filament smelten, aan elkaar drukken en afkoelen.	- Lassen d.m.v. verwarmde klemmen - Dual gear aandrijving - Luchtkoeling - PTFE-buis als plakbescherming
Snij-systeem	Afsnijden van ingaande filament en uitwerpen van afgesneden stuk voorafgaand aan het lassen.	- Snijtang principe - Beweegbare snijzone voor het uitwerpen
Kwaliteitscontrole-systeem	Controle van de diameter.	- Strakke passing lasgat
Opwikkelsysteem	Gelaste filament op een spool wikkelen en controle van hoeveelheid materiaal op de spoel.	- Spring loaded encoder - Links-Rechts opwikkelpoging
Filament-invoersysteem	Het systeem moet herkennen waar een stuk filament begint en eindigt en deze informatie verder geven aan de andere systemen.	- Mechanische schakelaar - PTFE-slang voor goede geleiding door het systeem

Door de conclusies die getrokken zijn door middel van de proof of principle testen worden in dit hoofdstuk alle deelsystemen uitgewerkt voor het gekozen concept “Triangle”. Voor elk deelsysteem worden eerst basisberekeningen zoals nodig uitgevoerd om aan de hand van de optredende krachten passende componenten te kunnen kiezen. Aan de hand hiervan worden prototypen van elk deelsysteem gebouwd. Vervolgens worden eerste testen met de desbetreffende deelsystemen uitgevoerd zodat eventueel optredende ontwerpfouten op tijd aangepakt kunnen worden. Voor complexe prototypen worden de montage instructies verder toegelicht. Door de veranderde Covid-19 situatie wordt ernaar gestreefd zo min mogelijk onderdelen aan derden uit te besteden om de kosten en de productietijd laag te houden. Het systeem kwaliteitscontrole wordt hier niet afzonderlijk behandelt omdat dit een deel van het lassysteem is door de gekozen oplossing.

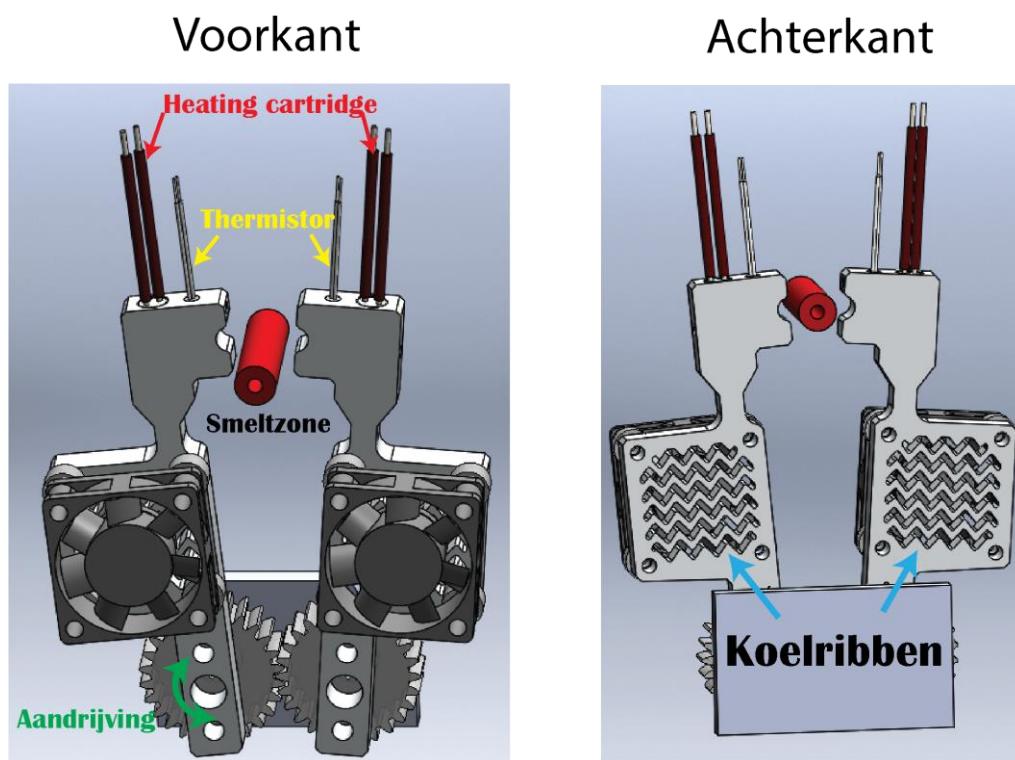
Het uiteindelijke concept bestaat ten opzichte van de klemmen van het lassysteem alleen uit standaardonderdelen welke gecombineerd worden met 3D geprinte onderdelen. Op de productie parameters van het 3D print proces wordt hier verder niet ingegaan daar dit buiten de omvang van het verslag valt. De parameters worden op basis van rond de 3 ½ jaar ervaring met FDM-printers gekozen. Als materiaal wordt voor alle 3D geprinte onderdelen PLA gebruikt tenzij anders benoemd. Dit materiaal heeft uitstekende mechanische eigenschappen en is makkelijk te verwerken.

Voor alle systemen is de bedoeling dat deze op een standaard 20x20 aluminium profiel gemonteerd kunnen worden. Dit heeft als doel een modulaire machine te produceren waar elk deelsysteem door een andere vervangen kan worden. In het volgende hoofdstuk kunnen zo de ontworpen deelsystemen tot een machine samengevoegd worden.

4.2 Lassysteem

Voor het lassysteem wordt eerst de techniek van het lasproces zelf uitgelegd en vervolgens in detail op het samendrukken van het filament ingegaan.

Zoals in het gekozen concept “Triangle” beschreven zal het lassen door middel van een beweegbare klem plaats vinden. Deze wordt doorgaand verwarmd daar hierdoor de opwarmtijd compleet wegvalt en het systeem sneller kan werken. Hiervoor moet de klem actief gekoeld worden om bijvoorbeeld het aandrijfsysteem tegen hoge temperaturen te beschermen. Voor een betere indruk is er een schematische tekening gemaakt (Figuur 10).

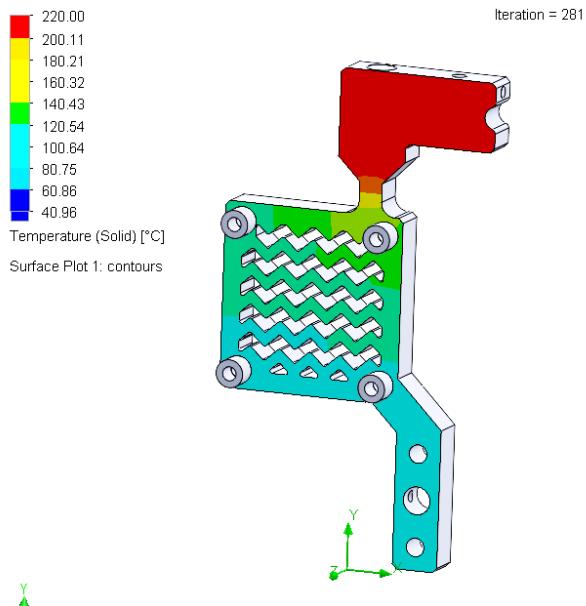


Figuur 10 Schematische tekening lassysteem

Bij deze concept wordt een klem door middel van een motor aangedreven. De andere klem wordt door middel van tandwielen in de tegengestelde richting aangedreven. Het bovenste deel van de klem wordt door middel van een heating cartridge verwarmd. Naast het verwarmingselement wordt een thermistor gebruikt om de temperatuur af te lezen en hierdoor het sturen van de temperatuur mogelijk te maken. De klem zelf zal van laser/- waterstraal gesneden aluminium gemaakt worden daar deze productietechnieken geschikter zijn ten opzichte van CNC frezen qua inrichtingstijd en kosten voor dit onderdeel. Onder de verwarmde zone is de oppervlakte vergroot door middel van koelribben. Per klem zorgt een ventilator voor actieve koeling zodat alle componenten aan de onderkant tegen hoge temperaturen beschermd worden.

4.2.1 Verwarming

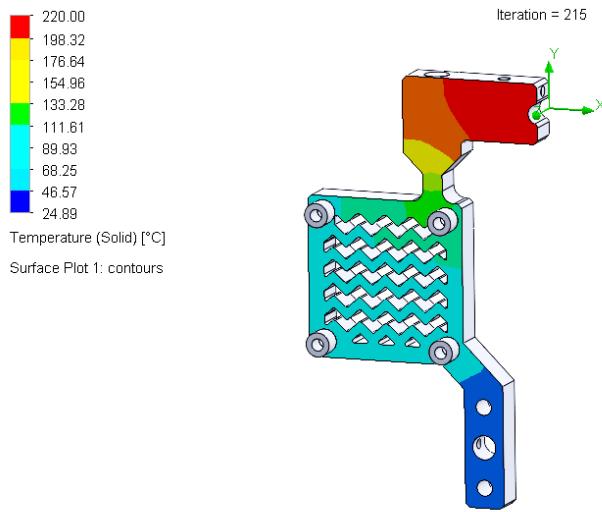
Om te bevestigen dat andere onderdelen door hoge temperaturen geen schade oplopen is er een flow simulatie gemaakt. Als uitgangssituatie is er 25°C als omgevingstemperatuur met natuurlijke convectie ingesteld. Daar op moment van simuleren alleen bekend was dat materiaal aluminium vanwege de goede temperatuurgeleiding gekozen wordt is de simulatie met een 6061 legering uitgevoerd welk een standaard aluminium legering is.



Figuur 11 Flow simulatie resultaat 40x40x10mm ventilator

De resultaten uit Figuur 11 zijn met een 40x40x10mm ventilator bereikt die actief de koelribben koelt. De laagste temperatuur bedraagt hier rond de 90°C. Dit is echter naar schatting nog te warm voor de meeste onderdelen van het systeem.

Een nieuwe test is vervolgens uitgevoerd met een 40x40x20 mm ventilator met meer vermogen (Figuur 12).



Figuur 12 Flow simulatie resultaat 40x40x20mm ventilator

Door deze verandering daalt de laagste temperatuur tot rond de 30°C. Dit is te vergelijken met een warme dag in de zomer en dat zal geen schade aan de overige componenten aanrichten. Voor de afstandsbussen van de ventilator en de klem wordt PTFE als materiaal gekozen daar het een laag warmtegeleidingscoëfficiënt heeft. Het prototype zal hoofdzakelijk uit aluminium bestaan waardoor dit nog minder invloed heeft omdat de hele lichaam als koellichaam dient.

Voor deze klem wordt er Almg 4.5 (AW5083) gebruikt omdat dit beschikbaar bij een leverancier van Saxion was. Daar hier geen hoge temperatuur legering gebruikt wordt en nodig is mag het

verwarmingselement niet te sterk zijn. Bij een te sterk verwarmingselement en dus meer ingebrachte warmte kan het materiaal beginnen te smelten en zijn mechanische sterkte verliezen (Kaufman, 2016). Voor het vermogen van het verwarmingselement bestaan er de volgende opties met betrekking tot standaardonderdelen: 30W, 40W, 50W en 80W.

Deze informatie is gebaseerd op standaard verwarmingselement van 3D printers welke compact zijn en in combinatie met aluminiumblokken gebruikt worden. De 80W element valt hier al buiten beschouwing omdat het element te groot is qua inbouwlengte en er in combinatie met het element een aluminium-koper legering gebruikt wordt om ervoor te zorgen dat het materiaal geen schade raakt (E3D, 2020).

Door het vooronderzoek is uitgevonden dat er een verwarmingselement boven de 40W gekozen moet worden voor 2,85mm materiaal. Voor het verwarmingselement wordt dus gekozen voor een 50W element welke tot maximaal 350°C ingezet worden (Anzado, 2020). Omdat dit een standaard onderdeel voor aluminium blokken is wordt er geen berekening hieraan doorgevoerd. De geschatte verwarmingstemperatuur van 2,85mm filament zal onder de 260°C liggen daar anders het PTFE-materiaal in de smeltzone kapot zal gaan.

4.2.2 Aandrijving

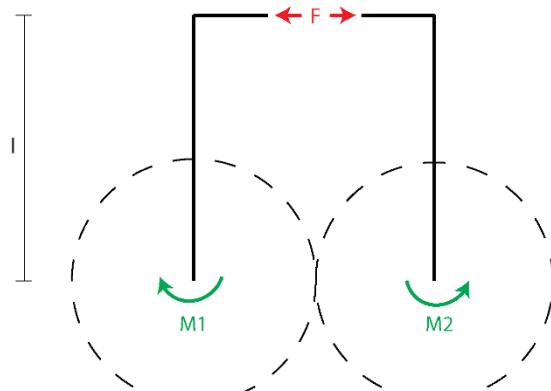
Door de aandrijving van alleen een tandwiel, welke zonder overbreng verhouding in de tweede tandwiel ingrijpt, zijn hier echter de benodigde krachten voor de motor relatief groot. Voor de berekening moet eerst de aanperskracht van de klemmen bepaald worden. Hiervoor is er een standaard PTFE-buis van een 3D printer met verschillende gewichten op een wegschaal gedrukt worden. Het gewicht van 500 gram blijkt voldoende te zijn om een PTFE-buis in te klemmen en de warmte te kunnen overdragen en daarmee de las tot stand te brengen. Uit het basisschema Figuur 13 en het gewicht omgerekend na de kracht $F = 4,9 N$ kan vervolgens het benodigde moment M voor de aandrijving berekend worden.

Geg: $F = 4,9 N$; $l = 86,77 mm$

Waarbij $l = \text{Lengte hefboom}$

$$M_1 = M_2 \quad (1)$$

$$2 * M_1 = 2 * F * l \quad (2)$$



Figuur 13 Basisschema aandrijving snijsysteem

$$M = F * l = 4,9 * 86,77 * 10^{-3} = \mathbf{0,425 Nm} \quad (3)$$

Voor optredende wrijving en voor een betrouwbare werking wordt er een veiligheidsfactor van $V_{marge} = 2$ bij deze waarde opgerekend wat in het volgende moment resulteert:

$$M_{veilig} = M * V_{marge} = 0,425 * 2 = 0,85 \text{ Nm} \quad (4)$$

Om deze kracht te verkleinen is ervoor gekozen een overbreng verhouding te gebruiken van $i = 2,5$. Deze waarde richt zo op het gebruik van NEMA 17 motoren die in een bereik van 0,1-0,5 Nm werken (Electric, 2020), betaalbaar zijn en met precisie aangestuurd kunnen worden. Met een overbreng verhouding van $i = 2,5$ wordt het nieuwe minimale moment:

$$M_{over} = \frac{M}{i} = \frac{0,85}{2,5} = 0,34 \text{ Nm} \quad (5)$$

Door het statisch ontwerp zijn hier geen dynamische krachten van toepassing. Een NEMA 17 motor met 5kg/cm, wat ongeveer 0,49Nm bedraagt, voldoet aan deze eis.

Voor de overbrenging moeten nu het aantal tanden worden berekend van de tandwielen. Hierbij speelt het beschikbare assortiment van de leveranciers vanuit Saxion een belangrijke rol. Een van de leveranciers die hiervoor geschikte onderdelen aanbiedt is Conrad.nl. Het kleinste tandwiel voor deze overbrenging moet een minimale steekcirkeldiameter van 10mm hebben met betrekking tot maakbaarheid en bewerkbaarheid daar de as van de motor 5mm in diameter bedraagt. Ook moeten er voor tandwielen met een flens gekozen worden welke ter bevestiging op de assen dienen. Daar het systeem door de afkoeling van de klemmen opgewarmd wordt is hier niet gekozen om de tandwielen te 3D printen daar standaard materialen hiervoor niet geschikt zijn ten opzichte van de warmtebestendigheid.

Hieruit volgt dat er voor een moduul van 0,5mm gekozen moet worden qua assortiment van Conrad. Daar voldoende ruimte in het systeem beschikbaar is, is er voor het kleine tandwiel 20mm als steekcirkeldiameter gekozen, dus 40 tanden. Dit resulteert voor het tweede tandwiel met $i = 2,5$ in:

$$z_2 = z_1 * i \quad (6)$$

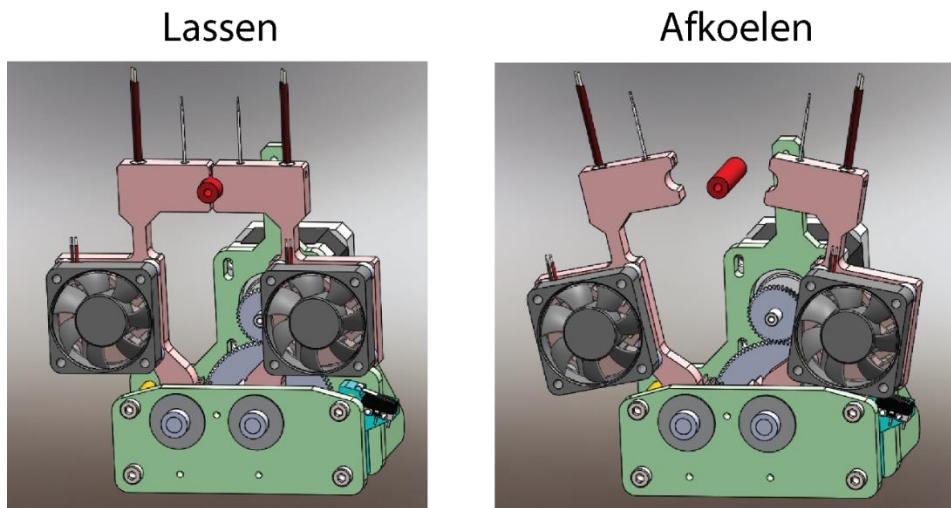
Waarbij $z = \text{tandenaantal}$ en $i = \text{overbreng verhouding}$

$$z_2 = 40 * 2,5 = \mathbf{100}$$

Een uitgebreide krachtenberekening voor de tandwielen is hier door de lage optredende krachten niet nodig. De gekozen tandwielen bestaan uit POM dat temperaturen tot 160°C weerstaan kan. Dit zal naar schatting voldoende zijn voor een betrouwbare werking onder de warmte invloed van de klemmen.

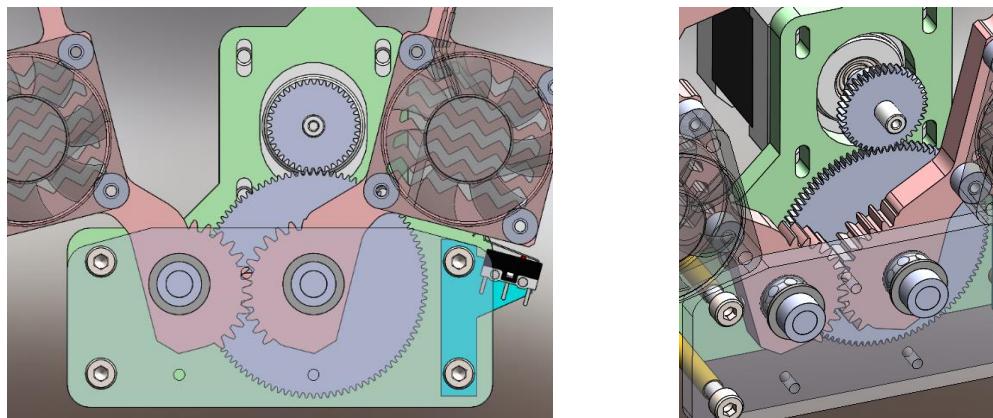
4.2.3 CAD-uitwerking

Het CAD-model hiervan is in de Figuur 14 te zien.



Figuur 14 CAD-model lassysteem

De tandwielen welke de klemmen bewegen zijn direct op de klemmen gemodelleerd zodat hier twee tandwielen bespaart kunnen worden. De openingshoek wordt door een mechanische schakelaar welke op het turquoise onderdeel in Figuur 15 bevestigd is beperkt. De NEMA 17 motor is in hoogte verstelbaar om eventuele fouten tijdens de productie te voorkomen.



Figuur 15 Overzichtstekening lassysteem

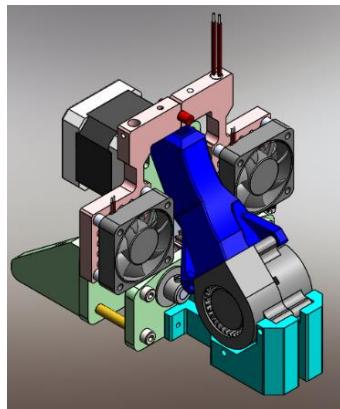
De twee inkoop tandwielen worden middels stelschroeven op de as bevestigd daar hier geen grote krachten opgewekt worden. De assen zijn door lagers met een flens gelagerd. Aan elk as uiteinde wordt een stelring achter het lager gemonteerd. Hierdoor is geen horizontale verplaatsing van de assen mogelijk.

Voor het bevestigen van de smeltzone zijn pneumatische koppeling gekozen die met de schroefdraadzijde in een geprint onderdeel worden geschroefd. De PTFE-buis wordt in de andere zijde ingedrukt en door middel van kleine haakjes vastgehouden.

Om een vaste afstand tussen de lagers te garanderen worden er afstandsbussen van messing tussen de platen gebruikt waar de lagers ingebouwd zijn. Het gehele systeem wordt er met 4x m4x50 schroeven samengehouden. Deze worden in de driehoekige platen onder de motor ingeschroefd,

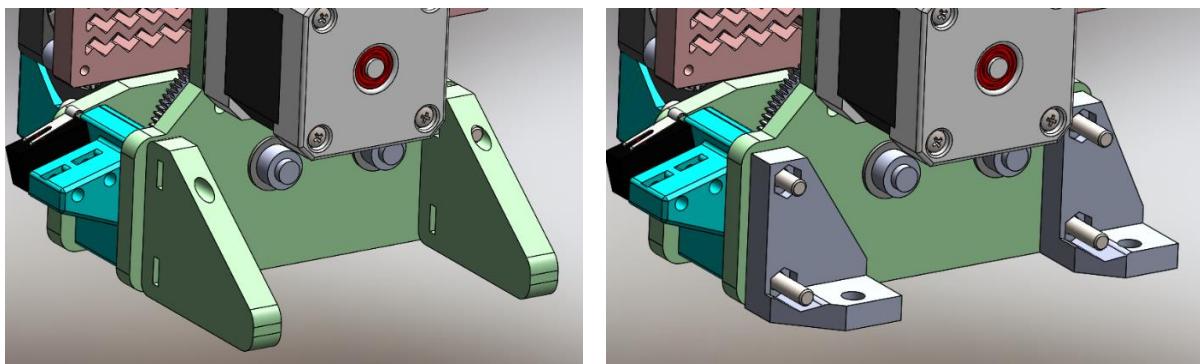
welke onder andere voor meer stabiliteit bijdragen daar de motor relatief veer naar achteren uitsteekt.

Voor de koeling van de smeltzone worden er twee compacte radiaal ventilatoren gebruikt die door een luchtkanaal (blauw gekleurd) direct de smeltzone afkoelen na het lassen (Figuur 16).



Figuur 16 Overzichtstekening lassysteem met koeling

Om het systeem op 20x20 aluminium profielen te kunnen monteren moeten alleen de ondersteuningsplaten van de motor uitgewisseld worden. Een voorbeeld hiervan is in Figuur 17 te zien.



Figuur 17 Voorbeeld aluminiumprofiel houders lassysteem

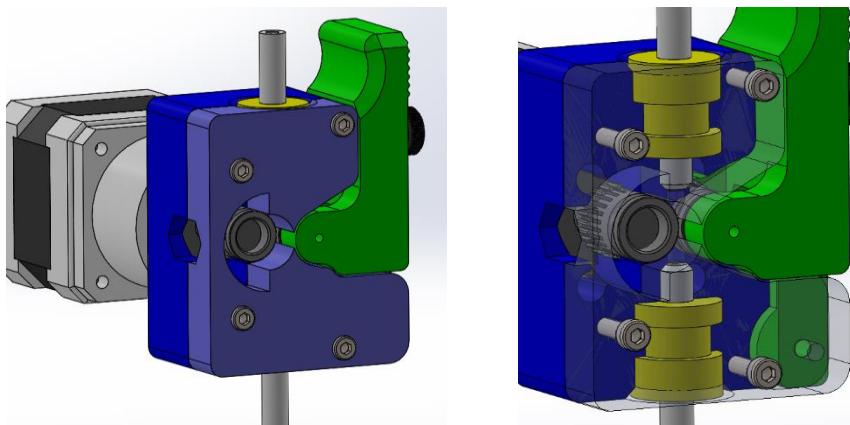
4.2.4 Filament aan elkaar drukken

De invoer van filament vindt semiautomatisch plaats. Dit betekent dat de gebruiker het filament een keer moet invoeren en de rest automatisch gebeurt. Hiervoor is een aandrijvende unit nodig die ervoor zorgt dat het filament door het systeem gevoerd wordt. Deze unit is onder andere ook verantwoordelijk het filament tijdens het lasproces aan elkaar te drukken. Voor het uiteindelijke concept is er gekozen dit door middel van twee in elkaar grijpende tandwielen om te zetten (Figuur 18).

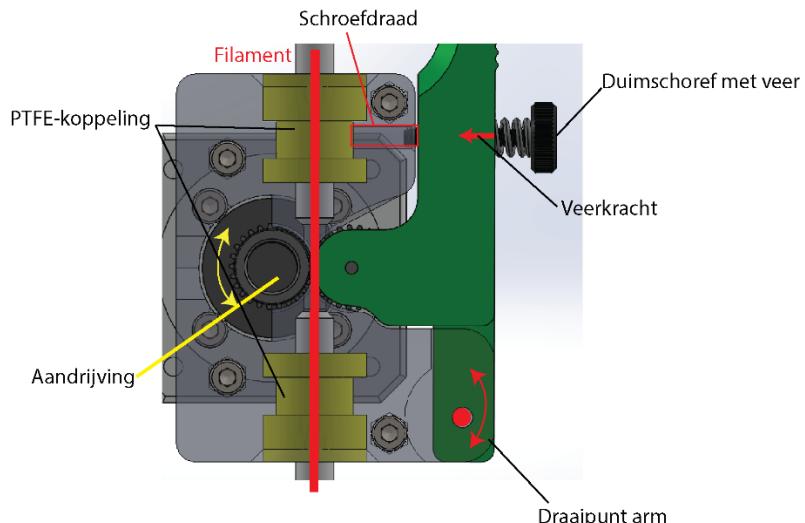


Figuur 18 Dual gear tandwielen (CDN-3D, 2020)

Bij 3D-printers wordt dit door middel van een extruder gedaan. Kwalitatieve extruder zijn voor dit project echter te duur waardoor het volgende systeem is ontstaan (figuurXX).



Figuur 19 Extruder systeem



Figuur 20 Werking extruder systeem

Dit systeem is met standaardonderdelen van een bestaande extruder ontworpen waardoor de kosten 40% lager zijn ten opzichte van een geassembleerde versie. De werking hiervan kan uit Figuur 20 afgeleid worden. Het filament, hier rood, wordt van boven naar beneden of zelfs andersom in de extruder ingevoerd. Het linker tandwiel wordt door een Nema 17 stappenmotor aangedreven. Door het filament wordt het rechter tandwiel op zij gedrukt tegen de duimschroef met veer die op een beweegbare arm bevestigd is. Hierdoor wordt het filament onder spanning in het profiel van de tandwielen ingedrukt. Dit maakt het mogelijk het filament te verplaatsen. Aan de ingang en uitgang wordt het filament door middel van een PTFE-koppeling en -buizen (hier geel en wit) tot vlak voor de tandwielen geleid om de wrijving zo minimaal mogelijk te houden.

Voor de aandrijving moest door de grootte van de tandwielen voor een Nema 17 met een tandwielkast gekozen worden omdat deze de passende as diameter heeft. Deze motor wordt ook voor de geassembleerde versie gebruikt. Ook hier is weer een stappenmotor nodig daar hierdoor nauwkeurig het aantal omwentelingen gestuurd kan worden. Daar de onderdelen standaardonderdeel in dezelfde uitvoering en toepassing zijn wordt hier geen berekening voor uitgevoerd. De spanning op het filament kan door de duimschroef aangepast worden zodat deze

altijd in het filament ingrijpt. Dit maakt het mogelijk in de toekomst ook andere typen filament te kunnen gebruiken die bijv. zachter zijn. Voor het verwijderen van filament uit de extruder is het mogelijk de duimschroef te demonteren en vervolgens het filament uit te trekken.

4.2.5 Prototype en testen

Lassen

De klemmen voor het prototype zijn door middel van waterstraal snijden geproduceerd om een makkelijke nabewerking mogelijk te maken (Figuur 21).



Figuur 21 Waterstraal gesneden onderdelen van het lassysteem

Bij het produceren door bijv. lasersnijden hard het materiaal aan de snijkanten uit wat vaak een nabewerking moeilijk maakt zonder warmte nabehandeling. Bij de assemblage bleek dat de gaten niet helemaal nauwkeurig gesneden zijn wat aan het proces van waterstraal snijden zal liggen. Hierdoor zijn de lagers voor de assen niet vast in de behuizing monterbaar. Dit is verder geen probleem voor de werking van het prototype daar lagers met een flens verbouwd zijn en deze op elk uiteinde met stelringen bevestigd zijn. De lagers zijn aanvullend met speciale lager lijm bevestigd. In Figuur 22 is het geassembleerde prototype te zien.



Figuur 22 Geassembleerde prototype lassysteem

Om het systeem te kunnen testen is er een programma geschreven welke de temperatuur door middel van de thermistoren afleest en vervolgens met een PID-controller de temperatuur regelt. Deze code is in *Bijlage H*. Het proces werd handmatig bestuurd daar dit voor een test voldoende was. De PID-waarden zijn met een automatische tuner onderzocht en geïmplementeerd voor dit systeem.

Voor de testen zijn volgende stappen uitgevoerd:

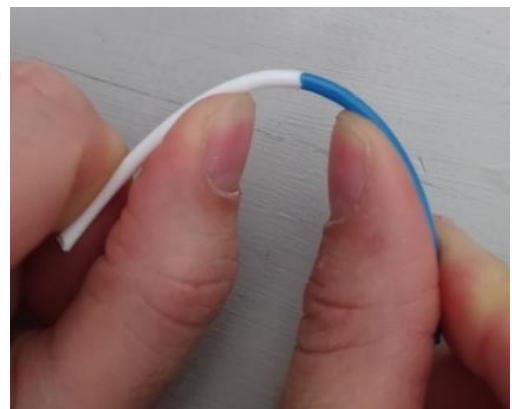
- 1) Klemmen opgewarmd
- 2) Filament uiteinden uitgelijnd in de PTFE-buis
- 3) Klemmen handmatig voor een bepaalde tijd dicht gehouden en tegelijkertijd de filamentuiteinden samengedrukt.
- 4) Klemmen opengedaan zodat een klem de eindschakelaar raakt en de koeling geactiveerd wordt.

Na het eerste opwarmen bleek dat de ventilatoren te goed afkoelen en de doeltemperatuur niet bereikt wordt. Vervolgens is het vermogen van de ventilatoren op 50% gezet waardoor dit geen probleem meer was. De klemmen worden hierdoor veel warmer aan de onderkant maar beïnvloeden echter niet de werking van het systeem daar de meeste onderdelen van aluminium gemaakt zijn en hierdoor als koellichaam dienen.

Hierna zijn testen met temperaturen van 220-250°C uitgevoerd. Succesvolle resultaten zijn bij een lastijd van 50sec en 250°C bereikt (Figuur 24).



Figuur 24 Resultaat lassen bij 250°C en 50 sec.



Figuur 24 Buigtest lasresultaat

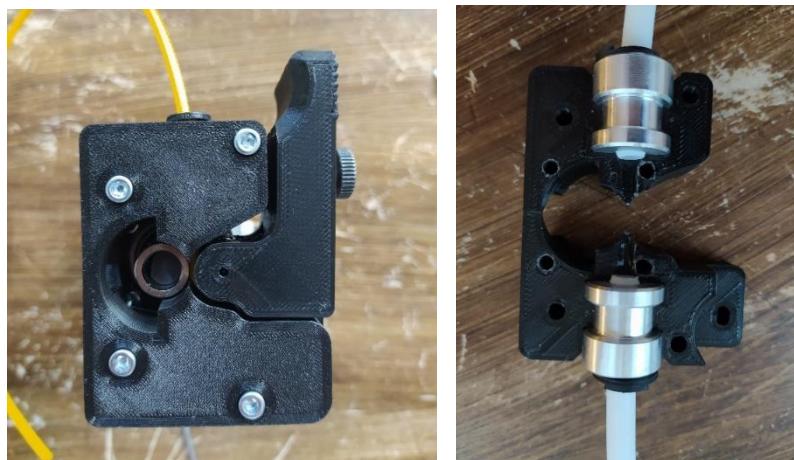
Zoals te zien in Figuur 24 is het filament voldoende sterk. Zo een beweging zal nooit natuurlijk optreden maar bevestigt de sterkte van de las. De tolerantie ligt hierbij op +0.1mm wat precies aan de gestelde eis voldoet.

Het luchtkanaal werkte echter nog niet efficiënt genoeg omdat er rond een minuut afkoeltijd nodig geweest is. Dit zal bijvoorbeeld door een kanaal die om het PTFE-buis valt beter omgezet kunnen worden.

Een gedetailleerde tekening van deze assemblage is in *Bijlage I* te vinden.

Filament aan elkaar drukken

Voor een test is de extruder met standaard 3D printer software op een 3D-printer moederboard aangestuurd worden. Hieruit bleek dat het systeem werkt. Gebogen filament is geen probleem daar het nergens anders als door de extruder doorheen kan. De extruder is in staat het filament zelf in te trekken. Hieronder is het prototype weergegeven (Figuur 25).



Figuur 25 Prototype extruder

In de rechter afbeelding is te zien dat de PTFE buizen tot vlak voor de tandwielen ingebouwd zijn. Hierdoor treedt er alleen tussen de twee buizen hogere wrijving op en niet in het hele systeem. Daar het FDM-proces minder geschikt is voor hoge resoluties in de z-richting is er een test met het DLP print proces gemaakt om nog betere resultaten te verkrijgen (Figuur 26). DLP printen werkt met photopolymeren als materiaal welke door een lcd-scherm uitgehard worden. Hierdoor kunnen laaghoogten tot 0,001mm bereikt worden. Bij het FDM-proces is afhankelijk van de printer vaak alleen een laaghoogte tot 0,06mm mogelijk.



Figuur 26 Extruder lichaam geprint met het DLP-proces

Na meerdere testen is er geen verschil in de werking bereikt waardoor uiteindelijk voor het FDM-proces gekozen is daar het materiaal betere eigenschappen heeft. De inkerving van de tandwielen op het filament zijn nauwelijks te zien waardoor naar inschatting het lasproces niet beïnvloed wordt.

Een overzichtstekening is in *Bijlage J* te vinden. Een stappenplan voor de montage wordt in *Bijlage K* behandelt.

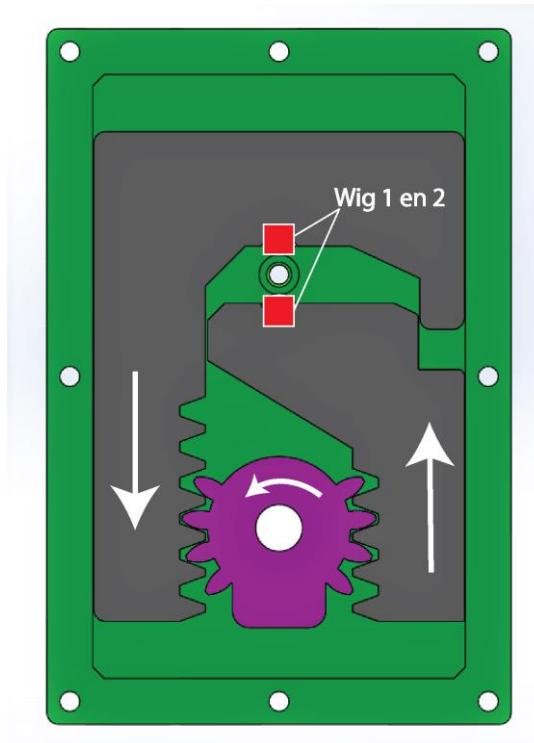
4.3 Snijsysteem

Voor het snijsysteem, baserend op het gekozen snijtang principe, zijn voorafgaand enkele testen nodig om de benodigde snijkracht te onderzoeken. Deze wordt benodigd om de aandrijving voor dit systeem te kunnen berekenen. Alle resultaten van deze testen zijn in *Bijlage L* te vinden.

Concluderend kan gesteld worden:

- Snijmessen zijn hiervoor niet geschikt
- Geharde wig gebruiken
- $\approx 200N$ snijkracht nodig bij twee parallelle wiggen
- Geen voorverwarming toepassen daar anders de betrouwbaarheid vermindert en de doorlooptijd verhoogd wordt.
- Wiggen strak uitlijnen voor beter resultaat

Om ervoor te zorgen dat het filament tijdens het doorvoeren door het snijsysteem niet een van de wiggen raakt en hierdoor hangen blijft, moeten deze beweegbaar zijn. Hierdoor is het volgende systeem ontstaan (Figuur 27).



Figuur 27 Snijsysteem werkschema

Aangedreven worden de twee wighouders door een tandwiel welk links om draait. Door deze beweging wordt de linker houder naar beneden en de rechter naar boven gedrukt wat ervoor gezorgd dat het filament afgeknipt wordt. Na het knippen worden de houders weer terug beweegt zodat het filament ongehinderd door het systeem gevoerd kan worden.

4.3.1 Aandrijving

De berekeningen voor de aandrijving met uitgebreide toelichting is in *Bijlage M* te vinden. De resultaten hiervan zijn:

Benodigde motorvermogen: $M = 8,3 \text{ Nm}$

Gekozen motor: Dc-motor met tandwielkast $M_{mot} = 3,9 \text{ Nm}$

Overbrengverhouding, moduul en tandenaantal: $i = 2,2 ; m = 2; z_1 = 15 ; z_2 = 33$

Draaimoment motor met overbrenging: $M_{max} = 8,58 \text{ Nm}$

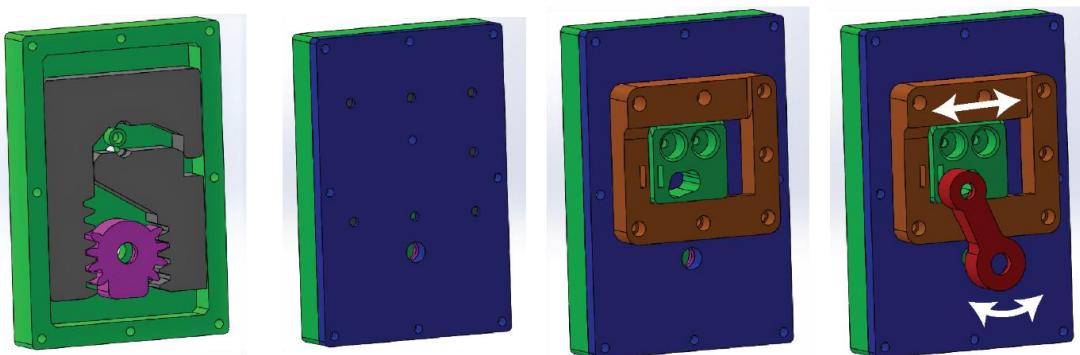
Optredende spanning incl. veiligheidsmarge op de tandvoet bij een tandwielbreedte van $b = 12\text{mm}$: $\sigma_{V0} = 47,32 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Maximaal toelaatbare spanning van gekozen 3D-printer materiaal (PC) voor productie: $\sigma = 59,7 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

De optredende en de toelaatbare spanning liggen relatief dicht bij elkaar. Daar de optredende spanning alleen heel kort optreed zal dit echter geen probleem zijn.

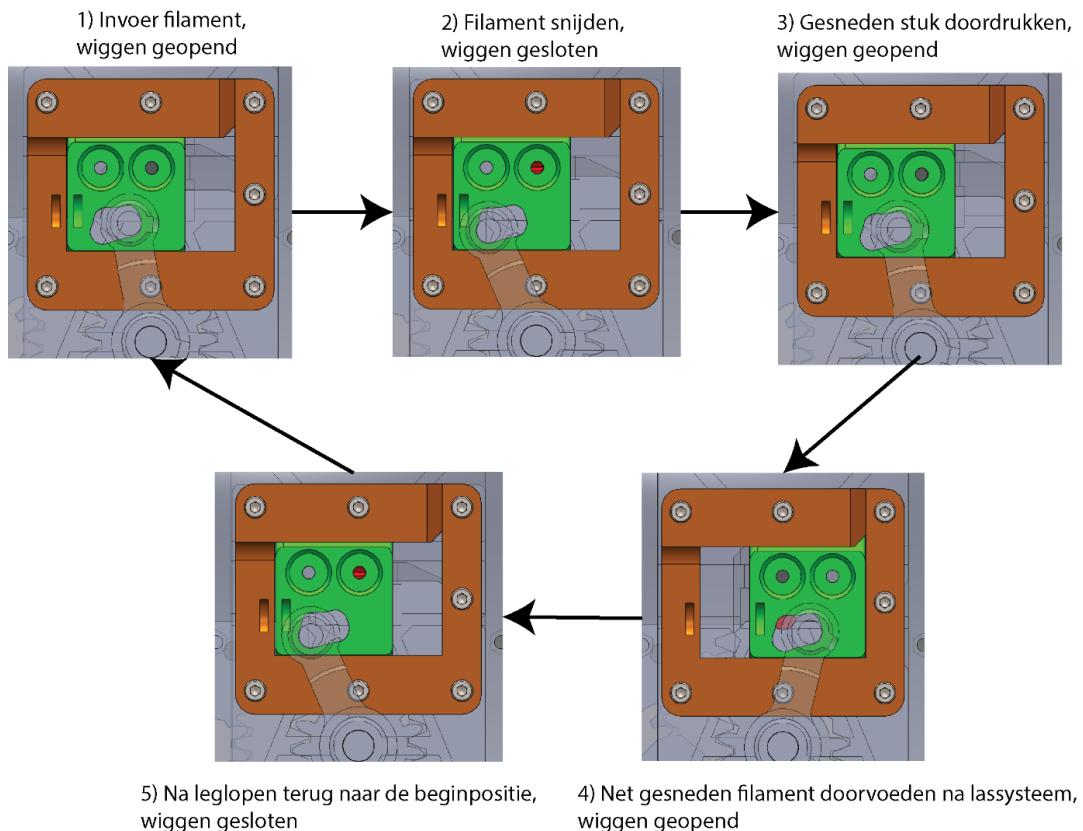
4.3.2 Uitwerpmechanisme

Voor het snijproces is het belangrijk dat het afgesneden stuk filament na het snijden uitgeworpen wordt. Om het systeem niet onnodig complex te maken is ervoor gekozen deze mechanisme op het systeem te integreren en door dezelfde as aan te drijven. Een opbouw hiervan is in Figuur 28 weergegeven.



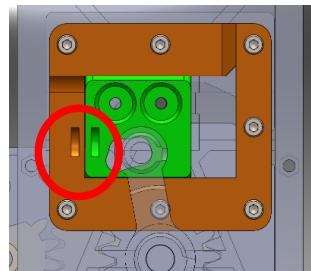
Figuur 28 Opbouw uitwerpmechanisme

Het mechanisme wordt op de deksel, hier blauw ingekleurd, gemonteerd. Hierop wordt een raam (bruin) met een slider (groen) gemonteerd. Deze slider kan door een v-vormig groef alleen nog axiaal bewegen. De aansturing wordt door middel van de rode arm omgezet welke op de aangedreven as gemonteerd wordt. Hierdoor wordt bij het snijproces de slider beweegt en zo tussen twee verschillende output slangen voor het filament heen en weer geschakeld. Een output dient hierbij als opslagslang voor de afgesneden stukken en een voor het doorvoeren naar het lassysteem. Een gedetailleerde omschrijving van dit proces is in Figuur 29 te zien.



Figuur 29 Proces uitwerkmechanisme

De slider zit op moment van het invoeren van het filament los in de raam wat tot problemen kan leiden. Om dit te voorkomen wordt de slider op deze positie door twee magneten in de slider en in de raam op zijn plek gehouden tijdens het invoer proces (Figuur 30).



Figuur 30 Plek van geïntegreerde magneten van het uitwerpmechanisme

Daar tijdens het snijproces geen beweging van de slider plaats vindt zou dit geen invloed op de benodigde motorkracht hebben.

4.3.3 Prototype en testen

Het eerste prototype is met het materiaal PLA geproduceerd daar nog geen PC beschikbaar was. Dit zal verder geen invloed op de werking hebben daar vooraf berekend is dat ook PLA voldoende stijf is. Met een 3D geprinte arm van 100mm, gemeten vanaf het center van de as, zijn er meerdere manuele testen uitgevoerd (Figuur 31).



Figuur 31 Prototype snijstelsel met manuele aandrijving

Het tandwiel liep naar ca 100 keer snijden langzaam los. Om deze reden is ervoor gekozen een mounting hub voor de uiteindelijke bevestiging te gebruiken en de stelschroeven vast te lijmen (Figuur 32).



Figuur 32 Mounting hub (Pololu, 2020)

De snijkracht met de 100mm arm is vervolgens op een wegschaal opgemeten om de theoretische berekeningen te controleren. Dit dient alleen ter referentie daar hier veel ruis inzit. Voor het snijden was er rond de 8kg nodig wat tot het volgende moment op de as leidt:

$$M_{as} = m * g * l = 8 * 9.81 * 100 * 10^{-3} = 7,85 \text{ Nm} \quad (7)$$

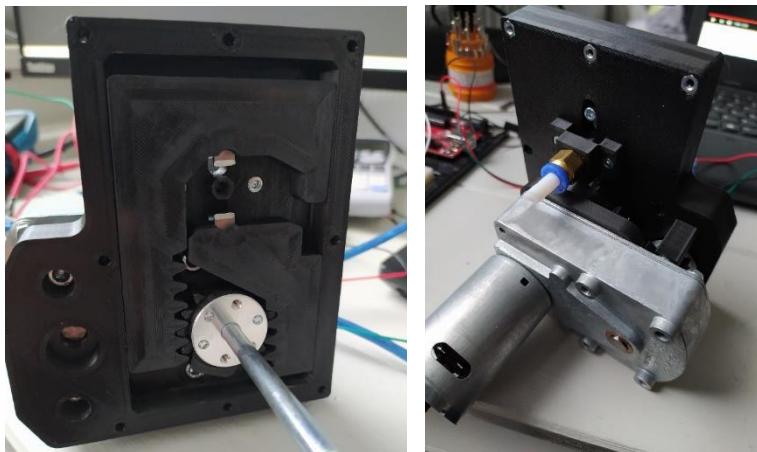
Vergelijken we nu het berekende motor moment hiermee:

$$M_{mot} \geq M_{as} \quad (8)$$

$$\mathbf{8,58 \text{ Nm} \geq 7,85 \text{ Nm}}$$

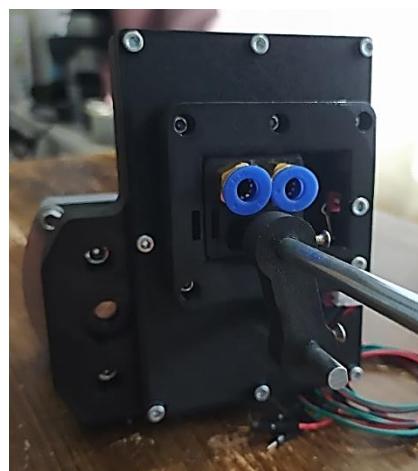
De motor zal volgens de berekening dus sterk genoeg zijn om het systeem aan te drijven en heeft nog een kracht buffer zoals gepland.

Met deze conclusie is vervolgens een prototype met de motor als aandrijving gebouwd (Figuur 33).



Figuur 33 Prototype snijssysteem met motoraandrijving

Naar meerdere testen bleek dat de motor niet genoeg kracht op kan brengen om het filament te kunnen snijden. Voor deze testen is een H-brug als aansturing gebruikt. Om uit te sluiten dat dit het zwaktepunt van het systeem is, is de DC-motor direct op een lab voeding aangesloten welk uitrekend vermogen had. Echter is het resultaat hierdoor niet veranderd. Op de website van de leverancier van de motor was alleen aangegeven dat de motor een maximaal uitgaand moment van 3,9Nm heeft. Dit zal volgens de berekening met de gebruikte vertraging op een moment van 8,58Nm resulteren. Het minimale moment zonder veiligheidsmarge voor het snijden ligt bij rond de 6Nm. De berekening klopt dus wat ook vooraf bevestigd was door een manuele snijtest. Bij de specificatie van 3,9Nm wordt dus waarschijnlijk het houdkoppel van de motor bedoelt welk niet specifiek beschreven is op de website. De houdkoppel van een motor geeft aan hoeveel kracht de motor op stilstand op kan brengen. Deze is vaak dubbel zo groot als het eigenlijke moment tijdens de beweging van de motor. Daar het principe werkt moet voor een werkend prototype alleen een nieuwe motor of een nieuwe vertraging verbouwd worden. Hiervoor moet eerst het daadwerkelijke moment van de motor onderzocht worden. De volledig geassembleerde prototype is in Figuur 34 te zien. Aan de motor en de behuizing zijn meerdere bevestigingspunten waar eenhouder voor de bevestiging op 20x20 aluminium profielen vast gemaakt kan worden.



Figuur 34 Volledig geassembleerde prototype van het snijssysteem

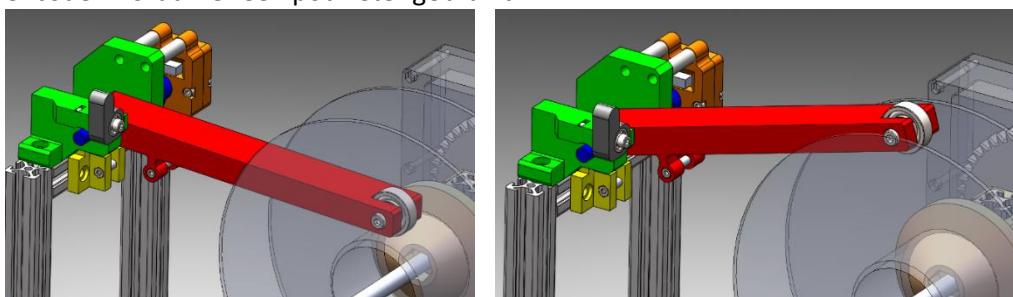
Een overzichtstekening van deze systeem is in *Bijlage N* te vinden. Een stappenplan voor de montage wordt in *Bijlage O* behandelt.

4.4 Opwikkelsysteem

Voor het opwikkelen van het filament zijn twee dingen van belang, de snelheid en de techniek van opwikkelen. Vervolgens wordt eerst de snelheid van het opwikkelen behandelt en aansluitend de techniek. Door het systeem welk de snelheid controleert wordt automatisch gemeten hoeveel materiaal op de spoel zit.

4.4.1 Snelheid opwikkelen

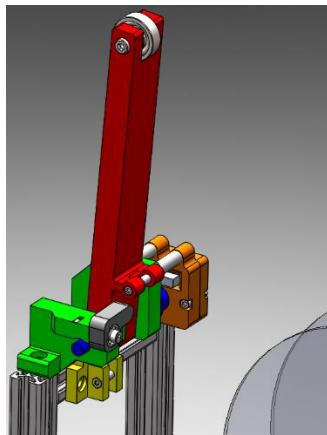
Tijdens het opwikkelen verandert de diameter op de spoel. Hierdoor moet de snelheid van opwikkelen automatisch bijgesteld wordt. Ook moet het systeem herkennen wanneer een spoel vol is. De oplossing die voor het eindconcept gekozen wordt is een spring loaded encoder (Figuur 35). Als encoder wordt hier een potmeter gebruikt.



Figuur 35 Snelheid opwikkelen systeem

De rode arm bevindt zich onder spanning door een trekveer (wordt tussen het rode en het gele onderdeel verbouwd) en wordt hierdoor naar beneden op de spoel gedrukt (hier transparant). Deze arm is met de blauwe as verbonden. Doordat de diameter tijdens het opwikkelen verandert wordt de arm naar boven beweegt. De arm wordt door middel van stelringen op de as bevestigt welke in de arm ingesmolten worden. Deze beweging wordt door de blauwe as aan de blauwe koppeling overdragen die aan een potmeter vastzit welke zich in de bruine kast bevindt. Voor de verbinding is een starre koppeling gekozen om fouten door spelting te voorkomen. Daarmee de rode arm beter op de spoel geleid is aan het rechter uiteinde een kogellager gemonteerd. Het systeem kan op een 20x20 aluminium profiel bevestigd worden en afhankelijk van de spoel breedte naar links of rechts verschoven worden.

Tijdens het monteren van een spoel kan de arm naar boven beweegt en met de zwarte arm ter plekke gehouden worden. Deze is door middel van een kogellager beweegbaar op het groene onderdeel bevestigd (figuurXX).



Figuur 36 Systeem stand tijdens het monteren van een spoel

Om de snelheid van de spoel te bepalen moet een maximale omwentelingssnelheid vast gelegd worden. Aan de hand van deze waarde kan dan de snelheid voor de veranderende diameter berekend worden.

De maximale snelheid is experimenteel bepaald door middel van een lege spoel op een spoelhouder manueel te draaien en hierbij de tijd te stoppen voor een omwenteling. Als maximale tijd wordt $t = 5\text{s}$ aangehouden bij een radius r van 51mm . Hiermee kan de hoeksnelheid ω en de tangentiele snelheid v berekend worden.

$$v = \omega * r \quad (9)$$

$$\omega = \frac{2\pi}{t} = \frac{2\pi}{5} = \frac{2}{5}\pi \quad (10)$$

Formule (9) invullen geeft

$$v = \frac{2}{5}\pi * 51 = 64.08 \frac{\text{mm}}{\text{s}} \approx 64 \frac{\text{mm}}{\text{s}}$$

Deze snelheid zal niet overschreden worden onafhankelijk van de veranderende diameter. Om voor het programmeren automatisch de benodigde hoeksnelheid te laten bereken moet vgl. (9) omgesteld worden na:

$$\omega = \frac{v}{r} \quad (11)$$

In deze formule moet alleen nog de actuele diameter ingevuld worden om de motor met de juiste snelheid te kunnen sturen. De radius moet hierbij eerst experimenteel onderzocht worden als de machine gebouwd is. De ADC-waarde van het potmeter en de hoek van de arm die op de rol legt wordt dan na een radius omgerekend en in vgl. (11) ingevuld.

4.4.1.1 Aandrijving

Daar nu de snelheid bekend is kan vervolgens de benodigde motorkracht voor het aandrijven van de spoel berekend worden. De spoel zelf wordt door een klem op een as gemonteerd en door middel van een motor aangedreven. Het gaat hierbij om een spoel van het merk ICE welk hoofdzakelijk gebruikt wordt in het FabLab. Dit is een eis voor deze opdracht. Hiervoor is het traagheidsmoment van de spoel belangrijk. Voor de uitgebreide berekening wordt na *Bijlage P* verwezen. De resultaten hiervan zijn:

Gewicht spoel: $m = 1,8\text{kg}$

Benodigd motorvermogen: $M = 3,55 \text{ Nm}$

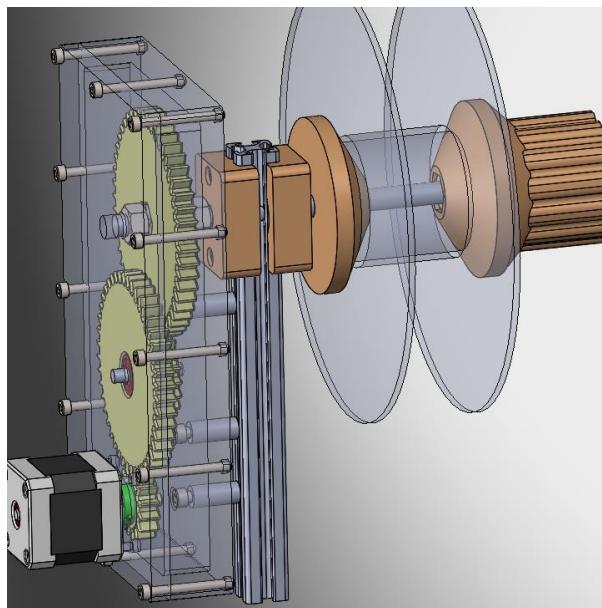
Gekozen Motor: Nema 17 $M_{Nema} = 0,5 \text{ Nm}$

Overbrengverhouding, moduul en tandenaantal met gekozen motor:

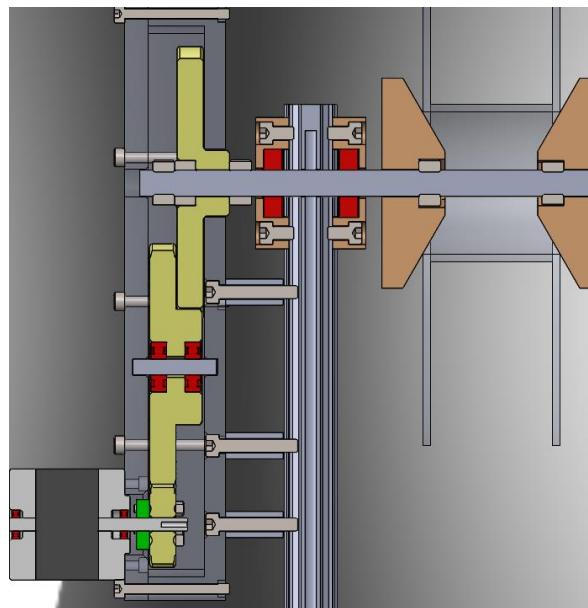
$$i_{ges} = 7,5; i_1 = 3; i_2 = 2,5; m = 2; z_1 = 15; z_2 = 45; z_3 = 20; z_4 = 50$$

Draaimoment motor met overbrenging: $M_{max} = 3,75 \text{ Nm}$

Met deze berekening is het volgende systeem in CAD uitgewerkt (Figuur 38).



Figuur 38 Opwikkelsysteem CAD-tekening



Figuur 38 Opwikkelsysteem doorsnede

Dit systeem kan makkelijk op een 20x20 aluminium gemonteerd worden. Er moet alleen een gat van 10,5mm Ø voor de as geboord worden. In Figuur 38 is een doorsnede van het systeem weergegeven. De rode onderdelen zijn lagers met verschillende afmetingen. Ook wordt hier weer een motor hub gebruikt om het aan drijvende tandwiel op de motor te kunnen monteren, hier groen gekleurd. Door middel van schuine spoelhouders wordt de spoel ingeklemd en automatisch uitgelijnd. Hierdoor kunnen ook spoelen met een andere binnendiameter gebruikt worden. Als as wordt er een M10 draadstang gebruikt. Alle onderdelen op de as worden met M10 moeren vastgezet en waar nodig met een contramoer vastgeschroefd. De tandwielkast wordt door middel van geprinte afstand buizen op het aluminium profiel vastgeschroefd.

4.4.1.2 Veerspanning

De arm van dit systeem mag niet te hard op de lopende spoel drukken tijdens het proces. Hiervoor moet een passende veer gekozen worden. Een uitgebreide berekening hierover kan in *Bijlage Q* gevonden worden.

De resultaten hiervan zijn:

Maximaal toelaatbare kracht op de spoel: $F_{spoel_{max}} = 3N$

Gekozen veer gegevens: $l_0 = 28,05mm$; $l_{max} = 100,2$; $R = 0,275 \frac{N}{mm}$

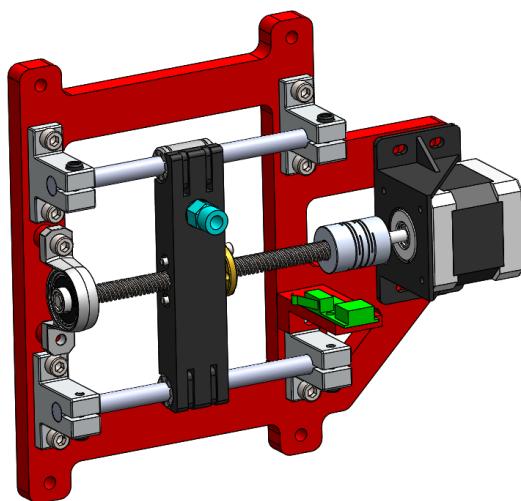
Optreden krachten met gekozen veer bij een lege (F_{spoel_1}) en volle spoel (F_{spoel_2}):

$$F_{spoel_1} = 1,29N; F_{spoel_2} = 2,55N$$

De optredende kracht blijven onder de maximaal toelaatbare krachten met de gekozen veer.

4.4.2 Opwikkeltchniek

Om geen problemen bij het opwikkelen te introduceren is het van belang dit proces te controleren. Zoals bij de conceptkeuze omschreven wordt dit met een links en rechts beweging omgezet. Hieruit volgt het volgende principe (Figuur 39).



Figuur 39 Opwikkeltchniek principe

De motor op de rechterzijde drijft door middel van een koppeling een TRx8x2 draadstang aan. Deze maat is gekozen omdat hierdoor een nauwkeurige aansturing mogelijk is (2mm per omwenteling) en trapezium draadstangen minder gevoelig voor slijtage ten opzichte van metrische draadstangen zijn. Per omwenteling van de spoel moet dit systeem 3mm naar links of rechts bewegen, afhankelijk van de actuele positie. Op de draadstang zorgt een TR8 moer uit messing voor betere geleiding welke op het zwarte blok bevestigd is. In deze blok is een PTFE-koppeling (turquoise) gemonteerd waardoor het filament gevoerd wordt na het lassen. Na een omdraaiing van de spoel wordt de zwarte blok om 3mm naar links of rechts beweegt, afhankelijk van de actuele positie. Hierdoor wordt het filament netjes op de spoel gewikkeld. De nul positie wordt door een mechanische eindeschakelaar (groen)

bepaald. Hierdoor moet de gebruiker alleen de breedte van de spoel in het systeem aangeven. Hierdoor wordt bepaald hoever het zwarte blok na links mag rijden. De assemblage kan vervolgens op 20x20 aluminium profielen gemonteerd worden met een hartafstand van 120mm door middel van de vier gaten aan de buitenrand van het model.

4.4.2.1 Aandrijving techniek

Voor de aandrijving is gepland ook een Nema 17 motor met 5kg.cm te gebruiken om alle motoren door een controller te kunnen sturen. Daar dit systeem niet veel kracht nodig heeft wordt dezelfde motor zoals voor de andere systemen gebruikt omdat deze goedkoop en sterk genoeg is. Om dit te verifiëren wordt globaal berekend hoeveel vermogen het systeem nodig heeft. Als aanname wordt ervan uitgegaan dat de axiale kracht die nodig is om het zwarte blok te bewegen 10N is en er een weg van 3mm per beweging plaats vindt. Met de algemeen vermogen formule:

$$P = \frac{F * s}{t} \quad (\text{waarbij } F = \text{kracht}, s = \text{weg}, t = \text{tijd}) \quad (12)$$

Als de beweging in $t = 0.5s$ moet plaatsvinden:

$$P = \frac{10 * 3 * 10^{-3}}{0,5} = 0.06W$$

Vergelijken we dit met het maximale elektrische vermogen zonder verliezen van de motor die op 24V en 1,5A max loopt:

$$P_{elek} = U * I = 24 * 1,5 = 36W \quad (13)$$

Hieruit blijkt dat de optredende krachten verwaarloosbaar klein zijn. Dit komt vooral door de lage versnellingen van het systeem waaruit lage krachten resulteren. Algemeen moet de spoed, de wrijvingscoëfficiënt, manier van lagering en het traagheidsmoment van het systeem mee berekend worden wat hier niet van belang is door de lage krachten.

4.4.3 Prototype en testen

Snelheid opwikkelen

Het prototype voor de encoder is op 20x20 aluminium profielen getest zoals in Figuur 40 te zien. Uit deze test bleek dat het systeem zoals verwacht werkt en de kracht van de arm die op de rol geleid niet te groot is. De arm kan makkelijk naar boven beweegt worden om een spoel te wisselen.



Figuur 40 Encoder systeem prototype

Een overzichtstekening met alle onderdelen is in *Bijlage R* te vinden.

Aandrijving opwikkelen

De aandrijving is zonder aluminium profielen getest daar dit voor de werking niet van belang is. Het prototype hiervan is in Figuur 41 te zien.



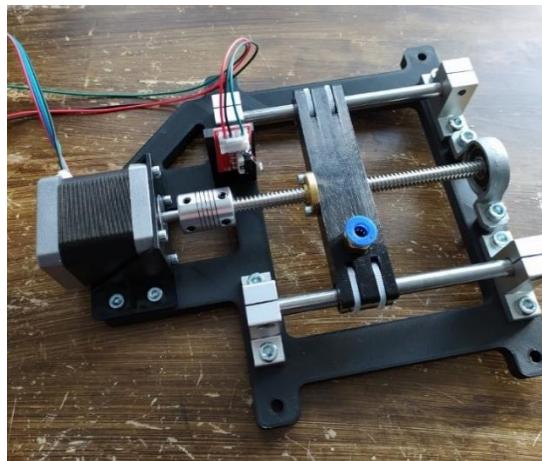
Figuur 41 Prototype aandrijving opwikkelen

Als test is er een 1kg filament spoel op het systeem gemonteerd wat overeenkomt met een nieuwe spoel van het merk ICE Filaments. Als aansturing is hier weer een 3D printer moederboard gekozen met het programma Pronterface waardoor de snelheid makkelijk gestuurd kon worden. Het systeem is met een snelheid van $v = 64 \text{ mm/s}$ zoals aan het begin van dit hoofdstuk berekend getest. Het systeem werkte met deze snelheid zonder problemen wat de berekeningen hiervoor bevestigt. Voor de uiteindelijke machine wordt aangeraden de tandwielen met vet te smeren om te wrijving in de tandwielkast klein te houden.

Een overzichtstekening met alle onderdelen is in *Bijlage S* te vinden.

Opwikkeltechniek

In Figuur 42 is het prototype voor de opwikkeltechniek te zien. Deze is getest door middel van de motor links en rechts aan te sturen door middel van het programma Pronterface en een 3D printer moederboard.

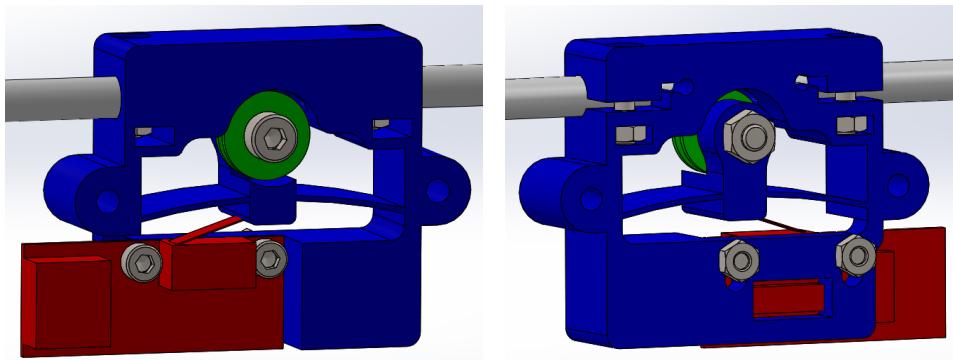


Figuur 42 Prototype opwikkeltechniek

Een overzichtstekening met alle onderdelen is in *Bijlage T* te vinden.

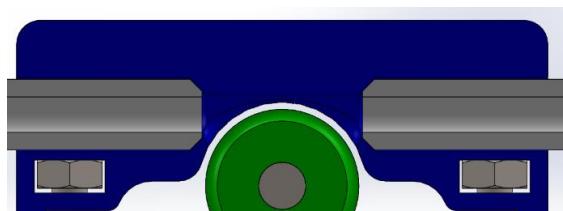
4.5 Filament-invoersysteem

Het laatste deelsysteem bevat zich met het herkennen van het filament en de geleiding door het systeem. Voor het herkennen van het filament is er een mechanische schakelaar gekozen. Deze moet echter in een behuizing geïntegreerd worden om goed te werken. Belangrijk is hierbij dat het mogelijk is filament van links en rechts in te kunnen voeren omdat de uiteindelijke machine in twee richtingen zou werken. Hieruit is het volgende systeem ontstaan (Figuur 43).



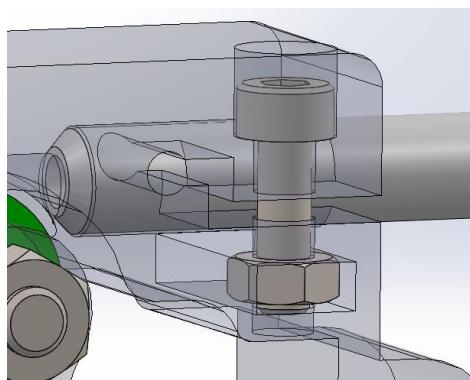
Figuur 43 Filamentsensor CAD-tekening

De mechanische schakelaar, hier rood, wordt op de blauwe behuizing vastgeschroefd. Een langer gat in de behuizing maakt het mogelijk de schakelaar nauwkeurig af te stellen. In het midden van de behuizing wordt een groefkogellager (hier groen) gemonteerd waarover het ingaande filament langs geleid. De invoer in de behuizing wordt door middel van PTFE-slangen omgezet die aan het einde een schuine kant hebben en zich hierdoor in de behuizing zelf centreren (Figuur 44). Deze slangen worden voor de geleiding door het gehele systeem gebruikt. Bij elk deelsysteem zal hiervoor een PTFE-koppeling voor de verbinding dienen.



Figuur 44 Filamentsensor doorsnede

De PTFE-buizen worden in de behuizing vastgeklemd waardoor de sensor gemakkelijk in het systeem geïntegreerd kan worden (Figuur 45).

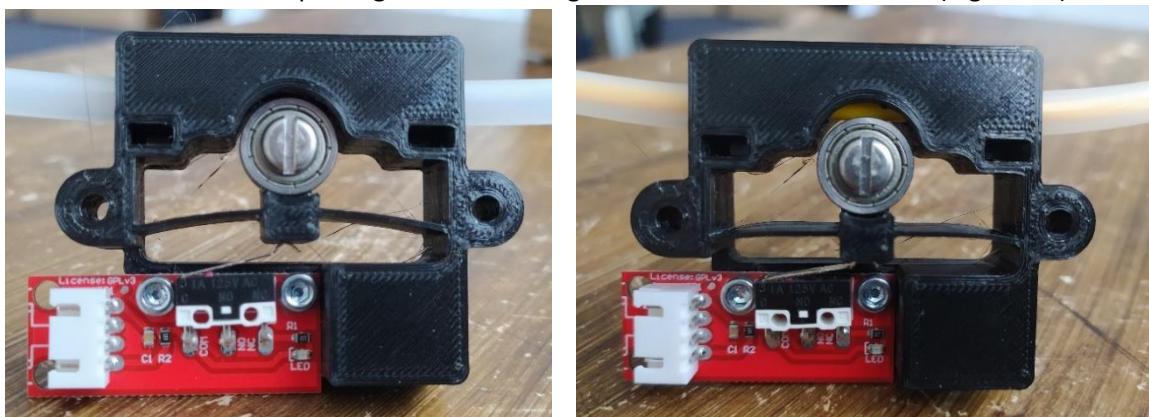


Figuur 45 Filamentsensor PTFE-inklemming

Bij invoer van filament wordt het groene kogellager naar beneden gedrukt en hierdoor de mechanische schakelaar in werking gezet. Tijdens het doorvoeren van materiaal door de sensor geleidt dit over de groef van het kogellager om wrijving klein te houden. Door de opbouw van de behuizing veert de kogellager automatisch terug naar zijn uitgangspositie als geen filament aanwezig is. PLA is hier als materiaal echter niet geschikt omdat het te broos is. Daar hier een flexibel maar toch stijf materiaal nodig is, is er voor PETG gekozen welk hieraan voldoet.

4.5.1 Prototype en testen

Na enkele tolerantie aanpassingen van het design werkte deze zoals verwacht (Figuur 46).



Figuur 46 Prototype filamentsensor

De optredende weerstand van dit systeem zal naar schatting de werking van de machine niet beïnvloeden. Ter bevestiging in het systeem kan de sensor met twee gaten aan eenhouder bevestigd worden of alleen door de inklemming van de PTFE-buizen.

Een overzichtstekening kan in *Bijlage U* gevonden worden.

5 Implementatie deelsystemen

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden alle geteste deelsystemen in een machine geïmplementeerd. Doordat alle systemen modulair opgebouwd zijn is het mogelijk deze op standard 20x20 aluminium profielen te monteren. Met deze informatie wordt vervolgens een basisschema voor benodigde de software toegelicht.

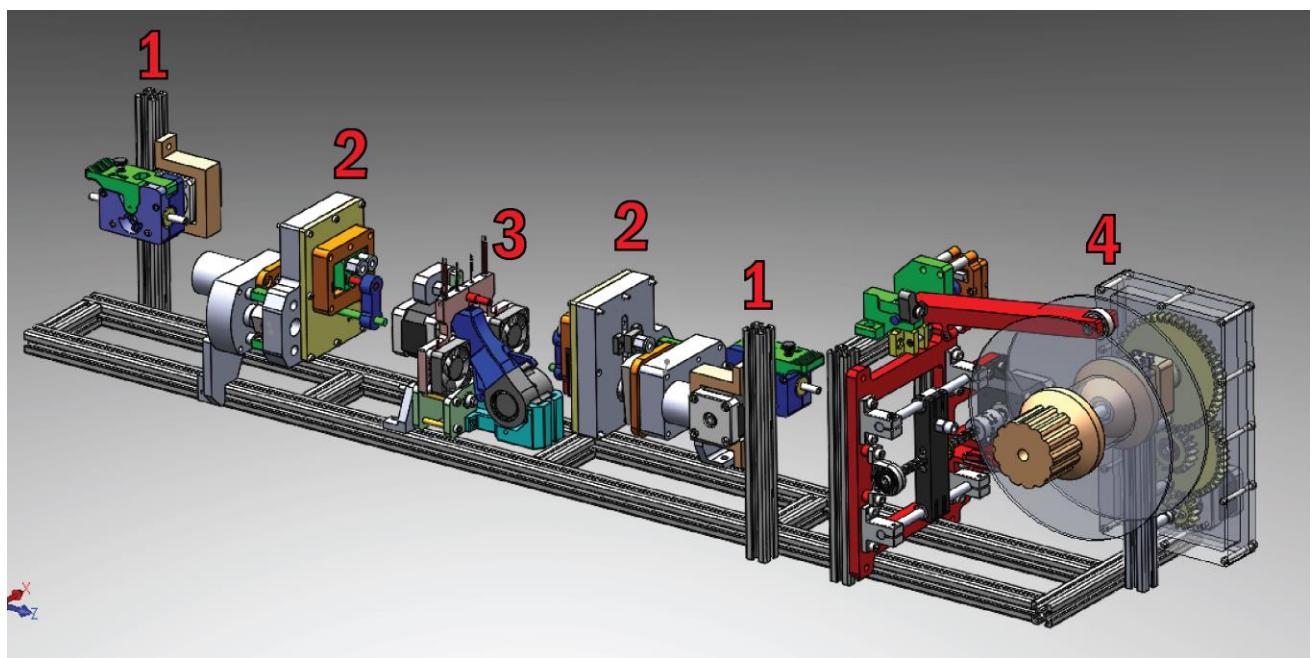
5.2 Assemblage machine

Op basis van de eisen moet de machine de taken van de enkele deelsystemen in de volgende volgorde uitvoeren:

1) Filament invoeren → **2)** Uiteinden afsnijden → **3)** Lassen → **4)** Filament op een spoel wikkelen

Stap 1) en 2) worden hiervoor twee keer benodigt omdat het systeem twee losse stukken filament aan elkaar moet lassen hierdoor een invoer en een snijsysteem aan de voor en achterkant benodigd.

Hieruit volgt de volgende opbouw (Figuur 47).



Figuur 47 CAD-tekening uiteindelijke machine

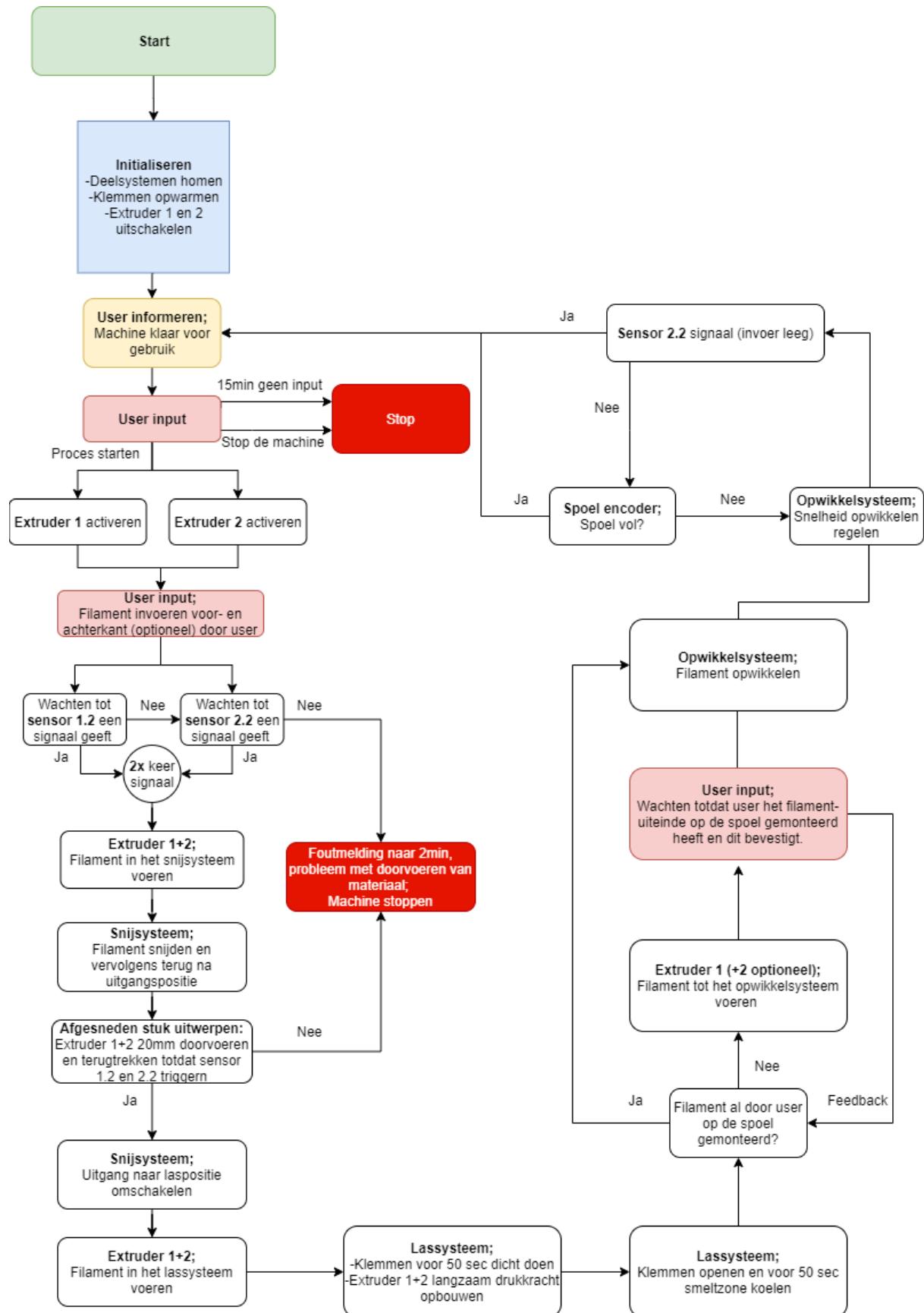
Dit opbouw is modulair en kan aangepast worden. Hierdoor kan elke deelsysteem door een andere vervangen worden. Elke deelsysteem wordt door middel van PTFE-slangen verbonden die door middel van koppelingen gemonteerd worden. Voor de herkenning van het filament worden in het systeem vier sensoren zoals in hoofdstuk 4.5 toegelicht gemonteerd. Deze zijn ter verduidelijking uit de tekening gehaald. Een sensor moet voor de extruder (Nr.1 in Figuur 47) en een voor het snijsysteem geplaatst worden. Deze opbouw wordt dan gespiegeld zodat er vier sensoren verbouwd worden. Door de sensor voor de extruder weet het systeem wanneer er filament handmatig ingevoerd wordt en wanneer de invoer leeg is. Dit is belangrijk omdat anders de extruder leegloopt en geen signaal kan geven. De sensor voor het snijsysteem is nodig om het systeem betrouwbaarder te maken ten opzichte van de uitwerpmechaniek van het snijsysteem. Als het filament afgesneden is,

wordt eerst het lange stuk filament een klein stukje doorgedrukt en dan weer teruggetrokken. Vervolgens wordt omgeschakeld naar een andere uitgang om het afgesneden stuk uit te werpen. Als het filament door een fout in de machine niet helemaal teruggetrokken of afgesneden wordt kan de machine deze beweging niet uitvoeren. De sensor zorgt dus ervoor dat deze proces gecontroleerd kan worden. Afgezien van het snijsysteem werken alle ontwikkelde systemen en kunnen deze direct geïmplementeerd worden. Een stuklijst voor de benodigde lengtes van aluminiumprofielen hiervoor kan in *Bijlage V* gevonden worden.

5.3 Basisschema software

Daar nu alle onderdelen geassembleerd zijn kan vervolgens een basisschema van de benodigde software opgesteld worden. De gespiegelde deelsystemen van de machine worden ter verduidelijking met x.1 voor links en x.2 voor rechts gekenmerkt. Voor de sensoren geldt: Sensor 1 is de sensor voor de extruder en sensor 2 de sensor voor het snijsysteem.

In Figuur 48 is het basisschema voor de werking van de software van de machine en hun deelsysteem te zien. Alle licht roodgekleurde velden staan voor een input van de user. Rode velden betekenen dat de machine op dit punt stopt. Voor een uitgebreide toelichting van de werking van elk deelsysteem wordt na hoofdstuk *Vormgeving* verwezen.



Figuur 48 Basisschema software

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Inleiding

Ten slotte worden alle resultaten samengevat en hieruit conclusies getrokken. Met deze conclusie worden vervolgens aanbevelingen voor een vervolgproject opgesomd.

6.2 Conclusie

Hieronder is het pakket van eisen nogmaals weergegeven met een overzicht of de ontworpen deelsystemen hieraan voldoen of niet (Tabel 8). Hieruit kan afgeleid worden welke onderdelen van dit project goed werken en aan welke nog gewerkt moet worden in een vervolgproject.

Tabel 8 Resultaat vergelijking van het PvE

Deelsysteem	Eisen	Voldaan	Niet voldaan
Lassysteem	-Mag niet langer dan 60 seconden duren. -Smelttemperatuur van 180-220°C	✓ Ja ✓ Ja	
Snij-systeem	-De uiteinden moeten recht afgesneden worden om een betrouwbaar resultaat tijdens het lassen te bereiken.		○ Nee
Kwaliteitscontrole-systeem	-Diameter moet binnen een tolerantie van +-0.1mm van het basismateriaal liggen.	✓ Ja	
Opwikkelsysteem	-Hoeveelheid filament zelfstandig controleren -Snelheid van opwikkelen automatisch sturen (afhankelijk van de hoeveelheid materiaal op de spoel) -750 gram spoelen breedte (ICE Filaments merk) -Filament netjes op de spoel wikkelen	✓ Ja ✓ Ja ✓ Ja ✓ Ja	
Filament-invoersysteem	-Het systeem moet gebogen filament kunnen handelen, dit is een eigenschap van het basismateriaal. -Filament concentrisch uitlijnen	✓ Ja ✓ Ja	

Lassysteem:

Het lassen van filament mag niet langer duren dan 60sec en moet bij minimaal 180-220°C gebeuren. Het gebouwde prototype heeft een lastijd van minimaal 50sec bij 250°C en voldoet hiermee aan de gestelde eisen. Tijdens het testen viel op dat de ventilatoren die de klemmen koelen te sterk zijn. Na een omlaag zetten van het vermogen op 50% was dit geen probleem meer. Het systeem wordt echter warmer hierdoor maar dit was blijkbaar geen probleem zoals bevestigt na meerdere testen. Dit komt vooral omdat veel onderdelen van aluminium gemaakt zijn en hierdoor als koellichaam dienen. → **Voldaan**

Snij-systeem

Om een betrouwbare lasnaad te produceren is het van belang het filament voorafgaand het lasproces af te snijden. Tijdens het project is ervoor gekozen om het materiaal recht af te snijden daar hiervoor minder snijkracht benodigd wordt. Met informatie uit meerdere testen is hiervoor een eerste prototype gebouwd die manueel aangedreven werd. Hiermee zijn succesvolle resultaten

bereikt. Voor de uiteindelijke machine is er met ondersteunende berekeningen een dc-motor gekozen welke blijkbaar te zwak was om het systeem aan te kunnen drijven. Dit was echter geen fout in de berekening maar een misleidende informatie van de motor zelf. De aangegeven specificatie van de motor was blijkbaar het houdkoppel welk niet overeenkomt met het draaimoment tijdens een beweging van de motor. Hieruit volgt dat dit systeem niet werkt daar de motor te zwak is. Volgende stappen worden in de aanbevelingen verder toegelicht. → **Niet voldaan**

Kwaliteitscontrole-systeem

De kwaliteitscontrole is door de gekozen oplossing van een strakke passing onderdeel van het lassysteem. In het lassysteem wordt een PTFE-buis met een passing van +0,05mm gebruikt zoals onderzocht in het vooronderzoek. Testen met het prototype van het lassysteem resulteerden in een maximale tolerantie van +0,1mm ten opzichte van het basismateriaal wat precies aan de gestelde eis voldoet. → **Voldaan**

Opwikkelsysteem

De hoeveelheid filament wordt door middel van een spring loaded encoder opgemeten. De mechaniek van deze is getest en werkt naar behoren. Daar de uiteindelijke machine nog niet bestaat kan hieraan nog geen echte test uitgevoerd worden. Echter is dit alleen een kwestie van de ruwe data van de potmeter naar een diameter om te rekenen. Daarom wordt ervan uitgegaan dat dit systeem werkt.

De snelheid van het opwikkelen is hier direct aan de encoder gekoppeld die aangeeft als zich de diameter verandert. Bij een kleine diameter wordt vervolgens sneller omgewikkeld als bij een grotere. De aandrijving hiervan is gebouwd en getest. Voor de uiteindelijke machine moet dit systeem met de encoder gekoppeld worden om volledig te kunnen werken. De spoelbreedte voor dit systeem is door een v-klem principe modulair waardoor niet alleen de vereiste spoelbreedte hierop past maar ook grotere spoelen. Het systeem is met een 1kg spoel succesvol getest wat overeenkomt met een nieuwe spoel van het vereiste merk “ICE Filaments”.

Het netjes opwikkelen van filament wordt door een links en rechts beweging van het opwikkelmanifeste omgezet welk succesvol gebouwd en getest is. → **Voldaan**

Filament-invoersysteem

Het invoersysteem voor de uiteindelijke machine bestaat uit PTFE-slangen die ook bij 3D-printers gebruikt worden. Hierdoor kan het ingevoerde filament alleen het door de slangen aangegeven weg volgen. Door het materiaal PTFE wordt hier bovendien de wrijving minimaal gehouden.

Voor het herkennen van filament is er een sensor in combinatie met een mechanische eindeschakelaar gebouwd. Deze is vervolgens gebouwd en met succes getest worden. → **Voldaan**

De ontworpen deelsystemen zijn modulair ontworpen zodat deze op 20x20 aluminiumprofielen bevestigt kunnen worden zoals in hoofdstuk *Implementatie deelsystemen* beschreven. Voor de machine is afsluitend een basisschema voor de benodigde software toegelicht.

6.3 Aanbevelingen

Alle deelsystemen voor de uiteindelijke machine zijn getest en onderzocht. Sommige hiervan werken nog niet helemaal efficiënt en moeten verbeterd worden. Het gaat hierbij om de volgende systemen:

Lassysteem:

- Koeling van de smeltzone niet efficiënt genoeg. Het koelkanaal zou voor een betere werking bijv. een circulaire vorm kunnen hebben om niet alleen de onderkant van de smeltzone te koelen maar ook rond om de smeltzone.
- Kleinere ventilatoren gebruiken voor het afkoelen van de klemmen in plaats van het vermogen omlaag te zetten.

Snijsysteem:

- Een sterkere motor gebruiken of een andere overbrengverhouding zodat het snijproces uiteindelijk werkt. Voor een andere overbrengverhouding moet eerst het daadwerkelijke moment onderzocht worden. Hiervoor wordt aangeraden met de leverancier "RS" contact op te nemen. Het gaat hierbij om het volgende model van de motor: *Mellor Electric DC-Getriebemotor, 24 V dc, 3,9 Nm 80 U/min, Wellen-Ø 8mm.*

Voor het assembleren van de uiteindelijke machine zijn verder de volgende punten van belang:

- Gebruik hoekverbinder voor het assembleren van de frame uit aluminiumprofielen. Hierdoor blijft het systeem modulair en verschuifbaar.
- Gebruik een standaard 3D printer moederboard (bijv. RAMPS 1.6) in combinatie met een Arduino Uno voor het besturen van de machine. Hierdoor moet geen eigen PCB ontworpen worden daar op deze componenten alle benodigde onderdelen al aanwezig zijn.
- Als aansturing voor de verwarmingselementen worden afzonderlijke MOSFET's aangeraden die direct met de voeding verbonden worden in plaats van direct op het besturingsboard door de gekozen 50W verwarmingselementen.

Ten slotte worden er nog benodigde stappen om dit project af te kunnen sluiten opgesomd:

- 1) Alle onderdelen van de machine zijn op 24V uitgelegd. Bereken vervolgens het benodigde vermogen van de voeding voor de situatie die de meeste stroom nodig zal hebben. Dit is naar schatting het snijden van het filament. In deze situatie staan de verwarmingselementen van de klemmen aan en de relatief zware motoren van het snijsysteem worden tegelijkertijd aangestuurd.
- 2) Ontwerp houders voor alle elektra onderdelen. Zet het frame zoals nodig op voeten om ruimte voor deze onderdelen te maken.
- 3) Monteer vervolgens de machine en sluit alle onderdelen aan. Let erop dat de kabels van bewegende onderdelen aan het onderdeel zelf bevestigd worden om defecten in de kabels te voorkomen.
- 4) Schrijf een programma op basis van het in hoofdstuk *Implementatie deelsystemen* beschreven basisschema van de software. Gebruik voor de besturing een Arduino frame.
- 5) Voer testen met het prototype uit met behulp van bijv. een logboek en verbeter deze zoals nodig.

III. Nawerk

Literatuurlijst

- Admet. (2020, Maart 21). *Admet rope tensile grip*. Opgehaald van Admet: <https://www.admet.com/wp-content/uploads/2017/05/figure4-admet-rope-tensile-grip.jpg>
- Aidan. (2002, June 8). *Designing FDM 3D Printed Parts for Manufacture*. Opgehaald van Core Electronics: <https://core-electronics.com.au/tutorials/designing-fdm-printed-parts-for-manufacture.html>
- Anzado. (2020, April 23). *Heizpatrone 24V 50W 1 Meter Kabel*. Opgehaald van robooter-bausatz: <https://www.robooter-bausatz.de/3047/heizpatrone-24v-50w-1-meter-kabel>
- CDN-3D. (2020, Mei 2). *cdn-3d*. Opgehaald van niceshop: <https://cdn-3d.niceshops.com/upload/image/product/medium/default/bondtech-drivegear-kit-voor-175-mm-8mm-val-244226-nl.jpg>
- E3D. (2020, April 20). *SuperVolcano 80W Heater*. Opgehaald van e3d-online: <https://e3d-online.com/supervolcano-80w-heater>
- Electric, S. (2020, April 10). *NEMA size 17 1.8°*. Opgehaald van Autoflexible: http://www.autoflexible.com/file_upload/product/attach/NEMA%2017.pdf
- Fab Foundation. (2020, February 11). *Fab Lab Network*. Opgehaald van fabfoundation: <https://fabfoundation.org/global-community/>
- gate, R. (2020, Maart 20). *Research gate*. Opgehaald van Research gate: <https://www.researchgate.net/publication/330892353/figure/fig4/AS:723119773855744@1549416597472/Testing-machine-with-clamps-for-tensile-tests-a-testing-machine-for-the-experimental.jpg>
- innovation, I. (2020, Maart 25). *EasyWelder : filament welding tool for 3D printing*. Opgehaald van Kickstarter: <https://www.kickstarter.com/projects/i3d-inno/easywelder-filament-welding-tool-for-3d-printing>
- Kaufman, J. G. (2016). Properties and characteristics of aluminum and aluminum alloys. In J. G. Kaufman, *Fire Resistance of Aluminum and Aluminum Alloys and Measuring the Effects of Fire Exposure on the Properties of Aluminum Alloys* (pp. 1-9). ASM International.
- Kern. (2020, April 6). *Polyetheretherketon (PEEK)*. Opgehaald van Kern: https://www.kern.de/de/technisches-datenblatt/polyetheretherketon-peek?n=1701_1
- Kern. (2020, April 6). *Polytetrafluorethylen (PTFE)*. Opgehaald van Kern: https://www.kern.de/de/technisches-datenblatt/polytetrafluorethylen-ptfe?n=1601_1
- Kim, H. (2020, Maart 20). *The world's first connectable 3D printer filament*. Opgehaald van Indiegogo: <https://www.indiegogo.com/projects/the-world-s-first-connectable-3d-printer-filament--2#/>
- Martin, P. M. (2020, Maart 20). *FUSE, Welding filament clamp. For 3D printers*. Opgehaald van Indiegogo: <https://www.indiegogo.com/projects/fuse-welding-filament-clamp-for-3d-printers#/>

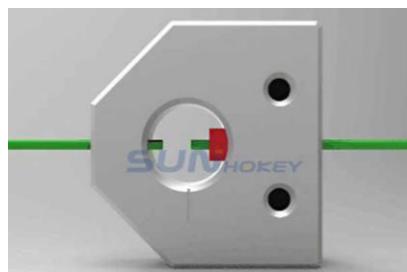
- Mosaic. (2020, Maart 21). *Palette 2S*. Opgehaald van mosaicmfg:
<https://www.mosaicmfg.com/products/palette-2s>
- Pololu. (2020, Mei 16). *Mounting Hub*. Opgehaald van Pololu: <https://a.pololu-files.com/picture/0J1107.1200.jpg?e11cb3f29fdd280c227b1b818dfd613a>
- Polymaker. (2020, Mai 14). *Polymaker PC-Max*. Opgehaald van Niceshops: https://cdn-3d.niceshops.com/upload/file/Polymaker-PC-Max_TDS-v1.0.pdf
- Redwood, B. (2020, Mei 14). *How does part orientation affect a 3D print?* Opgehaald van 3D Hubs: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/how-does-part-orientation-affect-3d-print/>
- Sunhokey. (2002, Maart 2). *Sunhokey 3D Drucker Teile Filament Schweißer/Filament Schweißen für 1.75mm.3.0mm 3D Drucker Filament*. Opgehaald van Aliexpress:
<https://de.aliexpress.com/i/32922609677.html>
- Titanium, Y. (2020, April 1). *Wolfraam*. Opgehaald van Yunch Titanium:
<http://nl.yunchtitanium.com/custom-wolfram-wire-tungsten-filament>
- Ultimaker. (2018, September 14.05.2020). *Technical data sheet PLA*. Opgehaald van Ultimaker:
<https://ultimaker.com/download/74599/UM180821%20TDS%20PLA%20RB%20V10.pdf>
- Unkown. (2002, Maart 20). XX. Opgehaald van XX: https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn%3AANd9GcTs4_sGCxu2Ug1ui0mvdn9K50RSkBWIsysPIIk-2uh0cg5dcjea&usqp=CAU
- Wittel, H., Muhs, D., Dieter, J., & Vossiek, J. (2013). Roloff/Mattek Machineonderdelen . In *Tabellenboek* (p. 227). Den Haag: SDU.
- Wittel, H., Muhs, D., Jannasch, D., & Vossiek, J. (2013). Roloff/Mattek Machineonderdelen. Den Haag: SDU.

Bijlagen

Bijlage A

A1 Sunhockey filament welder

Bij het Sunhockey filament welder worden twee losse uiteinden filament in een aluminiumframe ingedrukt. In de rechterzijde van het frame is een PTFE-buis ingebouwd (Figuur A1) welke voor betere geleiding van het filament zal zorgen. Vervolgens worden met een aansteker de uiteinden gesmolten en aansluitend tegen elkaar geperst. Als laatste stap moet het net aan elkaar gelaste filament, in nog zachte toestand, door de PTFE-buis gedrukt worden om het een ronde vorm te geven.

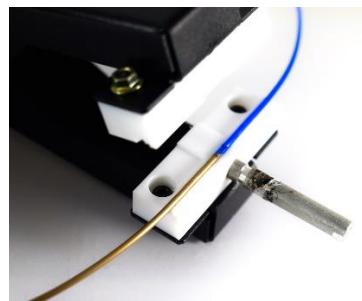


Figuur A1 Sunhockey filament welder (Sunhokey, 2002)

Dit methodiek is echter niet betrouwbaar daar het smeltproces niet controleerbaar is en hierdoor ook geen constante diameter bereikt kan worden. Ook wordt door het handmatige proces geen tijdsbesparing bereikt (Sunhokey, 2002).

A2 Nextfila welder

De Nextfila welder (Figuur A2) is vergelijkbaar met de Sunhockey Welder met het verschil dat hier de filament uiteinden tussen twee PTFE-blokken worden vastgehouden tijdens het lassen. Met een aansteker wordt dan een metalen staaf ongeveer vijf keer 10sec opgewarmd met 10sec pauze tussen elke herhaling. Vervolgens wordt een nat doekje over de metalen staaf gelegd voor koeling. Het afkoelproces duurt ongeveer drie minuten. Afhankelijk van de kwaliteit van de lasnaad moet de naad afgebraamd worden (Kim, 2020).



Figuur A2 Nextfila Welder (Kim, 2020)

A3 Easy Welder

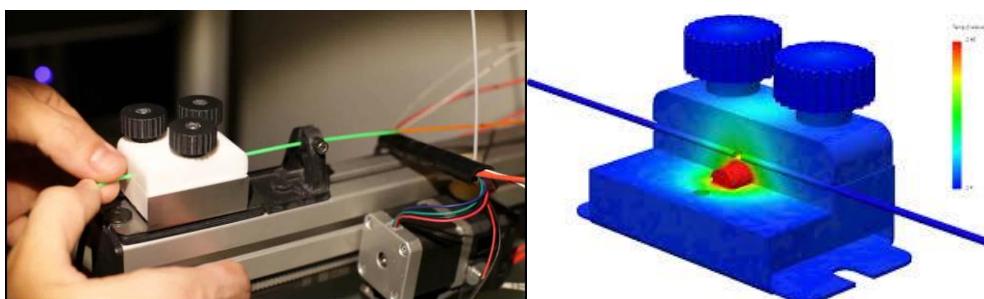
Onderstaande product, de Easy Welder (Figuur A3), lijkt op een omgebouwde stijltang met het verschil dat de verhitte contactvlakken 1,75 en 3mm gaten bevatten. De filament uiteinden worden eerst in een opspanplaat ingezet en vervolgens met backpapier bedekt. Dit zorgt ervoor dat het filament niet aan de Easy Welder vast plakt. Nu kan met de Easy Welder gelast worden. De lasnaad moet achteraf ontbraamd worden om een bruikbaar resultaat te verkrijgen (innovation, 2020).



Figuur A3 Easy Welder (innovation, 2020)

A4 Fuse Clamp

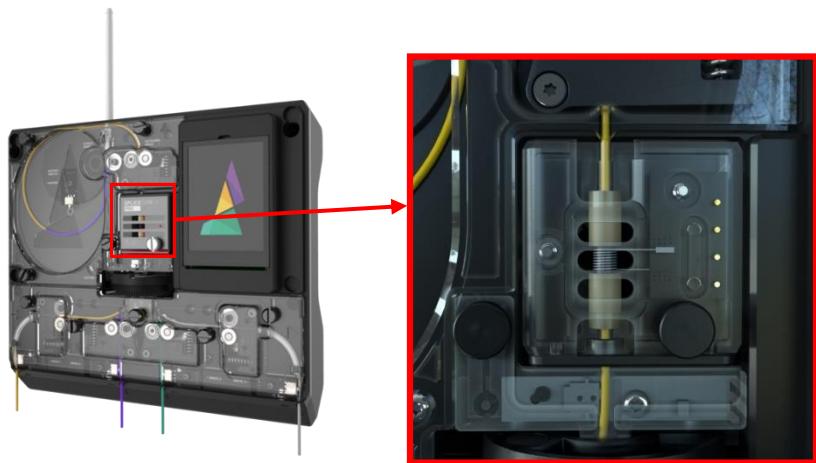
Bij de Fuse Clamp (Figuur A4) worden twee uiteinden filament in een PTFE-block, welke uit twee delen bestaat, ingedrukt en vervolgens gelast. Door middel van een verwarmingselement in de onderste helft van de blok wordt er warmte in het filament ingebracht wat ervoor zorgt dat de twee uiteinden samensmelten. Vervolgens wordt het filament door de blok doorheen gedrukt en het volgende stuk nageschoven. Het nadeel hiervan is dat alles wat door de Fuse Clamp gaat automatisch gesmolten wordt daar hier nergens het gelaste filament gekoeld wordt (Martin, 2020).



Figuur A4 Fuse Clamp (Martin, 2020)

A5 Palette +/2/2Pro

Een meer geavanceerde oplossing is de Palette productlijn. De nieuwste versies zijn de Palette 2s en 2sPro. Met deze producten is het mogelijk vier verschillende kleuren of materialen te printen met een single nozzle FDM 3D printer. Het materiaal wordt in deze machine automatisch afgesneden en vervolgens aan een andere materiaal uiteinde gelast. Dit proces gebeurt tijdens het printen wat het mogelijke maakt meerkleurige objecten te printen met een nozzle. Twee onderdelen van dit systeem zijn van interesse voor dit project, met name het snij- en lassysteem. Het snijden van filament wordt met een circulair bewegend mes, aangedreven door een tandriem, uitgevoerd. Aansluitend wordt in de "splicecore" (Figuur A5) een metalen draad verwarmd wat ervoor zorgt dat beide filament uiteinden aan elkaar gelast worden. Ten slotte wordt met een radiaal ventilator de "splicecore" snel afgekoeld en hiermee ook de lasnaad.



Figuur A5 Palette Pro Splice Core systeem (Mosaic, 2020)

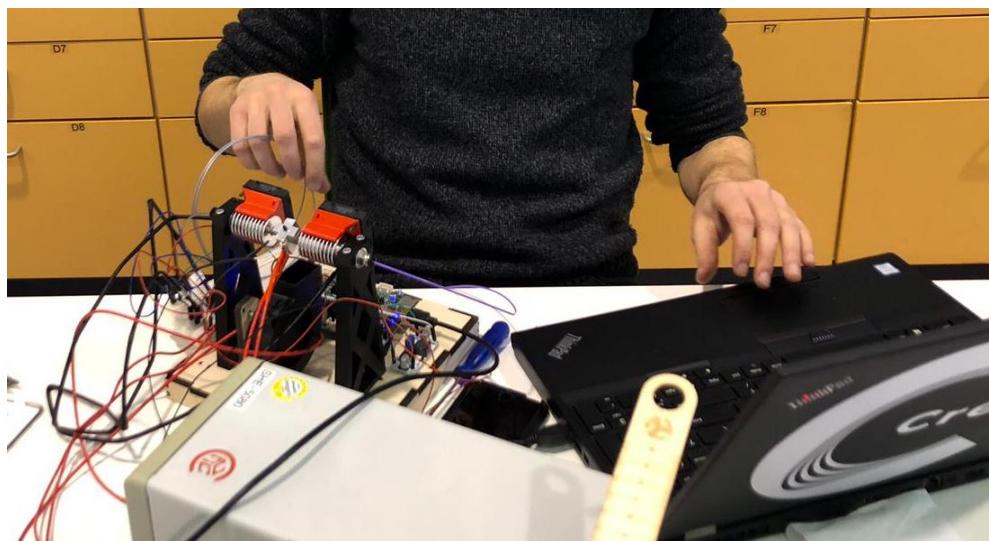
Een andere functie van dit systeem is het automatisch wisselen van een lege naar een volle spoel filament. Dit systeem is wel vergelijkbaar met deze afstudeeropdracht maar echter bedacht voor een specifieke printer op moment van printen. Daarom is deze machine niet geschikt om alleen uiteinden aan elkaar te lassen daar hier veel meer doorvoeren nodig is (Mosaic, 2020).

Terug: Bestaande technieken

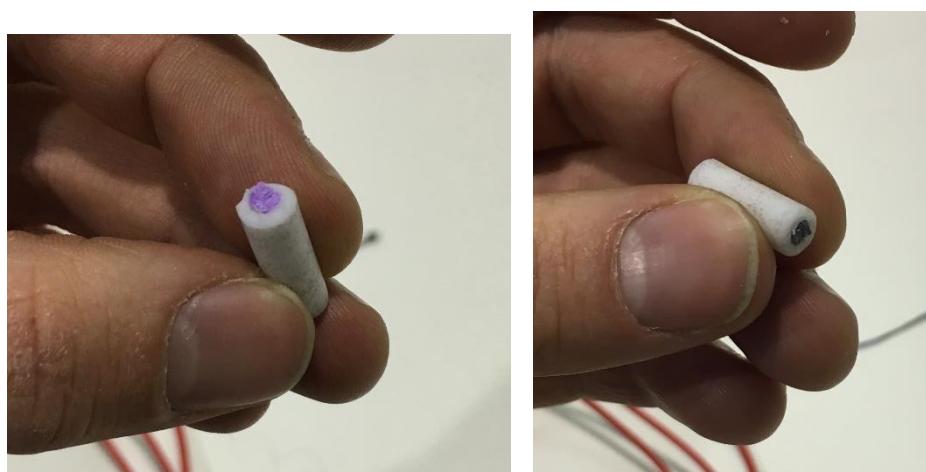
Bijlage B

Proof of principle lassen vervolg

Na eerste testen met het gebouwde prototype (Figuur B1) bleek dat de smeltzone te lang was en het filament al voor de PTFE/PEEK-buis begon te smelten. Hierdoor kon het filament niet meer uit de smeltzone verwijderd worden (Figuur B2).

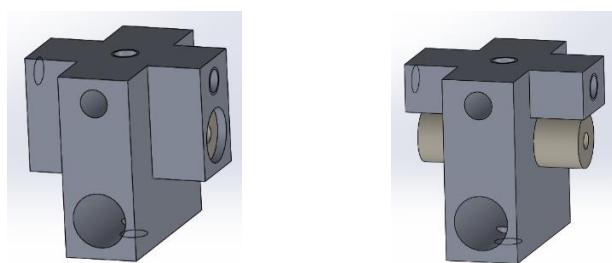


Figuur B1 Testen met het gebouwde prototype voor het proof of principle lassen



Figuur B2 Smeltzone na de eerste testen

Om dit te voorkomen is de smeltzone korter gefreesd (Figuur B3) en er zijn nieuwe, langere buizen geproduceerd (Figuur B4).



Figuur B3 Smeltzone links langer, rechts korts



Figuur B4 Smeltbuizen links korter, rechts langer

Na deze verbetering zijn er succesvolle resultaten met de PTFE-buis bereikt (Figuur B5). Het materiaal bleef aan de binnenwand van het PEEK-buis plakken wat onder andere aan de ruwe oppervlakte lag.



Figuur B5 Resultaten met bewerkte PTFE-buis en smeltzone

Voor de testen zijn temperaturen van 200°C tot en met 240°C gebruikt. Na het lassen en afkoelen is een buiging test uitgevoerd waaruit bleek dat het gelaste filament met 220°C het beste resultaat geeft. Bij 200°C treedt een koude breuk op wat betekent dat het lasproces te koud of te kort doorgevoerd werd. Bij 220°C is een kleurverandering van het plastic te herkennen op plek van de breuk wat een kenmerk is dat het materiaal een goede verbinding op dit punt is ingegaan (Figuur B6).



Figuur B6 Lasproces resultaat met 200°C en 220°C

In Figuur B6 is te zien dat een verdikking van de lasnaad optreedt wat vooral mee te maken heeft dat geen geschikt gereedschap op moment van productie aanwezig was. Deze resultaten zijn met de eerste versies van de buizen geproduceerd. De tolerantie van de lasnaad op de dikste plek was +0.4mm. Door de nieuwe langere buizen was de tolerantie alleen nog +0.2mm. Met een geschikte ruimer zal hier nog een beter resultaat verkrijgt kunnen worden om aan de tolerantie eis van +-0,1mm te voldoen.

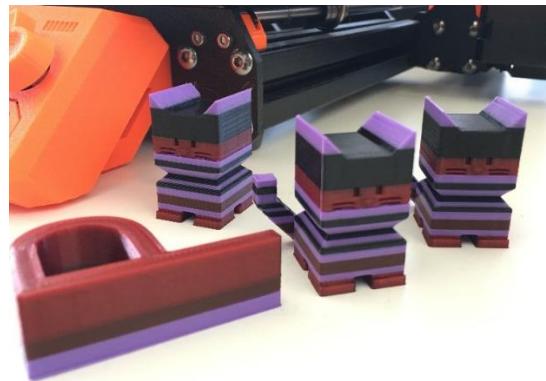
Daar het systeem handmatig bestuurd werd met betrekking tot aan en uitschakelen van de verwarming en afkoeling, kunnen hier geen nauwkeurige waarden met betrekking van de procesduur genoemd worden. Na schatting zal dit systeem meer dan 120 seconden voor het hele proces nodig hebben wat niet aan de gestelde eisen van max. 60 seconden voldoet.

Verder is er een test uitgevoerd met door SLA geprinte anti plak buizen. Er zijn twee materialen getest met name het "Durable" en het "High Temperature" resin van Formlabs. Beide materialen bleken hiervoor niet geschikt te zijn omdat het gesmolten filament aan de binnenwand vast plakte (Figuur B7).



Figuur B7 SLA geprinte anti plak buis

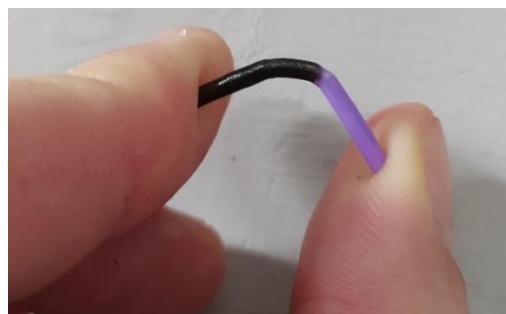
Het aan elkaar gelaste filament is vervolgens met een 3D printer succesvol geprint worden wat bevestigt dat een tolerantie zelfs een tolerantie van +0,2mm nog voldoende is voor materiaal van de leverancier "ICE Filament" (Figuur B8). Op lange termijn moeten hiervoor meerdere typen filament van verschillende prijsklassen en leveranciers getest worden.



Figuur B8 3D printing test van gelast materiaal

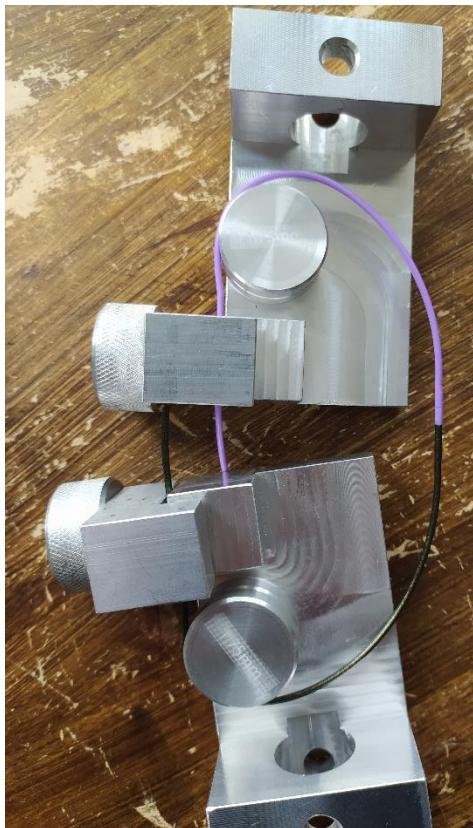
Door de Covid-19 situatie konden geen onderdelen geproduceerd worden om 2,85mm filament te testen. Er wordt ervan uitgegaan dat hiervoor 1,5 tot 2 keer zo veel tijd nodig is ten opzichte van het proces met 1,75mm.

Om de kwaliteit van de lasnaad te beoordelen is er een buig en trek test uitgevoerd. Voor de buigtest is het gelaste filament gebogen totdat er vervorming optreedt (Figuur B9).



Figuur B9 Buigtest gelast filament

Zo een belasting zal nooit natuurlijk voorkomen daar het filament direct op een spoel gewikkeld wordt en vervolgens in de 3D printer gebruikt wordt. Dit bevestigt dat de lasnaad niet bros is en beide uiteinden goed aan elkaar gesmolten zijn. Een andere belasting tijdens het printen is het trekken aan het materiaal van de extruder. Dit is afhankelijk van de opbouw van de printer. Om deze test onafhankelijk hiervan te houden is ervoor gekozen aan het filament te trekken totdat het breekt. Hiervoor is een zelfgebouwd gereedschap gebruikt die oorspronkelijk voor een treksterkte test gebouwd was. Deze test is door overbodigheid uit de opdracht gehaald. Voor meer informatie hierover zie *Bijlage C*.



Figuur B10 Ingeklemd filament in gereedschap voor trekproeven

In deze gereedschap kan het filament vast worden gehouden zonder een plek van insnoering te creëren (Figuur B10) waardoor foute resultaten zouden ontstaan. Voor de test is een houder vastgeklemd en aan de andere getrokken totdat het filament afbraak. Het breekpunt bevindt zich net onder de lasnaad (Figuur B11). Dit bevestigt dat niet de lasnaad zelf de zwakste punt is maar echter de overgang. Om dit te voorkomen moet ook hier weer met een strakkere passing gewerkt worden. Echter treden er nooit zo hoge krachten in de extruder van een 3D printer op zodat het filament gaat breken. Veel belangrijker is dat de overgang zo glad mogelijk wordt.



Figuur B11 Afgebroken filament na trektest

Terug: Proof of Principle Lassen

Bijlage C

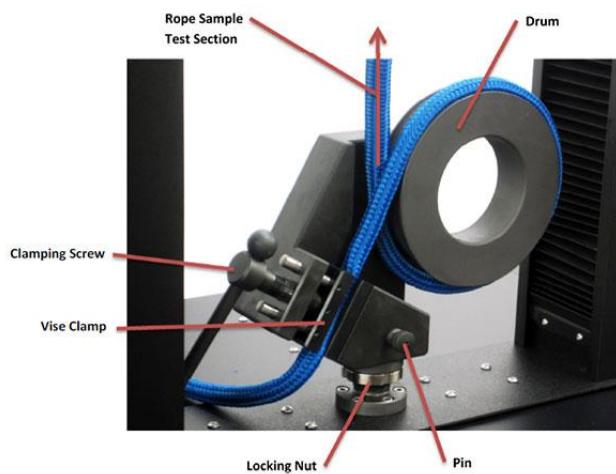
Trekproef gereedschap

Voor het deelsysteem “Kwaliteitscontrole-systeem” was aan het begin van dit project de bedoeling de lasnaad door middel van een trekproef op kwaliteit te controleren in de machine zelf. Hiervoor moet de plastische vervormgrens van het filament als richtwaarde getest worden om de krachten voor de benodigde componenten te kunnen bepalen. Op zich zal het genoeg geweest zijn voor de gebruikte printer te trekkracht van de extruder te meten. Deze verschilt echter per model en is dus niet algemeen toepasbaar. Het doel van deze opdracht is de resultaten openbaar te maken om deze technieken voor bijvoorbeeld andere FabLab’s beschikbaar te maken. Niet elk FabLab heeft dezelfde printers waardoor er hier voor een printer onafhankelijke testmethode is gekozen. Om draad in een trekbank te kunnen testen is speciale gereedschap nodig daar door een standaard inklemming (Figuur C1) het draad insnoert bij de trekproef en zo foute resultaten ontstaan.



Figuur C1 Standard inklemming trekbank (gate, 2020)

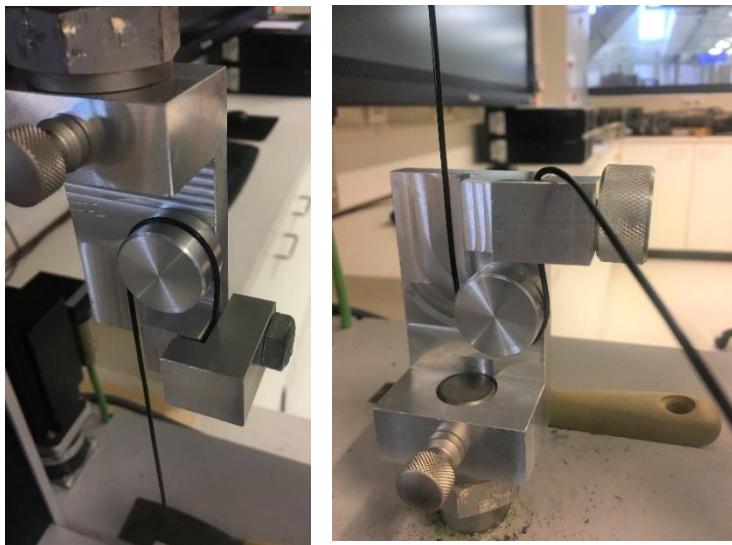
Deze speciale gereedschap kan er als volgt eruitzien (Figuur C2):



Figuur C2 Trekbank gereedschap voor het trekken van snoer of draad (Admet, 2020)

Door middel van een spoel wordt de optredende kracht gelijkmatig verdeeld zodat de draad niet op het punt van de inklemming gaat breken. Op Saxion en op de Universiteit Twente was hiervoor geen

soortgelijk gereedschap beschikbaar. Om deze reden is er zelf eentje geproduceerd met een modulaire opbouw voor 1,75 en 2,85mm materiaal wat aan het begin van dit project nog vereist was (Figuur C3).



Figuur C3 Zelfgebouwd gereedschap voor het trekken van filament

Daar deze gereedschap uit meerdere onderdelen bestaat is er een bewaar box gemaakt om het makkelijk te kunnen verplaatsen en te lageren (Figuur C4).



Figuur C4 Bewaarkast voor het gebouwde gereedschap

Door de overbodigheid van het treksysteem in de machine en de daarmee verbondene complexiteit is dit onderdeel uit de opdracht verwijderd.

Terug: Bijlage B

Terug: Proof of Principle Lassen

Bijlage D

Berekening terugverdientijd en winst

Om te kunnen berekenen of de machine winst oplevert en wanneer de terugverdient is bereikt wordt vervolgens een tabel met alle gegevens opgesteld. (Tabel D1).

Tabel D1 Gegevens terugverdientijd en winstberekening

Gegevens	Eenheid
Inkoop rollen filament	600 stk/jaar
Rest per rol ca.	0,05 kg/rol
Restmateriaal per jaar (inkoop*rest per rol)	30 kg/jaar
Kosten per rol (kilo prijs van de merk ICE Filaments)	17,3 euro/rol, excl BTW
Tijd medewerker organisatie restmateriaal en klanten handeling (uur)*	80 uur/jaar
Loon medewerker	50 euro/uur excl BTW

*Klanten adviseren reststukken te gebruiken, reststukken wegen, niet gebruikte reststukken in een box verzamelen... .

Hieruit resulteren op jaarbasis de volgende verliezen zonder machine (Tabel D2):

Tabel D2 Verliezen zonder machine per jaar

Verlies zonder machine per jaar	Eenheid
Materiaalkosten van niet gebruikte reststukken	519 euro
Medewerker kosten	4000 euro
Totaal verlies per jaar	4519 euro

De materiaalkosten van niet gebruikte reststukken zetten zich als volgt samen:

$$\text{Materiaalkosten v.n.g.r.} = \text{Restmateriaal per jaar} * \text{Kosten per rol} = 30\text{kg} * 17,3 \text{ euro} = 519 \text{ euro} \quad (\text{D1})$$

De medewerker kosten worden aan de hand van een schatting van de ingezette uren per jaar keer het uurloon berekend:

$$\text{Medewerker kosten} = 80 \frac{\text{uur}}{\text{jaar}} * 50 \frac{\text{euro}}{\text{uur}} = 4000 \text{ euro} \quad (\text{D2})$$

Hieruit ontstaat een verlies van 4519 euro per jaar. Het is gepland de te ontwerpen machine door een FabLab assistent tijdens zijn reguliere werktijden te laten bedienen. Hierdoor wordt de verlies compleet in winst omgezet omdat geen vaste medewerker meer voor de organisatie zoals boven beschreven ingezet moet worden. De reststukken vallen compleet weg omdat de machine deze weer bruikbaar maakt. Er ontstaat wel afval door het snijproces van de machine maar dit zal verwaarloosbaar klein zijn. Hieruit blijkt dat de machine een winst van 4519 euro per jaar oplevert als hij van een assistent tijdens zijn reguliere werktijden bediend wordt. Ook kan hierdoor de assistent efficiënter ingezet worden als er bijvoorbeeld klanten in het FabLab geen hulp nodig hebben. Naar schatting zal hier een assistent rond de 1-2uur in de week bezig zijn.

Voor het uitrekenen van de terugverdientijd van de machine zijn nog meer informaties nodig. Hier speelt ook het salaris van de stagiaire een rol. Een stagiair verdient in een standaard afstudeerperiode van 5 maanden een brutosalaris van 1150 euro. Daar uit deze project zeer waarschijnlijk een vervolgproject ontstaat wordt aangenomen dat nog een afstudeerperiode nodig is om de machine volledig te bouwen en te testen. Hiermee wordt een verfijning van de machine bedoeld en geen nieuw ontwerp. De kosten voor het project met betrekking tot het salaris van de stagiaire over twee perioden worden dus:

$$Kosten stagair = 2 * 1150 = 2300 \text{ euro}$$

(D3)

Op basis van persoonlijke ervaring in het bereik FDM-printen worden de kosten voor de benodigde onderdelen op 1600 euro geschat. Hieruit volgt Tabel D3:

Tabel D3 Uitgaven machine

Uitgaven machine	Eenheid
Kosten machine	1600
Kosten student afstudeerstage (twee perioden)	2300
Totale uitgaven	3900
Terugverdientijd	0,86
	jaar

De terugverdientijd zet zich als volgt samen:

$$Terugverdientijd = \frac{\text{Totale uitgaven}}{\text{Winst}} = \frac{3900}{4519} = 0,86 \text{ jaar}$$

Het project is dus realistisch en levert winst op.

Terug: Terugverdientijd en Winst

Bijlage E

Voor- en nadelen concept "Triangle"

Tabel E1 Voor- en nadelen concept "Triangle"

Functie	Oplossing	Opmerking	Voordelen	Nadelen
Lassen	Klem	Beweegbaar verwarmingselement	- Snelle afkoeling en opwarming - Makkelijk te produceren met 3d printen of lasersnijden	- Warmte invloed op andere onderdelen - Energieverbruik
Filamentuiteinden aan elkaar drukken	Dual gear	Twee "tandwielen" die in het filament ingrijpen	- Betrouwbaar - Meer krachtoverbrenging op het filament	- Duur - Moet strak uitgelijnd zijn
Afkoelen	Lucht	Koeling door middel van een ventilator	- Geen complexe onderdelen nodig - Koeling makkelijk aan te passen	- Minder efficiënt - Benodigde ruimte
Bescherming tegen vastplakken van gesmolten plastic	PTFE-buis	Materiaal tussen de aluminiumklemmen	- Niet plakkende eigenschappen - Lage warmtegeleidingscoëfficiënt	- Taai materiaal - Moeilijk te bewerken
Snijden	Snijtang principe	Snijtang achtig knipproces	- Herhaalbaar resultaat	- Relatief veel kracht nodig
Gesneden Filament uitwerpen	Beweegbare snijzone	Beweegt na het snijden uit de weg om reststukken uit te werpen	- Bespaart ruimte - Snel	- Extra aandrijving nodig
Diameter controle	Strakke passing lasgat	Geruimt gaat met nauwkeurige passing	- Goedkoop - Diameter v.d. las kan niet groter zijn dan gat	- Oppervlakte moet zeer glad zijn - Niet geschikt voor filament met te grote afwijking in diameter
Hoeveelheid filament meten	Spring loaded encoder	Materiaal op de spoel opmeten door hoogteverschil	- Onafhankelijk van hoeveelheid restmateriaal op de spoel	- Complex - Benodigde ruimte
Filament opwikkelen	Links-rechts opwikkelpoging	Automatisch "Zig Zag" opwikkelen	- Voorkomt knopen	- Extra aansturing nodig
Filament invoer	PTFE-slang	PTFE-slang voor 3D printers	- Goede geleiding - Standard onderdeel	- Flexibel
Filament herkenning	Mechanische schakelaar	Filament-herkenning	- Eenvoudig te besturen - Goedkoop	- Foutgevoelig - Slijtage

Terug: Concept Triangle

Bijlage F

Voor- en nadelen concept "Pentagon"

Tabel F1 Voor- en nadelen concept "Pentagon"

Functie	Oplossing	Opmerking	Voordelen	Nadelen
Lassen	Hete lucht	Verwarming door middel van hete lucht	- Compact - Koeling en verwarming kan in een element geplaatst worden	- Warmte invloed andere onderdelen
Filamentuiteinden aan elkaar drukken	Single gear	"Tandwiel" drukt filament tegen een lager	- Goedkoop - Modulair voor 1,75mm en 2,85mm	- Slippen mogelijk - Minder krachtopbrengst
Afkoelen	Water	Koeling door middel van water	- Snelle afkoeltijd - Gelijkmataige afkoeling	- Complex - Duur
Bescherming tegen vastplakken van gesmolten plastic	PTFE-buis	Geleidend buis voor de smeltzone	- Kan hoge temp. weerstaan - Lage warmtegeleidingscoëfficiënt	- Duur - Moeilijk te bewerken
Snijden	Roterend mes	Een roterend mes dat tegen een vast mes loopt	- Minder snijkracht nodig - Snel	- Filament wordt naar en kant geduwd
Gesneden Filament uitwerpen	Beweegbare snijzone	Beweegt na het snijden uit de weg om reststukken uit te werpen	- Bespaart ruimte - Snel	- Extra aandrijving nodig
Diameter controle	Strakke passing lasgat	Geruimt gaat met nauwkeurige passing	- Goedkoop - Diameter v.d. las kan niet groter zijn dan gat	- Oppervlakte moet zeer glad zijn - Niet geschikt voor filament met slechte kwaliteit
Hoeveelheid filament meten	Motor met encoder	Uitgangspunt is een lege spoel als meting	- Compact - Betrouwbaar	- Alleen voor lege spoelen als uitgangspunt
Filament opwikkelen	Links-rechts opwikkellbeweging	Automatische "Zig Zag" omwikkeling	- Voorkomt knopen	- Extra aansturing nodig
Filament invoer	3D geprinte structuur	Geprinte geleiding voor filament	- Complexe vormen mogelijk - Makkelijk te produceren	- Stijf - Ruwe oppervlakte
Filament herkennung	Inductieve sensor met bal	Filament-herkennung	- Betrouwbaar - Goedkoop	- Moet nauwkeurig afgesteld zijn - Werkt alleen in verticale positie gericht naar beneden

Terug: Concept Pentagon

Bijlage G

Voor- en nadelen concept "Cross"

Tabel G1 Voor- en nadelen concept "Cross"

Functie	Oplossing	Opmerking	Voordelen	Nadelen
Lassen	Verwarmde draad	Weerstandsdraad als verwarmingselement	- Vermogen bepaald door hoeveelheid wikkelingen - Eenvoudig	- Warmteafgifte aan omgeving - Kan snel oververhitten
Filamentuiteinden aan elkaar drukken	Rubberwiel	Rubberwielen drukken filament tegen elkaar	- Goedkoop - Modulair voor 1,75mm en 2,85mm Ø	- Slippen mogelijk - Minder krachtopbrengst
Afkoelen	Lucht	Koeling door middel van een ventilator	- Geen complexe onderdelen nodig - Koeling makkelijk aan te passen	- Minder efficiënt - Benodigde ruimte
Bescherming tegen vastplakken van gesmolten plastic	PTFE-buis	Weerstandsdraad wordt om het PTFE-buis gewikkeld	- Niet plakkende eigenschappen - Lage warmtegeleidingscoëfficiënt	- Taai materiaal - Moeilijk te bewerken
Snijden	Verwarmde draad	Filament wordt met een hete draad gesmolten	- Bijna geen snijkracht nodig - Snel	- Resultaat kan afwijken
Gesneden Filament uitwerpen	Beweegbare smeltzone	Beweegt na het snijden uit de weg om reststukken uit te werpen	- Bespaart ruimte - Snel	- Extra aandrijving nodig - Complex
Diameter controle	Strakte passing lasgat	vert gaat met nauwkeurige passing	- Goedkoop - Diameter v.d. las kan niet groter zijn dan gat	- Oppervlakte moet zeer glad zijn - Niet geschikt voor filament met slechte kwaliteit
Hoeveelheid filament meten	Motor met encoder	Uitgangspunt is een lege spoel als meting	- Compact - Betrouwbaar	- Alleen voor lege spoelen als uitgangspunt
Filament opwikkelen	Bestuurde geleiding	Automatische "Zig Zag" omwikkeling	- Voorkomt knopen	- Extra aansturing nodig
Filament invoer	PTFE-slang	PTFE-slang voor 3D printers	- Goede geleiding - Standard onderdeel	- Flexibel
Filament herkenning	Inductieve sensor met bal	Filament-herkenning	- Betrouwbaar - Goedkoop	- Moet nauwkeurig afgesteld zijn - Werkt alleen in verticale positie gericht naar beneden

Terug: Concept Cross

Bijlage H

PID-controler lassysteem code

```
#include <Arduino.h>
#include <PID_v1.h>

//Define thermistor and heater pin
//
#define THERMISTOR_1 24
#define HEATER_1 13
#define THERMISTOR_2 25
#define HEATER_2 12
#define SWITCH 18
#define COOLING_FAN 4

//Define Variables we'll be connecting to
double Setpoint, Input_1, Output_1, Input_2, Output_2;

//Define the aggressive and conservative Tuning Parameters
double aggKp=30, aggKi=1, aggKd=50;
double consKp=13.93, consKi=0.75, consKd=64.80;

//Specify the links and initial tuning parameters
PID myPID_1(&Input_1, &Output_1, &Setpoint, consKp, consKi, consKd, DIRECT);
PID myPID_2(&Input_2, &Output_2, &Setpoint, consKp, consKi, consKd, DIRECT);
void setup() {

    Serial.begin(115200);

    //initialize the variables we're linked to
    pinMode(THERMISTOR_1, INPUT);
    pinMode(HEATER_1, OUTPUT);
    pinMode(THERMISTOR_2, INPUT);
    pinMode(HEATER_2, OUTPUT);
    pinMode(SWITCH, INPUT_PULLUP);
    pinMode(COOLING_FAN,OUTPUT);

    //Aimed Temperature
    Setpoint = 250;

    //turn the PID on
    myPID_1.SetMode(AUTOMATIC);
    myPID_2.SetMode(AUTOMATIC);
}

void loop() {
    //Initialize variables
    int ADC_value_1;
```

```

int ADC_value_2;
int switch_state;
//Read the raw ADC value from the thermistor
ADC_value_1 = analogRead(THERMISTOR_1);
//Convert ADC to degree Celsius
Input_1 = float((200/3)*log(2747/ADC_value_1) +5);
delay(100);

double gap_1 = abs(Setpoint-Input_1); //distance away from setpoint
if (gap_1 < 10)
{
    //we're close to setpoint, use conservative tuning parameters
    myPID_1.SetTunings(consKp, consKi, consKd);
}
else
{
    //we're far from setpoint, use aggressive tuning parameters
    myPID_1.SetTunings(aggKp, aggKi, aggKd);
}

myPID_1.Compute();
analogWrite(HEATER_1, Output_1);
Serial.print("ADC value_1: ");
Serial.println(ADC_value_1);
Serial.print("Temperature in Celsius_1: ");
Serial.println(Input_1);
Serial.print("Aimed temperature: ");
Serial.println(Setpoint);
delay(100);

//Read the raw ADC value from the thermistor
ADC_value_2 = analogRead(THERMISTOR_2);
//Convert ADC to degree Celsius
Input_2 = float((200/3)*log(2747/ADC_value_2) +5);
delay(100);

double gap_2 = abs(Setpoint-Input_2); //distance away from setpoint
if (gap_2 < 10)
{
    //we're close to setpoint, use conservative tuning parameters
    myPID_2.SetTunings(consKp, consKi, consKd);
}
else
{
    //we're far from setpoint, use aggressive tuning parameters
    myPID_2.SetTunings(aggKp, aggKi, aggKd);
}

myPID_2.Compute();
analogWrite(HEATER_2, Output_2);
Serial.print("ADC value_2: ");

```

```
Serial.println(ADC_value_2);
Serial.print("Temperature in Celsius_2: ");
Serial.println(Input_2);
Serial.print("Aimed temperature: ");
Serial.println(Setpoint);
delay(100);

//Activate Fan when endswitch is pushed
switch_state = digitalRead(SWITCH);
if (switch_state == 0) {

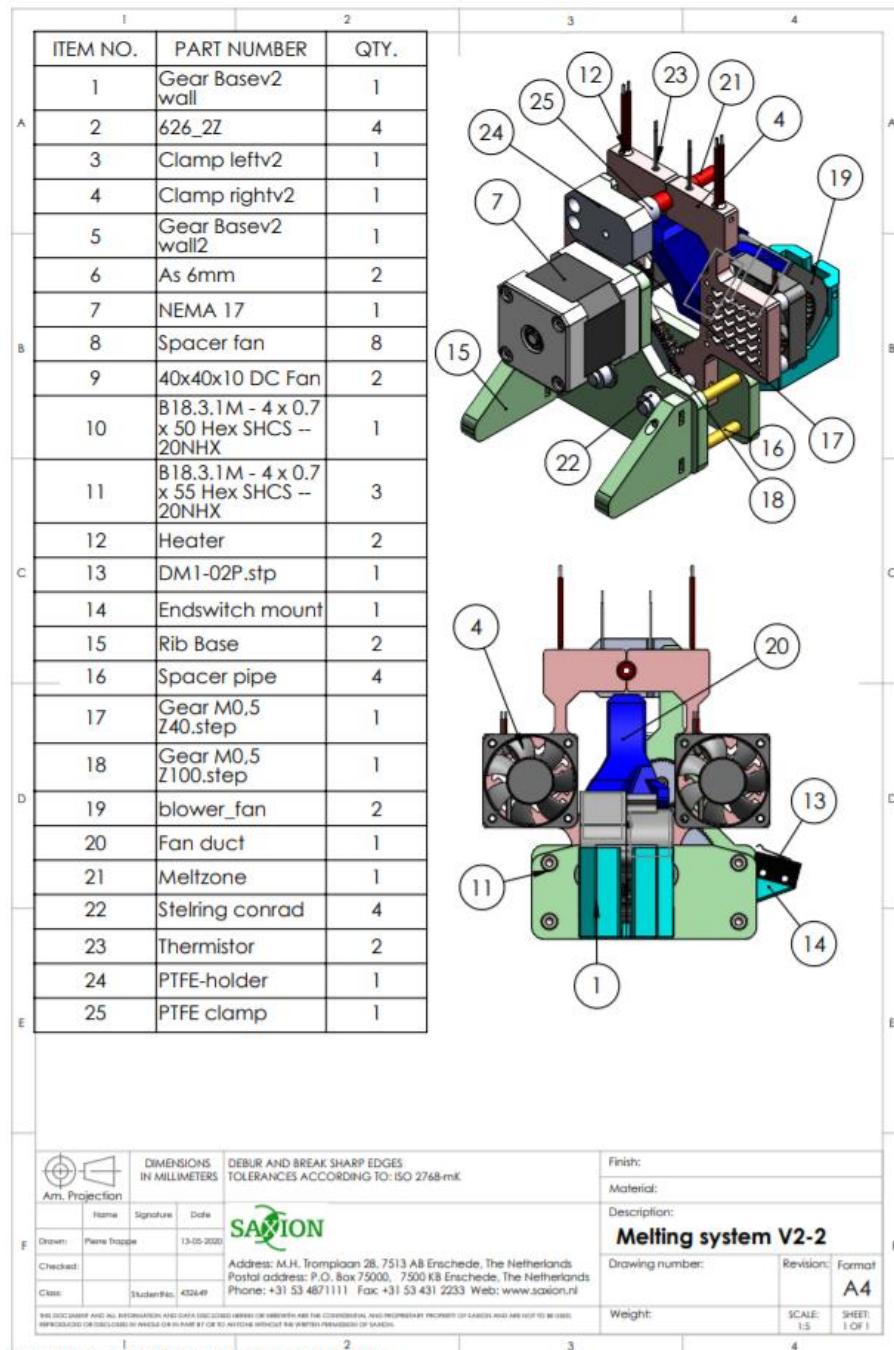
    digitalWrite(COOLING_FAN, HIGH);
}
else {
    digitalWrite(COOLING_FAN, LOW);
}

}
```

Terug: Prototype en testen

Bijlage I

Smeltsysteem assemblage

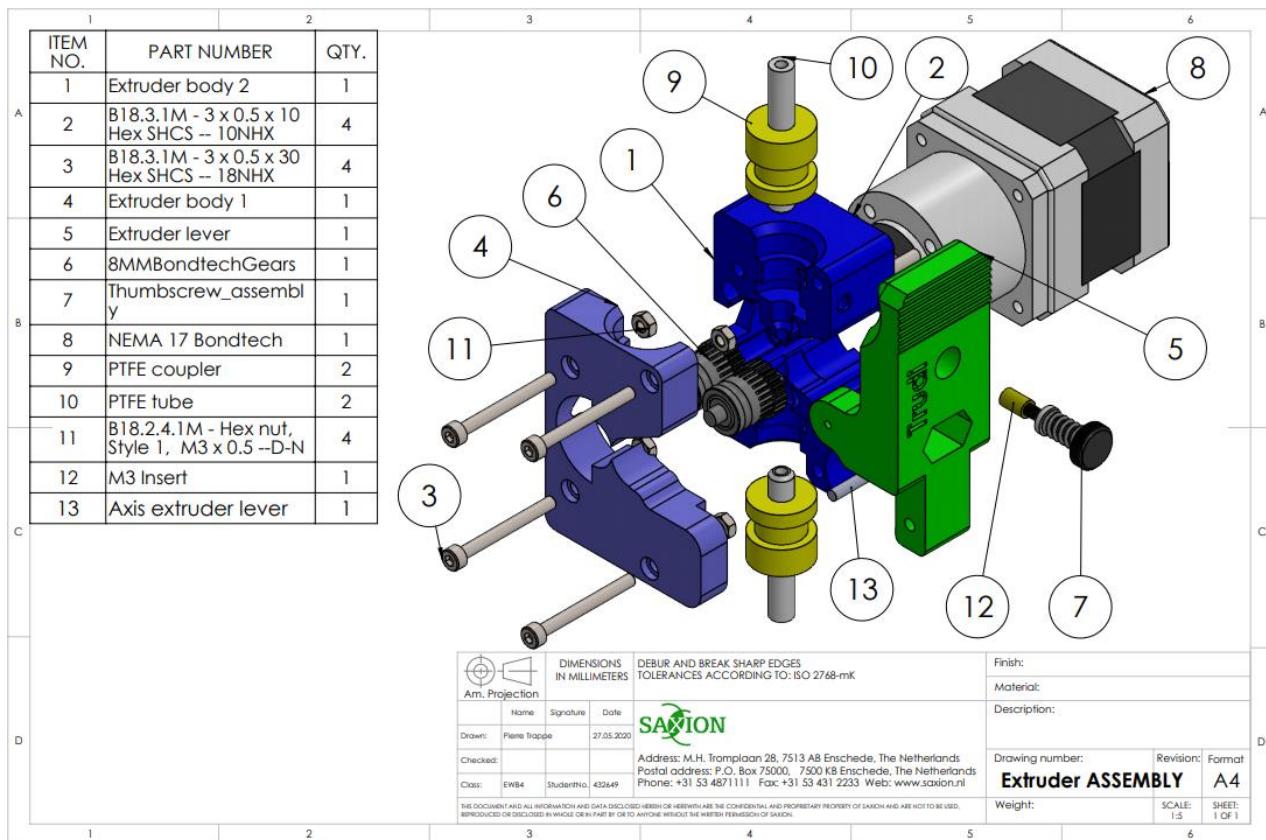


Figuur I1 Overzichtstekening smeltsysteem assemblage

Terug: Prototype en testen

Bijlage J

Extruder assemblage

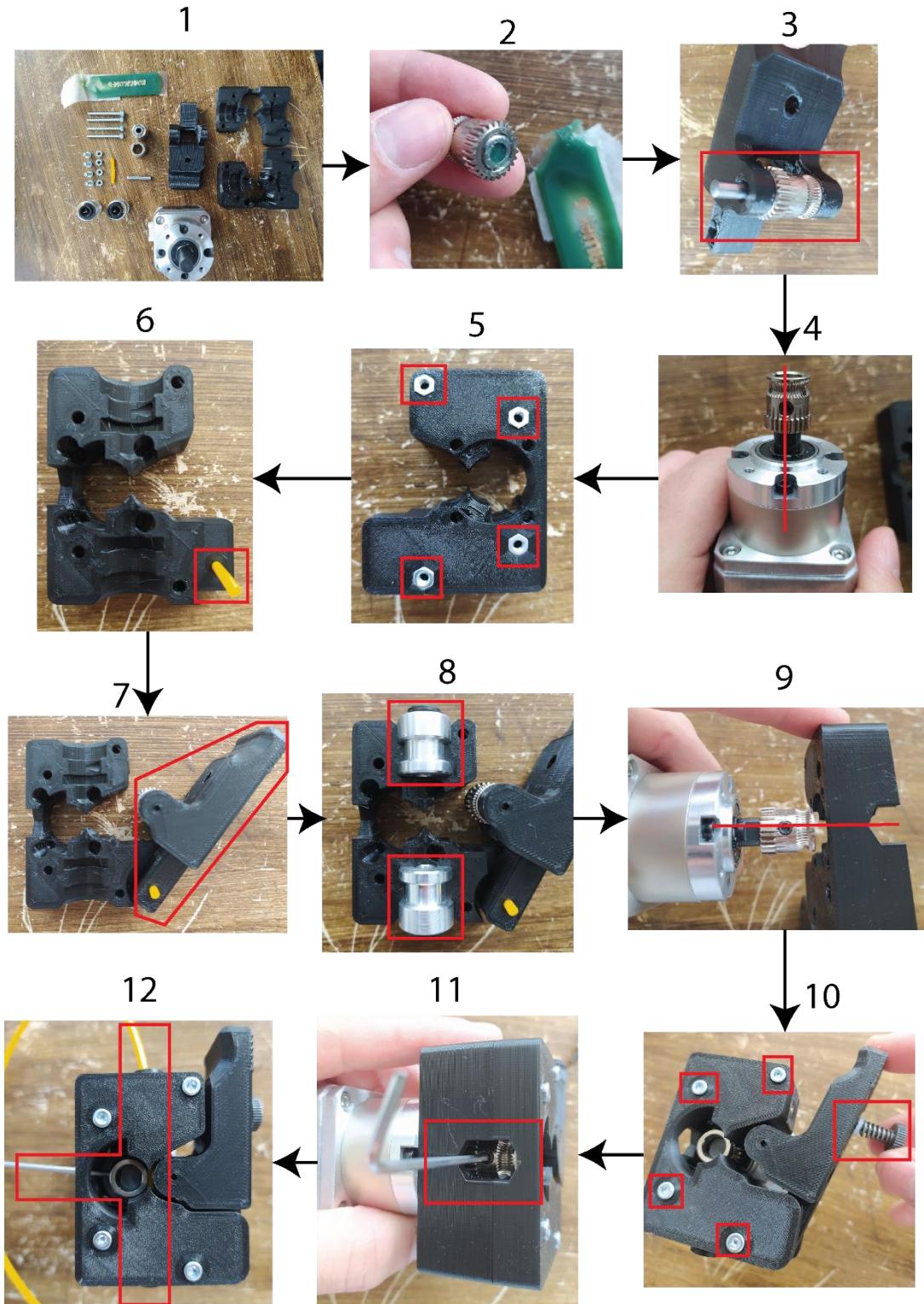


Figuur J1 Overzichtstekening extruder assemblage

Terug: Prototype en testen

Bijlage K

Montagehandleiding extruder



Figuur K1 Montagehandleiding extruder

Voor de montage wordt vooruitgezet dat het M3 insert in de grote extruder lichaam in gesmolten is.

Stappenplan extruder montage:

- 1) Verzamel alle benodigde onderdelen.
- 2) Smeer het tandwiel met het kogellager met vet.
- 3) Monteer het tandwiel uit stap 2 op de extruder arm met de tandwielas. De tanden moeten hierbij dichter bij het grotere gat voor het invoeren van de as zijn. Het kleinere gat op de andere zijde dient ter demontage.
- 4) Monteer het tandwiel zonder kogellager op de as van de motor zodat de stelschroef net op de as vastgeschoefd kan worden. De stelschroef moet met een van de vier zwarte schroeven van de motor op een lijn gemonteerd worden. Draai de motor met een tang zoals nodig. Draai de stelschroef nog niet volledig vast.
- 5) Druk 4x M3 moeren in de achterkant van de grotere extruder lichaam. Afhankelijk van de gebruikte 3D printer kunnen de toleranties afwijken. Als de moeren te los zijn gebruik secondelijm.
- 6) Monteer een 22,5mm lange filament stuk, diameter 2,85mm, in de grotere extruder lichaam.
- 7) Monteer de extruder arm op het lichaam. Het net ingebouwde stuk filament dient hier als as.
- 8) Monteer de PTFE-koppelingen.
- 9) Druk de motor van de achterkant in de grotere extruder lichaam. Zorg ervoor dat de stelschroef met het v-vormig gat in de body op een lijn zit. Bevestig de motor met 4x M3x10 schroeven van de andere kant.
- 10) Monteer het kleine extruder lichaam met 4x M3X30 schroeven. Monteer de duimschroef in de extruder arm en schroef deze een klein stuk in de extruder lichaam.
- 11) Draai de stelschroef van het tandwiel op de motor los en houd het tandwiel op positie.
- 12) Voer filament van boven of beneden in. Draai vervolgens de duimschroef vast totdat je een weerstand bij het in en uit bewegen van het filament voelt. Controleer of allebei tandwielen het filament ingrijpen en draai vervolgens de stelschroef van het tandwiel op de motor vast.

Terug: Prototype en testen

Bijlage L

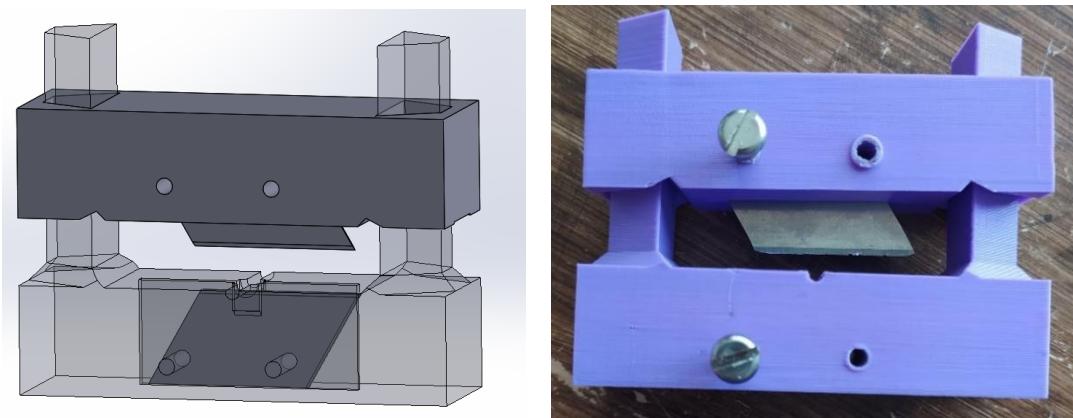
Proof of principle snijden vervolg

De eerste test is uitgevoerd met een PTFE-buis snijder (Figuur L1). Deze heeft een driehoek vormig snijmes welke ervoor zorgt dat de snijkrachten kleiner worden door het kleine punt welke eerst het materiaal raakt. De kracht hiervoor is door middel van een weegschaal gemeten worden. De resultaten kunnen een relatieve grote afwijking hebben maar tijdens de Covid-19 situatie was er geen andere mogelijkheid beschikbaar. Deze waarden worden later met een veiligheidsmarge verhoogt om het systeem krachtig genoeg te ontwerpen.



Figuur L1 PTFE-buis snijder

Voor de tweede test is er een testopstelling door middel van 3D printen gebouwd. Deze heeft twee messen met een kracht verlaging als doel (Figuur L2).



Figuur L2 Tweede testopstelling met twee messen

Als derde test is er een geharde wig gebruikt (Figuur L3) welke ook in draadstrippers voor het knippen van kabels gebruikt wordt in enkel en dubbele uitvoering.



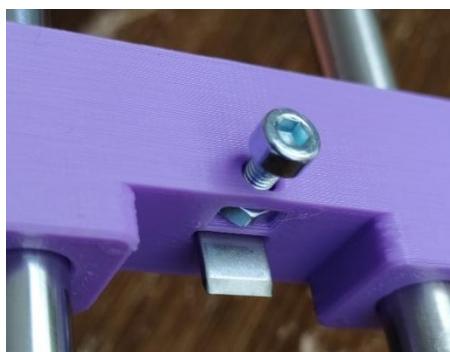
Figuur L3 Derde testopstelling met geharde wig

Uit deze testen volgden de volgende snijkrachten (Tabel L1):

Tabel L1 Resultaten snijgewicht testen

Diameter	Enkel mes	Dubbel mes	Geharde enkel wig	Geharde dubbel wig
2,85	30kg	25kg	40kg	20kg

Hieruit kan afgeleid worden dat een snijsysteem met twee parallelle messen minder snijkracht nodig heeft als een mes met een driehoekig vorm. Snijmessen zijn echter voor dit proces minder geschikt daar hier meer een knip beweging als een snijbeweging plaats vindt. Hierdoor treedt al na enkele kerken snijden hoge slijtage op (Figuur L5). Bij de geharde wig was dit niet het geval (Figuur L4).

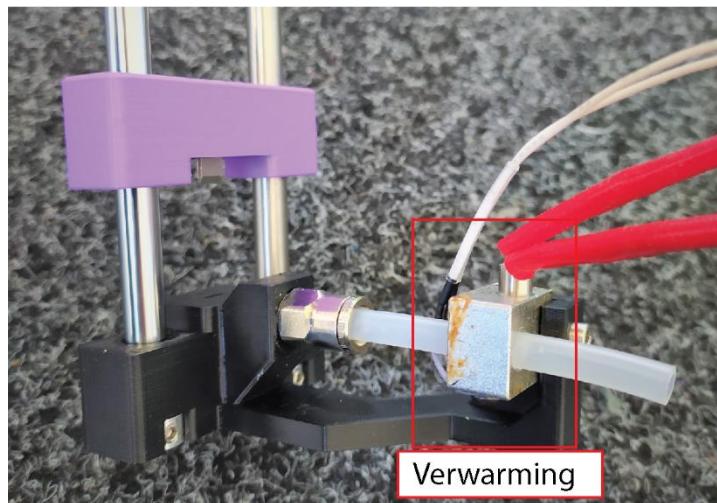


Figuur L4 Slijtage opstelling met wig



Figuur L5 Slijtage opstelling met twee messen

Door de vorm en de relatieve botte wig wordt het snijgewicht echter om 10 kg verhoogt ten opzichte van een scherp dubbel mes. Daar een mes zoals in Figuur L5 te zien is niet geschikt is voor deze toepassing is een aansluitend test uitgevoerd met als doel door middel van een voorafgaande verwarming de snijkracht te verkleinen.



Figuur L6 Voorafgaande verwarming opstelling

Zoals in Figuur te zien is de verwarming door een aluminiumblok omgezet die een PTFE-buis verwarmd. In deze PTFE-buis is bij verschillende temperatuur bereiken van 30-80°C het filament voorafgaand het snijden 10 sec lang verwarmd. Deze test is uitgevoerd met een enkel en dubbel geharde wig. Hieruit bleek dat dit het systeem onnodig complex maakt daar hier nog extra tijd voor het snijden benodigd wordt voor het lassen. Verder is dit proces niet geschikt voor een geharde wig zoals te zien in Figuur L7.



Figuur L7 Voorverwarmd proces resultaten met enkel geharde wig

Bij een test met dubbel geharde wiggen ziet het resultaat vaak beter uit maar de uitlijning van de wiggen was bij de testopstelling nog niet strak genoeg wat tot bramen resulterde (Figuur L8).



Figuur L8 Voorverwarmd proces resultaten met dubbel geharde wiggen

Het snijgewicht is door het voorwarmen om 5kg gedaald ten opzichte van het snijden zonder verwarming. Door de verhoogde doorlooptijd en de resultaten uit de testen wordt dit echter niet in het uiteindelijke concept toegepast. De hogere snijkracht zou door middel van een geschikte overbrengverhouding gecompenseerd worden waardoor het systeem betrouwbaar en snel blijft. De benodigde snijkracht bedraagt met twee geharde wiggen dus $\approx 200N$ wat met 20kg overeenkomt.

Terug: Snijsysteem

Bijlage M

Aandrijving snijsysteem berekeningen

Voor de aandrijving wordt een veiligheidsmarge van 40% op de benodigde snijkracht gerekend om zeker te zijn dat het snijproces betrouwbaar werkt en om rekening met optredende wrijving te houden. Hieruit volgt een snijkracht van:

$$F = 1.4 * 20 * g = 1.4 * 20 * 9.81 = \mathbf{274.68N} \quad (\text{M1})$$

Met deze kracht en het basisschema van het systeem (Figuur M1) kan nu het benodigde vermogen van de motor berekend worden:

Geg: $F = 274.68N ; l = 15mm$ Gez: $M = ?$

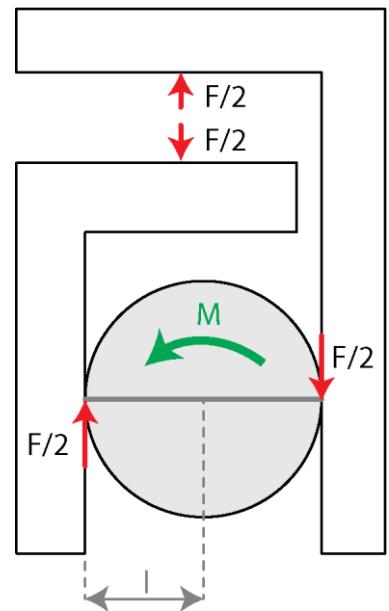
$$M = 2 * \left(\frac{F}{2} * l \right) = F * 2l \quad (\text{M2})$$

$$M = 274.68 * 30 * 10^{-3} = 8.3Nm$$

Om de grootte van de motor klein te houden zal er een overbrengverhouding gebruikt worden van ten minste $i = 2$. Hiervoor is een DC-motor van een standaard leveranciers gekozen welke een vermogen van $M_{mot} = 3,9 Nm$ heeft. Hieruit volgt:

$$i = \frac{M}{M_{mot}} = \frac{8,3}{3,9} = 2,12 \approx 2,2 \quad (\text{M3})$$

$$M_{max} = M_{mot} * i = 3,9 * 2,2 = 8,58 Nm \quad (\text{M4})$$



Figuur M1 Basisschema aandrijving snijsysteem

Voor de as van de motor wordt er voor 15 tanden met een moduul van $m = 2$ gekozen. Hierdoor wordt het aantal tanden op de uitgaande as van het snijsysteem:

$$z_2 = z_1 * i = 15 * 2,2 = 33 \quad (\text{M5})$$

Deze keuze is aan de hand van de beschikbare plek in het systeem en op basis van de grootte van de motor gemaakt. De tandwielen zelf worden door middel van FDM 3D printen gemaakt daar deze makkelijker met complexere vormen zonder nabewerking geproduceerd kunnen worden. De reden waarom voor $m = 2$ is gekozen is omdat het tandwiel zo nauwkeuriger geprint kan worden.

Voor de materiaalkeuze zijn hier de optredende krachten op de tanden van de uitgaande as van belang, met name de plaatselijke tandvoetspanning. Deze kan berekend worden met de volgende formule:

$$\sigma_{V0} = \frac{F_t}{b \cdot m} * Y_{Va} * Y_{Ka} * Y_\varepsilon * Y_\beta \quad (\text{Wittel, Muhs, Jannasch, & Vossiek, 2013}) \quad (\text{M6})$$

Waarbij: F_t = omtrekskracht; b = tandbreedte; Y_{Va} = Vormfactor; Y_{Ka} = Kerffactor;

Y_ε = Ingripfactor; Y_β = Tandhoekfactor

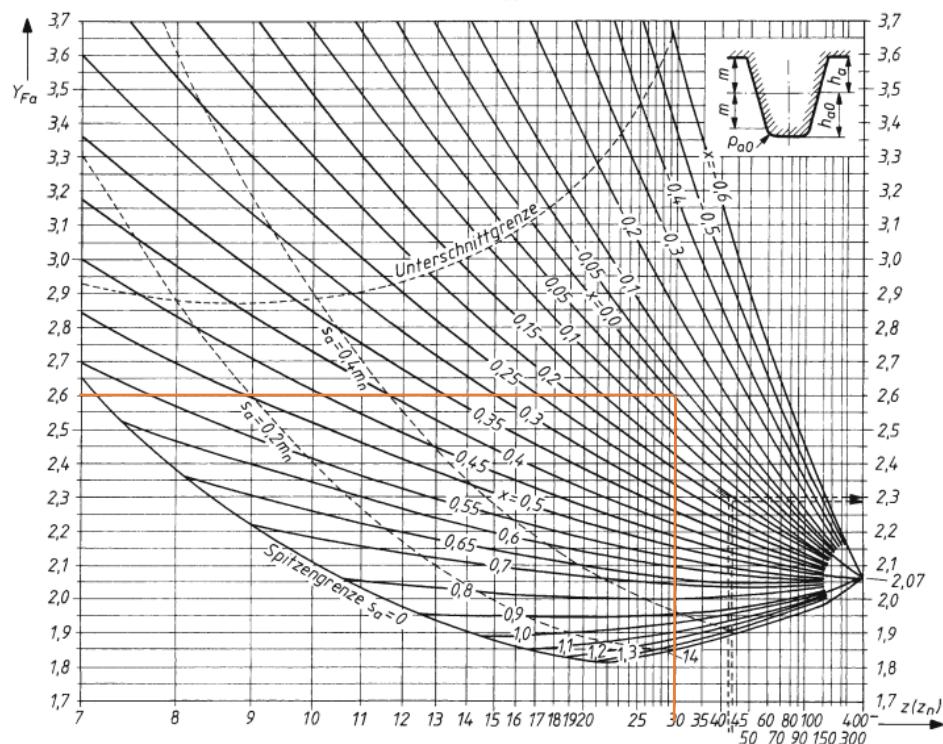
Deze factoren hebben een invloed op de belasting van het tandwiel. Y_ε en Y_β zijn bij een recht tandwiel van 1 en worden dus niet meegenomen in de berekening. "De vormfactor Y_{Va} houdt rekening met de tandingrijping op de tankdop, alsmede met de invloed van de tandvorm op σ_b en is onafhankelijk van het tegenwiel" (Wittel, Muhs, Jannasch, & Vossiek, 2013, p. 744). Waarbij σ_b de nominale buigspanning is en zich hierbij op een theoretisch heugelprofiel van $\alpha = 20^\circ$ volgens Tabel M1 betrokken wordt ($Y_{Va} = Y_{Fa}$).

Tabel M1 Vormfactor Y_{Va}

TB 21-20 Korrekturfaktoren zur Ermittlung der Zahnußspannung für Außenverzahnung
(nach DIN 3990)

a) Formfaktor Y_{Fa}

Bezugsprofil $\alpha = 20^\circ$, $h_a = m$, $h_{a0} = 1,25 \cdot m$, $q_{a0} = 0,25 \cdot m$



(Wittel, Muhs, Dieter, & Vossiek, 2013)

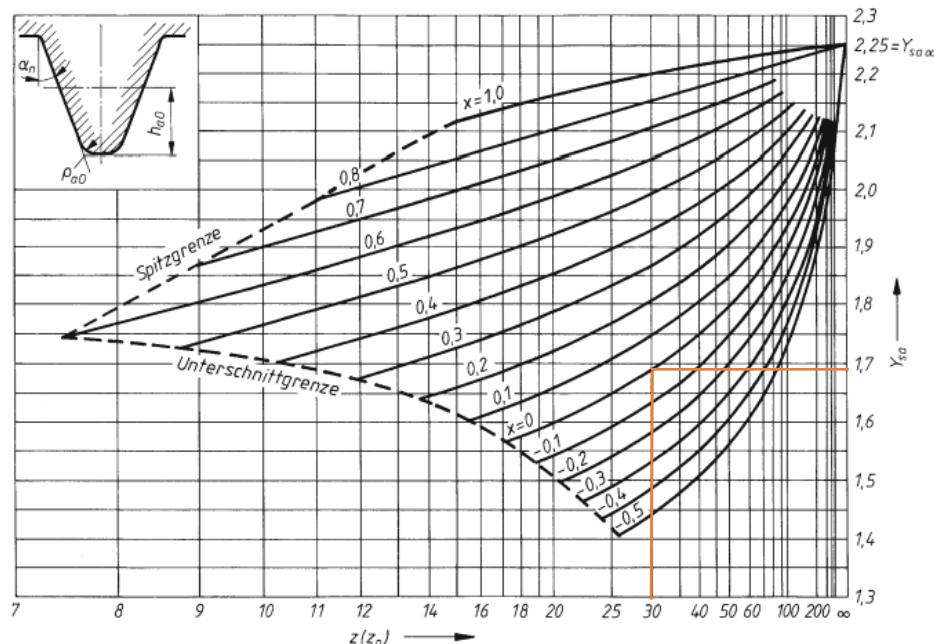
x is hierbij de profielverschuiving die door productieprocessen ontstaat bij bepaalde tandwielgrootheden of welke voor gewenste eigenschappen gebruikt wordt. In deze geval bedraagt $x = 0$. Aflezen met $z = 30$ en $x = 0$ geeft $Y_{Va} = 2,6$. De ingripfactor Y_{Ka} houdt rekening met de

krachtverhoging van de voetafronding daar hier niet alleen buigspanning optreedt. Deze factor geldt alleen samen met de vooraf bepaalde Y_{Va} . Tabel M2 ($Y_{Sa} = Y_{Ka}$) geeft $Y_{Ka} = 1,68$.

Tabel M2 Ingrijpfactor Y_{Ka}

b) Spannungskorrekturfaktor Y_{Sa}

Bezugsprofil $\alpha = 20^\circ$, $h_a = m$, $h_{a0} = 1,25 \cdot m$, $q_{a0} = 0,25 \cdot m$



(Wittel, Muhs, Dieter, & Vossiek, 2013)

De tangentiële kracht F_t (Figuur M2) op de uitgaande as bij een tandwiel moduul van $m = 2$ en het aantal tanden $z = 33$ bedraagt:

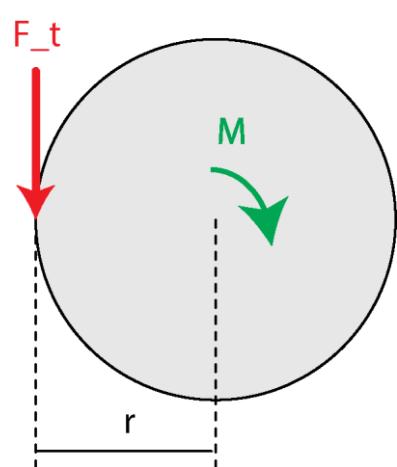
$$F_t = \frac{M_{mot}}{r} = \frac{\frac{M_{mot}}{d_{steek}}}{\frac{2}{2}} \quad (\text{waarbij } M_{mot} \text{ uit (vgl. XX)}; d_{steek} = \text{steekcirkeldiameter}) \quad (\text{M7})$$

$$d_{steek} = m * z \quad (\text{M8})$$

$$F_t = \frac{M_{mot}}{\frac{m * z}{2}} = \frac{8,58 * 10^3}{\frac{2 * 33}{2}} = 260N$$

De tandwielbreedte b wordt door het systeem op 12mm beperkt. Nu kan vgl. (M6) ingevuld worden:

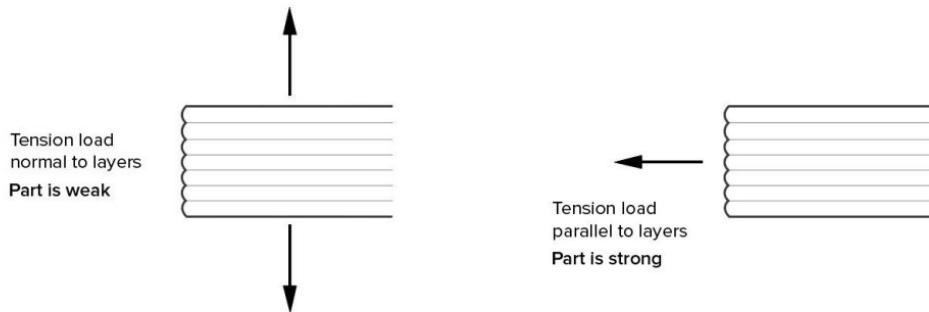
$$\sigma_{V0} = \frac{260}{12 * 2} * 2.6 * 1,68 = 47,32 \frac{N}{mm^2}$$



Figuur M2 Tangentiële kracht basisschema

Aan de hand van deze waarde kan nu een materiaal gekozen worden. Hiervoor zal PLA een mogelijke optie zijn met een treksterkte van $\sigma = 49,5 \frac{N}{mm^2}$ (Ultimaker, 2018). Dit kan echter door het kleine verschil met de berekende waarde op lange termijn tot slijtage problemen leiden.

Hierdoor wordt PC van het merk Polymaker gekozen welk met $\sigma = 59,7 \frac{N}{mm^2}$ uitstekend hiervoor geschikt is (Polymaker, 2020). Belangrijk is onder andere ook de printrichting om de genoemde waarden te bereiken (Figuur M3).



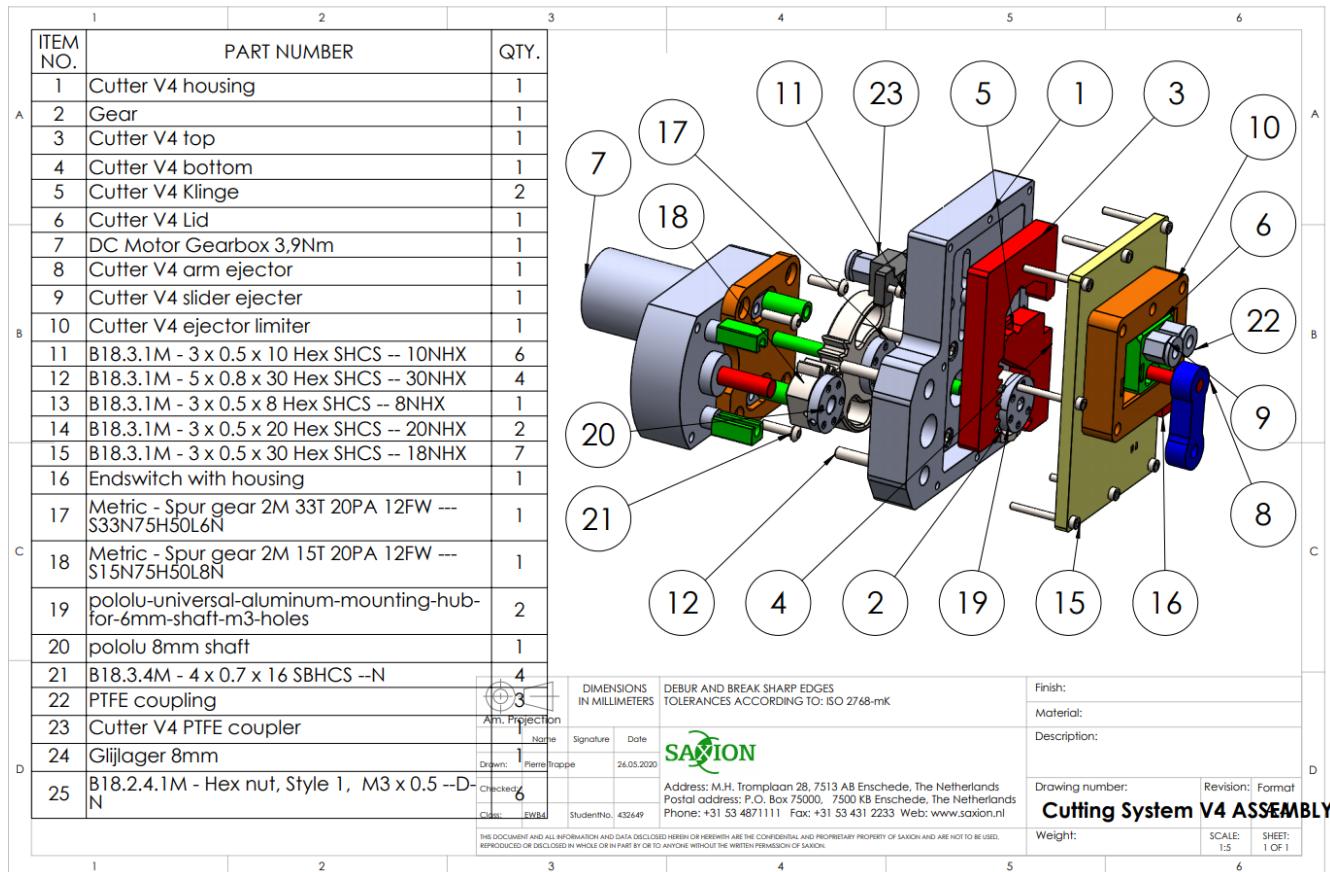
Figuur M3 Eigenschappen in verschillende richtingen van 3D geprinte onderdelen (Redwood, 2020)

Verder moet de slijtage van het materiaal in regelmatige afstanden gecontroleerd worden. Het zal mogelijk zijn na de COVID-19 situatie met de metaal printer op Saxion nieuwe tandwielen te kunnen printen om de slijtage te verlagen.

Terug: Aandrijving

Bijlage N

Snijsysteem assemblage

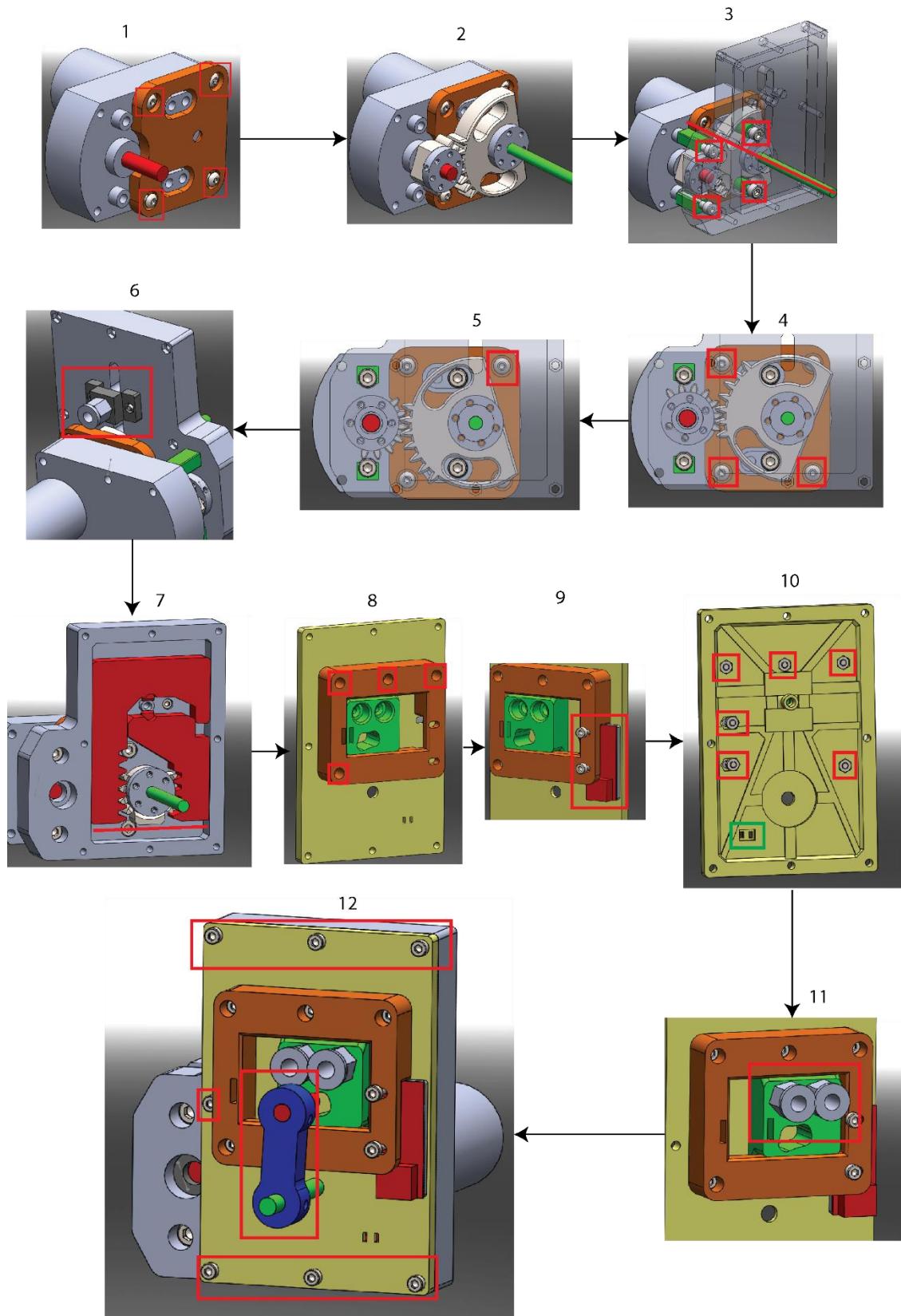


Figuur N1 Overzichtstekening snijsysteem assemblage

Terug: Prototype en testen

Bijlage O

Montagehandleiding snijsysteem



Figuur O1 Montagehandleiding snijsysteem

Voor de montage wordt aangenomen dat het lager in het lagerblok, het glijlager in de behuizing en de mounting hubs op de tandwielen vooraf gemonteerd zijn.

Stappenplan montage snijsysteem:

- 1) Monteer de lagerblok op de DC-motor met 4x M4x16 schroeven. Draai deze nog niet volledig vast.
- 2) Zet het kleine tandwiel op de as van de motor. Zet het grote tandwiel met de D-as (groen) in de lagerblok. Monteer de tandwielen zodat hun vlakke kanten parallel met elkaar zijn.
- 3) Monteer de behuizing met de groene afstandhouders en 4x M5x 30 schroeven. De rechthoekige afstandhouders worden op de linkerzijde van de motor gemonteerd. De ronde afstandsbussen op de zijde van het grote tandwiel. Lijn vervolgens de D-as (groen) van het grote tandwiel met de behuizing uit. Draai de stelschroeven van de twee gemonteerde tandwielen vast. Gebruik hiervoor Loctite 243 als lijm.
- 4) Draai het tandwiel na de positie in stap 4. Draai vervolgens de gemaakte schroeven vast.
- 5) Draai het tandwiel na de positie in stap 5. Draai vervolgens de gemaakte schroef vast.
- 6) Monteer de koppeling voor de PTFE-slang op de achterkant van de behuizing met 2x M3x10 schroeven en 2x M3 moeren.
- 7) Leg de snij-elementen in de behuizing zodat deze aan de onderkant parallel zijn. Monteer vervolgens het kleine snijtandwiel in de behuizing. Let erop dat de stelschroeven op de vlakke kant van de D-as terecht komen. Is dit niet het geval, draai het achterste grote tandwiel. Draai de stelschroeven van het snijtandwiel vast. Gebruik hiervoor Loctite 243 als lijm.
- 8) Monteer de slider en de frame op de deksel met 4x M3x10 schroeven. Zet deze met 4x M3 moeren vast op de achterkant van de deksel. Op de achterkant zijn gaten voor de moeren. Draai de schroeven nog niet helemaal vast.
- 9) Monteer de eindschakelaar met 2x M3x20 schroeven en 2x M3 moeren op de achterkant van de deksel. De gaten voor deze moeren hebben een langer gat zodat de schakelaar in stap 12 afgesteld kan worden.
- 10) Ga zeker dat alle moeren in het desbetreffende gat gemonteerd zijn en niet eruit vallen kunnen. Monteer een kabelbinder in het gat links beneden (groen rechthoek) zodat deze vanuit de voorkant dicht getrokken kan worden.
- 11) Monteer de PTFE-koppelingen in de slider. Stel vervolgens de eindschakelaar af zodat de doorgang met het linker gaat van de slider en de deksel bestaat. Draai vervolgens alle schroeven van de eindschakelaar en de frame vast.
- 12) Monteer de blauwe arm op de groene as. Monteer de rode as in de blauwe arm. Draai beide stelschroeven op de blauwe arm vast. Draai de deksel op de behuizing vast met 7x M3x30 en 7x M3 moeren vast.

Terug: Prototype en testen

Bijlage P

Opwikkelsysteem berekening aandrijving

Voor de berekening wordt een massa m van 1,8kg waarin al een veiligheidsmarge van 60% is inbegrepen ten opzichte van het normale gewicht. Hierdoor zal het ook mogelijk zijn grotere spoelen aan te drijven wat het systeem flexibeler maakt voor eventuele veranderingen in de toekomst. Het traagheidsmoment kan met de volgende formule berekend worden:

$$M = J * \alpha \quad (\text{waarbij } M = \text{Moment motor}, J = \text{traagheidsmoment}, \alpha = \text{hoekversnelling}) \quad (P1)$$

Daar de spoel alleen op de buitenrand filament bevat, kan deze als holle cilinder gezien worden. De formule voor het traagheidsmoment wordt daarom:

$$J = m * \frac{r_1^2 + r_2^2}{2} \quad (\text{waarbij } m = \text{massa}, r_1 = \text{binnen radius}, r_2 = \text{buitenradius}) \quad (P2)$$

De waarden van de vereiste spoel van het merk "ICE Filaments" zijn:

$$r_1 = 51\text{mm} \text{ en } r_2 = 95\text{mm}$$

Invullen geeft

$$J = 1,8 * \frac{(51^2 + 95^2) * 10^{-3}}{2} = 10,46 \text{ kgm}^2$$

Voor de hoekversnelling α wordt aangenomen dat de hoeksnelheid $\omega = \frac{2}{5}\pi$ uit vlg. (10) binnen $t_\alpha = 4\text{s}$ uit de stilstand bereikt wordt.

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt_\alpha} = \frac{\frac{2}{5}\pi}{4} = 0,314 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} \quad (P3)$$

Het minimale moment (P1) van de motor wordt hierdoor

$$M = 10,46 * 0,314 = 3,55 \text{ Nm}$$

Om de aansturing te vereenvoudigen wordt hier een Nema 17 motor met $M_{Nema} = 0,5\text{Nm}$ gebruikt. Hierdoor wordt de overbrengverhouding i_{ges} en het maximale motorvermogen M_{max}

$$i_{ges} = \frac{M}{M_{Nema}} = \frac{3,55}{0,5} = 7,11 \approx 7,5 \quad (P4)$$

$$M_{max} = M_{Nema} * i_{ges} = 0,5 * 7,5 = 3,75 \text{ Nm} \quad (P5)$$

Om deze grote overbrengverhouding om te zetten is een tandwielkast met dubbele reductie nodig daar anders te veel ruimte benodigd wordt. Dit is echter geen probleem daar hier ook weer 3D printen als productietechniek gebruikt kan worden. Als moduul wordt hier weer $m = 2$ gekozen voor betere maakbaarheid. Een dubbele reductie zal hiervoor voldoende zijn.

Voor de eerste overbrengingsverhouding wordt $i_1 = 3$ aangehouden om vervolgens geen speciale tandenaantallen te creëren. Hierdoor wordt i_2

$$i_{ges} = i_1 * i_2 \quad (P6)$$

$$i_2 = \frac{i_{ges}}{i_1} = \frac{7,5}{3} = 2,5 \quad (P7)$$

Voor het tandwiel op de motor wordt $z_1 = 15$ gekozen omdat dit het kleinste maat is voor de bevestiging op de as. z_2 wordt hierdoor

$$i_1 = \frac{z_2}{z_1} \quad (P8)$$

$$z_2 = i_1 * z_1 = 3 * 15 = 45 \quad (P9)$$

Het derde tandwiel wordt op het tweede tandwiel geïntegreerd. Hiervoor wordt $z_3 = 20$ aangehouden daarmee z_4 een even tandental krijgt.

$$i_2 = \frac{z_4}{z_3} \quad (P10)$$

$$z_4 = i_2 * z_3 = 2,5 * 20 = 50 \quad (P11)$$

Daar hier en kleiner moment ten opzichte van het snijsysteem (3,75 Nm vs. 9,75 Nm) optreedt en de tandwielen ongeveer de gelijke grootte hebben wordt er geen nieuwe berekening voor het materiaal uitgevoerd. Voor referentie zie hfd. 4.3 Aandrijving.

Terug: Aandrijving

Bijlage Q

Veerkracht berekening encoder

De gegevens zijn als volgt door de CAD-tekening afgelezen:

$$geg: s_1 = 38mm; \alpha_1 = 19,5^\circ; s_2 = 46mm; \alpha_2 = 14,3^\circ; s_3 = 68mm; \alpha_3 = 90^\circ$$

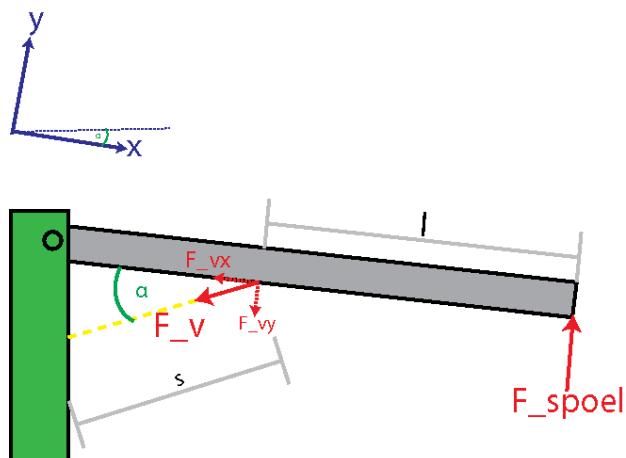
Waarbij s_{1-3} de verschillende veerposities zijn met de desbetreffende hoek α_{1-3} van de veer ten opzichte van de arm.

$s_1 = lege spoel; s_2 = volle spoel; s_3 = arm naar boven geklapt$

De minimale veerlengte moet dus onder $s_1 = 38mm$ voor l_0 en boven $s_3 = 68mm$ voor de maximale lengte l_{max} liggen. Bij de Saxion leverancier Conrad is met deze gegevens de volgende veer gekozen:

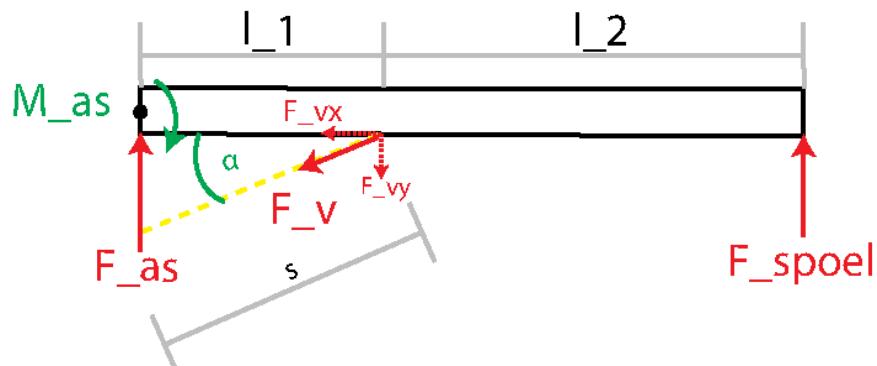
$$l_0 = 28,05mm; l_{max} = 100,2; R = 0,275 \frac{N}{mm}$$

Waarbij R de veerconstante is die vervolgens voor de berekening benodigd wordt. Het systeem kan door middel van het volgende basisschema weergegeven worden (Figuur Q1).



Figuur Q1 Basisschema encoder

Na verdere vereenvoudiging (Figuur Q2):



Figuur Q2 Vereenvoudigd basisschema encoder

Er wordt van een homogeen arm uit gegaan. Elke kracht is ter vereenvoudiging op een lijn gezet wat het resultaat niet zal beïnvloeden daar hier alleen krachten in de y-richting van belang zijn. Als maximale waarde voor $F_{spoel_{max}}$ wordt 3N aangenomen om het opwikkelproces niet te beïnvloeden. Om de optredende kracht F_{spoel} te berekenen kan de volgende vergelijking opgesteld worden:

$$\Sigma M_{as} = 0; F_{vy} * l_1 - F_{spoel}(l_1 + l_2) = 0 \quad (Q1)$$

$$F_{spoel} = \frac{F_{vy} * l_1}{l_1 + l_2} \quad (Q2)$$

Uit de CAD-tekening volgt $l_1 = 34,74\text{mm}$ en $l_2 = 147,05\text{mm}$.

Met de gekozen veer en de veerconstante $R = 0,275 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$ kan de deelkracht F_{vy} brekend worden.

$$F_v = R * s \quad (Q3)$$

$$F_{vy} = F_v * \alpha = R * s * \sin\alpha \quad (Q4)$$

Vgl. (Q2) invullen geeft

$$F_{spoel} = \frac{R * s * \sin\alpha * l_1}{l_1 + l_2}$$

Met deze vergelijking kunnen nu de drie afzonderlijke posities brekend worden met de algemeen geledigde gegevens:

$$geg: R = 0,275 \frac{\text{N}}{\text{mm}}; l_1 = 34,74\text{mm}; l_2 = 147,05\text{mm}$$

Positie 1 → lege spoel

$$s_1 = 38\text{mm}; \alpha_1 = 19,5^\circ$$

$$F_{spoel_1} = \frac{R * s_1 * \sin\alpha_1 * l_1}{l_1 + l_2} = \frac{0,275 * 38 * \sin 19,5 * 37,74}{37,74 + 147,05} = 1,29\text{N}$$

Positie 2 → volle spoel

$$s_2 = 46\text{mm}; \alpha_2 = 14,3^\circ$$

$$F_{spoel_2} = \frac{R * s_2 * \sin\alpha_2 * l_1}{l_1 + l_2} = \frac{0,275 * 46 * \sin 14,3 * 37,74}{37,74 + 147,05} = 2,55\text{N}$$

Positie 3 → arm na boven geklappt

$$s_3 = 68\text{mm}; \alpha_3 = 90^\circ$$

$$F_{spoel_3} = \frac{R * s_3 * \sin\alpha_3 * l_1}{l_1 + l_2} = \frac{0,275 * 68 * \sin 90 * 37,74}{37,74 + 147,05} = 3,41\text{N}$$

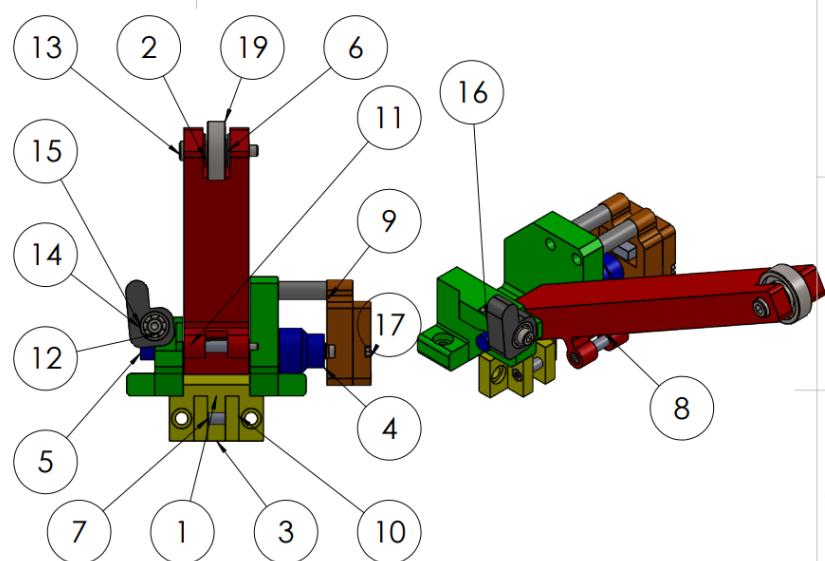
Vergelijken we deze waarden nu met de $F_{spoel_{max}} = 3\text{N}$ voldoet positie 3 niet aan deze waarde. Dit is verder niet belangrijk daar op deze positie geen contact met de spoel bestaat. $F_{spoel_{1-2}}$ blijven onder de maximale waarde wat bevestigd dat de gekozen veer geschikt voor deze ontwerp is.

Terug: Veerspanning

Bijlage R

Spoel encoder assemblage

ITEM NO.	PART NUMBER	QTY.	3	4	5	6
1	Encoder Body	1	A	13	2	19
2	Encoder arm	1		6	11	16
3	Encoder Spring mount	1		9		
4	Potentiometer	1		17		
5	Encoder axis	1		4		
6	Encoder Bearing Spacer	1		8		
7	Encoder Spring mount spacer	1	B	12	14	
8	Encoder spring spacer	1		5	13	
9	Encoder Spacer	2		7	1	10
10	B18.3.1M - 3 x 0.5 x 16 Hex SHCS -- 16NHX	3	C			
11	B18.3.1M - 3 x 0.5 x 30 Hex SHCS -- 18NHX	3				
12	B18.3.1M - 4 x 0.7 x 30 Hex SHCS -- 20NHX	1				
13	B18.3.1M - 5 x 0.8 x 30 Hex SHCS -- 22NHX	1	D			
14	Encoder arm helper	1				
15	AFBMA 12.1.4.1 - 0040-13 - 8.DE,NC,8_68	1				
16	B18.2.4.1M - Hex nut, Style 1, M4 x 0.7 -D-N	1	E			
17	B18.2.4.1M - Hex nut, Style 1, M3 x 0.5 -D-N	6				
18	B18.2.4.1M - Hex nut, Style 1, M5 x 0.8 -D-N	1				
19	AFBMA 20.1 - 10-10 - 8.SI,NC,8_68	1				



The diagram shows a 3D assembly of a spool encoder. It consists of a central vertical red cylindrical body (Encoder Body, Item 1). Attached to the top is a green rectangular component (Encoder arm, Item 2). A blue cylindrical part (Encoder axis, Item 5) extends from the bottom. Various other parts like bearings, spacers, and mounting brackets are shown in green, blue, and grey. Numbered circles (1 through 19) point to specific parts in the assembly, corresponding to the items listed in the Bill of Materials table.

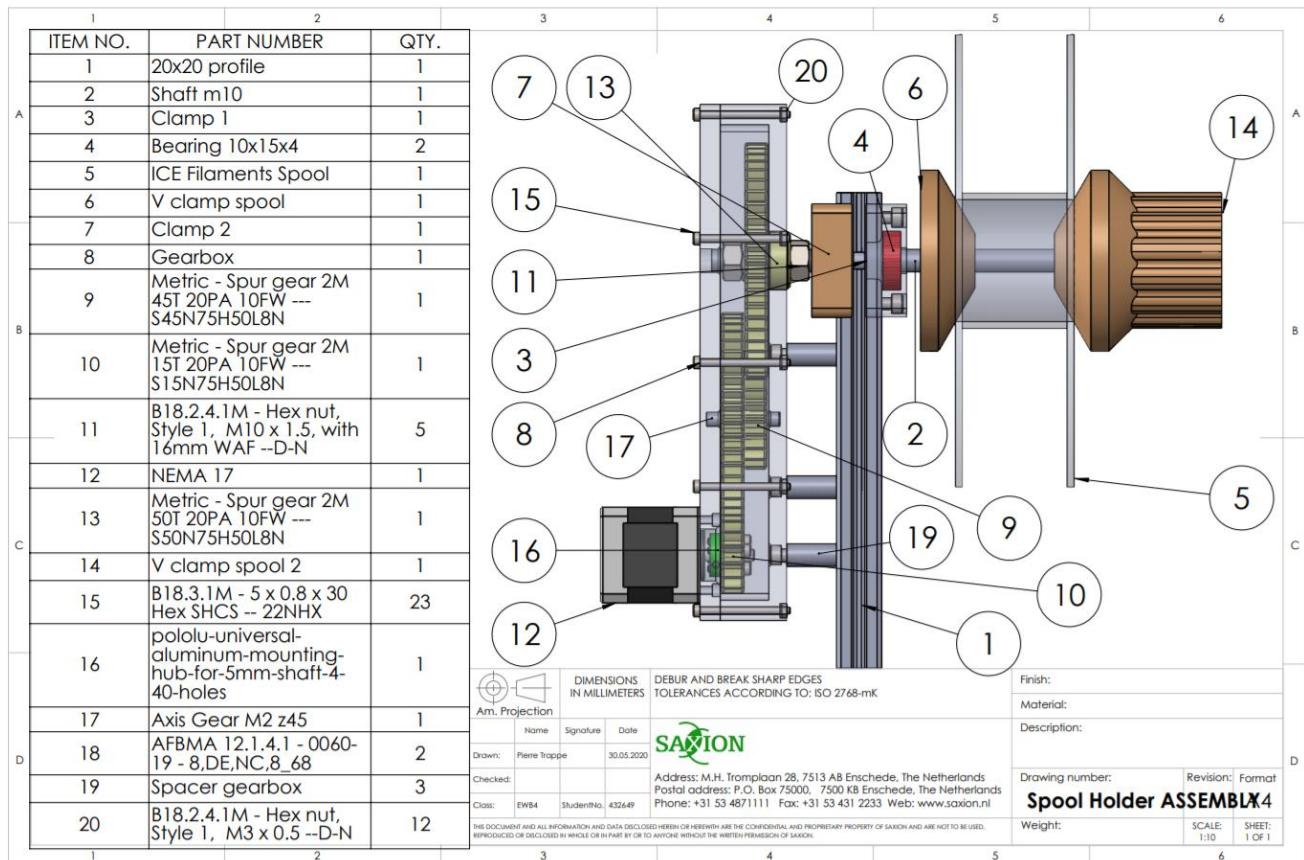
Am. Projection	DIMENSIONS IN MILLIMETERS	DEBUR AND BREAK SHARP EDGES TOLERANCES ACCORDING TO: ISO 2768-mK	Finish:
	Name _____ Signature _____ Date _____	SAXION	Material: Material <not specified>
Drawn:	Pierre Troppé 25.05.2020	Address: M.H. Tromplaan 28, 7513 AB Enschede, The Netherlands Postal address: P.O. Box 75000, 7500 KB Enschede, The Netherlands Phone: +31 53 4871111 Fax: +31 53 431 2233 Web: www.saxion.nl	Description:
Checked:			Drawing number: Revision: Format
Class:	EWB4 StudentNo.: 432649		Spool Encoder Assembly
THE DOCUMENT AND ALL INFORMATION AND DATA DISCLOSED HEREIN OR HERINBOTH ARE THE CONFIDENTIAL AND PROPRIETARY PROPERTY OF SAXION AND ARE NOT TO BE USED, REPRODUCED OR DISCLOSED IN WHOLE OR IN PART BY OR TO ANYONE WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF SAXION.			Weight: 189.01 Scale: 1:5 Sheet: 1 OF 1

Figuur R1 Overzichtstekening spoel encoder assemblage

Terug: Prototype en testen

Bijlage S

Spoelhouder assemblage



Figuur S1 Overzichtstekening spoelhouder assemblage

Terug: Prototype en testen

Bijlage T

Opwikkeltuiniek assemblage

ITEM NO.	PART NUMBER	QTY.	3	4	5	6
1	Zig Zag Base	1	14	3	9	5
2	KP08	1	6			18
3	SK8 SC8UU LINEAR RAIL ORIGINAL	4				A
4	Trapezoidal lead screw tr8x8-4	1				
5	NEMA17_Coupler	1				
6	Zig Zag 8mm as	2				
7	Zig Zag slider	1				
8	RJ4JP-01-08 v2	2				
9	PTFE clamp	1				
10	Nema 17 Motor mount	1				
11	B18.2.4.1M - Hex nut, Style 1, M4 x 0.7 -D-N	4				
12	B18.2.4.1M - Hex nut, Style 1, M5 x 0.8 -D-N	10				
13	B18.2.4.1M - Hex nut, Style 1, M3 x 0.5 -D-N	4				
14	B18.3.1M - 5 x 0.8 x 16 Hex SHCS -- 16NMX	7				
15	socket head cap screw_am	2				
16	B18.3.1M - 3 x 0.5 x 30 Hex SHCS -- 18NMX	2				
17	B18.3.1M - 5 x 0.8 x 20 Hex SHCS -- 20NMX	1				
18	B18.3.1M - 4 x 0.7 x 10 Hex SHCS -- 10NMX	4				
19	B18.3.1M - 3 x 0.5 x 10 Hex SHCS -- 10NMX	2				
20	Endswitch with housing	1				
21	NEMA 17 normal	1				
22	TR moer	1				

Am. Projection

Name:	Signature:	Date:
SAXION		
Drawn:	Pierre Trappe	25.05.2020
Checked:		
Cust:	EW4	StudentNo. 43264F

DIMENSIONS IN MILLIMETERS

DEBUR AND BREAK SHARP EDGES
TOLERANCES ACCORDING TO: ISO 2768-mK

Address: M.H. Tromplaan 28, 7513 A8 Enschede, The Netherlands
Postal address: P.O. Box 75000, 7500 KB Enschede, The Netherlands
Phone: +31 53 4871111 Fax: +31 53 4312233 Web: www.saxion.nl

THIS DOCUMENT AND ALL INFORMATION AND DATA DISCLOSED HEREIN OR HERETOEVER ARE THE CONFIDENTIAL AND PROPRIETARY PROPERTY OF SAXION AND ARE NOT TO BE USED, REPRODUCED OR DISCLOSED IN WHOLE OR IN PART BY OR TO ANYONE WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF SAXION.

Finish:

Material:

Description:

Drawing number: **Zig Zag Winder ASSEMBLY**

Weight: **1:1**

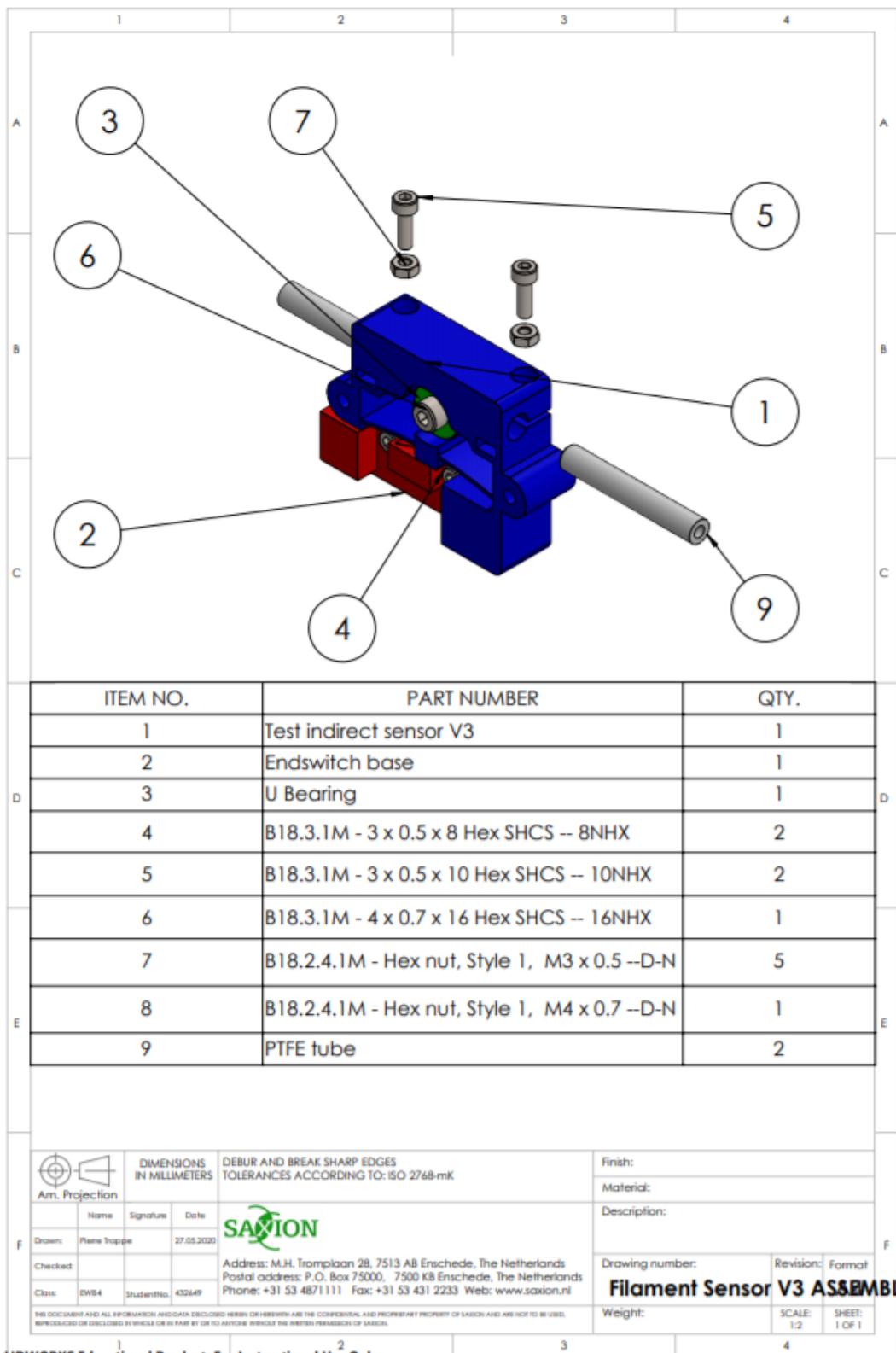
Revision: **1 OF 1**

Figuur T1 Overzichtstekening opwikkeltuiniek assemblage

Terug: Prototype en testen

Bijlage U

Filamentsensor assemblage



LIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

Figuur U1 Overzichtstekening filamentsensor assemblage

Terug: Prototype en testen

Bijlage V

Stuklijst 20x20 aluminium profielen uiteindelijke machine

Nummer	Item
	2 Stk. Aluminium profiel 20 x 20 I-type sleuf 5 Lengte: 1000 mm <i>Delivery time: 3-6 business days Ex Works</i>
	6 Stk. Aluminium profiel 20 x 20 I-type sleuf 5 Lengte: 210 mm Machining: - / - <i>Delivery time: 3-6 business days Ex Works</i>
	4 Stk. Aluminium profiel 20 x 20 I-type sleuf 5 Lengte: 60 mm Machining: - / - <i>Delivery time: 3-6 business days Ex Works</i>
	1 Stk. Aluminium profiel 20 x 20 I-type sleuf 5 Lengte: 100 mm Machining: - / - <i>Delivery time: 3-6 business days Ex Works</i>

Figuur V1 Stuklijst 20x20 aluminium profielen uiteindelijke machine

Terug: Assemblage machine