

Scriptie 3D-diagnose

Auteurs:

Marco van Noord

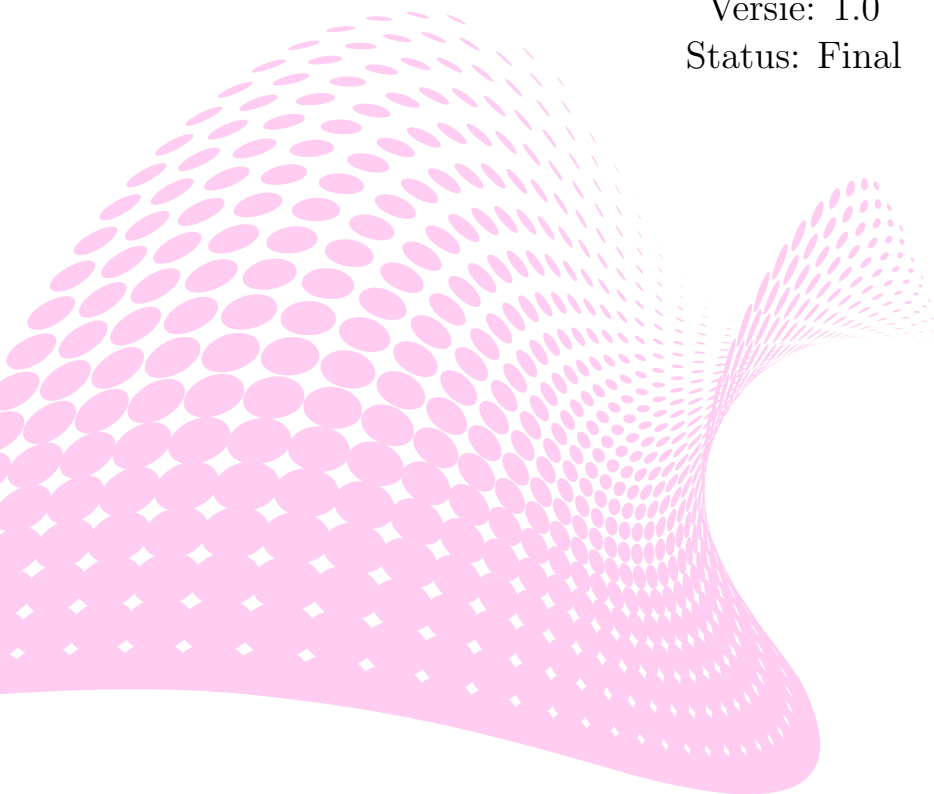
Afstudeerdocent: J.F. Blankert

Bedrijfsbegeleider: R. Holleman

Datum: 25 juni 2014

Versie: 1.0

Status: Final



Abstract

3D-printing is a quickly developing technology. New printers, materials, uses and software are being developed every day. However, while the price of these printers is quickly declining, the reliability and thus usability is questionable. A lot of prints fail for different reasons. In this research we try to determine and tackle these problems. We found that by adding some soft- and hardware, we could increase the reliability of these printers.

Dankwoord

Met dit dankwoord wil ik graag iedereen bedanken die mij geholpen heeft bij het tot stand komen van deze scriptie. De lijst met mensen die mij direct of indirect hebben geholpen is zeer lang, ik zal mij daarom beperken tot degenen die het meest belangrijk waren.

In de eerste plaats richt ik mijn dankwoord aan mijn bedrijfsbegeleider Richard Holleman die altijd klaar stond om mij te helpen, zowel met mijn scriptie als op het einde op het technisch vlak.

Ten tweede wil ik alle mede-afstudeerders bedanken die bij mij in de kantoortuin zaten. De hoeveelheid steun die uit deze hoek kwam is onbeschrijfelijk.

Inhoudsopgave

1	Introductie	8
1.1	Inleiding	8
1.2	Probleemstelling	8
1.2.1	Huidige situatie	8
1.3	Doelstelling	9
1.4	Uitgangspunten	9
1.4.1	Scope	9
1.4.2	Vragen	10
2	Methodologie	11
2.1	Theoretisch kader	11
2.2	Ontwikkelmethode	11
2.3	Onderzoeksmethoden	11
3	Problemen en afwijkingen	12
3.1	Wat heeft een negatief effect op de nauwkeurigheid en betrouwbaarheid	12
3.2	Afwijkingen	12
3.2.1	Speling	12
3.2.2	Verschuiven	12
3.2.3	Over/onderextrusie	13
3.2.4	Z-as hoogte	13
3.2.5	Instellingen slicer	13
4	Onderzoek meetonderdelen	15
4.1	Onderzoek	15
4.2	Meetmethoden	15
4.2.1	Speling	15
4.2.2	Verschuiving	16
4.2.3	Over/onderextrusie	16
4.2.4	Z-as hoogte	17
4.2.5	Instellingen slicer	17
4.3	Eisen	17
4.3.1	Meting aan de as	17
4.3.2	Filamentdiameter	18
4.3.3	Filament doorvoer	18
4.3.4	Z-as	18
4.3.5	Instellingen slicer	18
4.4	Kosten/baten	18
4.4.1	Meting aan de assen	19
4.4.2	Assen	19

4.4.3	Extruder	20
4.4.4	Z-as	20
4.4.5	Instellingen slicer	20
4.5	Conclusie	20
5	Filament	22
5.1	Introductie	22
5.2	Montage	22
5.3	Schuifmaat	22
5.3.1	Snelheid	22
5.3.2	Implementatie	22
5.4	Encoder	23
5.5	API	23
5.6	Problemen	23
5.7	Resultaten	24
5.8	Conclusie	25
6	Metten printbed	26
6.1	Introductie	26
6.2	Voorgestelde oplossing	26
6.3	Implementatie	26
6.4	Resultaten	27
7	Slicer	28
7.1	Introductie	28
7.2	Aanpassingen	28
7.3	Instellingen	28
7.4	Implementatie	29
7.5	Gebruik	29
8	Conclusie en discussie	30
8.1	Conclusie	30
8.2	Discussie	30
8.3	Aanbeveling	30
A	Images	32
B	Verklarende woordenlijst	37
C	Keuze 3d-printer	39
C.1	Eindoordeel	40
D	Onderzoek hardware	42
D.1	Eisen	42
D.2	Vergelijking	43
D.3	Systeem	44

E Aansluiting hardware	45
F Onderzoek printen	47
F.1 Intruductie	47
F.2 Onderzoeksmethode	47
F.3 Resultaten	47
F.3.1 Bedhoogte	47
F.3.2 extruder	47
F.3.3 verschuiving as	48
F.3.4 Loslaten	48
F.3.5 Resultaten	48
F.4 Conclusie	48
G Data mislukte prints	49
H Keuze bed-meting	51
H.1 Introductie	51
H.2 Eisen	51
H.3 Methoden	51
H.3.1 Force sensing resistors	53
H.4 Conclusie	54
H.5 Aanbeveling	54
I Gebruikte schuifmaat	55
I.1 Introductie	55
I.2 Protocol	56
I.3 Aansluitingen	57
I.4 Tests	58
J Gemeten filament- en wanddikten	59
K Instellingen slicer	60

Hoofdstuk 1

Introductie

1.1 Inleiding

3D printers zijn op het moment erg in opkomst [5] [19]. De printers bieden een enorm scala aan nieuwe mogelijkheden en zijn dan ook niet voor niets het boegbeeld van de derde industriële revolutie[4]. Er kunnen niet alleen tegen lage kosten producten in kleine oplages gemaakt worden[6], maar ook kunnen er producten mee gemaakt worden die op geen enkele andere manier geproduceerd kunnen worden. Ook is "rapid prototyping", waarbij er snelle iteraties volgen van het ontwerp naar een prototype, erg populair. [3] [12]

De mogelijkheden van zulke printers zijn dus veelbelovend, maar vooral de betaalbare versies missen de betrouwbaarheid, snelheid en nauwkeurigheid van reproductie die voor veel toepassingen nodig is.[17] De opdracht is hier dan ook door ontstaan.

Dit is de scriptie van mijn studie HBO Informatica aan de Hogeschool Rotterdam. Deze opdracht voer ik uit bij het bedrijf TASS in Eindhoven, een bedrijf dat zich heeft gespecialiseerd in technische en embedded software.

1.2 Probleemstelling

Hoewel 3d-printers aan een opmars bezig zijn,[5] [19] zijn er een aantal nadelen die met name consumenten weerhouden van het aanschaffen van een 3d-printer, of die de bruikbaarheid van de printers verlagen. In dit onderzoek proberen we de oorzaken en mogelijke oplossingen hiervan te achterhalen.

1.2.1 Huidige situatie

Een consumenten 3d-printer is een printer welke gericht is op consumenten die af en toe of met enige regelmaat iets printen. Een consumenten-printer is hier gedefinieerd als een printer minder dan 1000 euro en voor hobbymatig gebruik. In het onderzoek "keuze printer" in bijlage C valt hier meer over te lezen.

In het segment consumenten-printer van onder de 1000 euro worden er regelmatig concessies gedaan wat betreft snelheid, nauwkeurigheid en betrouwbaarheid. De afgelopen jaren is door intensief werk vanuit zowel producenten als hobbyisten veel vooruitgang geboekt op alle bovenstaande onderdelen. Echter zijn er nog steeds een aantal problemen aanwezig waar de systemen regelmatig mee kampen. Deze problemen resulteren in 44% van de gevallen in imperfecte of mislukte prints, zoals te zien in bijlage F. De meeste printers in ons prijssegment

zijn dan ook voornamelijk gericht op hobbyisten die het niet erg vinden om de printer te repareren of te verbeteren.

Om 3d-printers aantrekkelijk te maken voor een groter publiek zal dus niet enkel de prijs omlaag moeten, maar ook zal de kans dat een print lukt moeten worden vergroot.

1.3 Doelstelling

Het uiteindelijke doel van dit project is dat er in kaart wordt gebracht welke problemen er spelen bij de huidige 3d-printers. Er kan vervolgens in kaart gebracht worden welke problemen het het meest waard zijn om nader te onderzoeken. Als laatste is het de verwachting dat aan het einde van dit project een verbetering in de betrouwbaarheid van een 3d-printer is verwezenlijkt. De doelstelling in een SMART-vorm is als volgt:

- **Specifiek:** De problemen die spelen en de mate waarin deze voorkomen, bij de kwaliteit van de geprinte onderdelen en betrouwbaarheid van de 3D-printer moeten onderzocht worden zodat er verbetering op deze vlakken plaats kan vinden.
- **Meetbaar:** Aan het begin van het onderzoek wordt de betrouwbaarheid gemeten (bijlage F) en wordt er onderzocht wat de kwaliteit, zoals bijvoorbeeld de wanddikte van de diverse onderdelen is.
- **Acceptabel** Er is binnen de organisatie draagvlak voor de doelstelling. De doelstelling past binnen mijn interessegebieden en persoonlijke leerdoelen.
- **Realistisch** Het doel is van een HBO-waardig niveau en de doelstelling is realistisch binnen de gestelde tijd.
- **Tijdsgebonden** De activiteiten beginnen op 2 februari 2014 en eindigen op 11 juli 2014. Het doel is bereikt zodra er een conclusie is getrokken over het onderzoek, een afstudeer-presentatie is gegeven en aanbevelingen gedaan zijn ten opzichte van vervolgonderzoek.

1.4 Uitgangspunten

Dit onderzoek is gebaseerd op een aantal uitgangspunten:

- "Met name de betaalbare versies (3d-printers, red.) missen de betrouwbaarheid en nauwkeurigheid van reproductie die voor veel toepassingen nodig is." [17] [2] [10]
- Met "betaalbaar" wordt bedoeld een bedrag onder 1000 euro.

1.4.1 Scope

De scope van dit onderzoek omvat zowel de hard- als software van het diagnostische 3d-printer-systeem. Dit product omvat een aantal sensoren welke verschillende aspecten van een 3d-printer kan meten. Deze sensoren worden uitgelezen, de sensordata wordt verwerkt en

teruggekoppeld naar de printer.

De standaard aansturing van de 3d-printer, waaronder de hardwarematige aansturing, de mechanische onderdelen zoals geleverd, als de slicer-software en standaard firmware vallen niet binnen de scope van dit project. Verder wordt het systeem aangesloten en getest op een 3d-printer, compatibiliteit met andere printers kan niet worden getest en valt niet binnen de scope van dit project. De printer die in dit project wordt gebruikt is een FDM (Fused Deposition Molding) printer, welke gebruikelijk door consumenten ook wordt aangeschaft.

1.4.2 Vragen

Om de hoofdvraag, "Op welke manier kunnen consumenten 3d-printers verbeterd worden?" goed te kunnen beantwoorden is het noodzakelijk een aantal deelvragen te formuleren die helpen deze vraag te beantwoorden. De deelvragen die hier bij helpen zijn:

- Welke problemen spelen er bij 3d-printers?
- Welke afwijkingen zijn met lage inzet en kosten in kaart te brengen en hebben daarbij een zo groot mogelijk positief effect op de printer?
- Op welke manier zijn de afwijkingen in kaart te brengen?
- Is het mogelijk de afwijkingen te corrigeren?

Door het beantwoorden van deze deelvragen wordt het mogelijk om uiteindelijk een conclusie te trekken waar concrete verbeterpunten zijn in de wereld van consumenten 3D-printers.

Hoofdstuk 2

Methodologie

2.1 Theoretisch kader

Voorafgaand aan dit project heb ik vanwege persoonlijke interesse mij verdiept in en empirisch onderzoek gedaan naar 3D-printers. Veel problemen die op zouden kunnen treden bij het printen zijn mij daarom al duidelijk.

Verder is er een actieve community die zich continu bezig houdt met de verbetering en ontwikkeling van 3d-printers ¹ en de firmware hiervan ².

2.2 Ontwikkelmethode

In dit project is er gekozen om de onderdelen van de ontwikkelmethode Scrum toe te passen. Door gebruik te maken van Scrum kon er telkens in korte sprints - van een week - een bepaald onderdeel worden onderzocht of ontwikkeld. Scrum is voor de opdrachtgever ook een goede manier overzicht te houden over het proces en de voortgang. Vanwege het formaat van het team, 1 persoon, zijn de stand-ups weggelaten. Tevens zijn ook de retrospective en de planningpoker weggelaten vanwege het teamformaat.

2.3 Onderzoeksmethoden

3D-printen heeft een erg experimenteel karakter, zowel in bedrijfsomgevingen als particuliere of hobbyomgevingen. Er is veel informatie te vinden, zowel van hobbymatig uitgevoerde experimenten als onderzoeken over de principes waar 3d-printen op gebaseerd is. Veel experimenten zijn uitgevoerd door een enkele gebruiker hebben niet de kwaliteit en onderbouwing die in een onderzoek verwacht wordt. Ook gaat de ontwikkeling van 3d-printers enorm snel omdat deze vaak door een grote groep mensen wordt gedaan [15], [20]. Informatie is dus ook snel verouderd. Bij elke gevonden informatiebron is het dus zaak om te controleren of een bron betrouwbaar is en nog relevant is. Voor onderzoek naar de basisprincipes waar 3d-printen op gebaseerd is wordt er voornamelijk gebruik gemaakt van betrouwbare bronnen, veelal te vinden via Google Scholar³ en ScienceDirect⁴.

¹<http://reprap.org>

²<https://github.com/ErikZalm/Marlin>

³<http://scholar.google.com>

⁴<http://www.sciencedirect.com>

Hoofdstuk 3

Problemen en afwijkingen

3.1 Wat heeft een negatief effect op de nauwkeurigheid en betrouwbaarheid

De meeste soorten consumenten 3d-printers werken met een cartesiaans stelsel zoals te zien in A.1 ¹.

Dit houdt in dat de printer een x- y- en z-as heeft, welke haaks op elkaar staan en zorgen voor beweging van de printkop of het object. Deze printers zijn tevens allemaal gebaseerd op het Fused Deposition Modeling-, zie figuur A.2, dat inhoudt dat een print opgebouwd wordt uit vele op elkaar gesmolten lagen. Hoewel er verschillen zijn in de bouw en aansturing van de printer, zijn de kinematische eigenschappen van de diverse printers vergelijkbaar. De afwijkingen waar een printer last van heeft, is ook aanwezig bij een andere cartesische printer, met mogelijk een groter of kleiner effect op de print.

3.2 Afwijkingen

3.2.1 Speling

In het geval van een 3d-printer is het meest aanwezige geval van speling[14] in x- en y- beweging. Deze bewegingen worden doorgaans met een tandriemaandrijving gedaan. De snelheid op de x en y-as is hoog, wat er samen met de inertie van de printkop en het printbed voor zorgt dat onder andere de aandrijfriem uitrekt en voor speling zorgt. Dit zorgt voor een onjuiste positie van de printkop/ het printbed. De grootte van de afwijking is afhankelijk van de inertie van het bewegende onderdeel, de snelheid en acceleratie, de spanning van de riem en de statische wrijving van het systeem, maar bij een slecht ontworpen of afgesteld systeem is dit 1 - 2 millimeter, waarbij deze bij een goed afgesteld systeem minder dan 0.2mm[10].

3.2.2 Verschuiven

Verschuiven van de print wordt doorgaans veroorzaakt doordat de motor niet genoeg kracht heeft om een beweging uit te voeren. Achterliggende oorzaak hiervan is bijvoorbeeld wrijving, proberen te snel te accelereren, te lage motorstroom of spanningsproblemen, of een geblokkeerde as. [7]

¹http://reprap.org/wiki/RepRap_Options#Models

3.2.3 Over/onderextrusie

De software die het 3d-model omzet in lagen en in lijnen, gebruikt de dikte van het filament om de hoeveelheid te extruderen materiaal te bepalen. Een juiste hoeveelheid materiaal zorgt voor een correct, stevig model. Onderextrusie zorgt dat er te weinig materiaal wordt gebruikt wat voor een dunne wanddikte zorgt en resulteert in een zwakker geprint object. De wanddikte die de gebruikte printkop kan printen is 0,50mm, maar is gemiddeld 0.58mm, $\sigma = 1.24 \times 10^{-1}$, zoals te zien in bijlage J.

Overextrusie zorgt voor een te grote hoeveelheid materiaal, wat het model te groot maakt, "blobs" (zie figuur A.4) met materiaal veroorzaakt waar de kop in kan blijven hangen of de aandrijving van het filament kan laten doorslippen. De oorzaak is vaak dat de filamentdikte niet klopt, door bijvoorbeeld een verkeerde meting of een filament met slechte toleranties[1], of een fout in de voortstuwing, zoals het doorslippen van de aandrijving. Het filament waar de gebruikte 3D-printer voor geschikt is, is 3mm, maar deze is in werkelijkheid 3,05mm, $\sigma = 1.13 \times 10^{-1}$, zoals te zien in bijlage J.

3.2.4 Z-as hoogte

De eerste laag die geprint wordt wordt altijd op het printbed geprint. Deze eerste laag is cruciaal. Als deze laag niet goed genoeg op het printbed plakt, kan de print tijdens het printen loslaten van het printbed, wat resulteert in een mislukte print. Als er te laag op het printoppervlak geprint wordt, kan zowel de printkop als het printbed beschadigen (bijlage J). Een juiste afstelling van de z-eindschakelaar is belangrijk, maar ook is het van belang dat het printbed horizontaal ligt en volledig vlak is.

3.2.5 Instellingen slicer

Een 3d-printer kan enkel commando's uitvoeren. Of een commando succesvol verloopt is niet enkel afhankelijk van de machine, deze zal alle commando's proberen uit te voeren. De slicer is verantwoordelijk voor het genereren van de juiste commando's en doet dit aan de hand van een 3d-model en instellingen van de gebruiker. Omdat de werking van de slicer buiten de scope van dit onderzoek valt² zullen we ons richten op de instellingen. De instellingen die de gebruikt instelt zijn afhankelijk van de gebruikte slicer, maar over het algemeen minimaal:

- Laaghoogte
- Printsnelheid (buitenkant, binnenkant, opvulling, boven/onderkant)
- Nozzle-grootte
- Printtemperatuur
- Percentage opvulling

²Wordt bedoeld: de werking van de slicer, zoals fouten in het slicen, genereren van incorrecte commando's, etc.

- Filamentdikte
- Ondersteuningsmateriaal
- Bedtemperatuur

Omdat een beginnende gebruiker per definitie nog geen ervaring heeft met het systeem, zal deze de invloed of gevolgen van de instellingen niet of lastig kunnen beoordelen.

Hoofdstuk 4

Onderzoek meetonderdelen

4.1 Onderzoek

Dit hoofdstuk is er op gericht om de deelvraag Welke afwijkingen zijn met lage inzet en kosten in kaart te brengen en hebben daarbij een zo groot mogelijk positief effect op de printer?” te beantwoorden.

Deze vraag komt voort uit de opdrachtgever, TASS, aangevuld door persoonlijke interesse in 3d- printers. Vanwege beperkingen in tijd en middelen is het niet mogelijk alle mogelijke problemen te onderzoeken en zal er een keuze moeten worden gemaakt. In dit hoofdstuk wordt daarom gekeken welke afwijkingen of problemen met relatief weinig middelen te verbeteren of op te lossen zijn.

4.2 Meetmethoden

Om te bepalen of het waardevol is dienen we eerst te bepalen welke methoden er zijn om de problemen te bepalen. Er zal per probleem worden gekeken welke methoden er zijn om deze afwijking te meten.

4.2.1 Speling

De speling is - zoals vermeld- het verschil tussen de beoogde positie en de daadwerkelijke positie. Er zou dus van de printkop gemeten kunnen worden waar deze zich bevindt en deze continu te vergelijken met de verwachte positie. De verwachte positie kan gemeten worden door direct op de motor de positie te meten. Dit kan met een rotary-encoder gedaan worden. Deze positie kan dan vergeleken worden met de positie van de printkop. De printkop beweegt zich lineair, dus er zal een lineaire positiemeting gebruikt moeten worden. Enkele manieren om dit te meten zijn:

Type	Resolutie	Voordelen	Nadelen	Prijs, €
Optische afstandssensor	$\pm 1 \text{ mm}$	goedkoop	Onbekende resolutie Vooral ter detectie van objecten	9
Lineaire encoder	$<1 \times 10^{-1} \text{ mm}$	erg nauwkeurig	slecht/niet verkrijgbaar	onbekend
Trekdraadsensor	$2.5 \times 10^{-1} \%$	goed verkrijgbaar	geeft extra weerstand relatief traag	200
Lasertriangulatie	$<1 \times 10^{-1} \mu\text{m}$	extreem nauwkeurig	lastig te monteren	6000
Camera vision	onbekend	contactloos meten	veel processorkracht afwijkingen door lens	600
Optische micrometer	$<1 \times 10^{-1} \text{ mm}$	Erg nauwkeurig	Prijs	4000

Tabel 4.1: Weergave van verschillende manieren om lineaire verplaatsing te meten

Bovenstaande tabel geeft duidelijk aan dat hoewel er meerdere methoden zijn om de afwijking te meten, elke methode zijn nadelen heeft. Meestal is de prijs erg hoog, of is de resolutie ¹ of de prijs onbekend.

4.2.2 Verschuiving

Verschuiven van een as houdt in dat een as niet de juiste afstand verplaatst. Omdat softwareproblemen buiten de scope van dit project vallen², richten we ons op andere oorzaken. De twee overblijvende oorzaken blijven dan het doorslippen van de motor of van de tandriem. Er moet dus gemeten worden of de motor doorslipt, maar liever nog een meting direct aan de band, zodat ook het doorslippen van de riem kan worden meegenomen. Er kan een sensor worden bevestigd op de riemspanner. Een nauwkeurige sensor om dit te meten is een rotary encoder. Deze zijn weer in twee klassen in te delen: een versie die direct op de as gemonteerd is en een die met een lichtsluis werkt. De laatste verdient de voorkeur omdat dit niet alleen het monteren eenvoudiger maakt, maar vooral geen extra weerstand toevoegt. Een optische rotary encoder van bijvoorbeeld 500 pulsen per omwenteling heeft een maximale positioneringfout van 10 boogminuten. Als we er vanuit gaan dat een omwenteling een asverplaatsing heeft van 40mm bij een tandwiel met 16 tanden, dan geeft 10 boogminuten een afwijking van

$$\frac{40}{\frac{360}{16}} = 2 \times 10^{-2} \text{ mm. Een dergelijke rotary encoder kost ongeveer 40 euro.}$$

4.2.3 Over/onderextrusie

Zoals vermeld heeft dit probleem twee oorzaken. Zowel een meting van de dikte van het filament als een meting van de loopsnelheid van het filament zijn hier van belang. Een mindere kwaliteit filament kan een afwijking van $\pm 3.0 \times 10^{-1} \text{ mm}$ hebben in de dikte, zoals gemeten in bijlage J, dus een dikte tussen 2.7 en 3.3mm. De doorsnede varieert dus tussen 8.5 mm^2 en 10 mm^2 . Een significant verschil van 18%.

¹Sommige fabrikanten gaven hun resolutie in niet in 2 significante cijfers

²Zijnde: software zoals de slicer en de standaard firmware van de 3d-printer

Het meten van de filamentdikte kan worden gedaan door het inklemmen van het filament tussen twee rollen en de afstand tussen de rollen te meten met een digitale schuifmaat. Een dergelijk instrument kost ongeveer 20 euro.

De inklemming tussen twee rollen heeft nog een bijkomend voordeel: als er een rotary encoder zoals bij het vorige onderdeel wordt gebruikt kan tevens de doorvoersnelheid worden gemeten. Hoewel afhankelijk van de diameter van de rollen die worden gebruikt, zal de afwijking minder dan 0,02mm bedragen.

4.2.4 Z-as hoogte

De z-as hoogte kan op twee manieren bepaald worden. Er kan een eindstop worden gemonteerd op de z-as en kan worden afgesteld dat deze wordt ingedrukt als de printkop de tafel (bijna) raakt. Er wordt dan eigenlijk een nulpositie van de z-as zelf bepaald op vaste positie van de x-as, terwijl we eigenlijk de afstand van de kop tot de tafel willen weten op meerdere plaatsen. Dit omdat er afwijkingen kunnen zijn door een scheef bed, scheve as of afwijkingen in de montage. Een sensor op de kop zou dan een oplossing zijn. Echter dient deze niet in de weg te zitten tijdens het printen. Er moet wel rekening worden gehouden met de sensor, zodat deze geen obstructie vormt tijdens het printen. In het onderzoek "keuze bed-meting" in bijlage H.1 wordt er verder ingegaan op de keuze van de meetmethode.

4.2.5 Instellingen slicer

De moeilijkheidsgraad en de fouten die worden gemaakt bij het instellen van de slicer is niet meetbaar. Dit omdat er geen perfecte of ideale instellingen zijn. Voor elke print is er een range aan configuratiewaarden die meer of minder werken en resulteren in prints die zullen voldoen aan de door de gebruiker gestelde eisen.

4.3 Eisen

Om een conclusie te kunnen trekken is het nodig om een aantal eisen te stellen aan de metingen en sensoren. Er kan dan bepaald worden of het haalbaar is om een bepaalde meting te doen.

4.3.1 Meting aan de as

De stappenmotoren zijn motoren met 200 stappen per omwenteling, welke door middel van 1/32e microstepping worden aangestuurd. Dit kan worden vertaald in een verplaatsing van 5 micron per microstep. Om een zinnige meting te kunnen doen is het zaak dat de meting minimaal 2x zo nauwkeurig is als de aansturing. Een nauwkeurigheid van 2,5 micron vertaalt zich in 12800 stappen per omwenteling van de motor. Op maximale snelheid beweegt de kop 150mm/s, terwijl per omwenteling de kop 32mm verplaatst. De motor zal maximaal 4,7 omwentelingen per seconde draaien, wat gelijk staat aan 60000 pulsen per seconde, per as. Verder is het belangrijk dat de meting snel kan worden uitgevoerd en wordt vergeleken met de verwachte positie. Dit komt door een planningsbuffer in de aanstuurhardware. Doordat de printkop bij flauwe bochten niet volledig afremt, is er maar een kort moment waarop de kop

op de juiste positie staat. Omdat een cirkel uit vele korte lijnsegmenten bestaat, welke achter elkaar worden uitgevoerd, is het niet mogelijk om de printkop stil te zetten na elk lijnsegment. Dit zou veel invloed hebben op zowel de printtijd en de printkwaliteit.

De tijd waarin de terugkoppeling plaats moet vinden is 10ms.

4.3.2 Filamentdiameter

Zoals aangegeven kan de doorsnede met 18% afwijken. Een van de eisen is afwijking van maximaal 2,0% te bereiken. Dit houdt in dat het filament tussen de 2.98 en 3.02mm zou moeten liggen; een afwijking van 2,0%. Omdat we geen invloed hebben op de dikte van het filament, zullen we dus deze meting moeten doen met deze nauwkeurigheid en daar de printer op aansturen. Het meetinstrument moet dus 2x zo precies zijn als de afwijking: 0,01mm. Doordat het filament relatief traag wordt doorgevoerd, is het niet nodig om vaker dan 1x per seconde te meten.

4.3.3 Filament doorvoer

Het doorslippen van het filament moet ook nauwkeurig gebeuren. Een richtwaarde is om de doorvoer van het filament op 0,1mm nauwkeurigheid te meten. De standaardmethode waarmee het filament wordt doorgevoerd - een zogenaamde "hobbed bolt", te zien in afbeelding A.7 heeft een diameter van 4mm, wat zorgt voor 12mm extrusie per omwenteling. Om op 0,1mm nauwkeurig te meten hebben we dus 120 pulsen per omwenteling nodig. De kortste tijd waar dit in kan plaats vinden is 0,5 seconden, wat zorgt voor maximaal 240 pulsen per seconde.

4.3.4 Z-as

De z-as mag een afwijking hebben die niet meer is dan de helft van de laagdikte van de eerste laag. Over het algemeen wordt er als eerste laag gekozen voor een dikte van 0,2 mm. De z-as moet dus op 0,1mm nauwkeurig gemeten en afgesteld kunnen worden. Er zal voor de sensor dan een eis worden gesteld dat de afwijking niet meer dan 0,05mm mag bedragen.

4.3.5 Instellingen slicer

Om het gemak en gebruiksvriendelijkheid te verhogen is het belangrijk dat de gebruiker minder (onduidelijke) instelmogelijkheden heeft. In dit geval ligt de voorkeur bij een systeem dat betrouwbaar en eenvoudig is, niet zozeer de hoogst mogelijke kwaliteit. Dit kan worden verwezenlijkt door een systeem met een of meerdere voorkeursinstellingen voor de slicer.

4.4 Kosten/baten

Om een goede conclusie te kunnen trekken is het nodig een kosten/baten analyse te maken, waarbij de kosten bestaan uit zowel hardwarekosten als tijd. Daar tegenover staan de baten; het voordeel wat we kunnen behalen uit het kunnen meten en weten van de afwijking, welke ook afhankelijk is van de grootte van de afwijking.

4.4.1 Meting aan de assen

Het meten van de positie op een as is een grote uitdaging. Hoewel er een aantal manieren gevonden zijn waarop er aan de assen gemeten kan worden, vallen er een aantal af:

- Optische afstandssensor

De optische afstandssensor wordt over het algemeen gebruikt om objecten te detecteren, bijvoorbeeld in een handendroger of om producten te detecteren in een fabriek. De sensor is er dan ook niet op gebouwd nauwkeurig te zijn. Hoewel de sensor snel is, voldoet deze totaal niet aan de nauwkeurigheidseis.

- Lineaire encoder

Een lineaire encoder wordt voornamelijk in printers gebruikt om te kunnen detecteren wanneer er inkt gespoten moet worden. Deze encoder is de tegenhanger van de rotary encoder. Waar de rotary encoder een draaiende beweging meet, meet de lineaire encoder een lineaire beweging. De precisie is afhankelijk van de encoder zelf en de "encoder strip", een doorzichtige strip met streepjes. Hoe meer streepjes, hoe hoger de resolutie. Helaas zijn er geen standaard encoder-stips te verkrijgen met een resolutie die hoog genoeg is om 2,5 micron resolutie te halen³.

- Trekdraadsensor

Deze sensor bestaat eigenlijk uit sensor met daarop een trommel waar een draad omheen gewikkeld is. Deze draad wordt dan aan het te meten object gemonteerd.

Het nadeel van deze sensor is dat de afwijking ongeveer 0,25% is van de totale lengte. Bij een lengte van 200mm zou dit neerkomen op 0,5mm afwijking.

- Lasertriangulatie

Bij Lasertriangulatie wordt een laser op een reflecterend vlak geschoten en aan de hand van de terugkaatsing wordt de afstand bepaald. Deze methode is zeer nauwkeurig tot op 0,1 micron; veel nauwkeuriger dus dan we vereisen. De prijs van deze modules is helaas vrij hoog, vanaf ongeveer 400 euro per stuk. De modules zijn relatief groot en niet eenvoudig te monteren op de printer. Tevens is de communicatie van de modules over het algemeen over een protocol/bus die lastig of duur is om te implementeren.

Er zijn veel manieren om dit te meten, maar er is geen zekerheid of deze manieren werken, of de prijs is erg hoog. Om te nader te bepalen of het meten van deze afwijking haalbaar is, zullen er tests gedaan moeten worden met de sensoren. Er zal veel tijd gaan zitten in het verder uitzoeken van de verschillende sensoren, met daarbij tevens veel hardwarematige kosten. Hoewel dit probleem op elke printer aanwezig is, kan het probleem geminimaliseerd worden door gebruik te maken van goede kwaliteit banden die erg strak worden gespannen. Speling zorgt er tevens niet per definitie voor dat een print onbruikbaar is.

De enige sensor De kosten/baten zijn dus erg ongunstig bij deze meting.

4.4.2 Assen

Het verschuiven op een as is met een rotary encoder erg precies te doen, waarbij de montage eenvoudig op een motor gedaan kan worden. De kosten van een dergelijke encoder zijn €40.

³Niet verkrijgbaar bij Mitutoyo, Misumi, Avago, Mimaki, Farnell, Renishaw

De enige onzekerheid die er bestaat is of de microcontroller het grote aantal interrupts aan kan, maar kijkend naar vergelijkbare projecten zou dit wel mogelijk moeten zijn. Doordat een print volledig mislukt wordt door een verschuiving van as, is kennis van deze afwijking of zelfs een automatische correctie er van zeer lonend voor de uiteindelijke prints.

4.4.3 Extruder

Als er reeds een rotary encoder gebruikt wordt voor de verschuiving van een as, is het zeer waarschijnlijk haalbaar om daar nog een encoder aan toe te voegen om over/onderextrusie te meten door de doorvoer van het filament te meten, zonder dat daar een enorme hoeveelheid tijd in gaat zitten. Door het toevoegen van een digitale schuifmaat, welke tevens goed verkrijgbaar zijn en goed gedocumenteerd zijn, is het ook mogelijk de dikte te bepalen. Doordat de afwijking door over/onderextrusie significant is, zijn de kosten/baten erg gunstig.

4.4.4 Z-as

Z-as hoogte zorgt voor veel irritatie van de eindgebruikers, terwijl de basis van het probleem; de juiste afstand bepalen, niet erg complex is. Dit in vergelijking met de speling, waar er veel dynamische krachten en massatraagheid bij komen kijken. Door het toevoegen van een goedkope sensor, kan de hoogte zonder al te veel investering van tijd gemeten worden.

4.4.5 Instellingen slicer

Om het gebruiksgemak te verhogen zou het optimaal zijn een systeem te hebben waar de gebruiker door middel van drag-and-drop een 3d-bestand kan versturen naar een 3d-printer. Het slicen kan dan volledig autonoom gebeuren. De instellingen van de slicer worden dan zodanig gekozen dat ze bij de gebruikte printer nagenoeg altijd zullen resulteren in een bruikbare print. Er kan gebruik worden gemaakt van een web-interface om compatibiliteit te verhogen. Het zojuist beschreven systeem kan dan behalve slicen, ook de controle voeren over de printer en andere meetgegevens verwerken.

4.5 Conclusie

Er zit veel verschil in de mate van meetbaarheid, de kosten en de nauwkeurigheid waar verschillende afwijkingen mee gemeten kunnen worden. Daarom moet er een keuze komen, gebaseerd op de hierboven beschreven bevindingen. Van het meten van de speling op de assen is het onduidelijk of dit haalbaar is, gezien er eerst nog verder onderzoek gedaan moet worden met de daarbij horende kosten en tijd, terwijl de verbetering bij een goed afgestelde printer niet erg groot is.

Het lijkt dan ook nuttiger om deze afwijking niet te meten en in plaats daarvan van tijd te besteden aan het meten van de andere onderdelen.

Het meten van de diameter van het filament lijkt, door de procentueel significante afwijking en de verkrijgbaarheid van de onderdelen een haalbaar onderzoeksonderwerp. In de bevestiging van deze sensor kan meteen rekening gehouden worden met een rotary encoder om de filamentdoorvoer te meten.

Omdat de grootste oorzaak van het mislukken van een print gebeurt tijdens het printen van de eerste laag, wordt er ook tijd gestoken in het beter af kunnen stellen en meten van de z-as. Om de sensordata te kunnen gebruiken is het noodzakelijk dat de sensordata ergens verwerkt wordt. Het is dan een logische keuze om een systeem te maken waar een gebruiker een 3d-bestand heen kan slepen, het systeem deze zal slicen en printen. Dit systeem kan dan ondertussen ook de meetdata bijhouden en eventuele feedback naar de printer versturen.

Met deze keuzes wordt het voor een gebruiker een stuk betrouwbaarder en eenvoudiger om iets in 3D te kunnen printen.

Hoofdstuk 5

Filament

5.1 Introductie

In hoofdstuk 4 is de keuze gemaakt om zowel de verplaatsing als dikte van het filament te meten. De verplaatsing kan zodoende vergeleken worden met de aansturing, zodat eventuele slip kan worden gedetecteerd.

Over- en onderextrusie wordt tevens veroorzaakt door verandering in de dikte van het filament. De dikte van het filament wordt zodoende ook continu bijgehouden. Er is voor gekozen om de dikte continu bij te meten met een digitale schuifmaat en de verplaatsing bij te houden door middel van een rotary encoder.

5.2 Montage

Om het mogelijk te maken de schuifmaat, rotary encoder en encoderschijf te kunnen monteren, is een nieuwe extruder-idler¹ nodig. Deze is ontworpen met behulp van Blender². Het vernieuwde onderdeel, zie afbeelding A.8 is daarna uitgeprint met de 3D-printer.

5.3 Schuifmaat

5.3.1 Snelheid

Het dataprotocol^[16] dat de gebruikte schuifmaat gebruikt, heeft een frequentie van 90kHz. De data- en kloklijn van de schuifmaat dienen snel genoeg uitgelezen te kunnen worden om de juiste meetwaarden te kunnen krijgen. Een korte test wijst uit dat de Raspberry Pi signalen kan uitlezen van de GPIO-pinnen met 4,9MHz.³

5.3.2 Implementatie

Zoals boven aangegeven was het de bedoeling om de schuifmaat uit te laten lezen door de Raspberry Pi. Helaas bleek in de praktijk dat het feit dat Linux, welke op de Pi draait, niet geschikt is voor het meten van deze snelle signalen. Dit doordat het uitlees-programma in userspace draait en de timings niet kloppen. Het was duidelijk dat er een microcontroller nodig was om de schuifmaat uit te kunnen lezen.

¹Onderdeel dat de druk uitoefent op het filament, het gedeelte waar het lager in zit op figuur A.7

²<http://www.blender.org/>

³De gemeten tijd die het kost om 200.000.000 keer de digitale pin te lezen is 40.791 seconde.

Tevens bleek na het ontvangen van de schuifmaat dat de meegeleverde documentatie ondermaats is. Er is weinig informatie over het protocol beschikbaar. Verder bleek dat de digitale uitgang van de schuifmaat werkt met logische signalen van 0 tot 1,5 volt, wat niet genoeg is voor de Raspberry Pi of de microcontroller. De oplossing hiervoor is een level shifter te maken met behulp van een transistor, welke het signaal van 1,5 verhoogt naar de 3,3v welke de microcontroller verwacht. Meer over het dataprotocol en de verbinding is te vinden in bijlage I

Microcontroller

Om de signalen betrouwbaar uit te kunnen lezen is er een keuze gemaakt voor een STM32VL100RC6.

De keuze voor dit board is deels door de lage prijs, goede verkrijgbaarheid snelheid en mogelijkheden, maar ook grotendeels om ervaring op te doen met embedded-C. Op de STM32 draait software die aan de hand van interrupts de schuifmaat uitleest. Het bord zal continu de meetgegevens ontvangen van de schuifmaat en deze doorsturen naar de Raspberry Pi over USART. De Pi zal op zijn beurt deze gegevens naar de OctoPrint API sturen.

5.4 Encoder

Het uitlezen van de encoder gebeurt direct op de Raspberry Pi. Er wordt gebruikt gemaakt van hardware interrupts, om de processor te ontlasten. Een apart programma houdt de pulsen en dus daarmee de positie van de rotary encoder bij. Dit programma draait onafhankelijk van de rest de printersoftware, dit zodat er indien nodig een hogere prioriteit gegeven kan worden aan de afhandeling van de rotary encoder. Immers is het belangrijk dat er geen stappen gemist worden van de encoder.

De stand van de encoder wordt twee maal per seconde via een API doorgestuurd naar OctoPrint. Deze geeft de waarde weer op het scherm. Deze waarde kan samen met de filamentdikte worden gebruikt om te bepalen of er slip in het filament is of een verandering in diameter; voor beide dient de stroomsnelheid van het filament gecorrigeerd te worden.

5.5 API

In de printersoftware, OctoPrint, zijn er een aantal API-functies geschreven welke aangeroepen worden door de encoder en schuifmaatsoftware. De API zorgt voor verwerking van de signalen en geeft deze weer in de GUI.

OctoPrint houdt tevens bij hoeveel filament er verbruikt zou moeten zijn en vergelijkt deze met de gemeten encoderwaarde. Afwijkingen worden gecorrigeerd door OctoPrint, welke een M221 G-code verstuurt naar de printer met een corrigerende waarde (in procenten).

5.6 Problemen

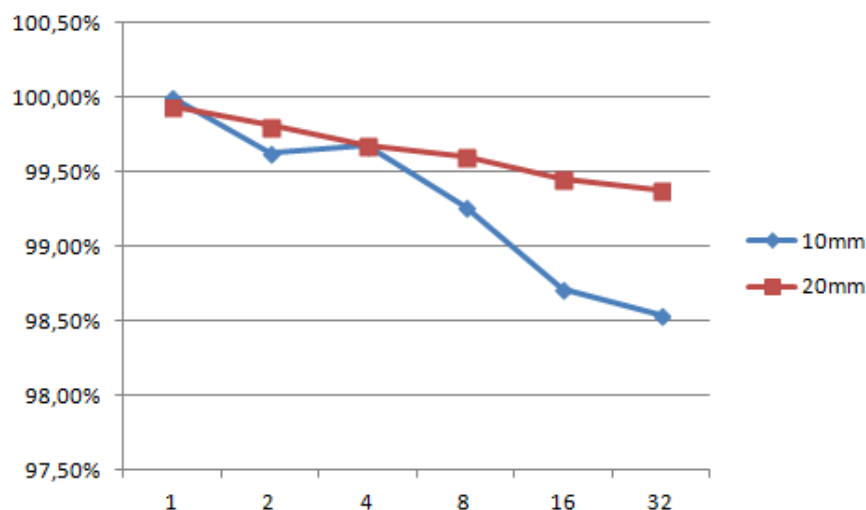
Na het ontvangen van de schuifmaat bleek dat de documentatie ondermaats is. Er is weinig informatie over het protocol beschikbaar. Verder bleek dat de digitale uitgang van de schuifmaat werkt met logische signalen van 0 tot 1,5 volt, wat niet genoeg is voor de Raspberry Pi.

De oplossing hiervoor is een level shifter te maken met behulp van een transistor, welke het signaal van 1,5 verhoogt naar de 3,3v welke de Pi verwacht.

Het volgende probleem in de uitlezing bleek te zitten in de snelheid van het signaal in combinatie met het feit dat Linux - specifiek Debian - welke op de Raspberry Pi draait niet real-time is niet betrouwbaar met een interval een signaal kan uitlezen. Dit door de thread-scheduler in Linux, wat wordt verergerd door de software die wordt gebruikt om de printer aan te sturen. Deze laatste heeft een significante belasting op de processor. Om dit probleem op te lossen en eventueel later toe te voegen sensoren te vergemakkelijken is er gekozen voor een aparte microcontroller waar een real-time systeem op draait. De keuze is gevallen op een STM32. Dit omdat het een voordelig bord is met vele functies. Het is tevens met dit bord niet gelukt om de data uit de schuifmaat te lezen. Dit, waarschijnlijk omdat er een defect aan de schuifmaat is, zie bijlage ??.

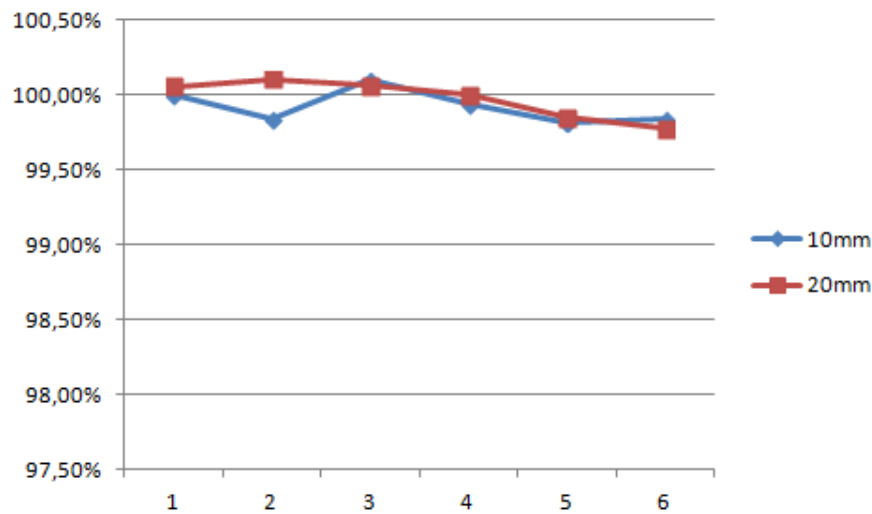
5.7 Resultaten

Gezien de problemen met de schuifmaat is er enkel data beschikbaar van de rotary encoder. Dit houdt in dat er enkel gemeten en gecorrigeerd kan worden op de geextrudeerde lengte, niet op geextrudeerd volume. In figuur 5.1 is te zien dat de slip afhankelijk is van de snelheid. Deze data is verzameld door drie maal op verschillende snelheden een vaste hoeveelheid te extruderen en het gemiddelde hiervan te nemen. De gemiddelde doorvoer is: 0.9948 . $\sigma = 4.505 \times 10^{-2}$.



Figuur 5.1: Metingen van het doorslippen van het filament

Om de slip te kunnen corrigeren is de inverse van de hoeveelheid slip bij een bepaalde snelheid genomen en is deze door middel van een M200 g-code doorgestuurd naar de printer, die op zijn beurt een correctie uitvoert om de slip tegen te gaan. Met deze correctie is elke test drie maal herhaald en is de afwijking berekend en weergegeven in figuur 5.2. De gemiddelde doorvoer is 9.995×10^{-1} . $\sigma = 1.206 \times 10^{-3}$



Figuur 5.2: Metingen van het doorslippen van het filament

5.8 Conclusie

Hoewel de meting en feedback van het filament niet volledig getest kan worden door de afwezigheid van de schuifmaat, kan toch worden geconcludeerd dat door middel van de feedback uit de rotary encoder, het doorslippen van het filament significant kan worden gecorrigeerd. Indien er in nader onderzoek tevens een schuifmaat kan worden toegevoegd, kan ook een conclusie getrokken worden over de consistentie van de wanddikte van geprinte onderdelen.

Hoofdstuk 6

Metten printbed

6.1 Introductie

Zoals vermeld is een van de veel voorkomende problemen tijdens het 3d-printen de eerste laag. Als de eerste laag te laag wordt neergelegd wordt de laag te veel uitgespreid”, nog lager en er vindt geen extrusie plaats of de printkop zal zich door het printbed heen boren. Te hoog heeft als gevolg dat de eerste laag niet (goed) zal plakken op het printbed, wat resulteert in direct of even later een mislukte print.

Verder dient het printbed ook nog eens perfect recht te staan. Dit houdt in dat het printbed parallel loopt aan de x-as en dat de y-as met het printbed haaks is op de printkop. Als laatste dient het printoppervlak ook nog vlak te zijn; vrij van kromming.

Het is zeer lastig om dit voor elkaar te krijgen, zeker met de materialen waar consumenten printers over het algemeen mee worden gemaakt, over een langere tijd. Immers is een afwijking van 0.1mm al significant.

6.2 Voorgestelde oplossing

Een mogelijke oplossing om de afwijking te compenseren is door het meten van het printbed. Aan het begin van elke print zal het printbed op een aantal plaatsen gemeten worden, zodat er tijdens het printen gecompenseerd kan worden voor eventuele afwijkingen.

Doordat de hoogte van het bed op een aantal plaatsen bekend is, kan door middel van interpolatie voor elke xy-positie de tafelhoogte bepaald worden. De Z-as kan dan gebruikt worden om de hoogte continu bij te sturen.

6.3 Implementatie

Een van de problemen is het meten van de tafel zonder dat het meetinstrument de tafel raakt. Immers moet het meetinstrument langer zijn dan de printkop. Om het systeem zo veel mogelijk automatisch te laten werken is er gekozen om een uitklapbare arm te maken waar de sensor aan gemonteerd is. Deze arm wordt aangedreven door een kleine servo. Aan het einde van de arm zit een microswitch. Deze switch heeft een nauwkeurigheid van 0,0254 mm[8], wat ruim binnen de eisen valt. De keuze voor deze oplossing wordt besproken in Bijlage H.1

De sensor wordt gemonteerd op de printkop, daar deze reeds nauwkeurig over het bed te verplaatsen is. Een nadeel van deze oplossing is de toevoeging van gewicht aan de printkop,

maar door gebruik te maken van lichte onderdelen - totaal 11 gram - is de invloed op het totale gewicht van de printkop, 350 gram gering. De inertie wordt dus nauwelijks verhoogd.

De meting wordt uitgevoerd door de kop op 9 posities verdeeld over het printbed uit te laten klappen en de hoogte te meten.

Behalve de sensor om de meting te doen dient er ook software te zijn die de meting kan uitvoeren en de meetresultaten kan verwerken. Het resultaat van de meting; een "hoogtekaart" op meerdere punten is te zien op figuur A.5. De meting wordt door een algoritme gehaald dat een vector berekent welke wordt toegepast tijdens het printen. Er wordt hier gebruik gemaakt van bilineaire interpolatie [13]. De resultaten worden opgeslagen in het geheugen van de Arduino Mega die de printer aanstuurt en tevens worden de meetwaarden in de GUI van OctoPrint weergegeven.

6.4 Resultaten

Na het monteren van de sensor en het uitmeten van de afstand tussen de punt van de sensor en de punt van de hot-end in zowel de x, y als z-richting zijn er een aantal tests uitgevoerd. Het printbed is tijdens deze tests op willekeurige hoeken sterker en zwakker aangedraaid, wat resulteert in een scheef, licht getordeerd printbed. Hierna is de meting uitgevoerd en een testprint gemaakt. Deze testprint bestaat uit een rechthoek van 150x150mm, met een dikte van 0.1mm. Een verschil in dikte is op deze manier goed met het blote oog te zien aan de transparantie van het printje; of in minder positieve gevallen, aan het feit dat het printje mislukt is. Na wat verdere fijnafstelling van de sensorhoek om doorbuiging van de sensor tijdens het meten te voorkomen kwam de eerste perfecte print, met een imperfect printbed (figuur A.6).

Er zijn daarna drie testprints gemaakt met een verschillende tafelhoogte-afstelling. De testprints werden met een schuifmaat op dikte gemeten. De aflezing van de schuifmaat gaat tot 0,05mm. De resultaten zijn te vinden in tabel 6.1.

Testprint					
	print 1	print 2	print 3	print 4	
Meetposities	1	0.10	0.15	0.10	0.10
	2	0.10	0.05	0.10	0.10
	3	0.10	0.10	0.10	0.10
	4	0.15	0.10	0.10	0.10

Tabel 6.1: Metingen van prints

Zoals uit de tabel blijkt, zijn de testprints over het algemeen vrij consistent qua dikte. De afwijkingen in dikte zijn waarschijnlijk te wijten aan fouten in de doorvoer van filament. Verder onderzoek is nodig om een definitieve oorzaak aan te wijzen.

Hoofdstuk 7

Slicer

7.1 Introductie

Zoals aangegeven zal het voor de gebruiker eenvoudiger worden om een print te maken. De printer wordt daarom aangesloten op een Raspberry Pi, waar een software met webinterface op draait. De gebruikte software is OctoPrint¹. OctoPrint draait op een standaard Raspbian distributie. De bedoeling van deze software is dat er op een eenvoudiger manier G-code verstuurd kan worden naar een printer.

7.2 Aanpassingen

Om het systeem te kunnen laten slicen, is het nodig een slicer-engine te installeren. De gebruikte engine is CuraEngine². De keuze voor CuraEngine is gemaakt omdat deze continu wordt bijgewerkt, het snelste is en is goed werkt onder Raspbian[9]. Door een koppeling tussen de webinterface en de slicer-engine te maken, kan een gebruiker een 3d-model (STL-bestand) slepen naar de webinterface en wordt deze op de achtergrond gesliced. Het resulterende G-code bestand wordt daarna ingeladen in OctoPrint en de gebruiker kan op "start" drukken. OctoPrint stuurt daarop de printer aan, aan de hand van de gegenereerde G-code.

7.3 Instellingen

Een van de eisen is dat het printen van een 3D-model een zo groot mogelijke kans van slagen heeft, waarbij ook de kwaliteit van het geprinte object in acht wordt genomen. Het is daarom zaak om een zogenaamd slicer-profiel te maken voor de gebruikte printer en het gebruikte filament.

De manier om de juiste instellingen te vinden is door een aantal verschillende objecten van Thingiverse³ te downloaden en deze te printen. Door te experimenteren met verschillende instellingen zoals temperatuur, laaghoogte, extrusiewaarden, filamentdikte, etc. kan een set ideale instellingen worden bepaald, zoals te zien in bijlage K.

¹<https://github.com/foosel/OctoPrint>

²<https://github.com/Ultimaker/CuraEngine>

³<http://www.thingiverse.com>

7.4 Implementatie

Om het proces te kunnen laten werken is in samenwerking met de ontwikkelaar, Gina Haussge, een link gemaakt waarbij, bij het drag-and-droppen van een .stl bestand, deze naar de slicer wordt gestuurd. Dit gebeurt door de CuraEngine via een command-line aan te roepen, waarbij deze gebruik maakt van het eerder gemaakte slicer-profiel. Het slicen wordt dan in gang gezet en duurt, afhankelijk van de complexiteit van het model, tussen de 5 en 30 seconden. De slicer geeft dan een g-code-bestand terug aan OctoPrint, zodat de gebruiker enkel nog op "print" hoeft te drukken.

7.5 Gebruik

Een gebruiker kan naar het webadres van OctoPrint gaan en krijgt dan het overzichtsscherm te zien, zoals te zien op figuur ???. Een beginnende gebruiker kan daarna een 3d-model uploaden, terwijl het voor gevorderde gebruikers mogelijk blijft G-code te uploaden. Het proces gaat daarna automatisch.

Hoofdstuk 8

Conclusie en discussie

8.1 Conclusie

In dit onderzoek is getracht een antwoord of antwoorden te vinden op de vraag "Op welke manier kunnen consumenten 3d-printers verbeterd worden?". Dit is gedaan door gebruik te maken van verschillende deelvragen.

In het onderzoek is naar voren gekomen dat het maken van 3d-prints relatief vaak resulteert in een onbruikbare print of totaal geen print. Door onderzoek te doen naar de oorzaken van deze problemen is bepaald dat het voornaamste probleem de hoogte van het printbed is. Door het toepassen van een automatisch bed-leveling systeem is het aantal bruikbare prints significant verbeterd. Ook door meten van de doorvoer van het filament is de extrusiesnelheid consistent en treedt er minder kwaliteitsverlies door slip op. Gebleken is ook vanwege de toleranties in het filament problemen ontstaan. De geopperde oplossing voor dit probleem is vanwege technische problemen helaas niet voltooid.

8.2 Discussie

Hoewel de toleranties van de prints verbeterd zijn, is het de vraag of dit in alle gevallen belangrijk is. Immers zal de wanddikte van een decoratief ornament minder belangrijk zijn dan twee schaaldelen die in elkaar moeten passen. Door het uitgevoerde onderzoek en de bijbehorende implementatie is het voor een consument een stuk eenvoudiger en betrouwbaarder geworden iets in 3D uit te printen.

8.3 Aanbeveling

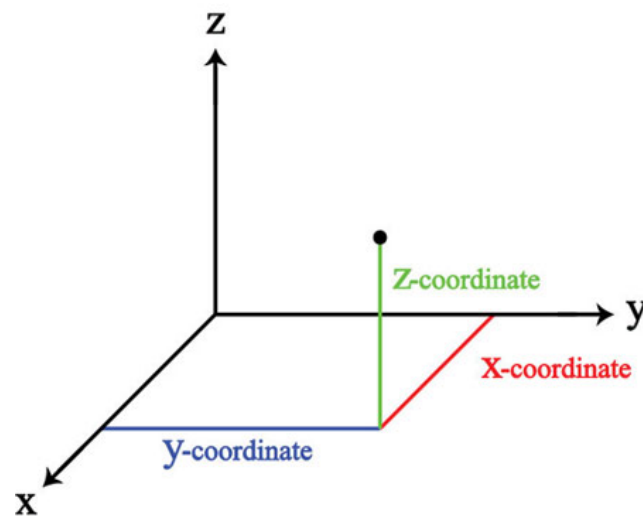
Ook al is er een duidelijke verbetering in de werking van de 3d-printer, er is nog voldoende ruimte voor verbetering. Een volgend onderzoek zou dieper in kunnen gaan op de implementatie van een volledig closed-loop systeem, waarbij de positie van de printkop continu in de gaten wordt gehouden. Dit is met name belangrijk bij hogere printsnelheden.

Bibliografie

- [1] Luke Chilson. Filament tolerances and print quality, nov 2011.
- [2] Daniel Cykana. To troubleshoot profile extrusion, first get to know all the variables, 2011.
- [3] Inc. eFunda. Rapid prototyping: An overview, 2013.
- [4] Elsevier. 3-d printing: The new industrial revolution. 2012.
- [5] Elsevier. 3d printing market to grow 23 2014.
- [6] Wittebrodt et al. Life-cycle economic analysis of distributed manufacturing with open-source 3-d printers, 2013.
- [7] Dr. Fritz Faulhaber. How to prevent step losses, 2012.
- [8] Honeywell. *MICRO SWITCH Basic Switches Line Guide*, 2011.
- [9] I. Johnson. Slicer torture test, 2012.
- [10] J.M. Pearce M. Kreiger. Environmental impacts of distributed manufacturing from 3-d printing of polymer components and products. 2013.
- [11] Thomas R. Kramer; Frederick M. Proctor; Elena R. Messina;. *The NIST RS274NGC Interpreter - Version 3*, 2000.
- [12] Vadn T. Moilanen, J. Manufacturing in motion: first survey on the 3d printing community, 2012.
- [13] Jitse Niesen. Bilinear interpolation, 2014.
- [14] QTCgears. Definition of backlash, 2010.
- [15] RepRap. Reprap wiki, 2014.
- [16] Shumatech. Chinese scales, 2011.
- [17] TASS. Afstudeerboekje 2014, jan 2014.
- [18] Erik Wannee. Speling, 2010.
- [19] Erik Wannee. 3d printing analysis, 2014.
- [20] Erik Zalm. Marlin 3d printer firmware, 2010.

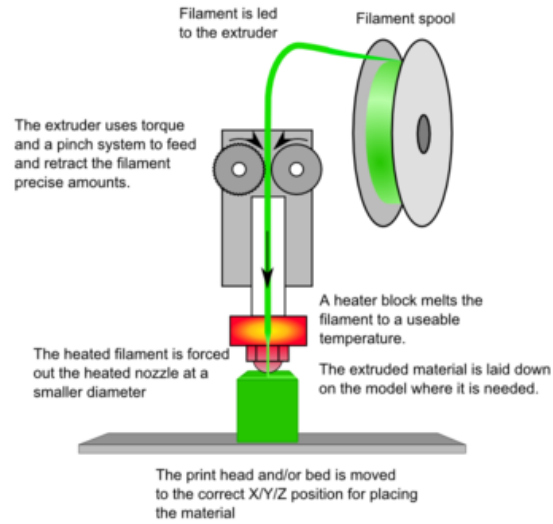
Bijlage A

Images



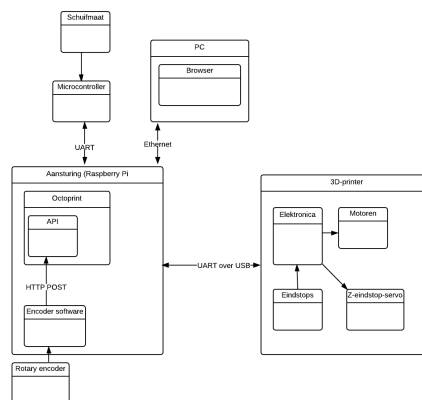
Figuur A.1: Cartesiaans x-y-z-stelsel

Source: [http : //en.wikipedia.org/wiki/Three – dimensional_space/mediaviewer/File : Coord_planes_color.svg](http://en.wikipedia.org/wiki/Three-dimensional_space/mediaviewer/File:Coord_planes_color.svg)



Figuur A.2: Fused Deposition Modeling

Source: <https://www.whiteclouds.com/>

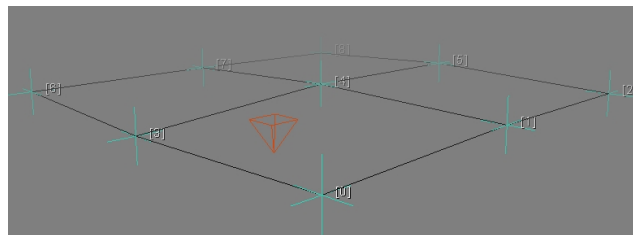


Figuur A.3: Systeemontwerp

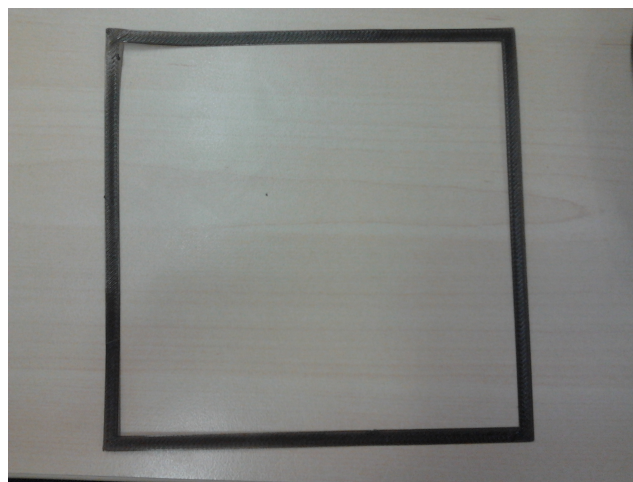


Figuur A.4: Overextrusie

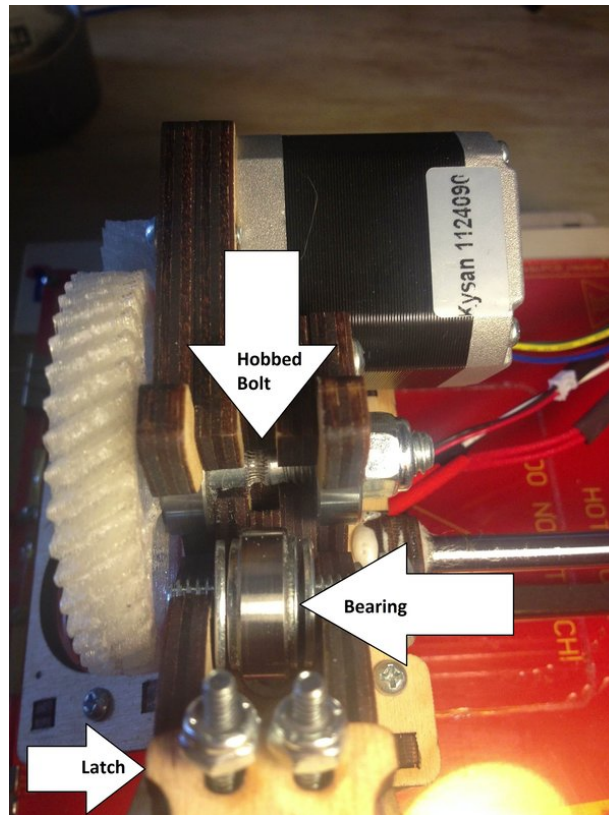
Source: <http://www.chrisherring.net/all/reprap-prusa-i3-from-makerfarm/>



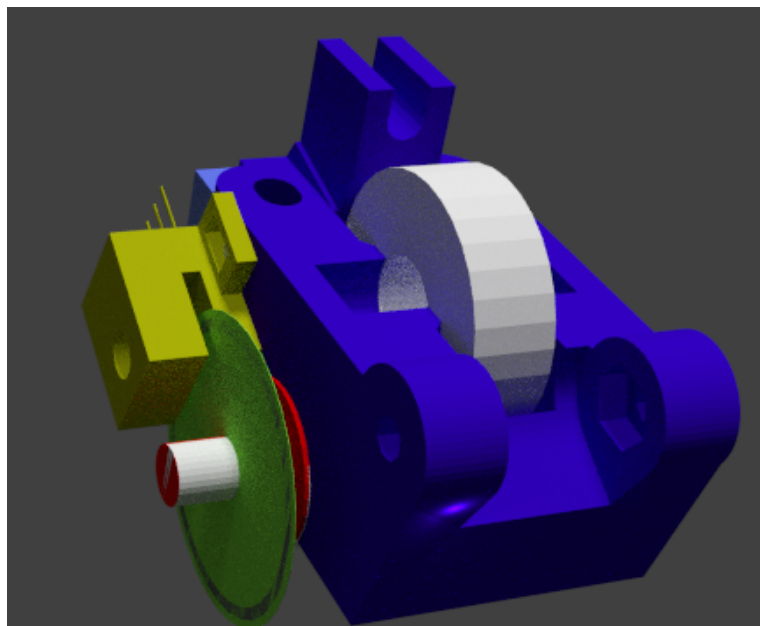
Figuur A.5: Meting van het printbed



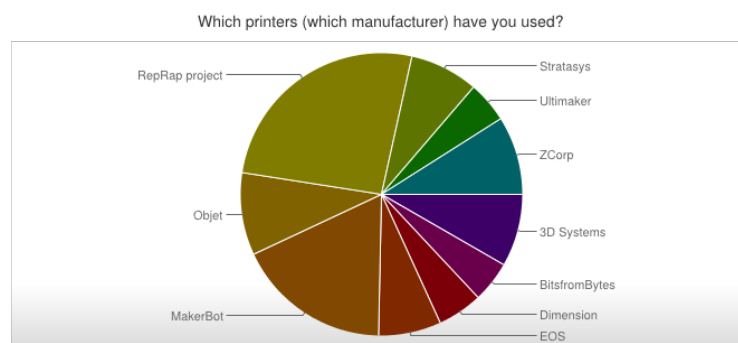
Figuur A.6: Resultaat van automatische bed-afstelling



Figuur A.7: Typische manier van het voortduwen van filament: Het filament wordt tussen de kogellager en de hobbed bolt geklemd, waarna de hobbed bolt het filament voortstuwt.



Figuur A.8: Montagebeugel voor de rotary encoder



Figuur A.9: Meest gebruikte 3D-printer fabrikanten

Source: Moilanen, J., Vaden, T.: Manufacturing in motion: first survey on the 3D printing community

Bijlage B

Verklarende woordenlijst

- **Filament** Komt vanuit het Latijn. Filum = "draad" en wordt gebruikt om het meestal plastic basismateriaal aan te duiden dat voor 3D-printen gebruikt wordt.
- **Speling** "Speling is de ruimte die er tussen verschillende onderdelen van een samengesteld voorwerp bestaat. Een voorbeeld van het begrip is de speling in een kogellager: De kogels moeten net voldoende ruimte hebben om vrij te kunnen rollen, maar als de speling te groot wordt, kunnen er in het lager ongewenste bewegingen ontstaan. Een ander voorbeeld is de afstand waarover een remhendel van een fiets moet worden ingeknepen voordat de rem daadwerkelijk in werking treedt". [18]
- **G-code** Gcode is een gestandaardiseerde instructie die wordt gebruikt om CNC-machines, 3D-printers en dergelijke aan te sturen.[11]
- **Extrusie** "Extruderen is een vormgevingstechniek waarbij een vervormbaar materiaal door een matrijs geperst wordt."¹ In een 3D-printer wordt er, over het algemeen een thermoplastisch plastic, filament gebruikt, dat wordt verwarmd en door een ronde matrijs van meestal rond de 0,3 - 0,8mm diameter wordt geëxtrudeerd.
- **Hobbed bolt** Een as, over het algemeen een gemodificeerde bout of uitgefreesd stuk metaal, met rondom tanden die in het filament grijpen. Door het filament te klemmen tussen een aangedreven hobbed bolt en een niet-aangedreven wiel, kan het filament worden voortgeduwd.
- **Rotary encoder** Een rotary encoder is een elektromechanisch onderdeel dat beweging of positie omzet in een digitaal of analoog signaal.
- **Slicer** Software welke van een STL-bestand G-code maakt door het model in lagen te snijden en per laag een toolpad te genereren. De slicer doet dit aan de hand van instellingen zoals laagdikte, lijndikte, snelheid, opvulling, temperatuur, etc.

¹<http://nl.wikipedia.org/wiki/Extruderen>

- **Slicer-engine** De engine achter de slicer. De slicer bestaat uit een GUI en de engine die daadwerkelijk het object opsnijdt. De engine bevat algoritmen die de g-code genereren uit een 3d-model.
- **STL-bestand** STL staat voor SurfaceTessellationLanguage. Deze bestanden beschrijven het oppervlak van een object. Een STL-bestand beschrijft een object enkel met driehoeken. STL-bestanden worden veel toegepast in Rapid Prototyping processen.
- **Toolpad/toolpath** Beschrijving van het pad dat een tool, zoals een printkop, moet afleggen. In het geval van een 3d-printer is deze beschrijving in een 4-assig stelsel, waarbij de x, y en z-as worden beschreven, maar ook de extruder als een as wordt gezien.

Bijlage C

Keuze 3d-printer

Het doel van het project is om een 3d-printer te kunnen meten en afstellen. Een eis om het project te kunnen uitvoeren is dan ook het hebben van een 3d-printer. Om deze reden is er een klein onderzoek uitgevoerd waarin wordt gekeken welke printer het meest geschikt is voor dit project. Omdat TASS in de toekomst mogelijk meer projecten met deze printer wil uitvoeren, is er rekening gehouden met eventuele uitbreidbaarheid. Om deze reden is er ook besloten om een printer te nemen die open-source is. Op het moment zijn open-source printers vanuit de RepRap-community het meest gebruikt (afbeelding A.9) Verder dient de printer in een lage prijsrange te zijn, het liefst een bouw pakket. De vraagstukken die onderdeel maken van printerkeuze zijn de volgende:

Bouwmateriaal: Waar is de printer van gemaakt? Is het materiaal duurzaam of zal het snel stuk gaan? Hoe stevig is het materiaal? Is het mogelijk het frame aan te passen, up te graden of kunnen er extra dingen aan het frame bevestigd worden?

Hardware: Wat voor hardware zit er op? Is deze hardware goed gedocumenteerd? Wordt de firmware regelmatig gepdate? Zijn er nog vrije aansluitingen voor eventuele uitbreidingen? Is er genoeg geheugen en is de processor snel genoeg?

Community: Is er vanuit de community veel actieve ontwikkeling, of wordt de ontwikkeling gedaan door een bedrijf dat mogelijk binnenkort niet meer bestaat?

Voor/nadelen: heeft deze printer nog specifieke voor/nadelen ten opzichte van andere printers?

Levertijd: Het is zaak dat de printer snel binnen is, dus is de levertijd redelijk?

LCD-scherm: Met een lcd-scherm en SD-kaartlezer kunnen printtaken uitgevoerd worden zonder dat er een computer benodigd is. Er kunnen een aantal standaard printtaken of tests op de SD-kaart gezet worden. Verder kan op deze manier diagnostische informatie van de printer weergegeven worden. Een LCD-scherm en SD-lezer zijn dan ook een pre.

Alles aanwezig: Vaak zijn er bij printers die vanuit het buitenland komen niet alle onderdelen meegeleverd. Een glazen printbed wordt omwille van de breekbaarheid vaak niet meegeleverd en een voeding is vaak land-afhankelijk. Dienen deze nog bijgekocht te worden of is de printer helemaal compleet?

Prijs: We kijken naar de onderkant van de prijsrange, dus printers onder de 1000 euro.

De meeste printers in deze range zijn bouwpakketten die nog in elkaar gezet moeten worden.

C.1 Eindoordeel

Alle hierboven printers zijn populaire printers onder consumenten en hobbyisten. Als we kijken naar de eis dat alles open source moet zijn valt er op dat de ultimaker wel alle bronbestanden heeft gepubliceerd, maar dat veel onderdelen speciaal door hun gemaakt zijn en dus niet zo maar te vervangen zijn.

Verder zijn er twee versies van de Prusa i3 waar we naar hebben gekeken. Deze printers hebben een hoge prijs-kwaliteit verhouding, maar het houten/aluminium frame is niet enorm stabiel en biedt niet erg veel mogelijkheden ter uitbreiding. Voor de rest is deze printer wel een goede keuze; hij is uitbreidbaar, snel, er zijn ontzettend veel upgrades voor beschikbaar en er wordt veel nieuws aan ontwikkeld.

De solidoodle viel ook al snel af in het lijstje, niet alleen door de closed-source, maar ook doordat de machine vrij “gesloten” is en het niet erg gemakkelijk is om er aanpassingen op te maken.

Als laatste is er gekeken naar de Mendelmax 1.5, dit grote broertje van de Prusa i3 is een stuk steviger dan de Prusa en doordat er gebruik gemaakt wordt van gextrudeerde aluminium profielen is het gemakkelijk om er nieuwe onderdelen aan te hangen en het frame aan te passen. De stevigheid van het frame zorgt er voor dat de machine van zichzelf al minder last heeft van trillingen en afwijkingen. Hoewel de prijs iets hoger is dan de Prusa, is de printer wel een stuk beter. Ook is de electronica wat verder uitgewerkt dan de Megatronics op de RRW i3 en heeft deze veel mogelijkheden om deze uit te breiden/aan te passen. Als laatste is de printer het snelste in elkaar te zetten van de bekeken printers.

3D-printer		Makerfarm i3 8"	Reprapworld i3 Megatronics	Solidoodle 3	Mendelmax 1.5
Prijs	Ultimaker	460	568	600	889
Lcd		Ja	Nee	Nee	70
Hardware	ultimaker electronics	RAMPS 1.4	Megatronics	Solidoodle + arduino mega	Sanguinololu
Firmware	Marlin	Marlin	Marlin	Marlin	Marlin
levertijd	2 dagen	1,5w	2 dagen	2 weken	5 dagen
voordelen	Lichte kop	lage bouwtijd	Snelle levering, sterke motoren	Stevige printer	Stevig ontwerp, goede kwaliteit, veel ruimte voor aanpassingen
nadelen	bowden systeem is kwetsbaar	Mist onderdelen	Onbekende versie, ontwerpfouten	Closed source, weinig support	Sanguino is iets minder uitgebreid dan RAMPS
community	grote community	Veel support	Veel support	weinig support	veel support
open-source	meeste onderdelen, maar niet alles	volledig	volledig, echter onbekend welke model files	nee	volledig
Alles aanwezig?	Ja	Mist ATX supply en glas	ja	ja	Ja
Website	ultimaker.com	http://www.makerfarm.com/	http://reprapworld.com/	solidoodle.com	http://store.makertoolworks.com
Materiaal frame	Hout	Hout	Aluminium	Metaal	aluminium extrusieprofielen

Tabel C.1: Vergelijking 3D-printers

Bijlage D

Onderzoek hardware

Nu duidelijk is waar het onderzoek zich op gaat richten, kan er een keus worden gemaakt in de hardware die gebruikt gaat worden om de diverse sensoren uit te lezen.

D.1 Eisen

De sensoren moeten worden uitgelezen door een stuk hardware. Deze hardware dient de signalen te ontvangen en te verwerken. Hoewel de 3d-printer al een dergelijk stuk hardware bevat - de Arduino Mega 2560 - is deze niet geschikt voor alle signalen. De - relatief trage - processor is druk met de aansturing van de printer en extra gegevensverwerking zou de printer vertragen. Er een tweede stuk hardware moeten komen dat de verwerking van de sensoren kan uitvoeren. Dit stuk hardware dient tevens voor de aansturing van de 3d-printer als geheel. Dit houdt in dat deze hardware interactie moet hebben met een eindgebruiker, welke op zijn beurt een 3d-model in kan laden. Vervolgens dient deze hardware de G-code [11] te genereren en te versturen naar de printer. Doordat deze hardware informatie van de sensoren ontvangt, kan er tijdens het printproces bijgestuurd worden door middel van G-code.

Eisen:

- Het systeem de mogelijkheid te hebben via een seriele poort G-code te versturen naar de printer. Eventueel kan dit via een serieel-naar-usb-converter.
- Het systeem dient de diverse rotary-encoders te kunnen verwerken.
- Het systeem moet op een of andere manier een user-interface hebben om de gebruiker de mogelijkheid te geven diagnostische gegevens te tonen en de gebruiker een 3d-model te laten uploaden.
- Het systeem moet zowel geschikt zijn voor de meetonderwerpen die in dit onderzoek behandeld worden, alsmede de onderdelen die in een vervolgonderzoek aan bod komen.
- De hardware moet binnen een budget van €100 vallen.

De zwaarste eis is waarschijnlijk het afhandelen van de rotary encoder voor de positiemeting. Deze maakt gebruik van een tweekanaals encoder, welke op de maximale snelheid van 150mm/s 4686 hardware interrupts per seconde zal gebruiken. Omdat deze positiemeting zowel op de x-, y en e-as zit, moet de hardware zeker 15.000 interrupts per seconde af kunnen handelen. Hoewel andere sensoren ook afgehandeld moeten worden, zullen die maar enkele keren per seconde aandacht nodig hebben, wat geen significante processorkracht nodig heeft.

Verder is het nodig dat de hardware voldoende i/o's heeft voor de verschillende sensoren, met daarbij de mogelijkheid tot latere uitbreiding van het aantal sensoren. Voor de drie rotary encoders, welke twee datalijnen per stuk nodig hebben zijn er 6 i/o's nodig welke interrupts kunnen genereren. Verder zijn er nog een aantal i/o's nodig voor de z-as en de digitale schuifmaat. Om de mogelijkheid tot uitbreiding open te houden, willen we minimaal 10 i/o's waar een interrupt kan worden aangeroepen, 10 "gewone" i/o's en 5 analoge ingangen, met een minimale resolutie van 10 bits.

Ook zal er een budget worden gesteld van 100 en een levertijd die niet langer mag zijn dan 2 weken.

D.2 Vergelijking

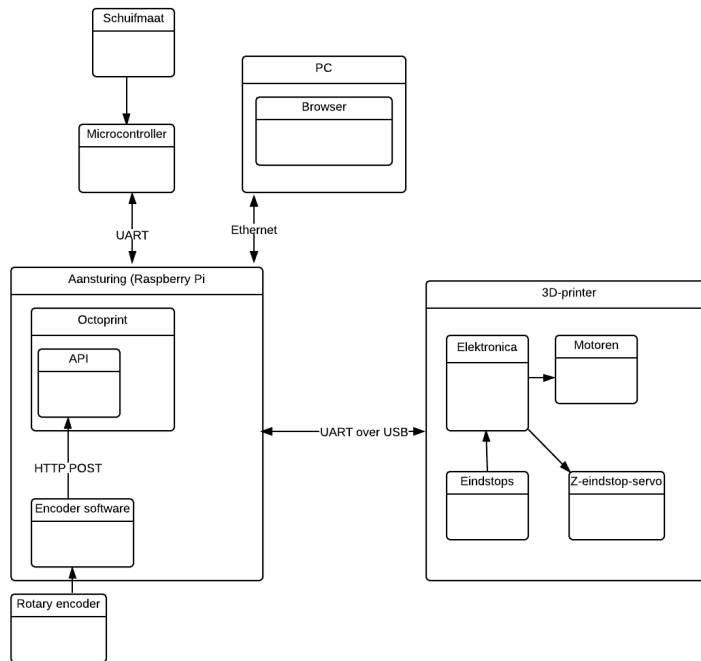
Aan de hand van de eisen zijn er een aantal mogelijke kandidaten geselecteerd. Dit zijn zowel single-board computers als een aantal Arduino's.

		Boards					
Eisen		Arduino Mega	Arduino Due	Beaglebone black	Raspberry Pi	Arduino Uno	Cubieboard
	Snelheid	16 MHz	86MHz	1GHz	700MHz	16MHz	1GHz
	PC verbinding	✓UART	✓UART	✓UART	✓UART	✓UART	✓UART
	I/O pins	54	54	66	8	16	96
	Interrupts	6	54	8	8	2	2
	Analoog	16	12	7	2	6	12
	Levertijd	2 dagen	2 dagen	1 week	2 dagen	2 dagen	2 dagen
	Geschatte Interrupts	± 10k	± 25k	Onbekend	± 5k	± 10k	± Onbekend
	Prijs	€50	€60	€89	€35	€25	€80

Tabel D.1: Vergelijking verschillende hardware

Na de documentatie van bovenstaande hardware is de keuze gevallen op een Raspberry Pi. Dit omdat hier veel documentatie voor beschikbaar is, een actieve community, een korte levertijd en een lage prijs. Hoewel dit voor veel van de bovenstaande hardware geldt, is voor de Raspberry Pi een versie van OctoPrint [?] beschikbaar. In het hoofdstuk ?? wordt hier verder op ingegaan.

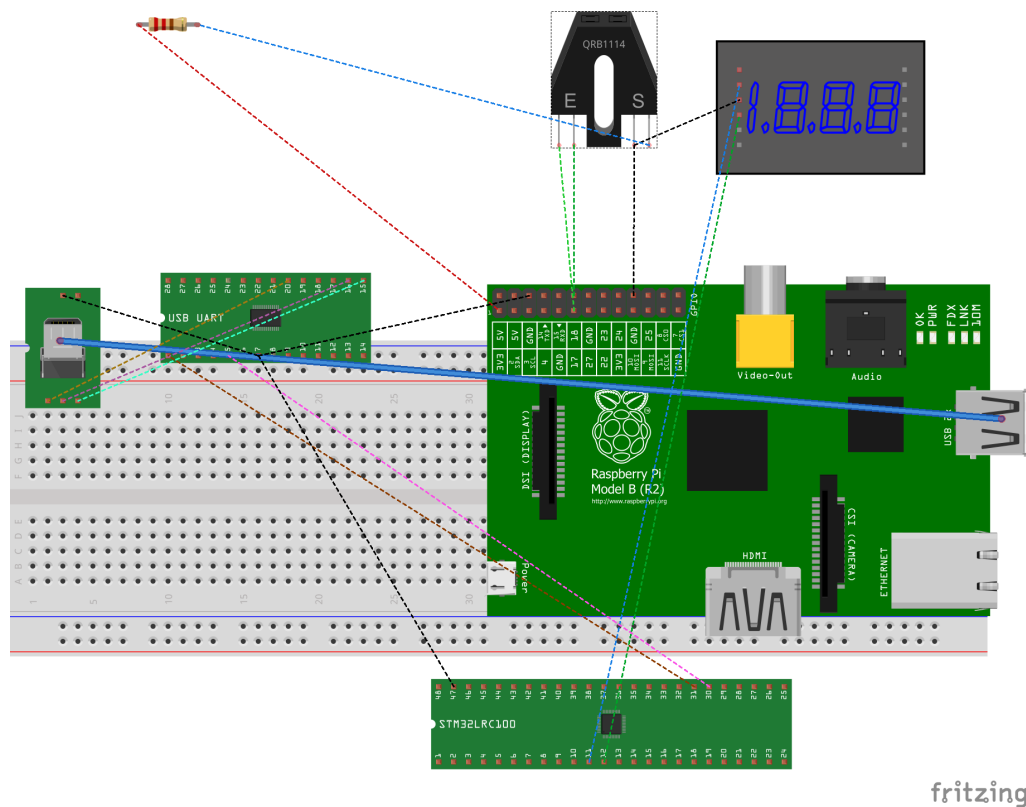
D.3 Systeem



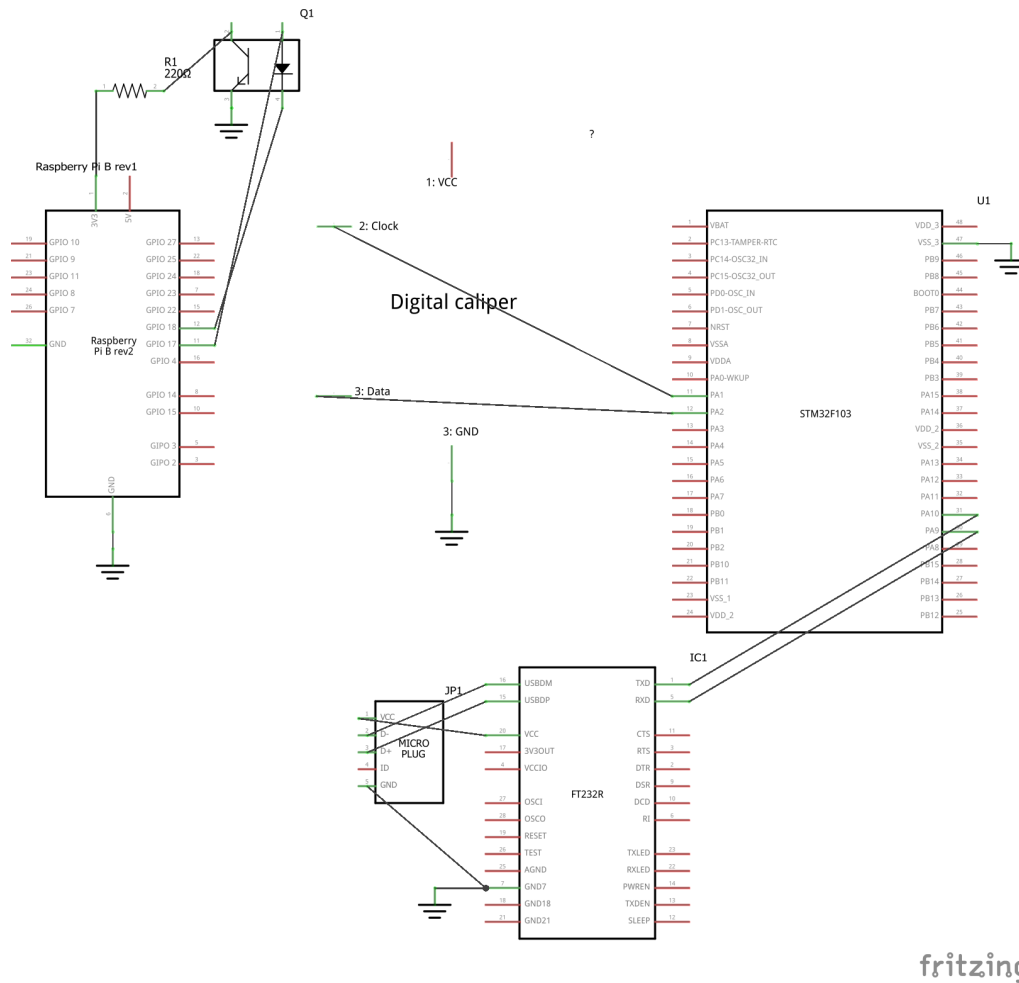
Figuur D.1: Systeemontwerp

Bijlage E

Aansluiting hardware



Figuur E.1: Visuele weergave van de aansluitingen van de hardware



Figuur E.2: Schematische weergave van de aansluitingen van de hardware

Bijlage F

Onderzoek printen

F.1 Intruductie

Om een duidelijk beeld te krijgen van de problemen die er spelen bij het printen met een 3d-printer zal er eerst onderzoek plaats moeten vinden. In dit hoofdstuk wordt onderzocht hoe vaak het printen met een 3d-printer fout gaat en wat er zoal fout gaat.

F.2 Onderzoeksmethode

Dit empirisch onderzoek met behulp van twee 3d-printers verschillende prints maken, waarbij telkens genoteerd wordt of een print gelukt is. Indien een print mislukt, wordt er de hoofdzakelijke oorzaak genoteerd die de print heeft laten mislukken.

De gebruikte printers zijn een Makerfarm 8" Prusa i3 en een zelfbouw Prusa i3. Er worden geen speciale prints gebruikt voor dit onderzoek, om een realistisch beeld te krijgen. Prints waarvan het technisch niet mogelijk is deze te printen, bijvoorbeeld door een verkeerd ontwerp, zullen niet worden meegenomen in de testresultaten.

F.3 Resultaten

Tijdens het printen zijn er op een aantal manieren prints mislukt. Deze manieren zijn:

F.3.1 Bedhoogte

Als de printer op een verkeerde hoogte begint met printen of als het printbed scheef is, is de eerste printlaag niet overal even dik, blijft deze niet vast zitten op het printbed of schraapt de kop over het printbed. Dit probleem zorgt er voor dat tijdens de eerste laag het printen fout gaat.

F.3.2 extruder

De extruder heeft op een aantal manieren een print laten mislukken. Door te dik filament kan de benodigde kracht op het filament te hoog worden en kan de extruder doorslippen, te dun filament zorgt voor een slecht printresultaat.

F.3.3 verschuiving as

Een positioneringsfout wordt verstaan onder verschuiving as. De oorzaak hiervan kan zijn een te snelle aansturing, te veel weerstand, te veel of te weinig motorstroom of een mechanisch defect.

F.3.4 Loslaten

Loslaten houdt in dat de print tijdens het printen los laat van het printbed.

F.3.5 Resultaten

	no-brand i3	Makerfarm i3	TOTAAL:
Aantal prints	51	15	66
Mislukte prints	15	9	24
Mislukt percentage	29,41%	60,00%	44,71%
bedhoogte	9	4	13
extruder	3	1	4
verschuiving as	3	0	3
loslaten	0	4	4

Tabel F.1: Onderzoekresultaten

In tabel F.1 zijn de resultaten van het onderzoek weergegeven. Voor de ruwe onderzoeksdata, zie bijlage X.

F.4 Conclusie

Uit het onderzoek is gebleken dat de meeste prints fout gaan door een verkeerde bedhoogte. Een deel valt te wijten aan een kop die te hoog of te laag is, een deel omdat de kop niet parallel loopt met het printbed.

Verder was te zien dat de Makerfarm i3 vaker gefaalde prints had dan de no-name i3-printer. Dit is mogelijk te wijten aan het feit dat er nog weinig ervaring was met het afstellen van de Makerfarm i3.

Ook was het loslaten van de prints tijdens het printen in het begin van de tests een probleem. Echter na goed schoonmaken van het printbed en een juiste bedtemperatuur instellen was dit probleem opgelost.

Bijlage G

Data mislukte prints

no-name i3		
ID:	Gelukt?	Evt oorzaak
1	ja	
2	ja	
3	ja	
4	ja	
5	nee	bedhoogte
6	nee	bedhoogte
7	ja	
8	nee	bedhoogte
9	nee	extruder
10	nee	extruder
11	ja	
12	nee	bedhoogte
13	ja	
14	nee	verschuiving as
15	nee	bedhoogte
16	ja	
17	nee	verschuiving as
18	ja	
19	ja	
20	ja	
21	ja	
22	ja	
23	nee	bedhoogte
24	nee	bedhoogte
25	nee	bedhoogte
26	nee	verschuiving as
27	nee	extruder
28	ja	
29	ja	

30	ja	
31	ja	
32	ja	
33	ja	
34	ja	
35	ja	
36	ja	
37	ja	
38	nee	bedhoogte
39	ja	
40	ja	
41	ja	
42	ja	
43	ja	
44	ja	
45	ja	
46	ja	
47	ja	
48	ja	
49	ja	
50	ja	
51	ja	
Makerfarm i3		
ID:	Gelukt?	Evt oorzaak
1	nee	bedhoogte
2	nee	extruder
3	nee	bedhoogte
4	ja	
5	nee	loslaten
6	nee	loslaten
7	nee	loslaten
8	ja	
9	ja	
10	nee	bedhoogte
11	ja	
12	ja	
13	ja	
14	nee	loslaten
15	nee	bedhoogte

Bijlage H

Keuze bed-meting

H.1 Introductie

Er zijn verschillende manieren waarop het printbed gemeten kan worden. Bij alle methoden wordt er gebruik gemaakt van de printkop om de meting te verrichten. In dit onderzoek worden de verschillende sensoren uiteengezet en wordt er een keuze gemaakt voor de bed-meet-methode.

H.2 Eisen

Om de tafelhoogte goed te kunnen meten en corrigeren zijn er een aantal eisen waar aan voldaan moet worden. Hoewel de tafel automatisch gemeten zal worden, wordt er nog wel van de gebruiker geëist dat deze de tafel redelijk recht, dat wil zeggen een maximaal hoogteverschil van 5mm, instelt. Dit is met het blote oog zonder problemen haalbaar.

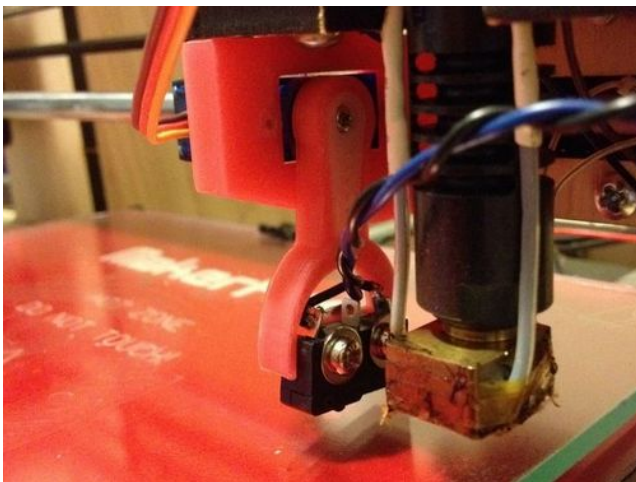
- De tafelmeting moet een grote juistheid en precisie hebben. Uitgaande van een standaard laaghoogte van 0.1mm moet de nauwkeurigheid de helft daar van zijn, om geen printfouten te veroorzaken. Dit komt neer op 0.05mm.
- Doordat de z-as continu beide kanten op draait in plaats van enkel een richting, moet in de gaten worden gehouden dat de speling niet groter is dan bovenstaande eis.
- De z-as moet snel genoeg draaien zodat bij 5mm afwijking en een snelle printsnelheid, het printproces niet vertraagt. Dit resulteert in een z-as snelheid van minimaal 2.5mm/s.
- De tafelmeting moet zodanig gebeuren, dat het meetinstrument niet in de weg zit tijdens het printen.
- Het meetinstrument mag geen grote invloed hebben op het gewicht van de kop, zodoende de printresultaten niet te beïnvloeden. Er is bepaald dat het meetinstrument maximaal 40 gram mag wegen, 10% van het gewicht van de printkop.
- Er is een budget beschikbaar van 15 euro voor het systeem.

H.3 Methoden

Een aantal verschillende manieren om het printbed te meten zijn de volgende:

Servo en microswitch

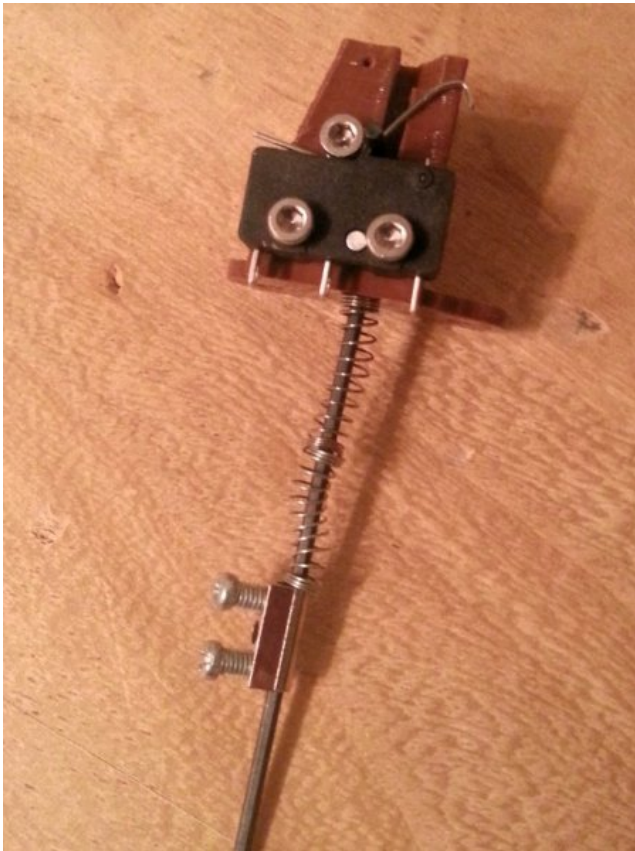
Een manier om een schakelaar het bed af te laten tasten, terwijl hij tijdens het printen niet in de weg zit, is een servo met een arm waaraan een microswitch wordt gemonteerd. De schakelaar kan dan zodanig worden gekozen dat deze binnen de eisen valt. Door gebruik te maken van een modelbouwservo en een zelf te printen arm, kan deze oplossing erg licht zijn. De kosten van dit systeem bestaan uit een servo 10 euro. De microswitch is meegeleverd bij de printer en de arm kan geprint worden.



Figuur H.1: Servo en microswitch

Uitschuifbare probe

Door gebruik te maken van een vast opgestelde microswitch met daaraan een uitschuifbare arm, kan de microswitch erg nauwkeurig gepositioneerd worden. De arm kan dan ingeschoven worden door een mechanisme te ontwerpen dat, zodra de arm ver genoeg wordt ingeduwd, deze blijft hangen. Het neerlaten van de arm zal door de gebruiker moeten worden gedaan. Een veersysteem moet er voor zorgen dat de arm weer naar beneden schuift. De kosten van dit systeem zijn enkel de aanschaf van een probe, zijnde 1 euro. Voor de veer kan een veer uit een balpen gebruikt worden.



Figuur H.2: Uitschuifbare probe

Uitschuifbare probe met hall-effect sensor

Een alternatief op bovenstaande probe is de microswitch te vervangen door een hall-effect sensor. Het voordeel hiervan is dat er geen mechanische weerstand is op het schakelpunt.

H.3.1 Force sensing resistors

Het gebruik van een drukgevoelige weerstand is tevens een mogelijkheid om het printbed te meten. Een sensor wordt op elke van de vier bevestigingspunten van het printbed gemonteerd. Om een meting te verrichten wordt de printkop voorzichtig tegen het printbed geduwd. Met behulp van de sensoren wordt het moment bepaald dat het bed geraakt wordt door de printkop. Nadeel van deze methode is echter dat de sensoren circa 10 euro per stuk kosten. Tevens is het vanwege het lineaire karakter van de weerstanden, in combinatie met de verdeling over het printbed lastig te bepalen wanneer een sensor exact geraakt wordt. Als laatste is het vrij lastig te implementeren, doordat het gewicht van het printbed op de redelijk gevoelige sensoren moet rusten, terwijl het printbed continu snel accelereert. Het voordeel van deze methode is wel dat het geen gewicht toe voegt aan de printkop.

H.4 Conclusie

Er zijn een aantal manieren besproken waarop de bedmeting kan worden uitgevoerd. Van deze oplossingen is de servo met microswitch gekozen. De reden hiervoor is dat met dit systeem de gebruiker geen handelingen hoeft uit te voeren. Ook is er geen speling of weerstand mogelijk in de bediening van de microswitch, zoals bij de uitschuifbare probe het geval is.

De servo die is gekozen is een standaard, kleine hobby-servo van 9 gram. Deze servo wordt aangestuurd door de Arduino Mega. De arm kan worden aangestuurd met een G401 en G402 g-code commando. De arm wordt automatisch neergelaten bij het automatisch levelen van het bed; G29.

H.5 Aanbeveling

Na de implementatie van de servo-arm zijn er nog een aantal andere manieren gevonden en bedacht die gebruikt zouden kunnen worden om het bed te levelen.

Zo kan er mogelijk een infrarood afstandssensor in combinatie met een comparator gebruikt worden. Door de sensor hoger te bevestigen dan de hot-end kan er contactloos en zonder uitkappende arm gemeten worden. Tevens zou er een accelerometer bevestigd kunnen worden op de kop. Zodra de kop de tafel raakt, kan dit mogelijk gemeten worden. Verder onderzoek is nodig om te kunnen bepalen of deze methoden mogelijk zijn.

Bijlage I

Gebruikte schuifmaat

Nadat er was gekozen om een schuifmaat te gebruiken voor de diktemeting van het filament, was het zaak een schuifmaat te kiezen. De eisen hiervoor waren:

- Resolutie van 1×10^{-2} mm.
- Nauwkeurigheid van 5×10^{-2} mm.
- Kosten lager dan €40,-
- Montagegaten voor montage op 3d-printer
- Data-uitgang, dus digitale schuifmaat
- Meetbereik minimaal 5mm

Na het opstellen van deze eisenlijst is er bij verschillende leveranciers (eBay, Farnell, Misumi, Mitutoyo) gezocht naar schuifmaten die binnen deze specificaties vielen. Opvallend was dat in de prijsklasse <40 euro een hoop leveranciers zijn van een aantal schuifmaten die aan onze specificaties voldoen en erg veel op elkaar lijken.

Na uitvoerig vergelijken van de diverse modellen, blijkt dat de interne elektronica¹, exact hetzelfde is in deze schuifmaten.

Omdat er verder geen verschil is tussen de specificaties, is er gezocht naar een versie die goed te monteren is in het project. Er is daarom gekozen voor de TOL1049 van BGMicro². Deze schuifmaat heeft meerdere montagegaten en is voorzien van een data-uitgang en bijbehorende kabel.

I.1 Introductie

De aangeschafte schuifmaat, type TOL1049, is voorzien van een display en digitale data-uitgang. De bedoeling is dat deze schuifmaat wordt aangesloten bovenop de cold-end. Een verandering in de dikte van het filament, zorgt voor een verdraaiing van de cold-end idler, wat vervolgens de schuifmaat laat bewegen.

¹[http : //www.shumatech.com/support/chinese_scales.htm](http://www.shumatech.com/support/chinese_scales.htm)

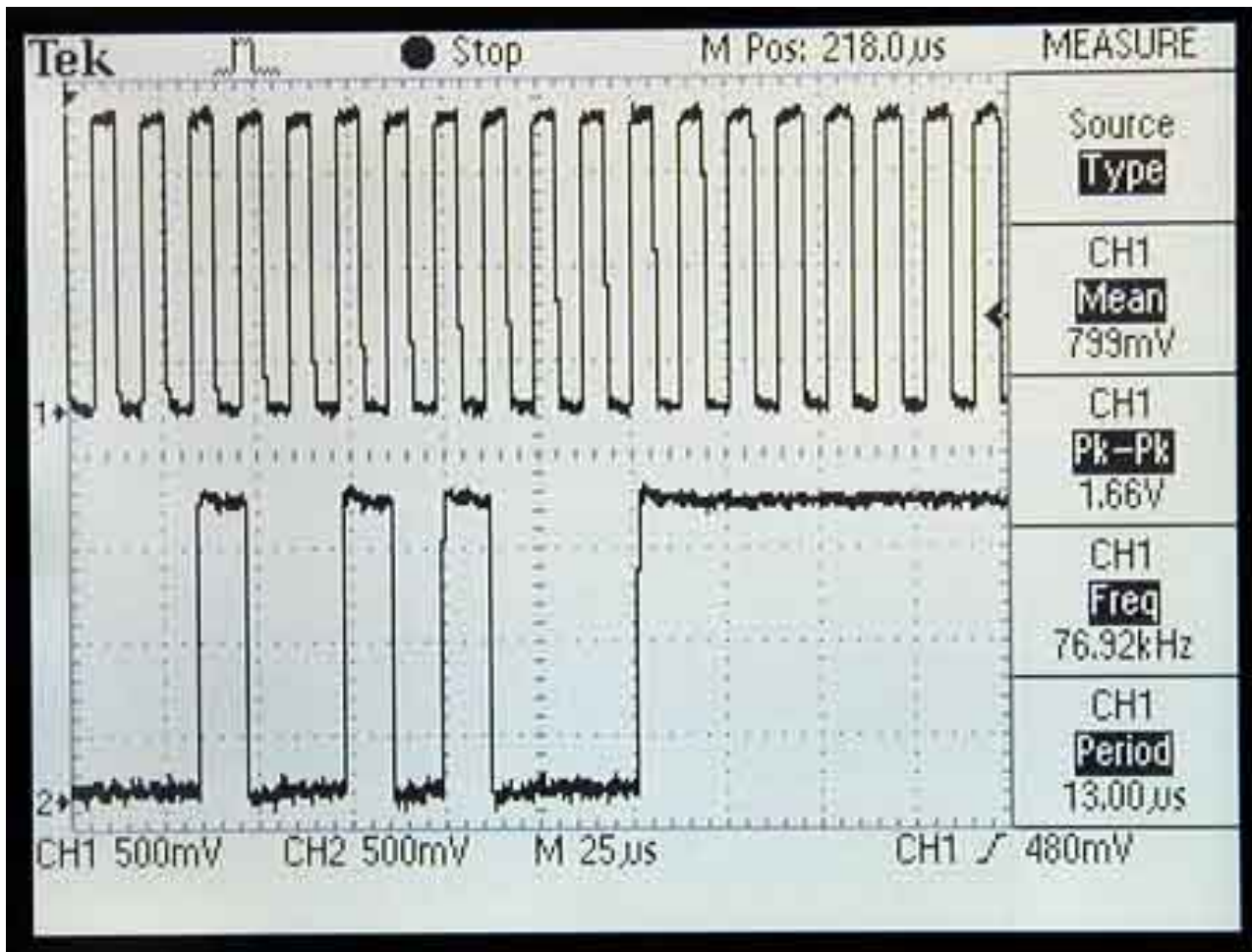
²[http : //www.bgmicro.com/digitalcaliperwithdataoutputport.aspx](http://www.bgmicro.com/digitalcaliperwithdataoutputport.aspx)



Figuur I.1: Digitale schuifmaat

I.2 Protocol

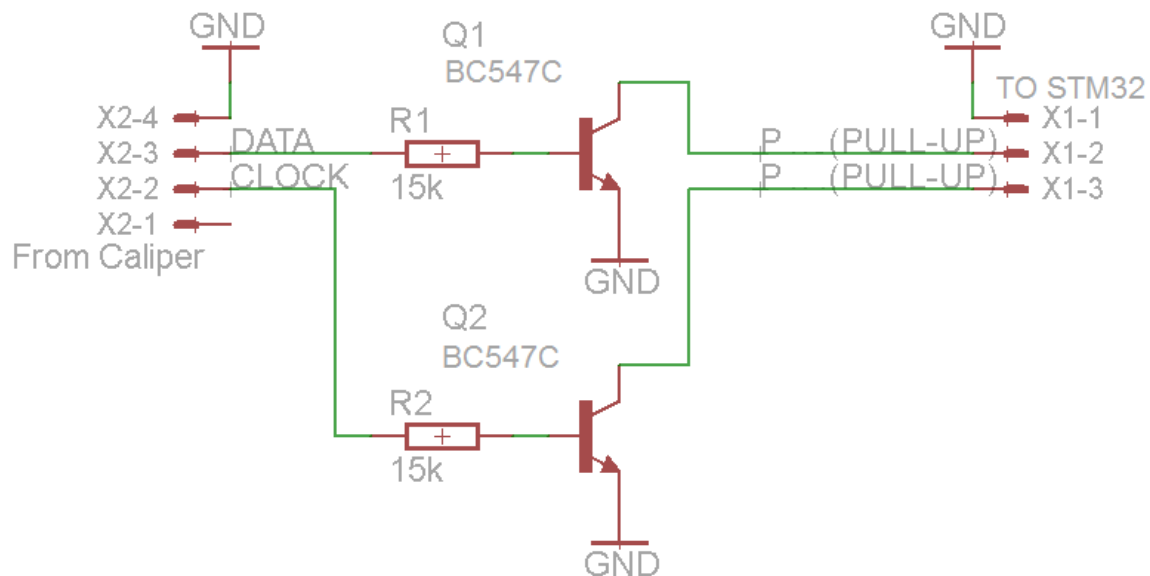
Het protocol dat gebruikt wordt in de schuifmaat is een niet-standaard protocol. Het is specifiek voor dit type schuifmaat en werkt met een data- en kloklijn^[16]. Over deze lijnen worden twee waarden in two's complement notatie gestuurd, met het meest significante bit aan het einde. De eerste waarde is de absolute positie ten opzichte van het begin van het meetbereik, de tweede waarde is de positie ten opzichte van de getarreeerde waarde. De schuifmaat wordt zodanig getarreed dat de dikte juist wordt weergegeven.



Figuur I.2: Weergave van de data- en kloklijn

I.3 Aansluitingen

De schuifmaat is aangesloten op het STM32 bordje door middel van een level shifter. Dit omdat het voltage van de schuifmaat, 1,5v, niet overeen komt met het niveau van de STM32. Zonder level-shifter zou het signaal onbetrouwbaar zijn.



Figuur I.3: Level-shifter voor de schuifmaat

I.4 Tests

Na het aansluiten van de hardware en de implementatie van een algoritme dat de data- en kloksignalen kan uitlezen, bleek dat de data die er uit de schuifmaat kwam niet consistent was en volledig willekeurig leek. Na het aansluiten van de schuifmaat op zowel een logic analyser als een oscilloscoop bleek dat de data inderdaad geen enkele consistentie heeft. Er kwam wel elke 0,3s data uit de schuifmaat, zoals te zien in figuur I.4, maar deze kwam op geen enkele manier overeen met het verwachte protocol en was - bij een vaste stand van de schuifmaat - ook niet constant.



Figuur I.4: Klok- en datalijn van de schuifmaat

Gezien de levertijd van de schuifmaat, 3 weken, is het niet meer haalbaar om deze opnieuw te bestellen en te implementeren vanwege de beschikbare tijd. Er is zodoende gekozen om de schuifmaat niet meer te implementeren.

Bijlage J

Gemeten filament- en wanddikten

In dit onderzoek is van een aantal mislukte prints bijgehouden wat de reden van het mislukken was, de dikte van het filament dat daadwerkelijk in de kop ging tijdens het mislukken, de ingestelde filamentdikte en de gemeten wanddikte. Bij objecten met meervoudige wanden is de gemeten waarde gedeeld door het aantal wanden.

#	Waarom mislukt?	Wanddikte	Ø	set-Ø
1	kop blijven hangen achter hoek > stappen	0,55	3,11	3
2	loslaten van print	0,54	3,05	3
3	kop blijven hangen in "blob" > gemiste stappen	0,47	2,89	3
4	print losgelaten (bijna op het einde)	0,64	3,14	3
5	doorslippen van extruder	0,58	3,13	3
6	object heeft verkeerde afmetingen	0,56	3,03	3
7	object heeft verkeerde afmetingen	0,46	2,94	3
8	eerste laag te hoog begonnen > print losgelaten	0,55	3,05	3
9	eerste laag te laag > kop blijven hangen > stappen gemist	0,72	3,11	3
10	naastgelegen object losgelaten, kop blijven hangen	0,61	3,02	3
11	printkop te dicht op eerste laag > beschadiging printbed	0,87	3,12	3
12	printkop te dicht op eerste laag > print mislukt	0,51	3,07	3
13	naastgelegen object losgelaten, kop blijven hangen	0,53	2,87	3
14	print losgelaten (aan het begin)	0,64	2,94	3
15	print losgelaten (bijna op het einde)	0,41	2,98	3
16	Print losgelaten	0,37	2,79	3
17	printkop te dicht op eerste laag > print mislukt	0,53	3,12	3
18	printkop te dicht op eerste laag > print mislukt	0,61	3,17	3
19	doorslippen van extruder	0,74	3,21	3
20	doorslippen van extruder	0,78	3,29	3

Tabel J.1: Reden mislukte print, gemeten wanddikte, filamentdiameter, ingestelde diameter

In tabel J is te zien dat de wanddikte en daadwerkelijke diameter van het filament beiden afwijken van de ideale waarden. De ideale waarde van het filament is een consistente 3mm dikte over de gehele lengte. Het gat in de nozzle van de printkop is 0,50mm, wat ook de verwachte wanddikte is.

De wanddikte is gemiddeld 0,58mm, $\sigma = 1.24 \times 10^{-1}$ J. De gemiddelde dikte van het gebruikte filament is in werkelijkheid 3,05mm, $\sigma = 1.13 \times 10^{-1}$

Bijlage K

Instellingen slicer

```
[profile]
layer_height = 0.2
wall_thickness = 1.0
retraction_enable = True
solid_layer_thickness = 0.6
fill_density = 35
nozzle_size = 0.5
print_speed = 50
print_temperature = 200
print_bed_temperature = 73
support = None
platform_adhesion = Brim
support_dual_extrusion = Both
wipe_tower = False
wipe_tower_volume = 15
ooze_shield = False
filament_diameter = 2.85
filament_flow = 94
retraction_speed = 35
retraction_amount = 1
retraction_dual_amount = 16.5
retraction_min_travel = 1.5
retraction_combing = True
retraction_minimal_extrusion = 0.02
bottom_thickness = 0.2
object_sink = 0
overlap_dual = 0.15
travel_speed = 150
bottom_layer_speed = 30
infill_speed = 80
cool_min_layer_time = 5
fan_enabled = True
skirt_line_count = 2
skirt_gap = 3.0
skirt_minimal_length = 150.0
fan_full_height = 0.5
fan_speed = 100
```

```

fan_speed_max = 100
cool_min_feedrate = 10
cool_head_lift = False
solid_top = True
solid_bottom = True
fill_overlap = 15
support_fill_rate = 15
support_xy_distance = 0.7
support_z_distance = 0.15
spiralize = False
brim_line_count = 10
raft_margin = 5
raft_line_spacing = 1.0
raft_base_thickness = 0.3
raft_base_linewidth = 0.7
raft_interface_thickness = 0.2
raft_interface_linewidth = 0.2
fix_horrible_union_all_type_a = True
fix_horrible_union_all_type_b = False
fix_horrible_use_open_bits = False
fix_horrible_extensive_stitching = False
plugin_config = (lp1
.
object_center_x = -1
object_center_y = -1

[alterations]
start.gcode = ;Sliced at: {day} {date} {time}
;Basic settings: Layer height: {layer_height} Walls: {wall_thickness} Fill: {fill_densi
;Print time: {print_time}
;Filament used: {filament_amount}m {filament_weight}g
;Filament cost: {filament_cost}
M104 S{print_temperature}
M140 S{print_bed_temperature}
G28 X0 Y0 ;move X/Y to min endstops
G28 Z0 ;move Z to min endstops
G29 ;auto bed leveling
M190 S{print_bed_temperature} ;Uncomment to add your own bed temperature line
M109 S{print_temperature} ;Uncomment to add your own temperature line
G21 ;metric values
G90 ;absolute positioning
M107 ;start with the fan off
G1 Z15.0 F{travel_speed} ;move the platform down 15mm
G92 E0 ;zero the extruded length
G1 F200 E3 ;extrude 3mm of feed stock

```

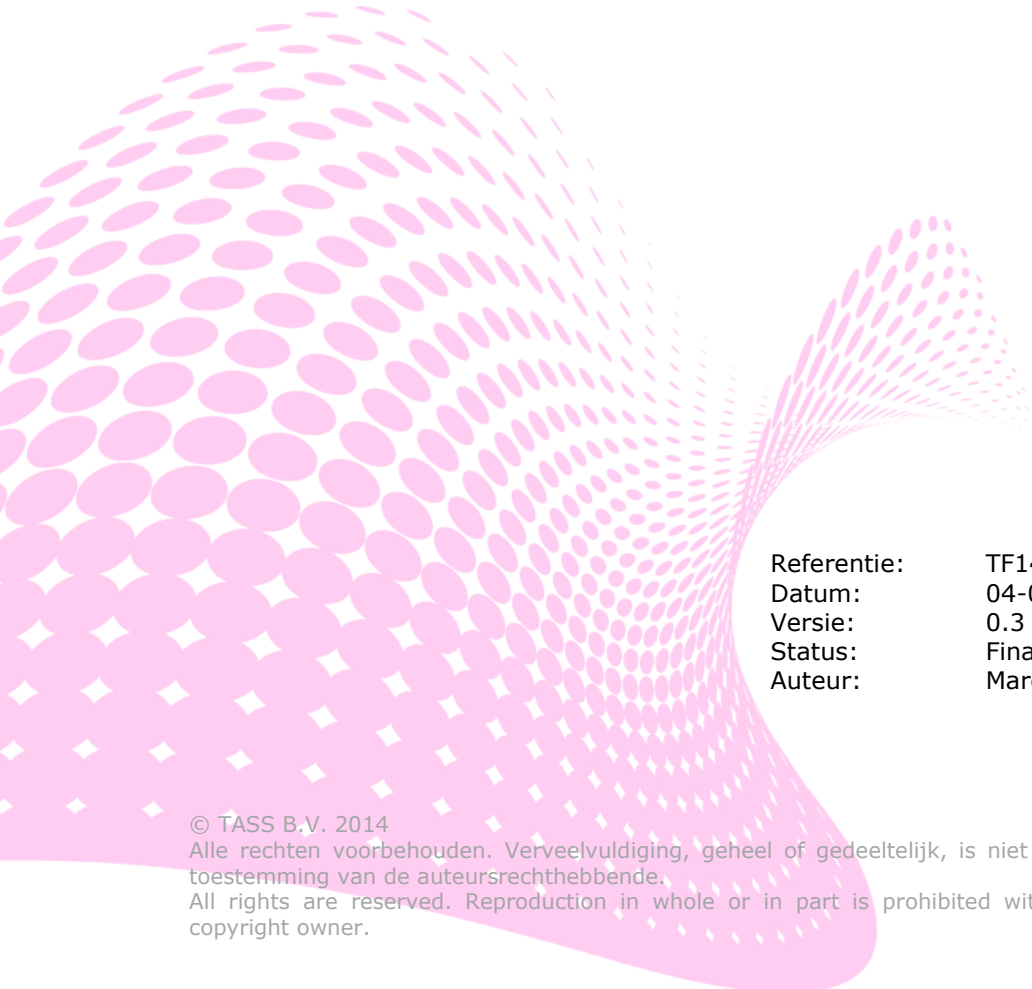
```

G92 E0                ;zero the extruded length again
G1 F{travel_speed}
;Put printing message on LCD screen
M117 Printing...
end.gcode = ;End GCode
M104 S0                ;extruder heater off
M140 S0                ;heated bed heater off (if you have it)
G91                    ;relative positioning
G1 E-1 F300            ;retract the filament a bit before lifting
                        ;the nozzle, to release some of the pressure
G1 Z+0.5 E-5 X-20 Y-20 F{travel_speed} ;move Z up a bit and retract filament even more
G28 X0 Y0              ;move X/Y to min endstops, so the head
                        ;is out of the way
M84                    ;steppers off
G90                    ;absolute positioning
G21                    ;metric values
G90                    ;absolute positioning
M107                   ;start with the fan off
G28 X0 Y0              ;move X/Y to min endstops
G28 Z0                 ;move Z to min endstops
G1 Z15.0 F{travel_speed} ;move the platform down 15mm
T1                      ;Switch to the 2nd extruder
G92 E0                ;zero the extruded length
G1 F200 E10            ;extrude 10mm of feed stock
G92 E0                ;zero the extruded length again
G1 F200 E-{retraction_dual_amount}
T0                      ;Switch to the first extruder
G92 E0                ;zero the extruded length
G1 F200 E10            ;extrude 10mm of feed stock
G92 E0                ;zero the extruded length again
G1 F{travel_speed}
;Put printing message on LCD screen
M117 Printing...
end2.gcode = ;End GCode
M104 T0 S0              ;extruder heater off
M104 T1 S0              ;extruder heater off
M140 S0                ;heated bed heater off (if you have it)
G91                    ;relative positioning
G1 E-1 F300            ;retract the filament a bit before lifting
                        ;the nozzle, to release some of the pressure
G1 Z+0.5 E-5 X-20 Y-20 F{travel_speed} ;move Z up a bit and retract filament even more
G28 X0 Y0              ;move X/Y to min endstops, so the head
                        ;is out of the way
M84                    ;steppers off
G90                    ;absolute positioning

```

Project Management Plan

3D-diagnostiek



Referentie:	TF14-02-001
Datum:	04-02-2014
Versie:	0.3
Status:	Final
Auteur:	Marco van Noord

© TASS B.V. 2014

Alle rechten voorbehouden. Verveelvuldiging, geheel of gedeeltelijk, is niet toegestaan dan met schriftelijke toestemming van de auteursrechthebbende.

All rights are reserved. Reproduction in whole or in part is prohibited without the written consent of the copyright owner.

Dit document is gepubliceerd door:

TASS B.V.
Eindhoven, Nederland

Commentaar en suggesties kunnen worden gestuurd naar:

TASS B.V.
Postbus 80060
5600 KA EINDHOVEN
Nederland
tel: +31 (0)40 2503200
fax: +31 (0)40 2503201

1 Introductie	1
1.1 Doel	1
1.2 Afkortingen en Definities	1
1.3 Referenties	1
1.4 Distributielijst	1
1.5 Document Geschiedenis	2
2 Project Beschrijving	3
2.1 Doel & Scope	3
2.2 Milestones	3
2.3 Budget	4
2.4 Metrics	Error! Bookmark not defined.
2.5 Rapportage	4
2.6 Beperkingen	5
3 Organisatie	6
3.1 Organisatieschema	6
3.2 Stuurgroep	6
3.3 Project Team	6
3.4 Communicatie en Externe Interfaces	6
4 Persoonlijke doelen	7
5 Randvoorwaarden	8
5.1 Aannames en Afhankelijkheden	8
5.2 Standaarden	8
5.3 Apparatuur, Infrastructuur en Tools	8
5.4 Risico's	8
6 Software Test Plan	10
6.1 Scope	10
6.2 Aanpak	10
7 Configuratie Management Plan	11
7.1 Organisatie	11
7.2 Configuratie Beheer	11
7.3 Change Management	11
8 Kwaliteit	12
8.1 Proces	Error! Bookmark not defined.
8.2 Reviews	Error! Bookmark not defined.
9 Acceptatie	13
9.1 Acceptatie	13

1 Introductie

1.1 Doel

Dit plan beschrijft:

- Hoe het project is georganiseerd.
- Wat het globale schedule is en welke werkproducten wanneer worden geleverd.
- Op welke aannames en randvoorwaarden het plan is gebaseerd.
- Hoe de kwaliteit wordt gewaarborgd.
- Wat de afspraken met de klant zijn m.b.t
- Afspraken over acceptatie en onderhoud.

1.2 Afkortingen en Definities

De volgende afkortingen en definities zijn in dit Project Management Plan gebruikt:

Filament: Materiaal dat als grondstof wordt gebruikt in een 3d-printer om mee te printen

G-code: Protocol t.b.v. aansturing van de printer; omvat commando's hoe de printer zich moet verplaatsen.

SVN-Server: Server waarop het versiebeheer-systeem Subversion draait, zodat er eventueel kan worden teruggegaan naar oudere versies en een back-up is van huidige data.

1.3 Referenties

Dit project is gebaseerd op verschillende gesprekken, informatiebronnen en documenten:

- Boekje afstudeeropdrachten, www.tass.nl, Rop Pulles, 01-10-2013
- Emailcontact met Marco Rondeel, 02-10-2013
- Sollicitatiegesprek bij Tass met Rop Pulles, 21-10-2013
- Terugkoppeling afstudeeropdracht door Marco Rondeel, 05-11-2013
- Eerste bespreking wensen & eisen met Jasper Goos, 05-02-2014
- Bespreking eisen en haalbaarheid met Dirk Castelijns, 10-02-2014
- Goedkeuring afstudeeropdracht door Jasper Goos, 13-02-2014

1.4 Distributielijst

Naam	Organisatie	Functie
Edwin Manten	TASS Technology Solutions	Algemeen Directeur
Bert van Elburg	TASS Technology Solutions	Commercieel Directeur
Jasper Goossens	TASS Technology Solutions	People manager
Dirk Kastelijns	TASS Technology Solutions	Technisch begeleider

1.5 Document Geschiedenis

Versie	Status	Datum	Auteur	Wijzigingen
0.1	Draft	04-02-2014	Marco	Initiële versie
0.2	Draft	05-02-2014	Marco	Verdere uitwerkingen koppen
0.3	Draft	10-02-2014	Marco	Toevoegen persoonlijke leerdoelen
0.4	Draft	11-02-2014	Marco	Toevoeging keuze onderzoeksvragen
0.5	Draft	25-02-2014	Marco	Verwerken onderzoeksaspecten + nieuwe planning
0.6	Final	17-03-2014	Marco	Updates n.a.v. nieuwe Peoplemanager

2 Project Beschrijving

2.1 Doel & Scope

3D printers zijn op het moment erg in opkomst. De printers bieden een enorm scala aan nieuwe mogelijkheden¹ en zijn dan ook niet voor niets het boegbeeld van de "derde industriële revolutie".²³ Er niet alleen tegen lage kosten producten in lage oplages gemaakt worden, maar ook kunnen er producten mee gemaakt worden die op geen enkele andere manier geproduceerd kunnen worden.

De mogelijkheden van zulke printers zijn dus veelbelovend, maar vooral de betaalbare versies missen de betrouwbaarheid, snelheid en nauwkeurigheid van reproductie die voor veel toepassingen nodig is.

De hoofdvraag van dit onderzoek is dan ook: "Welke afwijkingen heeft een 3d-printer?", waar we eerst gaan onderzoeken: "Welke afwijkingen zijn waardevol om in kaart te brengen?".

Omdat een 3d-printer verschillende onnauwkeurigheden heeft, in verschillende orde van grote en ook verschillende mate van invloed op de uiteindelijke print, is het nuttig om eerst een soort "kosten/baten"-analyse te maken. Er wordt dan gekeken naar zowel de hardwarematige kosten als de hoeveelheid tijd die er in het meten van een bepaalde afwijking. Sommige afwijkingen kunnen namelijk zo klein zijn ten opzichte van andere, dat het nog niet nuttig is om deze in kaart te brengen.

Na dit onderzoek richten we ons op het daadwerkelijk meten van deze afwijkingen. Dit houdt in dat er een of meerdere sensoren worden aangebracht op de printer. De gegevens van deze sensoren worden uiteindelijk opgeslagen zodat er op korte en lange termijn een beeld kan komen wat betreft nauwkeurigheid en afwijkingen.

Om de metingen van de sensoren op de computer te krijgen, zullen we gebruik moeten maken van een stuk elektronica dat de sensorwaarden kan verwerken en kan versturen naar de computer.

De opdracht wordt uitgevoerd als een intern project binnen TASS, waarbij deze de rol van opdrachtgever/klant vult.

2.2 Milestones

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de project milestones zoals afgesproken met de stuurgroep:

Milestone	Datum
Aanschaf 3D-printer	11-02-2014
Onderzoek te meten afwijkingen afgerond	17-02-2014
Mogelijkheid tot printen met 3d-printer	31-02-2014
Onderzoek elektronica	24-02-2014
Automatisch printbed kunnen meten en verwerken	14-03-2014
Mogelijkheid uitlezen filamentdoorvoer	28-03-2014

¹ Fabricated: The new World of 3D Printing, Lipson, H., Kurman, M.

² Dr. Peter Troxler, "De revolutie in de maakindustrie", 23-02-2014

³ 3-D printing: The new industrial revolution, Berman, B.

Mogelijkheid weergave live-data op PC	14-04-2014
Mogelijkheid weergave historische data	21-04-2014
Terugkoppeling meetwaarden naar machine tijdens printen	12-05-2014
Concept eindverslag	19-05-2014
Concept thesis	10-06-2014
Project Sluiting	03-07-2014
Final thesis	10-07-2014

2.3 Budget

Aantal	Product	Geschatte Kosten
1	3D-printer	890
2	3mm PLA filament	50
1	Diverse sensoren	100
560	Personeelsuren	1750
1	Raspberry Pi	35

2.4 Rapportage

De voortgang van het project zal op wekelijkse basis aan de people manager worden gerapporteerd door middel van een meeting met een demo.

2.5 Referenties

2.6 Beperkingen

Het product - de aanpassingen en toevoegingen die worden gedaan aan een 3d-printer - in dit project heeft een aantal beperkingen. Zo zal het product worden geïnstalleerd op één 3d-printer en wordt er gekeken naar de bewegingen en afwijkingen van de verschillende assen. Er wordt niet gekeken naar andere afwijkingen, waaronder, maar niet beperkt tot:

- Haaksheid van de assen ten opzichte van elkaar
- Afwijkingen resulterend uit krimp van het materiaal
- Afwijkingen door een verkeerde chemische samenstelling van het filament
- Fouten die worden veroorzaakt door een verkeerde aansturing of een verkeerd 3d-model

3 Organisatie

3.1 Organisatie

Het project bestaat uit een projectteam van 1 persoon, welke in contact staat met de opdrachtgever, de people manager. Deze bepaalt in samenspraak met het projectteam de eisen en vervolgstappen binnen het project. Eventuele problemen worden tevens besproken met deze stuurgroep. Verder houdt het projectteam contact met de afstudeerdocent vanuit school, welke de begeleiding vanuit school voor zich neemt.

3.2 Stuurgroep

De stuurgroep bestaat uit de volgende personen:

Rol	Naam	Functie in het project
People manager	Jasper Goossens	Opdrachtgever(3-2-2014 – 11-3-2014)
Coach	Dirk Kastelijns	Technische ondersteuning
Lid	Marco van Noord	Uitvoering project
People manager	Richard Hollemans	Opdrachtgever(3-2-2014-einde)
Vergaderfrequentie: wekelijks		

De stuurgroep is verantwoordelijk voor:

- Periodieke voortgangscontrole in termen van tijd, geld en functionaliteit.
- Beslissingen over wijzigingen die de software requirements specificatie of het project management plan beïnvloeden.
- Organisatorische zaken met betrekking tot resources, communicatie, milestones, leveringen, etc.
- Prioriteitsstelling binnen het project.
- Evaluatie van de resultaten van milestone checks, audits en de project evaluatie.

3.3 Project Team

Naam	Periode	Niveau
Marco van Noord	3-2-2014 - einde	Student

3.4 Communicatie en Externe Interfaces

De communicatie binnen dit project gaat door wekelijkse meetings met de People manager. Communicatie met de technisch begeleider gebeurt via email en regelmatig geplande meetings. De stuurgroep en afstudeerbegeleider zullen verder regelmatig op de hoogte gehouden worden van de voortgang aan de hand van de scriptie.

4 Persoonlijke doelen

In dit project gaat het niet enkel over het afleveren van een product, er zijn ook nog een aantal persoonlijke leerdoelen waar ik mij tijdens dit project op wil richten. Zo wil ik meer kennis en ervaring opdoen in een professionele programmeeromgeving. Een voorbeeld hiervan is het gebruik maken van een continuous integration systeem.

Verder wil ik mij richten op het ontwikkelen van meer kennis over 3d-printers. Iets specifieker wil ik meer kennis opdoen van electronica en mechanica. Ik wil mij in dit project dan ook meer richten op de hardware-kant dan op de software kant, al heeft de laatste uiteraard wel een noodzakelijk onderdeel binnen het project.

Als laatste wil ik meer ervaring opdoen in een kantoor-werkomgeving. Waar ik normaal gesproken over de dag verspreid veel dingen door elkaar doe, zal ik mij er nu op moeten richten om tussen 9 en half 6 met hetzelfde onderwerp bezig te zijn. Ik wil kijken hoe ik dit het beste voor mijzelf in kan delen.

5 Randvoorwaarden

5.1 Aannames en Afhankelijkheden

Het systeem maakt zoals vermeld gebruik van bestaande producten, waaronder een aangekochte FDM 3d-printer, software om de printer aan te sturen en firmware die de hardware aanstuurt. In dit project wordt er vanuit gegaan dat deze firmware, hardware en software zich volgens de specificaties gedraagt. De software en firmware is al aanwezig, echter is het project afhankelijk van het ontvangen en de werking van de nog aan te schaffen 3d-printer.

5.2 Standaarden

Het project maakt voor de communicatie met de printer gebruik van de in de industrie gestandaardiseerde G-code. Verder zal gebruik gemaakt worden van het standaard Project Management Plan van TASS.

5.3 Apparatuur, Infrastructuur en Tools

Naam	Aantal	Toelichting
3D-printer	1	1 FDM 3d-printer om het project op uit te kunnen voeren
Sensoren	3	Voor het doen van diverse metingen
Electronica	1	Electronica welke de sensoren uitleest en deze naar de computer communiceert
Arduino IDE	1	Software om de firmware van de 3d-printer aan te passen
Visual Studio	1	Voor de Graphical User Interface en de communicatie naar de electronica
Divers gereedschap	1	Divers gereedschap zoals tangen, inbussleutels, boormachine, soldeerbouw, schroevendraaiers etc. om aan de printer te werken.
Werkplek	1	Bureau met werkende computer om de werkzaamheden binnen dit project uit te kunnen voeren

5.4 Risico's

Risico	Gevolg	Aktie
Defect aan 3d-printer	Project loopt uit	Reserveonderdelen in huis hebben/printen
Defect aan electronica	Project loopt uit	Bestellen nieuwe electronica
Defect aan sensoren	Onderzoek loopt uit	Bestellen nieuwe sensoren
Sensoren niet nauwkeurig genoeg	Haalbaarheid onderzoek wordt aangetast	Andere sensoren /andere meetmethode gebruiken

Ziekte student	Werkzaamheden stagneren	In overleg met afstuderendocent en bedrijfsbegeleider de planning aanpassen
Verlies van data	Verlies van gedane werkzaamheden, verlies bronnen en kennis	Wekelijks alle projectgegevens synchroniseren met de SVN-server
Eisen van de opdracht te hoog	Einddoelen worden niet gehaald	In gesprek met begeleider de eisen aanpassen
Sommige technische onderdelen onhaalbaar	Niet alle einddoelen worden gehaald	In gesprek met de begeleider onderdeel aanpassen

6 Software Test Plan

6.1 Scope

De software zal getest worden op zowel hardware- als softwarefunctionaliteit. De kwaliteit van de prints die gemaakt worden zal niet getest worden, daar deze tevens afhankelijk is van andere factoren die niet binnen de scope van dit project vallen. De software zal enkel worden getest op functionaliteit, niet op gebruiksvriendelijkheid en usability, daar dat niet binnen de scope van dit project valt.

6.2 Aanpak

De software zal worden getest door de software beschikbaar te maken op het LAN van TASS. Aan verschillende medewerkers zal gevraagd worden of zij een print kunnen maken met de printer. Dit betreffen zowel medewerkers met als zonder ervaring met 3d-printen. Er wordt gecontroleerd of de prints die zij hebben aangezet worden geprint en of het feedback-systeem in de printer werkt.

Er Verder zullen er software-tests geschreven worden die de software controleert. Deze tests zullen draaien op de Continuous Integration-server Jenkins.

7 Configuratie Management Plan

7.1 Organisatie

De organisatie van de verschillende onderdelen binnen het project wordt gedaan door Marco van Noord. Deze houdt de wiki bij op Sensei.

7.2 Configuratie Beheer

Het configuratiebeheer wordt uitgevoerd door Marco van Noord. Er wordt gebruik gemaakt van een Continuous Integration server (Jenkins) welke de builds en tests uitvoert.

7.3 Change Management

Het change management wordt uitgevoerd door Marco van Noord, welke tevens de svn repository onder zijn beheer heeft.

8 Kwaliteitsbewaking

Het project wordt uitgevoerd volgens de guidelines en eisen zoals beschreven in de TASS Handboek Projecten. Verder zal de bewaking van het project worden bewaakt door gebruik te maken van:

- Coding conventions, welke een aantal richtlijnen opstellen voor het schrijven van code, zodat de leesbaarheid en onderhoudbaarheid verbeterd wordt.
- Systeemtests, welke regelmatig worden uitgevoerd om het volledige systeem te testen. Deze tests bestaan uit functionele testen tot acceptatietesten.
- Documentatie zorgt er voor dat de processen, technieken en eisen duidelijk zijn voor alle partijen en eenvoudig gecontroleerd kunnen worden.

Verder vindt er evaluatie plaats door de People Manager en de Technisch Begeleider, welke de volgende punten controleren:

- Is er voldoende separation of concerns, dus de verschillende onderdelen worden opgedeeld. Dit komt het onderhoud en maakt de code leesbaarder en beter te begrijpen
- Is het ontwerp uitbreidbaar? Er moet een mogelijkheid zijn om het systeem later uit te breiden met bijvoorbeeld extra sensoren.
- Is het systeemontwerp duidelijk en logisch?

9 Acceptatie

9.1 Acceptatie

Binnen twee weken na overdracht van het product zal de klant het product onderwerpen aan een acceptatietest. Hiervoor geldt:

- De klant zal een productgeneratie uitvoeren op een eigen, lokaal archief
- De klant zal een acceptatietest uitvoeren op basis van een vooraf door hem vastgesteld testplan
- De klant zal de resultaten van de acceptatietest rapporteren via een acceptatie test rapport, waarin onder andere alle gevonden defecten wordt vermeld
- Defecten die een normaal gebruik van het product in de weg staan worden binnen een afgesproken termijn door TASS hersteld waarna de klant de acceptatie test geheel of gedeeltelijk zal herhalen
- Zodra geen defecten meer worden gevonden zal de klant schriftelijk bevestigen dat hij het product accepteert. Indien de klant binnen drie weken na de laatste aflevering niet reageert wordt het product geacht door hem te zijn geaccepteerd