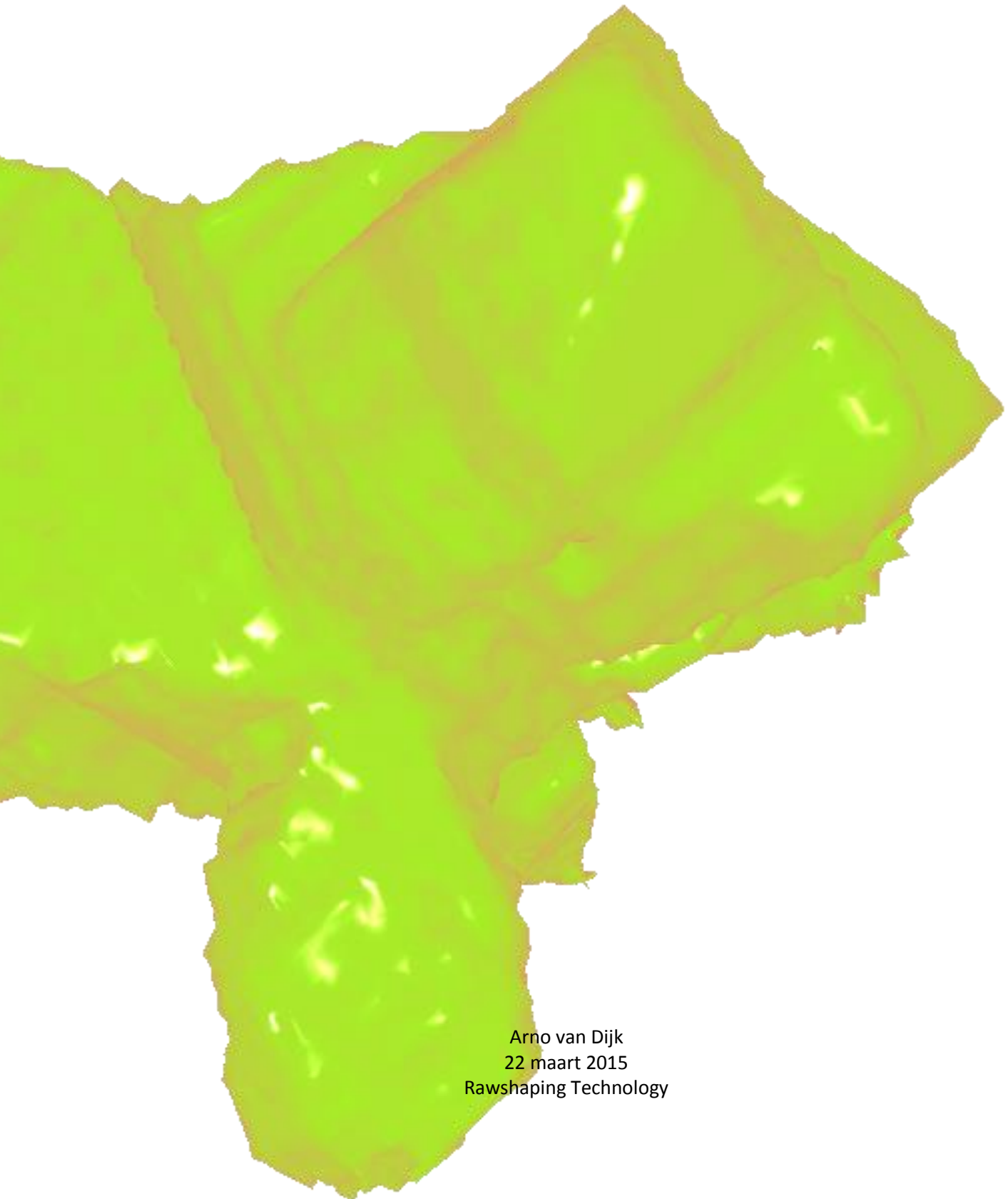


*Ontwerp en prototype van een 3-D scanner
voor gebruik in een hybride ontwerpomgeving*



Arno van Dijk
22 maart 2015
Rawshaping Technology

Ontwerp en prototype van een 3-D scanner voor gebruik in een hybride ontwerpomgeving

Een onderzoek naar en realisering van een prototype van een 3-D scan systeem

student Arno van Dijk
Studentnummer S1113186
Opleiding Industrieel Ontwerpen
Tentamendatum

Opdrachtgever Rawshaping Technology

Eerste examiner Eric Lutters
Tweede examiner Robert Wendrich

Voorzitter examencommissie Prof. Dr. Ir. A.O. Eger
UT-begeleider Robert Wendrich

Voorwoord

Vorig jaar maart (2014) na het afronden van mijn vrije opdracht hintte Robert mij voor een Bachelor opdracht. Ik zou met mijn vrije opdracht in het kader van Rawshaping Technology (RST) een Bachelor opdracht kunnen uitvoeren. Ik heb dit toen afgewezen, want ik was net blij dat mijn vrije opdracht voorbij was. Ik heb toen gezegd dat ik eerst eens rond wou kijken naar de mogelijkheden om mijn bachelor opdracht uit te voeren bij een ander bedrijf of organisatie.

Twee maand later klopte ik alsnog bij Robert aan. Het onderzoeksproject RST had mijn interesse getrokken. Ik heb toen gevraagd of het mogelijk was om een andere opdracht binnen RST te doen. In de daarop volgende weken is daar het idee uitgerold om iets te gaan doen met 3-D scanners. Zo ben ik aan mijn opdracht gekomen en ben ik september 2014 begonnen met mijn Bachelor opdracht. Zie hier het resultaat.

Als allereerst wil ik Robert graag bedanken voor alle positieve energie en motivatie, dit heeft mij ontzettend geholpen bij het uitvoeren van de opdracht. Daarnaast wil ik een ieder bedanken die op een of ander manier mij heeft voortgeholpen bij het doen van deze Bachelor opdracht.

Inhoudsopgave

1	Samenvatting.....	7
2	Abstract	7
3	Inleiding	8
4	Rawshaping Technology.....	9
4.1	Introductie Rawshaping Technology	9
4.2	Onderzoek 3-D scantechnologie binnen Rawshaping Technology	10
4.3	Een 3-D scanner voor een hybride ontwerpomgeving.....	11
4.4	Ontwerpprincipes binnen Rawshaping Technology.....	11
5	Programma van Eisen (PVE)	12
5.1	Eisen	12
5.2	Wensen.....	12
6	Onderzoek naar 3-D scannen	13
7	Ontwerp van ‘Shape From Silhouette’ scanner	15
7.1	Wat is SFS	15
7.2	SFS in combinatie met Forbes	15
7.3	Hoe werkt deze techniek.....	16
7.4	Scannen met SFS	17
7.5	Toevoegingen aan PVE	17
8	Ontwikkeling van de SFS 3-D scanner	18
8.1	Focuspunten	18
8.2	Focuspunt 1: Real-time 3-D scans maken	19
8.3	Focuspunt 2: Gebruik	21
8.4	Focuspunt 3: Ontwerpen van een totaal product.....	24
8.5	Prototype.....	32
9	Gebruikerstest.....	33
10	Evaluatie prototype	35
11	Ontwerpvoorstel SFS 3-D scanner.....	36
12	Conclusie	38
13	Bronnenlijst	39
13.1	Referenties	39
13.2	Afbeeldingen	39
	Appendices	40
	Appendix A - Onderzoek naar 3-D scannen	41
	Welke verschillende soorten 3-D technologieën zijn er?.....	41

Licht patroon scanners	42
Lijn laser scanners	44
Fotogrammetrie scanners	45
Overige scan-technieken	47
Appendix B - Diverse experimenten met verschillende 3-D scanners	48
Makerbot test.....	48
Berekeningen lijn laser scanner.	48
Shape from Silhouette (SFS).....	50
Autodesk 123-D test.....	50
Visual SFM test	51
Appendix C – SFS Experimenten.....	52
Verkleinen spiegel oppervlak	52
Spiegelhoek	52
Principetest silhouet selectie	53
Rekentijden test SFS.....	53
Appendix D - Schetsen.....	54
Idee schetsen.....	61
Concept schetsen	64
Definitief Ontwerp schets	69
Appendix E – Papiermodellen	70
Appendix F – Technische tekeningen prototype.....	72
Appendix G – Testresultaten Prototype	77
Vragenlijst gebruikerstest	77
3-D scan resultaten van de gebruikerstest.....	79
Vervolg 3-D scan resultaten	80
Logbestand rekentijden.....	81
Eigen test scan resultaten	81
Appendix H – Kostenberekening	83

1 Samenvatting

Dit verslag beschrijft het onderzoek naar en realisering van een prototype van een 3-D scan systeem. Het doel van de opdracht is het onderzoeken en ontwikkelen van een 'tool' die het mogelijk maakt om tegen lage kosten (low-cost), een lage resolutie (low-resolution) 3-D scanner te maken welke scans uitvoert met directe onvertraagd werking (real-time). Daarbij moet de 3-D scanner functioneren binnen een hybride ontwerp omgeving.

Als eerste is er een onderzoek gedaan naar 3-D scanner om een geschikte 3-D scan techniek te vinden waarop het verdere onderzoek en ontwerp op gebaseerd kan worden. Nadat er een geschikte techniek is gevonden is deze verder geanalyseerd en onderzocht. Aan de hand hiervan is een geprobeerd om 3-D scanner te ontwerpen n met behulp van deze techniek.

Het ontwerp van de 3-D scanner is getest door het bouwen van een prototype. Met dit prototype is een gebruikerstest uitgevoerd. Daarna is een evaluatie gedaan over hoe het ontwerp en het prototype functioneren en voldoen aan de gestelde eisen. Aan de hand hiervan is een toekomst visie gepresenteerd over een eventueel verder vervolg van dit onderzoek en realisering van een 3-D scanner binnen een hybride ontwerp omgeving.

2 Abstract

This paper describes a research and realization of a prototype 3-D scan system. Goal of this assignment is to research and to develop a tool which make it possible to realize a low cost, low resolution 3-D scanner which make real-time 3-D scans. The 3-D scanner should also function inside a hybrid design environment.

This assignment start with a research on 3-D scanning to find an useable 3-D scan technology which will be the base of this research and development of a 3-D scanner. The chosen 3-D scan technology will be further analyzed and researched. With this information a 3-D scanner is designed around this technology.

The design of the 3-D scanner will be examined through the realization of a prototype. This prototype will be used to perform a usability test. After that an evaluation about the design and the functioning will be done. This information is used to present a future vision about further investigation and realization of a 3-D scanner with this technology inside a hybrid design environment.

3 Inleiding

Deze opdracht wordt uitgevoerd in opdracht van Rawshaping Technology (RST) aan de Universiteit van Twente. Het onderzoek van RST gaat over de toepassing en het gebruik van hybride ontwerpgereedschappen in ontwerpprocessen. Binnen RST is men op zoek naar een eenvoudige en effectieve 3-D scan techniek die toegepast kan worden als 'tool' tijdens het ontwerpproces binnen een hybride ontwerpomgeving o.a. in combinatie met de hybrid design tool (HDT). Sinds 2010 zijn er projecten gedaan om onder andere de Kinect in te zetten, maar zijn er nog niet in geslaagd om de Kinect succesvol te kunnen inzetten. De vraag blijft of er andere mogelijkheden of alternatieven zijn om een dergelijke 3-D scanner te kunnen realiseren.

Doel van de opdracht is het onderzoeken en ontwikkelen van een 'tool' die het mogelijk maakt om tegen lage kosten (low-cost), een lage resolutie (low-resolution) 3-D scanner te maken welke scans uitvoert met directe onvertraagd werking (real-time). Om dit te kunnen doen is er gekeken welke technologieën er op de markt zijn en of deze aan de eisen en wensen van deze doelstelling kunnen voldoen. Daarnaast is er ook gezocht naar alternatieven en scan mogelijkheden die niet op de markt zijn. Dit komt mede door de geformuleerde eisen en wensen die RST aan een 3-D scanner stelt en deze wijken af van wat de markt vraagt en biedt. Het onderzoek heeft geleidt naar een aantal mogelijke technieken die bruikbaar en inzetbaar lijken. Vervolgens is er een keuze gemaakt voor een technologie en is verder onderzocht hoe er met deze techniek een nieuw type 3-D scanner ontworpen kan worden.

Het verslag kan worden ingedeeld in verschillende delen:

1. Voorfase
2. Ideefase
3. Test en Evaluatie van Ideeën
4. Conceptfase
5. Test en Evaluatie Conceptfase
6. Uitwerkingsfase

In de voorfase worden de eisen en wensen van RST behandeld en een technologie-scan gedaan naar 3-D scan technologieën. Deze informatie wordt geanalyseerd en geëvalueerd door middel van o.a. een brainmapping, selectie- en keuze proces om een mogelijk geschikte technologie te vinden. De ideefase gaat verder met het ontwikkelen van de gekozen technologie, waarbij de technologie verder wordt geanalyseerd en ideeën gegenereerd worden met als basis de toepassing van deze techniek.. In de concept fase wordt het idee verder ontwikkeld om tot een geschikt Proof-of-Principle (POP) model te komen. Het POP model wordt aan het eind van de conceptfase getest met gebruikers en geëvalueerd. Na deze evaluatie wordt in de uitwerkingsfase een voorstel gedaan hoe deze techniek verder gebruikt en ontwikkeld kan worden.

4 Rawshaping Technology

In dit hoofdstuk is een analyse gedaan naar RST, zo kan er bepaald worden wat de eisen en wensen van RST zijn. Eerst wordt er in het algemeen bekeken wat RST is, daarna wordt er gekeken naar de ervaring van RST met 3-D scannen. Ook wordt behandeld hoe en waarom er een 3-D scanner voor de hybride ontwerpomgeving ontworpen moet worden. Als laatste zijn enkele ontwerpprincipes van RST behandeld.

4.1 Introductie Rawshaping Technology

Rawshaping Technology (RST) is een onderzoeksproject naar het toepassen, ontwikkelen en combineren van analoge en digitale technieken (hybride) voor nieuwe ontwerp toepassingen, ontwerp processen en -gereedschappen. RST probeert de beperkingen van de huidige computer interfaces en interacties te verbeteren door 'the-best-of-both-worlds' te benutten voor het ontwerpen en ontwikkelen van hybride ontwerpomgevingen. Door empirisch onderzoek worden de ontwikkelde gereedschappen getest door middel van experimenten en gebruiks scenario's.

Waarom hybride tools?

Binnen RST is ondervonden dat het profijt van fysiek ontwerpen wordt onderschat en in vergetelheid raakt door opkomende digitale ontwerpprocessen. RST heeft aangetoond dat fysieke ontwerpen voordelen heeft tegenover digitaal ontwerpen. Dit is de basis geweest voor RST om onderzoek te doen naar een hybride van deze ontwerpwerelden (Wendrich, 2010) [2].

Tastbare interactie tijdens een fysiek ontwerpproces zorgt er voor dat ontwerpers meer inzicht krijgen in het ontwerp. Waar een digitaal model alleen visuele informatie kan overdragen, kan een analog model onder andere eigenschappen als: kleur, gewicht, vorm, textuur, grote, geur, klank, balans gemakkelijker overbrengen. Deze informatie geeft een ontwerper sneller inzicht in functies, structuren en gedragingen van zijn ontwerp.

Tastbare interactie tijdens fysieke ontwerpproces heeft meer voordelen. Het zorgt ervoor dat ontwerpers meer kennis opdoen en meer ontwerp ervaring krijgen. Ontwerpers leren materialen en structuren kennen en slaan deze informatie op welke ze meer ervaren maakt voor een volgende ontwerp uitdagingen. Er aangetoond dat door deze interactie ontwerpers gemakkelijker een ontwerp kunnen realiseren vanwege de fysieke feedback.

Fysieke ontwerpen heeft ook nadelen tegenover digitaal ontwerpen. Door de krachtige rekencapaciteit van computers zijn de meeste berekening, werktekeningen, productieprocessen et cetera sneller en gemakkelijker te realiseren op een computer. Daarom wordt binnen RST geprobeerd om deze werelden bij elkaar te brengen, om op die manier een synergetisch en hybride ontwerpproces te realiseren.

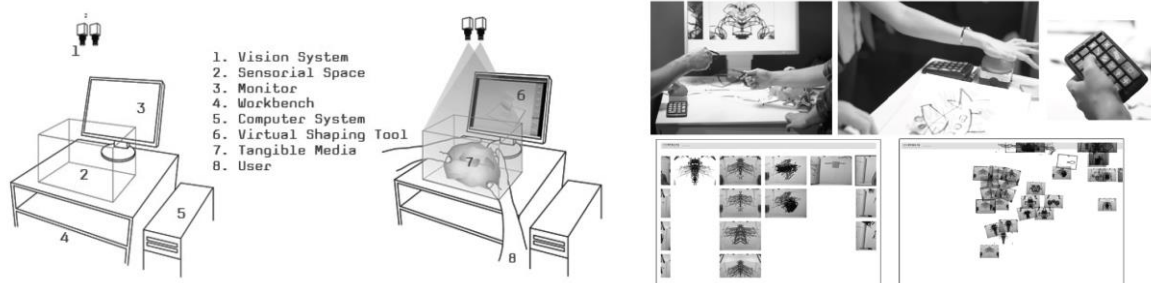
Waar heeft dit onderzoek tot nu toe tot geleid

Het onderzoek bij RST heeft geleid tot de ontwikkeling van een aantal hybride ontwerp tools. Deze tools zijn ontwikkeld om de visie over het hybride ontwerpproces te toetsen, te ondersteunen en verder te ontwikkelen.

Het eerste prototype van RST is een virtuele ontwerp assistent oftewel Raw Shaping Form Finding (RSFF) (machine?). Dit is een hybride werkbank die de gebruiker(-s) op een intuïtieve manier ondersteunt tijdens een ontwerpproces. De RSFF tool is op dit moment geëvolueerd tot de Loosely Fitted Design Synthesizer (LFDS).

Het archetype van de LFDS is gebaseerd op de werkbank metafoor. De hybride werkbank bevat een werkruimte (sensorial space) waar binnen iteraties tijdens een ontwerpfase kunnen worden

gedigitaliseerd (figuur 4-1). Deze iteraties worden gedigitaliseerd door middel van het maken van foto's (instances) met een HD-webcam. Met behulp van een rode knop of een voetpedaal kunnen de iteraties worden vastgelegd door de gebruiker. De virtuele opnames worden gesorteerd op volgorde en direct weergegeven op het scherm. De afbeeldingen worden automatisch op elkaar gestapeld (stacks) waardoor er een samengevoegd beeld (representatie) ontstaat van een digitale verbeelding.



Figuur 4-1

De onderzoekers bij RST hebben diverse experimenten uitgevoerd om het principe van een hybride ontwerpproces te testen. Voor deze testen is een opstelling gecreëerd genaamd Hybrid Design Tool Environment (HDTE). Binnen een HDTE is de mogelijkheid om fysiek te ontwerpen op een fysieke werkbank en de mogelijkheid om digitaal te ontwerpen met de LFDS.

Hierbij zijn gebruiksinteracties, ontwerpmethoden, ontwerpprocessen en gebruikservaringen getest en gemeten. Hier uit blijkt dat het werken in HDTE over algemeen goed wordt ontvangen evenals het gebruik van de LFDS als ontwerpgereedschap. De multimodaliteit en de fysieke aspecten van een HDTE worden over het algemeen behulpzaam en stimulerend bevonden. Tijdens deze testen is aangetoond dat een HDTE een bijdrage levert aan de creativiteit en prestatie tijdens een ontwerpproces (Wendrich, 2014) [3].

4.2 Onderzoek 3-D scantechnologie binnen Rawshaping Technology

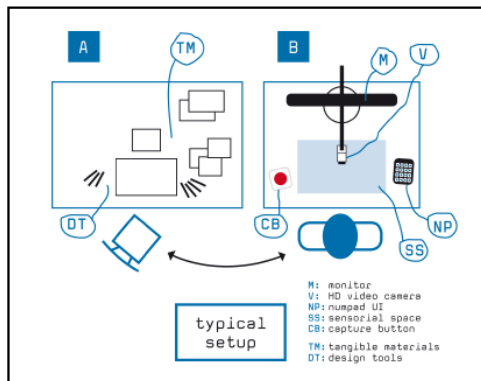
Binnen RST is al enkele keren geprobeerd om 3-D scanners in te zetten. Het eerste RSFF prototype van een virtuele ontwerp assistent bevatte een stereo camera systeem. Het onvertraagd berekenen en visualiseren van 3-D objecten was moeilijk te realiseren in 2009 vanwege de beperkte rekenkracht van 'commercial-of-the-shelf' (COTS) computers (Wendrich, 2014) [3]. Het RSFF prototype en visie hoe een dergelijk systeem zou kunnen werken heeft zelfs een eerste prijs gewonnen in de categorie Design & Simulation tijdens Laval Virtual 2010 in Frankrijk.

Daarna is er gewerkt aan een RSFF-tool uitgerust met een COTS computer en een Kinect die tijdens het ontwerpproces de interactie in visuele informatie en 3-D informatie real-time kon vastleggen. Het functionele prototype werkte redelijk goed, maar de 3-D data was niet echt bruikbaar vanwege kalibratie problemen en de enorme hoeveelheid ruis in de datastroom om een ontwerpproces succesvol te maken (dos Santos, 2011) [4].

Er is in 2012 ook geprobeerd om 3-D tracking techniek in te zetten als ontwerp tool. Het doel van deze tool was om digitale modellen te generen door middel van fysiek modelleren. De optische tracking techniek, SMARTTRACK, bracht echter beperking met zich mee. Het is daarom niet gelukt om een goede tool te ontwikkelen met behulp van SMARTTRACK (Kruiper, 2012) [5].

4.3 Een 3-D scanner voor een hybride ontwerpomgeving

Een hybride ontwerpomgeving is een omgeving waarbij de analoge en digitale ontwerpwereld samenkomen. Binnen RST wordt het concept van een hybride ontwerpomgevingen toegepast, deze omgeving wordt door RST Hybrid Design Tool Environment (HDTE) genoemd. Binnen een HDTE is het mogelijk om een hybride ontwerpproces te doorlopen. De omgeving beschikt over analoge en digitale ontwerptools, zo heeft de ontwerper verschillende tools tot zijn beschikking (figuur 4-2). In een hybride ontwerpomgeving is de ontwerper in staat om tijdens zijn ontwerpproces gebruik te maken van analoge, digitale en hybride ontwerptools. Waarin de gebruiker zelf bepaald welke tools hij nodig is tijdens het ontwerpen.



Figuur 4-2 Hybride ontwerpomgeving (beter illustratie maken)

Een 3-D scanner zal net als de LFDS de mogelijkheid hebben om van fysieke objecten en modellen een 'capture' te kunnen maken. De LFDS maakt daarbij interpretaties van de werkelijkheid en een 3-D scanner verschilt daar niet in. De LFDS is echter beperkt tot 2D en kan alleen een suggestie van 3-D doen in een digitale afbeelding (2.5D). Een 3-D scanner geeft de mogelijkheid om een digitaal 3-D model te generen van fysieke analoge lage resolutie modellen. Een digitaal 3-D model biedt veel meer mogelijkheden tot bewerking, berekeningen, iteraties en representaties dan een digitale afbeelding. Dit heeft als resultaat dat we de digitale mogelijkheden en gereedschappen binnen de HDTE uitbreiden.

Het is de bedoeling dat de 3-D scans gaat maken van low-resolution modellen die gegenereerd zijn binnen een HDTE. Deze modellen zijn gemaakt van simpele fysieke materialen en bevatten over het algemeen weinig detail.

Om de scans te digitaal te kunnen gebruiken om bewerkingen, berekening en iteraties te laten uitvoeren is het van belang dat de digitale modellen in populaire bestandsformaten worden opgeslagen. Op die manier kunnen de scans van meerwaarde zijn in het verdere ontwerpproces.

4.4 Ontwerpprincipes binnen Rawshaping Technology

Binnen RST worden er ook een eigen aantal ontwerpregels gehanteerd. 'Low cost – high value' is een van deze regels. Bij RST wordt er daarom veel gebruik gemaakt van 'Commercial-of-the-Shelf' (COTS) componenten en producten. Door gebruik te maken van bestaande hardware en open source software kunnen er voordelige ontwerpgereedschappen ontwikkeld worden. High value (toegevoegde waarde) kan onder andere verkregen worden door bijvoorbeeld een oplossing simpel, snel, effectief, voordeling en efficiënt te ontwerpen. Een ander uitgangspunt is dat de gebruiker centraal staat.

5 Programma van Eisen (PVE)

Naar aanleiding van de ontwerpopdracht en de analyse van RST is er een initieel programma van eisen opgesteld.

5.1 Eisen

- De totale prijs van de 3-D scanner is maximaal honderd euro.
- Zoveel mogelijk COTS elementen gebruiken.
- Software is Open Source.
- Plug and Play.
- Eenvoudig te installeren
- UI is eenvoudig en simpel
- GUI is eenvoudig en simpel.
- Bevat in een eenvoudige interface, welke door iedereen te begrijpen is.
- Stelt de gebruiker in staat om real time een 3-D scan te maken.
- 3-D conversie naar ander formaten is robuust.
- Stelt de gebruiker in mogelijkheid om van lage resolutie modellen scan te maken.
- Scans genereren welke door andere programma's te gebruiken is
- De oplossing is compact;
- Afmeting blijven binnen 400mm x 400mm x 400mm
- Lichtgewicht maximaal 1500 gr.
- Onderhoudsvriendelijk

5.2 Wensen

- 3-D scans in real-time met hoge resolutie
- Lichtgewicht en compacte oplossing
- Integratie van Hard en Software componenten
- Plug and Play
- Te gebruik op de besturingssystemen Windows, OSX en Linux
- Open Source web applicatie
- Integratie met CDS
- Integratie met LFDS
- Zelf te bouwen (DIY)

6 Onderzoek naar 3-D scannen

Er is een technologie scan gedaan naar 3-D scan technieken, in dit hoofdstuk wordt deze technologie scan besproken. Tijdens de scan zijn enkele geschikte scan technieken gevonden. Deze technieken zullen worden besproken en afgewogen.

Er is een kort onderzoek gedaan naar verschillende 3-D scanners en 3-D scan technieken (Appendix 1). Dit onderzoek heeft meer inzicht gegeven in de mogelijkheden van wat er mogelijk is. Het heeft ook laten zien waarom de huidige 3-D scanners niet voldoen aan de eisen van RST.

Vanuit RST is er vraag naar een goedkope en snelle scanner. Het blijkt dat op de huidige markt 3-D scanners niet aan deze eis kunnen voldoen. Goedkope scanners zijn veel tijd nodig om een 3-D scan te maken. Snelle scanners zijn daarentegen weer duur.

	Voordelen	Nadelen
PrimeSense scanner	- Bestaande werkende techniek - Nauwkeurig	- Te duur volgens programma van eisen - Moeite om glimmende, glanzende objecten te scannen
Licht patroon scanner	- Nauwkeurig - Simpele setup (Projector, Camera en draaiplateau)	- Prijzig hardware, een projector kost al snel meer dan 100 euro - Software is complex - Voor een scan rondom, is de scantijd lang.
Lijn laser scanner	- Simpele setup (camera, lijn laser en draaiplateau) - Software relatief eenvoudig - Goedkoop in onderdelen	- Niet in staat om alle materialen te scannen, geen glas, glimmende of haar structuur - Lange scantijd
Tomografie scanner	- Nauwkeurig -	- Duur (nu voor professioneel in o.a. ziekenhuizen) - Grote opstelling
Touch-based	- Nauwkeurig	- Het aanraken van een object is tijdrovende klus
Melk scanner	- Goedkoop - Simpel	- Object wordt ondergedompeld in vloeistof - Er wordt alleen een 'vooraanzicht' gecreëerd
Autodesk 123-D Catch	- Goedkoop - Redelijk snel - Simpele hardware	- Afhankelijk van autodesk - Niet opensource - Niet te verbouwen naar eigen applicaties, pluggins
Visuals SFM	- Opensource - Simpele setup - Goedkope setup	- Zeer lange rekentijden
Shape from Silhouette	- Simpele setup - Goedkope setup - Open source code - Te gebruiken code aanwezig - Geen kalibratie	- Rauwe modellen

Keuze

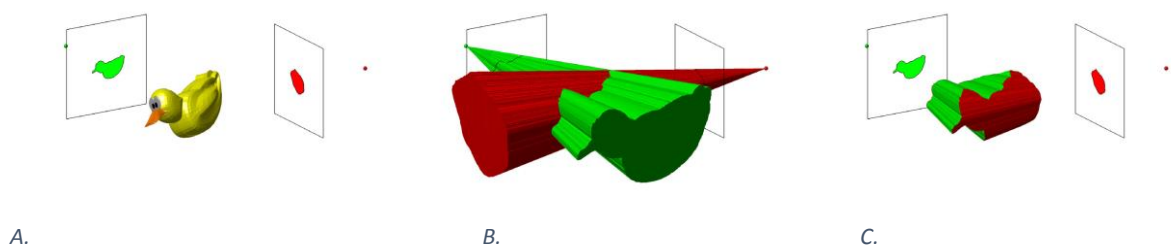
De keuze is gevallen op Shape from Silhouette (SFS). Dit is een techniek die een simpele, snelle en goedkope oplossing biedt om een 3-D scan te maken. De benodigdheden zijn minimaal; twee spiegels, een camera en computer met Matlab geïnstalleerd. De code die Matlab moet draaien is vrij beschikbaar en aan te passen. Daarmee is deze techniek ook heel toegankelijk en ideaal om te gebruiken in deze ontwerpopdracht.

7 Ontwerp van 'Shape From Silhouette' scanner

In dit hoofdstuk zal worden besproken hoe SFS in te zetten is als 3-D scan methode, daarbij wordt gekeken hoe deze techniek werkt en welke eigenschappen ze heeft. Met behulp van het PVE is bepaald waar de techniek verder ontwikkeld moet worden, zodat er een geschikte 3-D scanner gerealiseerd kan worden.

7.1 Wat is SFS

SFS is een techniek om met behulp van silhouetfoto's een 3-D model te genereren. Wanneer de cameraparameters locatie, kijkrichting en brandpunt bekend zijn, kan er met deze informatie een silhouetkegel gecreëerd worden. Op de plaatsen waar alle silhouetkegels overlappen ontstaat een 3-D model, dit model wordt ook wel Visual Hull genoemd.



Figuur 7-1 Het creëren van een Visual Hull

Figuur 7-1A. Er worden twee foto's gemaakt. De stip is de camera positie. Het vlak geeft aan waar het afbeeldingsvlak zich bevindt.

Figuur 7-1B. Vanuit de camera positie wordt een silhouet kegel gecreëerd. De vorm van deze kegel wordt bepaald door de silhouet die zich in het afbeeldingsvlak bevindt.

Figuur 7-1C. Het gebied dat door beide silhouetten kegels bedekt worden creëert een Visual Hull.

7.2 SFS in combinatie met Forbes

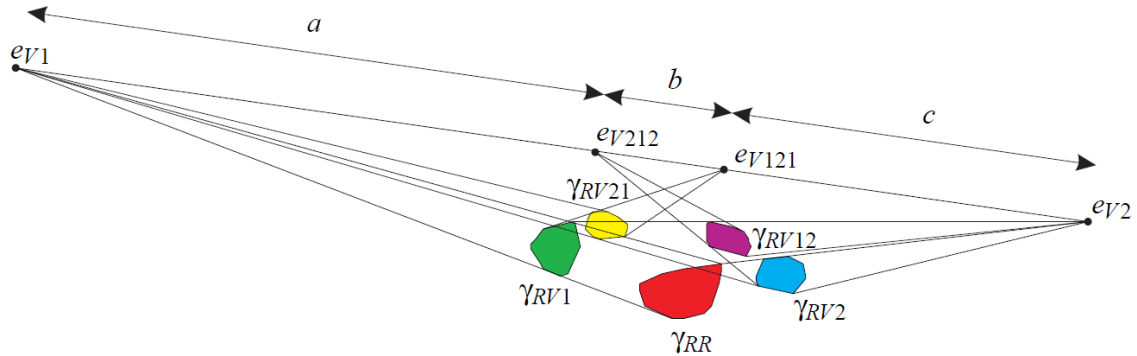
Forbes heeft een methode ontwikkeld waarbij het niet meer noodzakelijk is om de cameraparameters te weten (Forbes, 2006) [1]. Deze methode bepaald aan de hand van silhouetfoto's wat de cameraparameters zijn geweest. Daarbij wordt gebruik gemaakt van een opstelling met twee spiegels die ten opzicht van elkaar in een hoek van 72° staan, zodat er vijf silhouetten zichtbaar zijn in één foto (figuur 7-2). Reflecties van het object in de spiegels zorgen er voor dat de software de camera parameters kan bepalen. Met deze parameters en de silhouetfoto wordt een Visual Hull gerealiseerd. Bij deze methode is ook een Matlab script geschreven door Forbes welke aan de hand van een silhouetfoto een Visual Hull kan creëren.



Figuur 7-2 Opstelling twee spiegels, waarbij vijf silhouetten te zien zijn.

7.3 Hoe werkt deze techniek.

De techniek baseert zich op berekeningen aan de hand van de vijf silhouetten. De techniek wordt uitgelegd met behulp van een silhouetfoto (figuur 7-3).

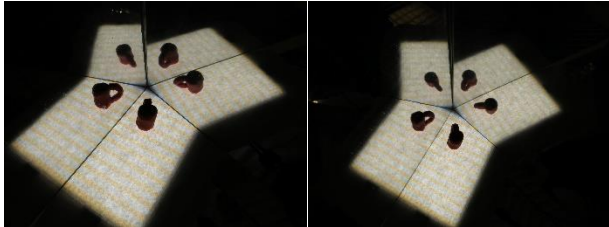


Figuur 7-3

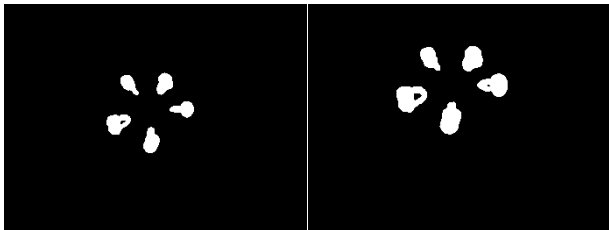
De punten $eV1$, $eV212$, $eV121$ en $eV2$ in figuur 7-3 zijn 'epipoles', die bepaald worden door een raaklijn te leggen aan de silhouet van het echte object en aan een silhouet van zijn reflecties. De lengtes tussen de 'epipoles' worden gebruikt om het brandpunt en het middenpunt van het afbeeldingsvlak (principal point) te bepalen. De normaallijnen van de spiegels worden bepaald met behulp van de 'epipoles', 'principal point' en het brandpunt. Hierdoor kunnen de camera oriëntaties van de virtuele camera's bepaald worden. Er kunnen eventueel verschillende silhouet foto's gecombineerd worden voor een beter resultaat (Forbes, 2006) [1].

7.4 Scannen met SFS

Om een scan te maken wordt een object tussen twee spiegels geplaatst zodat er vijf weergaves van het object ontstaan. Deze vijf weergaves worden vastgelegd in één foto (figuur 7-4), daarna moeten de silhouetten van de objecten bepaald worden. Van de silhouetten wordt een zwartwit afbeelding gecreëerd, waarin het silhouet wit is en de achtergrond zwart (figuur 7-5). Hiervoor kan een fotobewerkingsprogramma gebruikt worden. Het Matlab script kan aan de hand van de zwartwit afbeelding een Visual Hull creëren (figuur 7-6).



Figuur 7-4 Stap 1: Foto van object tussen spiegels



Figuur 7-5 Stap 2: Zwartwit afbeelding van de silhouetten van het object



Figuur 7-6 Resultaat SFS 3-D scan van op basis van twee silhouet sets (links) naast het originele object (rechts)

De huidige software beperkt zich tot het genereren van een 3-D model aan de hand van een zwartwit silhouetfoto. De zwartwit afbeelding moet door de gebruiker zelf gemaakt worden. De berekening bij het resultaat van figuur 7-6 duurde met twee foto's ongeveer 30 seconden.

7.5 Toevoegingen aan PVE

Door de gebruikte techniek moet het programma van eisen aangepast worden.

- De scanner moet over twee spiegels beschikken
- De spiegels creëren een aanzicht waarin het object 4 keer gereflecteerd wordt
- De scanner moet over een camera beschikken

8 Ontwikkeling van de SFS 3-D scanner

In dit hoofdstuk zal worden ingegaan op de ontwikkelingen van een SFS 3-D scanner. De techniek moet verder ontwikkeld worden en daar omheen moet een product, een 3-D scanner, ontworpen worden. Eerst wordt er ingegaan op welke aspecten gefocust moet worden. Hierna zullen deze behandeld worden.

8.1 Focuspunten

Om tot een goede 3-D scanner te komen zullen verschillende zaken ontworpen en opgelost moeten worden. De evaluatie van SFS heeft laten zien dat het nodige ontworpen moeten worden om aan het PVE te kunnen voldoen. De kosten zijn laag, maar het gebruiksgemak en de snelheid laten nog de wensen te over.

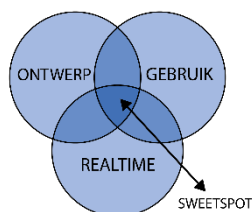
De berekening gaat relatief snel, echter is de hele handeling om een scan te maken nog wel tijdrovend. Dit is het eerste problemen dat opgelost moet worden om te kunnen voldoen aan het PVE, namelijk real-time 3-D scans maken.

Als de techniek SFS naast het PVE houden, dan zijn er nog een aantal punten waar verbeteringen gerealiseerd moet worden:

- Stelt de gebruiker in staat om real time een 3-D scan te maken.
- 'Plug and Play'.
- Eenvoudig te installeren
- UI is eenvoudig en simpel (gebruik, bediening)
- GUI is eenvoudig en simpel.
- Bevat in een eenvoudige interface, welke door iedereen te begrijpen is.
- Scans genereren welke door andere programma's te gebruiken is
- Stelt de gebruiker in mogelijkheid om van lage resolutie modellen scan te maken.

Hieruit blijkt dat er gefocust moet worden op hoe deze techniek naar een gebruiksvriendelijk tool omgezet kan worden. Op dit moment is er een technische interface doormiddel van code. Daarom zal er de interface en de vorm van de tool nog ontworpen moeten.

Hieruit komen drie verschillende uitdagingen naar voren:



Figuur 8-1

- Real-time 3-D scans maken
- Gebruik
- Ontwerpen van een totaal product

Door op deze aspecten te focussen is geprobeerd een SFS 3-D scanner te ontwerpen. Tijdens het ontwerpen is gescheiden op deze punten gefocust, echter zijn deze uitdagingen wel parallel uitgevoerd. Deze punten hebben overlappingspunten en zijn in het prototype allemaal bij elkaar gekomen. Er ontstaat soms wisselwerkingen tussen verschillende focuspunten door overlap in bepaalde gebieden en hebben sommige keuzes invloed op andere aspecten (figuur 8-1).

8.2 Focuspunt 1: Real-time 3-D scans maken

Voor het realiseren van een real-time oplossing is gekeken waarom het nemen van een scan veel tijd in beslag neemt. Aan de hand daarvan wordt bepaald hoe we de 3-D scanner meer real-time kunnen maken.

8.2.1 Gebruik

Er kan gesteld worden dat het nemen van een foto en het omzetten van een foto naar de gewenste afbeelding het meeste tijd kost. Deze handeling zijn relatief eenvoudig, maar alles moet handmatig gedaan worden en is hierdoor tijdintensief. Er is daarom getracht om deze handelingen te automatiseren.

Door een simpele interface en volledige automatisering is het mogelijk om een real-time oplossing te creëren. Door een gebruiker niet vermoeien met instelling of keuzes wordt het nemen van een scan versneld en versimpeld. Om dit te realiseren gaat er interface ontwerpen is er de eis gesteld dat er met één druk op de knop een 3-D scan gemaakt kan worden.

8.2.2 Camerastand

Voor het nemen van een foto komen de volgende aspect kijken:

- Camera aanzetten
- Camera richten
- Camera scherpstellen
- Foto nemen
- Foto keuren

Deze handeling zijn simpel maar kosten wel tijd. Om deze handelingen te versimpelen is er de eis gesteld om standaard te gebruiken. Als een camera inclusief standaard eenmaal geplaatst is geeft dat de volgende voordelen:

- Camera is gericht
- Camera is scherp gesteld
- Kans dat er een geschikte foto wordt genomen is aanzienlijk groter.

Door het versimpelen van deze handeling, is de kans dat de gebruiker een fout maakt ook kleiner geworden.

8.2.3 Silhouetten selecteren

Het handmatig selecteren van silhouetten is een lastige en tijdrovende klus, ondanks de hulp van fotobewerkingsprogramma's. Er is gekeken naar de mogelijkheden tot het automatiseren van deze handeling. Hierbij is het vinden van de silhouetten binnen een foto de grootste uitdaging.

Er zijn verschillende oplossingen gevonden om op een eenvoudige simpele manier silhouetten te vinden in een foto:

- Background subtraction
- Chromakey
- Verlichte achtergrond

Background subtraction

Bij background subtraction wordt er eerst een foto van de achtergrond gemaakt, daarna wordt vanuit dezelfde positie een foto van de achtergrond met een object gemaakt. Doordat de foto's vanuit dezelfde positie gemaakt zijn, kan een computer eenvoudig de verschillen tussen de twee foto's waarnemen en aan de hand daarvan bepalen waar en wat het object is. Deze techniek heeft als nadeel dat schaduwen van een object ook als object gezien kunnen worden.

Chromakey

Deze techniek wordt veel in de tv en film wereld gebruikt en staat ook wel bekend als green screen. Bij deze techniek kan een hele kleur uit een frame worden gefilterd. Wanneer een object op een groene (of ander kleur) achtergrond wordt gefotografeerd is het mogelijk om de achtergrond weg te filteren op basis van kleur. Op die manier blijft de voorgrond over. Deze techniek heeft het nadeel dat objecten met een zelfde kleur als de achtergrond niet gescand kunnen worden.

Verlichte achtergrond

Als een object voor een lichtbron geplaatst wordt zal er automatisch een silhouet worden waargenomen. De achtergrond zal wit (overbelicht) zijn en de voorgrond zal zwart (onderbelicht) zijn. Hierdoor zijn silhouetten al van de achtergrond gescheiden.

Keuze

Background subtraction kan leiden tot onjuiste silhouetten vanwege problemen met schaduw en zal de nodige uitdaging geven tijdens de realisatie van het softwaregedeelte. Dit wordt liever vermeden. Bij Chromakey is de kans dat niet alle objecten gescand kunnen worden, vanwege de kleur van een object. Chromakey valt daarom ook af.

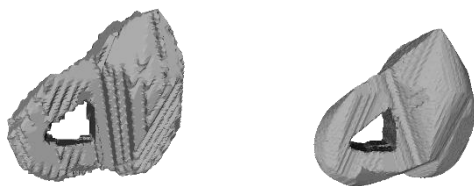
Er is gekozen om de verlichte achtergrond als techniek te kiezen om het selecteren van een silhouet te automatiseren. Er is een principe test heeft uitgewezen dat het selecteren silhouet te automatiseren is met deze techniek. De methode blijkt zeer goed te werken. Hiermee kunnen voor het verder ontwerp de volgende eisen worden opgesteld. Eén de scanner bevat een verlichte achtergrond. Twee de scanner bevat software welke silhouetten kan herkennen aan de hand van een foto met een verlichte achtergrond.

8.2.4 Optimalisatie rekentijden binnen de software (van Forbes/Matlab)

Om een real-time te realiseren is er ook gekeken naar de optimalisatie op software gebied. Bij het maken van een scan met de software van Forbes zijn er enkele variabelen die geoptimaliseerd kunnen worden. De volgende variabelen kunnen aangepast worden.

- Het aantal foto's dat als input gebruikt wordt
- Pixelgrootte van de foto

Wanneer de software één input foto gebruikt van 12MP (4000*3000) duurt de berekening gemiddeld 8.74 seconden. Bij één 0.12MP (400*300) foto duurt een berekening gemiddeld 6.88 seconden. Door het gebruik van een lagere resolutie foto kunnen we de snelheid dus aanzienlijk verhogen, in dit geval met 1.86 seconden. Het gebruik van lagere resolutie foto's heeft als nadeel dat de kwaliteit van de gecreëerde visual hull ook minder is, zie figuur 8-2.



Figuur 8-2 Links lage resolutie, recht hoge resolutie

Keuze

Om een zo real-time mogelijk resultaat te krijgen is er voor gekozen om in eerste instantie gebruik te maken van maar één silhouet set foto als input en daarbij een lage resolutie te gebruiken. Het blijkt dus dat op software gebied het nog niet gelukt is om real-time een berekening te doen. De oplossing is echter nog steeds veel belovend door de combinatie van low-cost en het binnen 10 seconden 3-D scannen van model. Er is daarom besloten om de eis van real-time realiseren van een scan bij te stellen naar near-real-time. Deze combinatie is nog steeds uniek en van meerwaarde binnen de 3-D scan markt. Dat betekent dat we genoeg nemen met een berekening van gemiddeld 6.88 seconden.

8.3 Focuspunt 2: Gebruik

De huidige techniek is nog niet vormgegeven in de vorm van een product, dit moet echter nog wel gerealiseerd worden. Hiervoor moet gekeken worden naar hoe het product gebruikt gaat worden. Eerst is bepaald hoe het ideale gebruiks scenario er uit ziet. Aan de hand hiervan is een ontwerpvoorstel gemaakt op het gebied van gebruik.

8.3.1 Programma van Eisen

Vanuit het PVE zijn er enkele eisen die op het gebruik en gebruikersgemak doelen:

- Plug and Play.
- UI is eenvoudig en simpel (gebruik, bediening)
- GUI is eenvoudig en simpel.
- Bevat in een eenvoudige interface, welke door iedereen te begrijpen is.
- Eenvoudig te installeren

De taak is om een ontwerp te maken welke aan deze eisen voldoet, zodat er een gebruiksvriendelijk product gerealiseerd kan worden. Er is nog geen bestaand ontwerp met deze techniek, daarom moet ook het gebruik van deze tool nog ontworpen worden.

8.3.2 Gebruiksscenario

Het gebruik moet zo eenvoudig mogelijk zijn. Het is daarom handig om zoveel mogelijk handelingen en beslissingen bij de gebruiker weg te nemen. Dit zorgt ervoor dat er zonder na te denken een scan gemaakt kan worden. Het doel van deze tool is om een product snel en gemakkelijk te kunnen scannen tijdens ontwerpssessies.

Om het eenvoudig te houden voor de gebruiker is geprobeerd om het aantal handelingen minimaal te houden. Daarbij willen we de gebruiker niet vermoeien met instellingen of keuzes die gemaakt moeten worden. De eerste handeling die een gebruiker zal moeten uitvoeren is het plaatsen van een model. De gebruiker zet daarna het scan proces in werking door één druk op de knop. Het 3-D model verschijnt daarna op de computer en kan vanaf daar verder gebruikt worden.

Aan de hand van dit gebruiksscenario is het programma van eisen aangepast. Dat de 3-D scanner met één druk op de knop te bedienen moeten zijn is nu toegevoerd als eis.

8.3.3 Foto maken

Zoals al besproken is in 8.2.2 zorgt de camerastand er voor dat het aantal handeling ook verminderd wordt in vergelijking met het nemen van een foto uit de losse hand.

Gebruik van een standaard betekend helaas niet dat er zonder na te denken foto's gemaakt kunnen worden. Om deze reden is besloten dat er feedback is via een live view van de webcam. Zo kan de gebruiker inzien of het object juist is geplaatst. Een object is onjuist geplaatst als deze deels of helemaal buiten beeld valt of wanneer de reflecties elkaar overlappen.

8.3.4 Software

Er is software geschreven om tot een werkend prototype te realiseren. De taak van de software is om van een webcam foto om te zetten in een 3-D model. Om dit te realiseren voert de software verschillende handelingen uit.

De software is geschreven in Matlab. De eerste reden hiervoor is dat de beschikbare code van Forbes in Matlab geschreven is en er niet genoeg tijd en vaardigheden beschikbaar zijn om dit in een andere programmeertaal te herschrijven.

De software is geschreven om de SFS code van Forbes. De code is aangevuld om tot een volledige oplossing te komen. Deeltaken van de software zijn het nemen van foto, de verlichting aansturen, fotobewerking, draaien van Forbes Matlab script en het tonen en opslaan van een 3-D model. De specifieke taken zijn hieronder uiteen gezet in chronologische volgorde:

1. Een seriële verbinding met Arduino maken
2. Een verbinding maken met de webcam
3. Graphic User Interface (GUI) tonen
4. Livestream van de webcam tonen
5. Wachten op input van de gebruiker om een scan te maken

Na de input:

6. Communiceren met Arduino om de verlichting aan te doen
7. Een foto nemen met de webcam
8. Communiceren met Arduino om de verlichting uit te doen
9. De foto omzetten in een 1bit zwart wit afbeelding, doormiddel van een threshold* bewerking

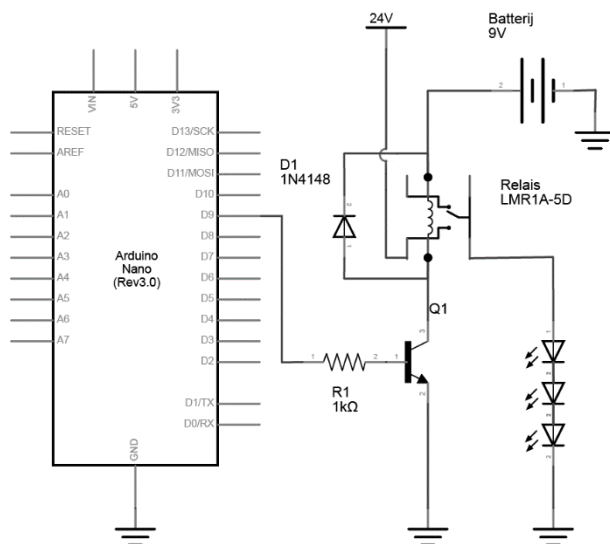
10. Alle witte vlakken die aan de randen van de foto grenzen verwijderen door deze zwart te maken.
11. Verwijderen van eventuele ruis in de foto.
12. Draaien van het Matlab script van Forbes met de foto als input
13. Het 3-D model opslaan
14. Het 3-D model tonen
15. Vragen of de gebruiker nog een scan wil maken of wil afsluiten

**threshold is een bewerking waarbij er bij elke pixel gekeken wordt of de intensiteit boven of onder een bepaalde ligt. Boven betekend dat de pixel wit wordt en onder betekend zwart.*

Geschreven Matlab scripts kunnen met Matlab gecompileerd worden tot een applicatie, hierdoor is de applicatie ook beschikbaar voor gebruikers zonder een Matlab licentie. Om de applicatie te draaien is het echter wel noodzakelijk om de Matlab Compiler Runtime (MCR) geïnstalleerd te hebben. MCR is vrij te gebruiken op Windows, Linux en Mac. Daardoor is de applicatie wel in een keer beschikbaar op de gewenste besturingssystemen.

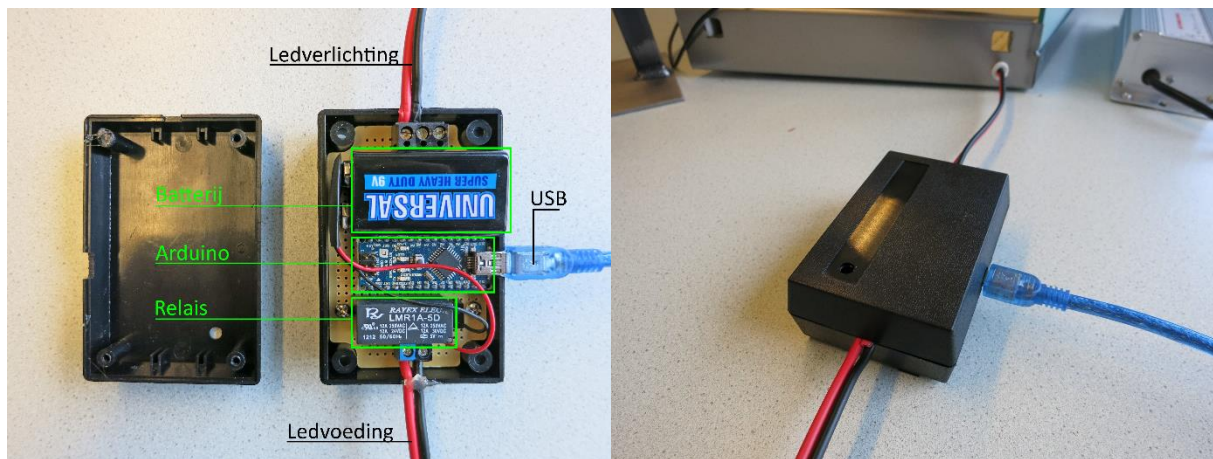
8.3.5 Elektrotechnisch ontwerp

Om te realiseren dat de verlichting automatisch aan en uit gaat is er een elektrotechnisch ontwerp gemaakt voor de aansturing van de LED strip, zie figuur 8-3.



Figuur 8-3

Er is gekozen om de aansturing te doen door middel van een Arduino. De Arduino staat in verbinding met een computer. Matlab communiceert met de Arduino over een seriële poort. Deze poort is opgezet de Arduino met een computer. Het is hierbij noodzakelijk dat de Arduino met een USB kabel verbonden is aan de computer. Matlab geeft de Arduino instructies om een relais aan te sturen. Dit relais schakelt de LED verlichting, zie figuur 8-4.



Figuur 8-4 Elektronica om verlichting softwarematig aan/uit te schakelen

Het programma van eisen wordt aangevuld met de volgende eisen.

- Beschikt over een Arduino
- Beschikt over een USB-kabel
- Beschikt over een relais

8.4 Focuspunt 3: Ontwerpen van een totaal product

Hier zal het ontwerp van de 3-D scanner verder ontwikkeld worden. Techniek en gebruik worden hier samengebracht in één ontwerp. Daarbij zal een behuizing en een applicatie ontwikkeld worden die met elkaar een 3-D scanner vormen.

De hardware onderdelen die nodig zijn om het technische gedeelte te realiseren, zullen samengevoegd moeten worden in een behuizing. Door middel van het PVE is er gekeken waar de behuizing aan moet voldoen. PVE over de fysieke eigenschappen van de 3-D scanner:

- De totale kosten van de 3-D scanner is maximaal honderd euro.
- Zoveel mogelijk COTS elementen gebruiken.
- Software is Open Source.
- De oplossing is compact;
- Afmeting blijven binnen 400mm x 400mm x 400mm
- Lichtgewicht maximaal 1500 gr.
- Bevat twee spiegels
- Bevat een camera
- Bevat een verlichtondergrond
- Bevat een graphic user interface
- Bevat één 'knop'

8.4.1 Spiegel

De SFS techniek eist dat er twee spiegels nodig zijn. In het ontwerp moet daarom bepaald worden wat het ideale formaat en materiaal is van deze spiegels. Ook moet er bepaald worden wat de ideale hoek is om deze spiegels te plaatsen.

Het formaat van de spiegels is proefondervindelijk bepaald. Hiervoor is een opstelling met twee kunststof spiegels van 600 x 600 mm gebruikt. Hier is een overweging gemaakt tussen de maximale grootte van een te scannen object en een zo klein mogelijk spiegelend oppervlak om zo tot een lichte en compacte oplossing te komen. Er is gekozen om de maximale grootte van een te scannen object ongeveer 200 x 60 x 60 mm te laten zijn. Er is ondervonden dat de spiegels minimaal een formaat van 250 x 350 mm hebben.

Daarna is gekeken uit welke materiaal de spiegels gerealiseerd moeten worden:

Glazen spiegels

Het spiegeloppervlak van deze spiegels is niet flexibel en daardoor is de weerspiegeling onvervormd. Het nadeel van glazen spiegels is dat ze zwaar en breekbaar zijn.

Kunststof spiegels

Het voordeel van deze spiegels is dat ze goedkoper en lichter zijn dan glazen spiegels. Doordat kunststof spiegels flexibel zijn is er echter een constructie nodig om vervormingen tegen te gaan zodat het spiegelbeeld niet vervormd wordt.

Folie spiegels

Met het gebruik van spiegelend folie kunnen de lichtste spiegels gerealiseerd kan worden. Echter heeft dit folie ook het nadeel dat er een frame nodig is waarop het folie gespannen moeten worden. Dit frame moet daarbij kaarsrecht te zijn om een perfect spiegelbeeld te krijgen. Elke kleine kromming in het frame geeft een vervormd beeld.

Roestvrijstaal en aluminium spiegels

Deze spiegels zijn duur, omdat er veel werk zit in het polijsten van de metalen oppervlakten. De glans van deze spiegels is ook beduidend minder dan de hierboven genoemde spiegels. Het gewicht van deze spiegels komt in de buurt van glazen spiegels. De spiegels zijn echter zo goed als onbreekbaar.

Keuze

Als er gekeken wordt naar het belang van het gewicht dan zijn folie spiegel veruit de beste oplossing. De constructie die nodig is voor dit type spiegel zorgt er echter voor dat deze oplossing liever vermeden wordt. Alleen bij glazen spiegel is geen constructie nodig om een onvervormd spiegeloppervlak te realiseren, helaas zijn deze spiegels wel zwaar. Echter doordat er geen constructie nodig kan de behuizing ook eenvoudig blijven. De lage prijs, goede verkrijgbaarheid en onvervormd spiegelbeeld zonder extra constructies zorgen ervoor dat er voor een glazen oplossing gekozen is, ondanks het gewicht en de breekbaarheid. Door de keuze voor glazen spiegel moeten we echter wel een eis bijstellen. Twee glazen spiegels van 250 x 350 mm hebben een gewicht van ongeveer 1.7 kg. Dat betekent dat het ontwerp alleen al door de spiegels 200 g voor te zwaar is. De eis is daarom met 1 kg naar boven bijgesteld, de eis is nu dat het gewicht van de 3-D scanner maximaal 2.5 kg is.

Spiegel hoek

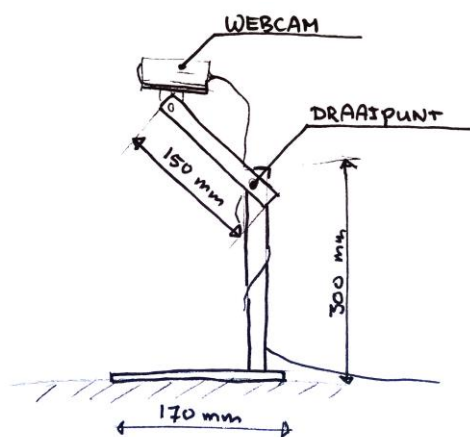
De hoek van de spiegel wordt grofweg bepaald door het script wat we gaan gebruiken. De software is vijf aanzichten nodig. Dit betekent dat we de hoek van de spiegels zo moeten zetten dat er vijf silhouetten gecreëerd worden. Voor het creëren van vijf silhouetten is de ideale hoek 360° delen door vijf, dat is 72°. Op deze manier wordt het beeld precies in 5 gelijke delen verdeeld.

8.4.2 Camera

Het ontwerp moet ook over een camera beschikken. Camera's zijn goed verkrijgbaar en zijn in verschillende vormen verkrijgbaar zoals camera modules, webcams en compact camera's en worden ook in steeds meer producten ingebouwd zoals laptops, tablets. Hierdoor zijn er veel oplossingen mogelijk.

Er is al vast gesteld dat de software samen moet kunnen werken met de camera. De software gaat op een computer draaien vanwege het gebruik van Matlab. Dit betekent dat de camera samen moeten kunnen werken met een computer. Aangezien webcams zijn ontworpen om samen te werken met een computer is dit de meest voor de hand liggende oplossing. Het gebruik van andere vormen van camera's zal het ontwerp ingewikkelder maken. Een webcam is ook goedkoop en eenvoudig in gebruik, daarom is besloten om een webcam te gebruiken. Binnen RST waren al meerdere webcams beschikbaar, er is voor gekozen om in het prototype een webcam van RST te gebruiken, namelijk de Logitech C190.

Er is vastgesteld dat de camera op een standaard geplaatst moet worden om gebruiksgemak en het snel kunnen maken van scan te realiseren. Er is gekozen om een standaard met een flexibele arm te gebruiken zodat de ideale positie van de webcam bijgesteld kan worden. De prioriteit bij het ontwerpen van de standaard was om eenvoudig verstelbaar statief te maken, om zo de opstelling goed te kunnen testen. Daarbij is dus weinig aandacht gegeven aan mobiliteit en compact ontwerp. In figuur 8-5 is ontwerp van de simpele webcam standaard te zien.



Figuur 8-5

8.4.3 Bodemverlichting lichtbron

Om de selectie van silhouetten te automatisering is besloten om gebruik te maken van een verlichte bodem, hoe deze bodem eruit ziet moet nog bepaald worden. Er zijn verschillende lichtbronnen en mogelijkheden om dit op te lossen. Het is van belang dat de verlichte bodem een zodanig beeld creëert dat de genomen foto zo weinig mogelijk ruis bevat. Dit scheelt in het aantal berekeningen wat uitgevoerd moet worden.

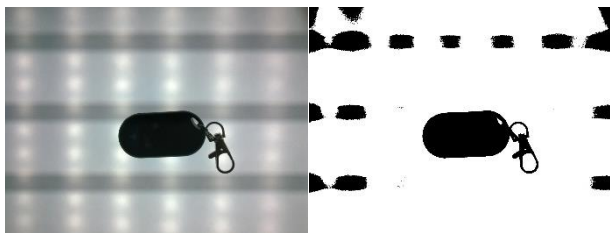
Verschiedende lichtbronnen die gebruikt kunnen worden:

- Gloeilampen
- TL-buizen
- LED strips
- OLED panelen
- Edge-lit LED

Na enkele testen zijn gloeilampen, andere peertje en tl-buizen niet als geschikt beoordeelt. Deze lichtbronnen nemen veel ruimte in en een evenredig verlichte bodem zijn moeilijk te realiseren.

LED strips

Met behulp van LED strips is een compacte oplossing te realiseren. Dit komt omdat LED strips van zich zelf weinig ruimte in nemen. Om een goed diffuse bodemverlichting te creëren is er echter wel wat ruimte nodig een diffuse plaat boven de LED's te plaatsen. Uit experimenten blijkt dat een diffuse plaat op een hoogte van 45 mm gehangen moet worden. Wanneer de plaat te laag opgehangen wordt krijgen we te maken met hotspots, zoals te zien is in figuur 8-6. De hotspots zijn niet gewenst, want die zorgen voor extra ruis in de foto's.



Figuur 8-6 Lichtplaat met hotspots

Edge-lit LED

Een ander manier om een goede bodemverlichting te realiseren is door de backlight techniek van LCD televisies en monitoren te bekijken. De backlights hebben hier ook het doel om een zo gelijk moeilijke lichtopbrengst over een oppervlak te creëren. Edge-lit LED is echter geavanceerd en daarom niet eenvoudig toe te passen in een prototype. Er moeten berekeningen gedaan worden aan hoe een dergelijke diffuser vormgegeven moet worden, dit zorgt ervoor dat Edge-lit LED voor dit prototype te complex is om te realiseren.

OLED paneel

Deze panelen zijn een hele goede kandidaat. OLED panelen zijn dun, licht en staan bekend om hun diffuse lichtopbrengst. Op dit moment van schrijven zijn OLED panelen in ontwikkeling bij diverse fabrikanten. De OLED techniek staat het toe om in elke vorm geproduceerd te worden, dus een ruit levert geen problemen op. De techniek is nog duur en niet voor de consument beschikbaar. Daarom is OLED afgefallen, maar biedt binnen enkele jaren waarschijnlijk wel uitkomst.

Keuze

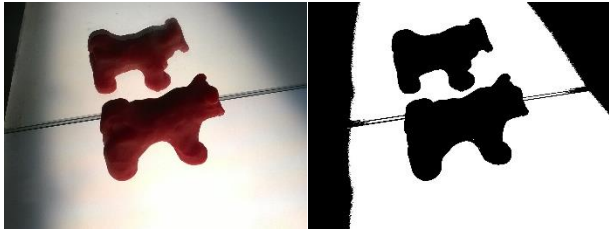
Uiteindelijk is gekozen voor een ontwerp met LED strips om dat de andere methodes zijn afgefallen. Voor een zo diffuus mogelijke verlichting is gekozen om een LED strip te kiezen met veel LED's per meter. Meer LED's per meter zorgen ervoor dat de dichtheid groter wordt en er ontstaan dus ook minder snel hotspots. De gekozen LED strip bevat 180 LED's per meter.

Om de LED strips gemakkelijk te kunnen monteren en demonteren worden de strips op een dunne plaat gemonteerd. Zie Appendix F voor het ontwerp.

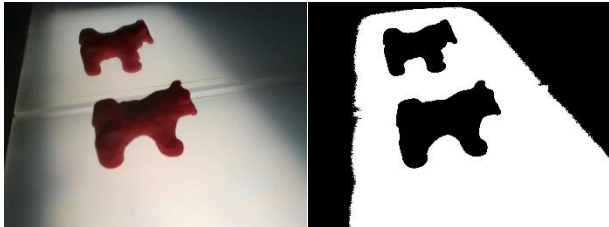
8.4.4 Bodemverlichting vorm en structuur

Om de structuur en assemblage te bepalen moeten verschillende aspecten afgewogen en onderzocht worden.

Tijdens het testen van de opstelling in combinatie met een lichtbodem is het opgevallen dat de facetten van de spiegels voor ongewenst lijnen zorgen. De lijnen kunnen interfereren met de object silhouetten waardoor het herkennen van een silhouet wordt bemoeilijkt. Er is daarom gezocht naar een manier om deze ongewenste lijnen te verwijderen. Dit probleem is deels opgelost door de spiegel naast de lichtplaat te plaatsen in plaats van er op, zie figuur 8-9 en figuur 8-10.

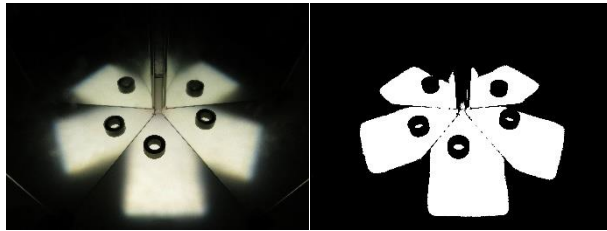


Figuur 8-7 Spiegel op de lichtplaat

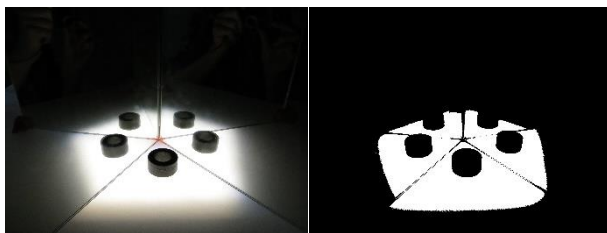


Figuur 8-8 Spiegel naast lichtplaat

Met deze oplossing zijn alleen de lijnen die veroorzaakt worden door de horizontale facetten van de spiegel verdwenen. In de horizontale randen van de spiegel ontstaan ook nog ongewenst lijnen. Door de spiegels tegen elkaar te plaatsen ontstaat een zo dun mogelijke lijn welke op deze manier zo min mogelijk ruis veroorzaakt, zie figuur 8-9 en 8-10.



Figuur 8-9 Ruimte tussen de spiegel



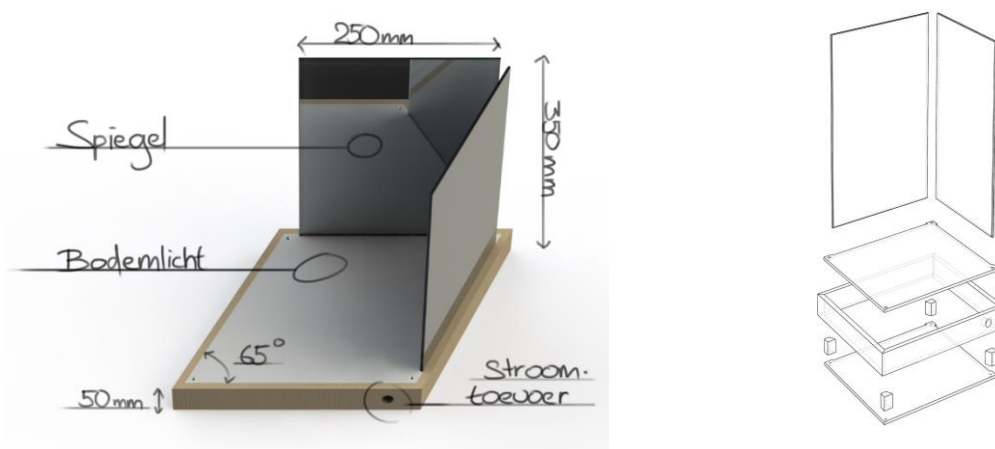
Figuur 8-10 Spiegels tegen elkaar

Er is daarom gekozen om de spiegels naast de lichtplaat te plaatsen en daarbij de spiegels tegen elkaar aan te plaatsen.

8.4.5 Ontwikkeling behuizing

Vanaf het begin van de ontwikkeling van een 3-D scanner is al begonnen met het ontwerp van een behuizing. Zo is er vanaf het begin al een totaalplaatje ontstaan. Het ontwerp van de behuizing is continu mee geëvolueerd met nieuwe eisen en inzichten.

De behuizing is ontworpen door middel van het programma van eisen en het maken van schetsontwerpen (Appendix D). De eerst ontwerpen waren grove, complexe, zwaar en uit veel onderdelen bestaand, zie figuur 8-11.

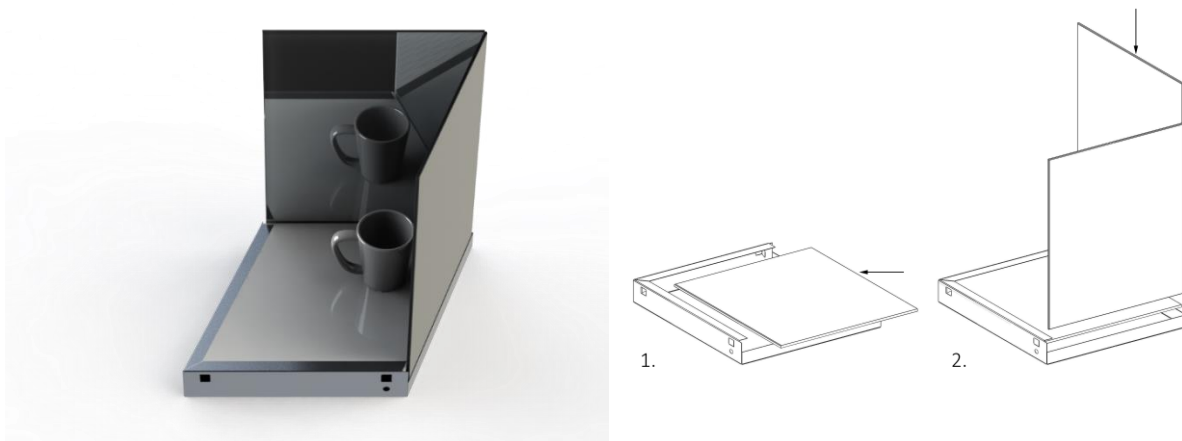


Figuur 8-11 Concept idee: Render en exploded view

Na overleg is besloten dat dit ontwerp veel verbeteringen nodig was op gebied van assemblage en mobiliteit. Het ontwerp is complex om te bouwen. Bestaat uit onnodig veel onderdelen en is daarbij

is ook nog zwaar en onnodig groot. Daarom is er ontwerp studie gedaan om het ontwerp compleet te herontwerpen (voor schetsen, zie appendix D), daarbij zijn de eisen van mobiliteit en lichtgewicht in acht genomen.

Door het aantal onderdelen te verminderen is de complexiteit van de assemblage en de productie gereduceerd. Ook komt in het nieuwe ontwerp geen lijm en geen schroef meer aan te pas, wat de assemblage aanzienlijk vergemakkelijkt. Het hele ontwerp kan in en uit elkaar geschoven worden, zie figuur 8-12. Op deze manier is de 3-D scanner ook gemakkelijk te repareren. Alle onderdelen voor dit ontwerp kunnen met een laser gesneden worden, hierdoor is productie van onderdelen ook aanzienlijk vereenvoudigd. Het ontwerp bestaat daarbij ook uit minder onderdelen.



Figuur 8-12 Eindontwerp: Render en exploded view

Met behulp van Solidworks is het gewicht geschat. Tijdens deze schatting is gewicht van de LED strip en voeding niet meegeteld. Deze berekeningen laten zien dat het gewicht inderdaad gereduceerd is.

Concept idee		2840 gr
Eindontwerp	1 mm staal	2990 gr
	0.5 mm staal	2570 gr
	1 mm aluminium	2440 gr
	0.5 mm aluminium	2295 gr

Figuur 8-13

Hierbij moet gesteld worden dat het gewicht van de spiegels alleen al 1700 kg is. En in beide ontwerpen aanwezig zijn. Als we gebruik maken van 0.5mm aluminium plaat in het eindontwerp is het gewicht van de constructie zonder LED en spiegels met 52% gereduceerd ten opzichte van het concept idee.

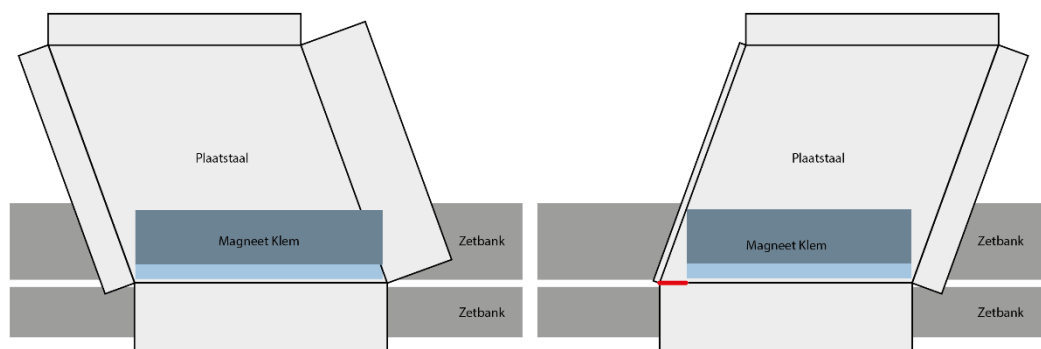
8.4.6 Sheetmetal ontwerp

Het ontwerp van de sheetmetal behuizing is niet vanzelf tot stand gekomen. Er zijn niet alleen schetsen gemaakt maar ook papiermodellen. Door deze papiermodellen is de definitieve vorm van de sheetmetal behuizing bepaald. Zie appendix E voor de papiermodellen.

Aan de hand van deze papiermodellen is eenvoudig bepaald worden waar de meeste spanning op het ontwerp komt te staan. Zodoende kon een inschatting gedaan worden of de constructie voldeed en hoe deze verbeterd kan worden.

Ook zijn er met behulp van deze modellen verschillende iteraties gedaan hoe de plexiglas plaat gemonteerd moet worden. Om de plexiglasplaat op de juiste plek te houden zijn verschillende oplossingen bedacht, uiteindelijk is gekozen om lipjes in plaatstaal te snijden welke naar binnen gebogen kunnen worden. Zo hoeven er geen extra onderdelen gemaakt worden. De zetlijnen van deze lipjes zijn geperforeerd, zodat ze gemakkelijk met de hand gebogen kunnen worden.

Nadat er een goede oplossing is bepaald, is van dit ontwerp een papieren vouwmodel op ware grootte gemaakt om te bepalen of het ontwerp te zetten is met behulp van een zetbank. Er is gebleken dat het model niet volledig te klemmen is in de zetbank. Dit komt door de scherpe hoek in het ontwerp.



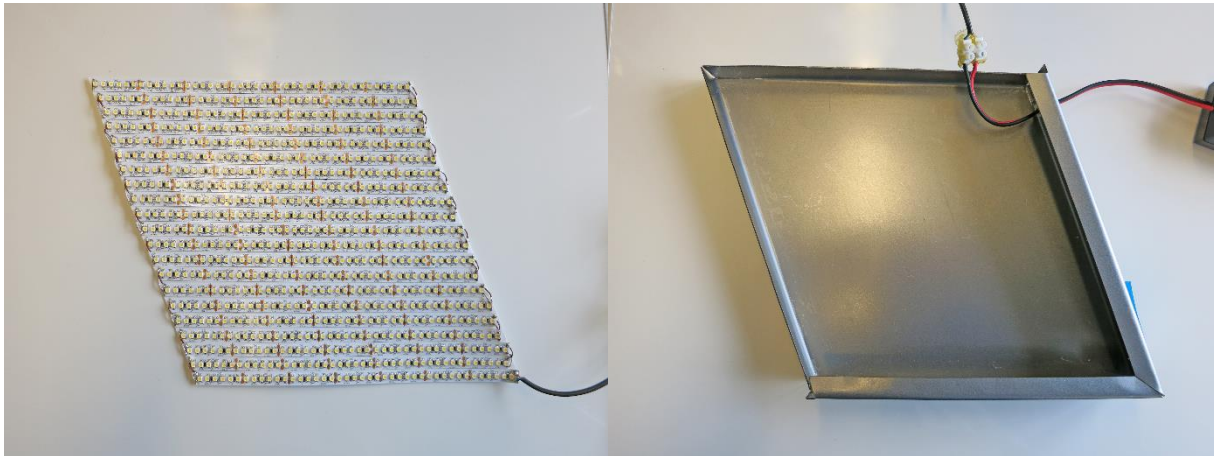
Figuur 8-14

Hierboven in figuur 8-14 is te zien dat bij de tweede zetting de plaat niet goed ingeklemd kan worden. Hierdoor zal de zetlijn bij de rode lijn niet strak worden in figuur 8-14. Er is gekozen om dit stukje te perforeren met de lasersnijder, zodat het materiaal op de juiste plek gemakkelijk meebuigt.

8.5 Prototype

Uiteindelijk is aan de hand van dit ontwerp een prototype gerealiseerd.

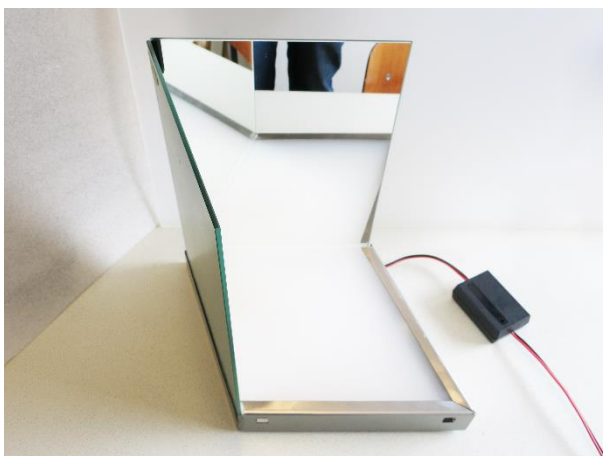
Voor bouwtekeningen zie appendix (#!?)



Figuur 8-15 LED strips (links), Sheetmetal behuizing (rechts)



Figuur 8-16 LED's in behuizing (links), Arduinkastje en voeding (rechts)



Figuur 8-17 SFS 3-D scanner

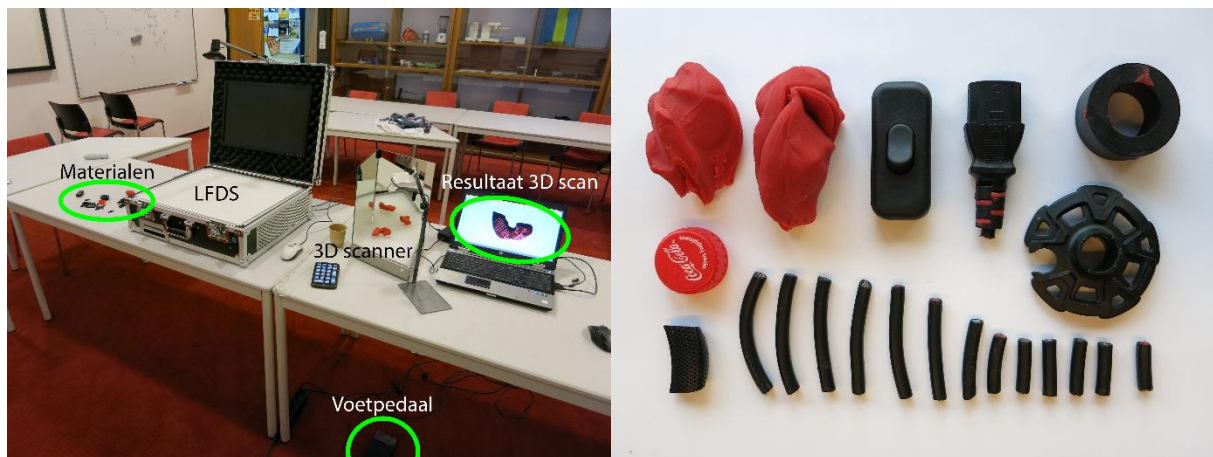
9 Gebruikerstest

Om te bepalen of de SFS 3-D scanner eenvoudig in gebruik is en de gebruiker in staat stelt om snel een 3-D scan te maken is er een test uitgevoerd. Hierbij is een opstelling gebouwd en hebben meerdere proefpersonen de 3-D scanner getest.

Om de gebruikerstest uit te voeren is er een opstelling gemaakt zie figuur 9-1. Daarbij is een HDTE gecreëerd waar de 3-D scanner deel van uit maakt. De opstelling bestaat uit een LFDS en een 3-D scanner. Verder zijn er materialen geleverd om ontwerpen mee te realiseren. De LFDS stelt de proefpersonen in staat om op een hybride manier iteraties te maken. De 3-D scanner stelt de gebruiker in staat om fysieke iteraties te digitaliseren.

De proefpersonen kregen de opdracht om een monster te ontwerpen. Een monster spreekt bij veel mensen tot de verbeelding waardoor er hopelijk snel ideeën ontstaan. Op deze manier wordt ook verwacht dat er veel unieke modellen verkregen worden, zo kan de 3-D scanner beter te beoordeeld worden op zijn kunnen.

De eerste opdracht die de proefpersonen kregen was ontwerp drie verschillende monster in drie minuten tijd met de LFDS en met de daarbij geleverde materialen. Na deze opdracht kregen de proefpersonen de opdracht op basis van hun ontwerpen een fysiek monster ontwerp te maken. Dit fysieke ontwerp wordt met dezelfde materialen gemaakt, waarbij het model niet groter dan een koffiebekertje mag zijn. Hierna wordt de deelnemers verteld dat ze een 3-D scan van hun ontwerp gaan maken. Daarbij is korte uitleg gegeven hoe de scanner werkt. Na het scannen kunnen de proefpersonen hun digitale monster bekijken.



Figuur 9-1 Opstelling (links) Materialen (rechts)

Uit de observatie en vragenlijst blijkt dat de proefpersonen onder de indruk zijn van de mogelijkheden van de 3-D scanner. Wat de meeste mensen aanspreekt is hoe simpel en effectief de 3-D scanner werkt. Uit de observatie en de vragenlijst blijkt dat de eerste indrukken van de proefpersonen positief zijn (Appendix G):

‘Snel, cool, interessant, onverwacht simpel, eenvoudig, functioneel, supergaaf, effectief, leuk, bijzonder dat zo iets een simpele scanner kan zijn en indrukwekkend’

Ondanks de positieve indrukken heeft de scanner ook mindere punten. Zo wordt het juist plaatsen van een object in eerste instantie vaak onderschat. Het gebeurt nog wel eens dat de objecten en reflecties elkaar overlappen, buiten beeld vallen of buiten de bodemverlichting vallen. Als er na een foute scan nog eens wordt uitlegt waarom en hoe een object geplaatst moet worden, wordt het wel

duidelijk voor de proefpersonen en een tweede scan slaagt dan wel. In de vragenlijst geven de proefpersonen dan ook aan dat de 3-D scanner op dit gebied verbeterd kan worden.

Voor enkele proefpersonen was het ook lastig om een model te maken dat niet groter is dan een koffiebekertje, hierdoor was het niet altijd mogelijk om meteen een 3-D scan te maken. De proefpersonen geven dan ook dat ze graag verbeteringen zien in de maximale formaat van een te scannen object. Maar ook verbetering op het gebied van accuraatheid, nauwkeurigheid, resolutie en kleur.

Daarbij is ook gevraagd wat de proefpersonen zelf zouden willen scannen en hoe zij het gebruik van deze scanner zien. Meerder proefpersonen geven daarbij aan dat ze mogelijkheden zien om fysieke iteraties, modellen, simpele constructies en LEGO modellen te digitaliseren. Waarna deze digitale modellen gebruikt kunnen worden om verder bewerkte te worden of om verschillende onderdelen digitaal een geheel te laten worden.

De resultaten van de 3-D scan laten zien dat het zeer goed mogelijk is om fysieke modellen te scannen en digitaal te representeren, zie figuur 9-2 en Appendix G



Figuur 9-2 Selectie van de 3-D scans uit de gebruikerstest

10 Evaluatie prototype

In dit hoofdstuk zal worden het prototype geëvalueerd worden. Daarbij zullen bevindingen over de scanner gepresenteerd worden. Het prototype wordt ook onderworpen aan het programma van eisen.

Uit de gebruikerstest blijkt dat het gemak en de eenvoud van de scanner gewaardeerd wordt. Er zijn nog wel verbeterpunten op het gebied van gebruiksvriendelijkheid en de scanmogelijkheden. Maar over het algemeen wordt de eenvoudige interface gewaardeerd.

Aan het begin van de opdracht is als eis gesteld dat de scanner real-time scans moet kunnen maken. Halverwege de opdracht is al gerealiseerd dat dit waarschijnlijk niet realistisch is en is de eis bijgesteld. Op software gebied zijn optimalisaties uitgevoerd, maar kan allicht verbeterd worden vanwege de beperkte kennis. Op de overige gebieden is tijdens het ontwerpen ook continu rekeningen gehouden met het feit dat scans zo snel mogelijk gemaakt moeten kunnen worden.

De geschreven software heeft bijgehouden hoe lang het duurt om een 3-D model te realiseren. Al deze tijden zijn opgeslagen in een logbestand (Appendix G). Uit dit logbestand blijkt dat de gemiddelde scan tijd 6,2 seconden is. Daarbij moet opgemerkt worden dat er 2 seconden pauze in de software is geprogrammeerd om de webcam tijd te geven om te focussen als de verlichting aanspringt, dit is nodig omdat de huidige webcam het niet toestaat om de instellingen te fixeren. Door een betere webcam integratie kan de scantijd met nog 2 seconden versneld worden.

In het programma van eisen is gesteld om een 3-D scanner van onder de 100 euro te realiseren. Dit prototype is deels gebouwd met onderdelen die al beschikbaar waren binnen RST. Als we naar de waarde kijken van alle onderdelen binnen dit prototype komen we uit op een prijs van 170 euro (Appendix H). In dit prototype is bij de bouw niet gefocust op de prijs van de onderdelen. Zo bevat deze scanner een dure webcam en LED strip. Door goedkopere onderdelen te gebruiken en 3-D scanner te realiseren in oplage van 1000 stuks is de kostprijs geschat op 90.83 euro per stuk (Appendix H). Daarmee wordt voldaan aan het programma van eisen.

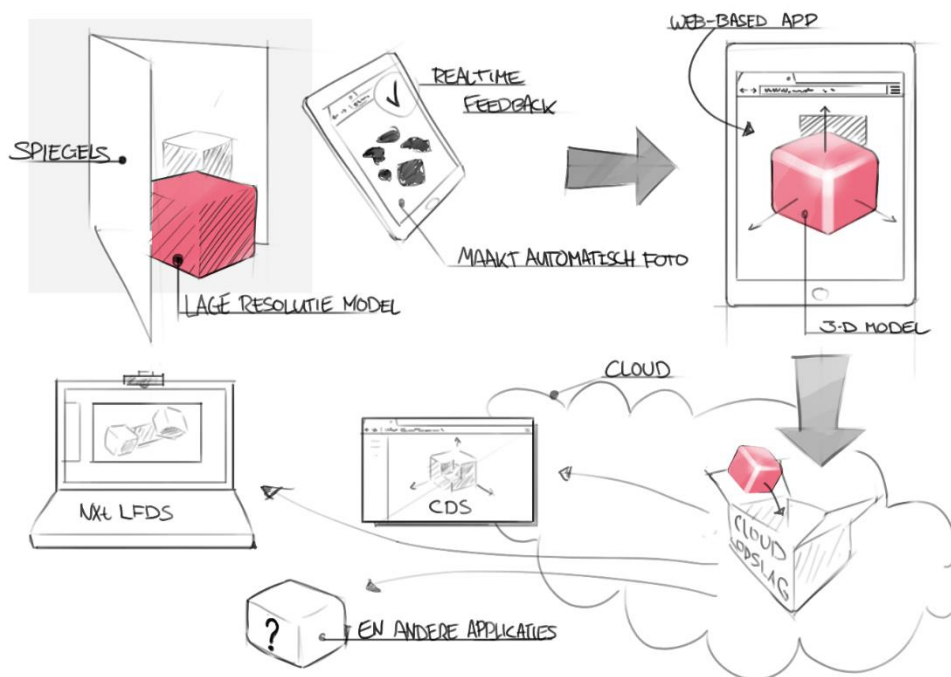
Op het gebied van gewicht kan de scanner niet voldoen aan de eis van maximaal 1,5 kg. De twee benodigde spiegels zijn bij elkaar al 1,7 kg. De eis is daarom tijdens het ontwerp ook bijgesteld naar 2,5 kg. De scanner weegt momenteel exclusief voeding 3,1 kg. Als we daar de voeding bijrekenen van 1 kg is het totaal gewicht 4,1 kg. En heeft daarmee de eis overschreden. De omvang van de scanner is met 352mm*348mm*242mm wel binnen de eisen gebleven. Door het grote gewicht en de breekbare spiegels is het ontwerp echter niet heel mobiel.

De scanner genereert scans met het .wrl bestandsformaat. Dit formaat is niet door ieder ander programma te gebruiken. De conversie naar andere formaten is echter wel gemakkelijk maar is nog niet geïntegreerd. Het belang van deze eisen is tijdens het ontwerpen nog niet aan de orde gekomen. In het verdere ontwerp, wanneer de software mee af is kan hier over na gedacht worden.

Van de onderstaande eisen kan ook gesteld worden dat ze behaald zijn.

- Zoveel mogelijk COTS elementen gebruiken.
- Software is Open Source.
- Plug and Play.
- Eenvoudig te installeren
- Onderhoudsvriendelijk

11 Ontwerpvoorstel SFS 3-D scanner



Figuur 11-1 Ontwerpvisie van een SFS 3-D scanner

Er is een ontwerp visie gerealiseerd aan de hand van de evaluatie zie figuur 11-1. De scanner is nu nog zwaar, relatief duur en niet heel flexibel. Voor verdere ontwikkeling van deze 3-D scanner wordt dan ook aangeraden om het ontwerp nog meer te minimaliseren. De bodemverlichting heeft ervoor gezorgd dat er nu snel 3-D scan gemaakt kunnen worden. Het nadeel echter van deze verlichting is dat er veel materiaal aan het originele idee is toegevoegd, hierdoor verdwijnt de simpelheid van de techniek. Door de bodemverlichting is het ontwerp zwaar, complexer en duurder geworden.

Wanneer het ontwerp weer gereduceerd kan worden tot 2 spiegels in een hoekopstelling en een camera is deze scanner erg bereikbaar voor de gebruiker. De meeste mensen beschikken tegenwoordig wel over een smartphone of tablet met camera. Zo niet dan is de mogelijkheid om een USB webcam te gebruiken in combinatie met een computer. De scanner zal dan niet alleen bereikbaar worden, maar ook simpel en lichter.

Om dit minimale design te kunnen uitvoeren, moet wel een alternatieve manier gevonden worden om het herkennen van silhouetten te realiseren. Er zijn wel alternatieven op de verlicht achtergrond methode, echter moet de geschiktheid hiervan nog wel onderzocht worden. Als er een methode gevonden kan worden die alleen met behulp van een camera, twee spiegels en software real-time een silhouet kan vinden, kan de ultieme low-cost 3-D scanner gerealiseerd worden.

In de toekomst gaat internet steeds meer een rol spelen. Waarbij web gebaseerde applicaties steeds meer een uitkomst bieden. Deze web gebaseerde applicatie kunnen op elk platform gedraaid worden onafhankelijk van het OS. Een web gebaseerde applicatie kan een uitkomst bieden voor een RST 3-D scanner. Hierdoor kan er bijna overal 3-D scanner gebruikt worden met behulp van telefoon, tablet of laptop, ongeacht besturingssysteem.

Dat betekent om te kunnen scannen er alleen twee spiegels aangeschaft hoeven te worden. (kosten ong. 8-10 euro per stuk). Deze spiegels kunnen met behulp van tape of een bijvoorbeeld een opensource 3-D print model aan elkaar gekoppeld worden.

Voor RST is het ook interessant om deze 3-D scanner dan te combineren met de CDS applicatie. Aangezien CDS ook een web gebaseerd is, zou de opensource 3-D scanner web applicatie gemakkelijk omgebouwd worden tot plug-in voor de CDS applicatie.

Er kan ook gekeken worden naar een eventuele integratie met een LFDS systeem. De LFDS is daarbij waarschijnlijk ook een herontwerp nodig om de 3-D modellen te kunnen verwerken. Ook zal er nagedacht moeten worden over hoe deze 3-D modellen binnen de LFDS ingezet moeten gaan worden.

12 Conclusie

Doel van de opdracht is het onderzoeken en ontwikkelen van een 'tool' die het mogelijk maakt om tegen lage kosten (low-cost), een lage resolutie (low-resolution) 3-D scanner te maken welke scans uitvoert met directe onvertraagd werking (real-time).

Tijdens de analyse is een methode gevonden die geschikt is geacht. In deze analyse kwam ook naar voren dat het voor een lage prijs het lastig is om een real-time 3-D scanner te realiseren. De gekozen techniek was al snel, echter is er alsnog geprobeerd om deze techniek real-time te laten zijn. Dit is helaas niet gelukt, maar het is wel gelukt om de techniek nog sneller te maken. Er is een werkend prototype gerealiseerd met een scantijd van gemiddeld 6 seconden. Samen met een prijs van onder de 100 euro is er op deze manier unieke 3-D scanner ontworpen. Er is op deze manier een goede basis neergezet voor een 3-D scanner.

Deze 3-D scanner heeft nog genoeg mogelijkheden om verder te ontwikkelen. In de toekomst visie is verteld hoe de 3-D scanner nog beter ontworpen kan worden. Daarbij zou een 3-D scanner gerealiseerd kunnen worden die nog goedkoper, eenvoudiger, gebruiksvriendelijker, lichter en meer nauwkeurig is dan het huidige prototype. Het huidige prototype biedt in iedere geval een goede en stabiele basis om verdere ontwikkeling door te zetten.

Het inzetten van deze tool binnen een HDTE blijkt goed te werken. Met behulp van deze 3-D scanner kan er met traditionele tools en materialen ontworpen worden. Een ontwerper is hierdoor vrijer in het ontwerpen omdat hij niet vast zit aan een computer. Deze fysieke modellen kunnen nu gedigitaliseerd worden, zodat ook de digitale mogelijkheden benut kunnen worden. Op deze manier is de 3-D scanner een toevoeging in een hybride ontwerpomgeving. Dit is ook gebleken uit de gebruikerstest.

Er kan gesteld worden dat het gelukt is om een low-cost, low-resolution 3-D scanner te ontwerpen welke past in een hybride ontwerp omgeving. Ondanks dat de scanner niet real-time kan scannen, is de 3-D scanner wel uniek op de markt door de combinatie van een lage prijs en een snelle berekening van een digitaal 3-D model.

13 Bronnenlijst

13.1 Referenties

1. Forbes, Keith, et al. "Shape-from-silhouette with two mirrors and an uncalibrated camera." *Computer Vision–ECCV 2006*. Springer Berlin Heidelberg, 2006. 165-178.
2. Wendrich, R. E. "Raw Shaping Form Finding: Tacit Tangible CAD." *Computer-Aided Design and Applications* 7.4 (2010): 505-531.
3. Wendrich, R. E. "Hybrid Design Tools for Design and Engineering Processing." *Advances in Computers and Information in Engineering Research X.X (2014)*
4. Dossantos, G. <https://youtu.be/xDmzvqOPESM> , geraadpleegd op 16 maart 2015
5. Kruiper, R. , Tweehandig modelleren, <http://essay.utwente.nl/62665/> , geraadpleegd op 13 maart 2015

13.2 Afbeeldingen

Figuur 4-1 & 4-2.

Wendrich, R. E. "Hybrid Design Tools for Design and Engineering Processing." *Advances in Computers and Information in Engineering Research X.X (2014)*:

Figuur 7-1 & 7-3.

Forbes, Keith et al "Shape-from-Silhouette with two mirrors and an uncalibrated camera." *Computer Vision–ECCV 2006*. Springer Berlin Heidelberg, 2006. 165-178.

Overige figuren zijn door de student zelf gemaakt.

Appendices

Appendix A - Onderzoek naar 3-D scannen

Appendix B – Diverse experimenten met verschillende 3-D scanners

Appendix C - SFS Experimenten

Appendix D - Schetsen

Appendix E - Schetsmodellen

Appendix F - Technische tekeningen prototype

Appendix G - Testresultaten Prototype

Appendix H - Kostenberekening

Appendix A - Onderzoek naar 3-D scannen

Om inzicht te krijgen in de wereld van 3-D scanners is er een analyse gedaan. Bij deze analyse is er gekeken naar welke technologieën er op de commerciële en professionele markt zijn en daar buiten. Door deze analyse ontstaat er een beeld van wat er nu mogelijk is binnen de wereld van 3-D scannen en welke technieken er gebruikt worden. Zo hoeft het wiel niet opnieuw worden uitgevonden.

Als we kijken naar wat de markt te bieden heeft, is meteen duidelijk waarom RST zelf een 3-D scanner wil ontwikkelen. De huidige markt bestaat uit 3-D scanners die niet aan de eisen van RST voldoen.

	Markt	RST
Snel	-	++
Goedkoop	-	++
Hoge Nauwkeurigheid	++	-

De huidige markt produceert voornamelijk scanners die met een hoge resolutie en hoge nauwkeurigheid scannen. Op prijs en snelheid wordt wel gefocust maar meestal gaat de een ten koste van de ander. Er wordt niet gefocust op het real time scans generen en het betaalbaar houden voor de consument. Dit is nog een onontgonnen gebied op de 3-D scanner markt, hierdoor kunnen er nog nieuwe mogelijkheden ontdekt worden.

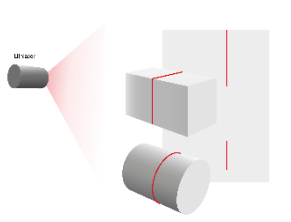
Vanwege de focus op hoge resolutie en nauwkeurigheid zou het kunnen dat bepaalde technieken complex zijn geworden. Door eventueel technieken te versimpelen en minder waarde aan hoge resolutie en nauwkeurigheid te geven, kan eventueel de prijs omlaag en de rekentijd verkort worden.

Welke verschillende soorten 3-D technologieën zijn er?

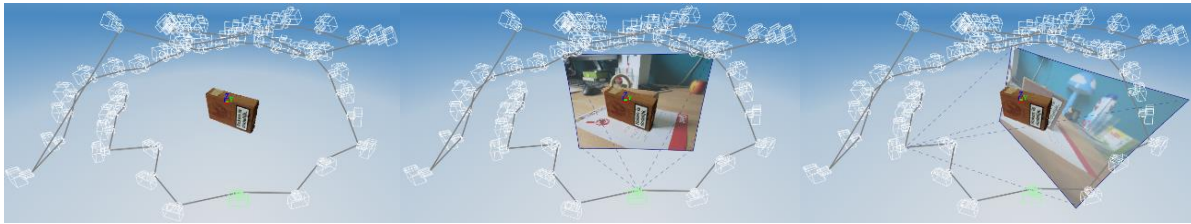
Er zijn veel verschillende soorten 3-D scan technologieën op de markt. Van relatief goedkope consumenten producten naar dure professionele oplossing. Na een kort onderzoek op de huidige 3-D scanner markt blijkt dat scanners vaak overeenkomsten hebben. Veel 3-D scanners maken gebruik van de zelfde technologieën. De volgende technieken komen we het meest tegen op het gebied van 3-D scannen:

- Lichtpatroon scanners
- Lijnlaser scanners
- Fotogrammetrie scanners

Lichtpatroon scanners analyseren een object door bekend patroon te projecteren en de vervorming van dit patroon verrad de vorm van het object. Een lijnlaser past hetzelfde principe toe, echter is hierbij het patroon in alle gevallen een laser lijn.



Fotogrammetrie scanners kunnen aan de hand van foto's vorm bepalen. Deze scanners halen informatie van de geometrie van een object uit een foto, vaak gaat het hierbij om grote aantallen foto's van hetzelfde object. Met behulp van deze informatie kan een 3-D model gegenereerd worden.

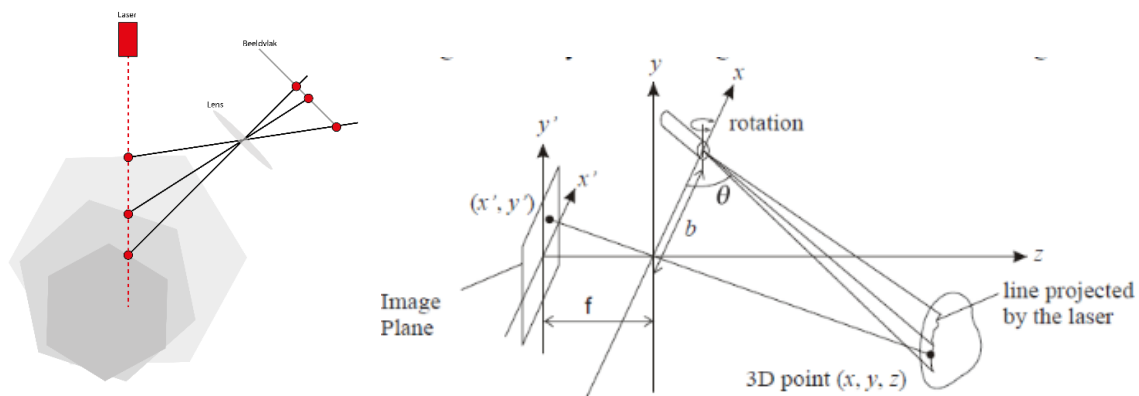


Figuur 0-1 Fotogrammetrie scanner, 123-D Catch

Naast deze scanners zijn er ook nog andere manier van 3-D waarnemen. Ander technieken zijn bijvoorbeeld time of flight, slice-based, touchbased. Deze technieken zijn minder populair.

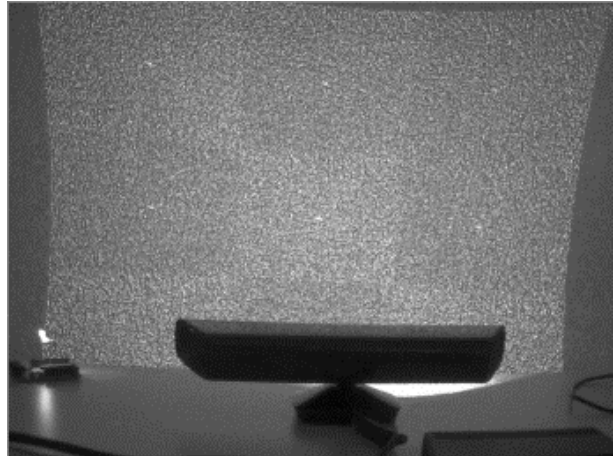
Licht patroon scanners

Licht patroon scanner bestaan uit een projector en een camera. De projector projecteert een bekend patroon op het voorwerp. Het patroon vervormt doordat deze op een object wordt geprojecteerd. Een camera neemt het vervormde patroon waar. Aan de hand van de vervorming kan de software bepalen hoe het geprojecteerde oppervlakte eruit ziet. Het principe wat hier word toegepast is triangulatie.



Kinect v1 (PrimeSense Light Coding Technology?!)

Kinect is de meeste bekende scanner die gebruik maakt van licht patroon techniek. Microsoft maakt op zijn beurt gebruik van de technologie van PrimeSense. De Kinect bevat een 3-D diepte sensor waardoor een diepte beeld gerealiseerd kan worden. De diepte toewijzing wordt gedaan door de PrimeSense hardware welke is ingebouwd in de Kinect. De Kinect gebruikt verschillende sensoren. Een kleuren camera, microfoons en een diepte sensor welke bestaat uit een IR projector en een IR camera. De Kinect gebruikt deze sensoren om verschillende data output te genereren. Namelijk kleuren video, diepte video, skelet reconstructie video en audio.



Figuur 0-2 Sensor + Gespikkeld patroon

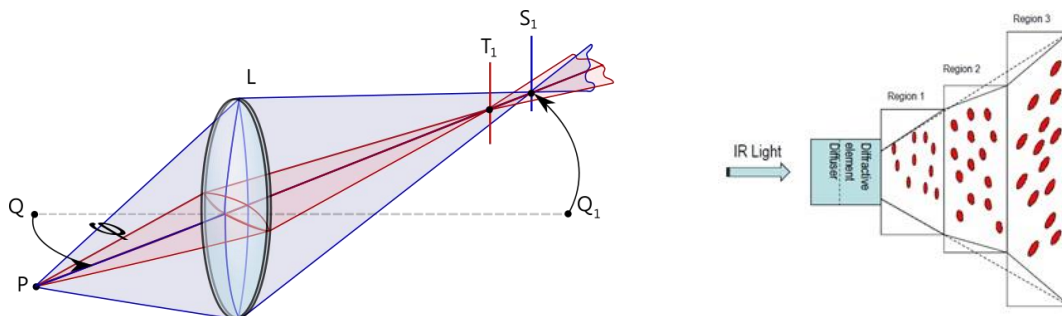
PrimeSense noemt de techniek zelf Light Coding. De Kinect gebruikt twee principes om een diepte beeld van de omgeving te maken. Namelijk 'depth from focus' en 'depth from stereo'.

'Depth from Stereo' is het principe wat binnen licht patronen valt.

De Kinect bepaald de diepte door het projecteren van een infrarood patroon. Dit patroon wordt waargenomen met een infrarood camera. De Kinect berekent zelf aan de hand van deze patronen informatie een diepte kaart, hiermee wordt een pc of Xbox niet belast. Het infrarode patroon is gespikkeld.

Depth from focus,

Een infrarode laser creëert een gespikkeld patroon. De vorm van de spikkels is afhankelijk van de diepte. Dit effect wordt gecreëerd door een astigmatische lens. Bij astigmatische lens is het brandpunt van de horizontale en verticale as verschillend.



Figuur 0-3 Astigmatische lens

De lens zorgt ervoor dat een geprojecteerde cirkel de vorm van een ellips krijgt waarvan de oriëntatie afhankelijk is van de diepte. Deze beide technieken worden gebruikt om een dieptebeeld te creëren. Waarbij op een afstand van 2 meter de nauwkeurigheid van de Kinect.

De Kinect moet gebruikt worden in combinatie met software. De streams van de Kinect zijn niet direct bruikbaar binnen Windows of andere besturingssystemen. De Kinect genereert op zich zelf geen 3-D modellen. Doormiddel van softwarepakketten is het wel mogelijk om de Kinect in te zetten als 3-D scanner.

Bron: <http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/meetkinect/features.aspx> geraadpleegd op 30 september

Asus Xtion PRO Live & Asus Xtion

De Asus Xtion is een 3-D camera welke dezelfde techniek aan boord heeft als de Kinect. Daardoor verschilt deze sensor niet veel op het gebied van capaciteit. De RGB camera is van beter kwaliteit dan de Kinect, verder is deze sensor lichter en kleiner.

Bron: http://www.asus.com/Multimedia/Xtion_PRO_LIVE/ geraadpleegd op 30 september

Structure Sensor

Occipital heeft zijn Structure Sensor ook gebaseerd op de techniek van PrimeSense. Hierbij is Occipital erin geslaagd om de techniek zodanig te verkleinen dat de sensors als module op een iPad vast geklikt kan worden. Doormiddel van applicaties kan de sensor gebruikt worden. Zo kan er een 3-D kleuren scan gemaakt worden. Om kleur aan de scan toe te voegen wordt er gebruikt gemaakt van de kleuren camera van de iPad. Via een speciale USB kabel kan de scanner eventueel ook op een computer aangesloten worden. De prijs is #?!.. Geraadpleegd!!

Bron: <http://structure.io/> geraadpleegd op 30 september

Creaform Go!SCAN 3-D

De Go!SCAN 3-D werkt ook door middel van het projecteren van patronen. Deze scanner bevat een projector en twee camera's. De Creaform maakt echter gebruik van een zichtbaar licht patroon in plaats van infrarood. Dit heeft als voordeel dat er visuele feedback gegeven wordt om te kunnen zien welke gebieden je aan het scannen bent.

Om te Scannen met de Go!SCAN 3-D wordt er het softwarepakket VXelements meegeleverd. Met behulp van VXmodel kunnende modellen rechtstreeks geïmporteerd worden in verschillende CAD programma's. De scanner kan real-time 3-D representaties maken. De prijs is #?! Geraadpleegd op.



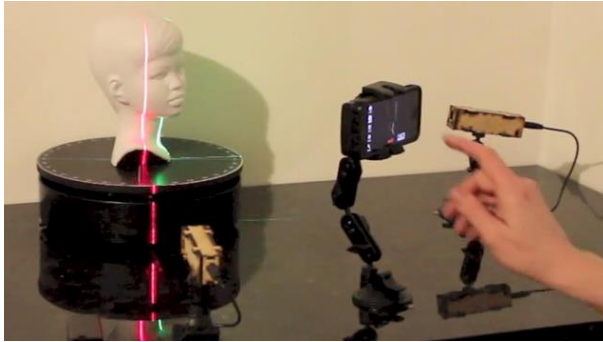
Figuur 0-4 Creaform Go!SCAN

Bron: <http://www.creaform3d.com/en/metrology-solutions/handheld-portable-3d-scanner-goscan-3d> geraadpleegd op 30 september

Lijn laser scanners

Lijn laser scanners gebruiken hetzelfde principe als lichtpatroon scanners. Hierbij word de projector vervangen door een lijn laser en is het patroon beperkt tot een of meerder laser lijnen. De goedkopere scanners maken vaak gebruiken een draai plateau om het object te roteren waardoor een 360 graden scan gemaakt kan worden. De duurder scanner bevatten geavanceerdere software om ook handheld scan te kunnen maken.

Alle lijn scanners hebben door het gebruik van laser moeite om glanzende en doorschijnende objecten te scannen. Een simpele oplossing om het te scannen object te coaten met witte poeder spray.



Figuur 0-5 Basis setup van een lijn laser scanner; Draaitafel, Camera, Lijnlaser(s), Moedls (Cancelled Kickstarter Project)

Makerbot Digitizer

De makerbot Digitizer is een lijnlaser scanner in combinatie met draaiplateau en software. De bijgeleverde software is eenvoudig en effectief. Scans worden via software gestart waarna aan het eind van scannen de puntenwolk in verschillende formaten kan worden opgeslagen. Ook kunnen er meerder aanzichten van een object worden gescand waarna de software de puntenwolken automatisch combineert, om zo een meer gedetailleerde scan te realiseren. De makerbot kan objecten scannen van met een diameter van 200mm en 200mm hoog. De prijs van de Makerbot is 800 euro.

Bron: <https://store.makerbot.com/digitizer>, geraadpleegd op 30 september

Rubitech Rubicon

De techniek achter de Rubicon is nagenoeg gelijk aan de Makerbot Digitizer. De Rubicon is nog in ontwikkeling. En kan voor een bedrag van 400 euro besteld worden en is daarmee veel goedkoper dan de Digitizer. De functies zijn grotendeels gelijk. De Rubicon kan ook kleuren scannen. De software die bijgeleverd word is niet opensource, de bijgeleverde hardware wel en er zal een API beschikbaar komen om de scanner zelf aan te sturen. De scanner kan object met een diameter van 165mm en 165mm hoog scannen.

Bron: <http://www.rubitech.org/> geraadpleegd op 30 september

Matter and Form 3-D scanner

De Matter and Form 3-D scanner toont gelijkenissen met de Digitizer en de Rubicon. Deze scanner kan evenals de Rubicon ook kleuren scannen. Het voordeel van deze scanner tegenover zijn concurrenten is dat de camera omhoog kan bewegen waardoor hogere objecten gescand kunnen worden. Deze scanner kan objecten van met een diameter van 180mm en een hoogte van 250mm.

Bron: <https://matterandform.net/> geraadpleegd op 30 september

Fotogrammetrie scanners

Fotogrammetrie is een technologie die al meer dan een eeuw bestaat. Fotogrammetrie is de kunst van het halen van informatie uit foto's. Fotogrammetrie scanners werken op basis van foto's als input. Door een of meerder foto's te maken van een object. Via software kan er een 3-D reconstructie gemaakt worden.

Daarbij word vaak rond een object gefotografeerd waarbij de aanzichten voor een gedeelte overlappen. Door deze overlapping kan de positie van de camera en de vorm van het object bepaald worden. Voor deze berekening zijn er algoritmes welke binnen twee foto's punten kunnen waarnemen welke op beide foto's zichtbaar zijn. Door de verplaatsing van de punten ten opzicht van de twee foto's kan de geometrie van de gefotografeerde ruimte of object bepaald worden.

Autodesk 123-D catch

123-D catch is een 3-D scanner van Autodesk voor de niet professionele markt. 123-D catch is een software programma welke gebruikt maakt van de 'Cloud'. Om een scan te maken, maak je met een willekeurige camera foto's rondom het te scannen object. Deze foto's kan je inladen in Autodesk 123-D Catch waarna dit programma de foto's upload naar servers van autodesk's. In de cloud (op de servers van Autodesk) word er een 3-D model gegenereerd aan de hand van de foto's. Het 3-D model wordt vervolgens uit de cloud gedownload door autodesk 123-D catch.

Bron: <http://www.123dapp.com/catch> geraadpleegd op 30 september

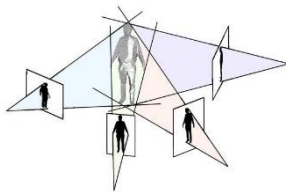
VisualSFM

VisualSFM is een programma die hetzelfde doet als 123-D catch echter worden de berekening hier lokaal op de computer gedaan in plaats van een berekening in de cloud.

Bron: <http://ccwu.me/vsfm/> geraadpleegd op 30 september

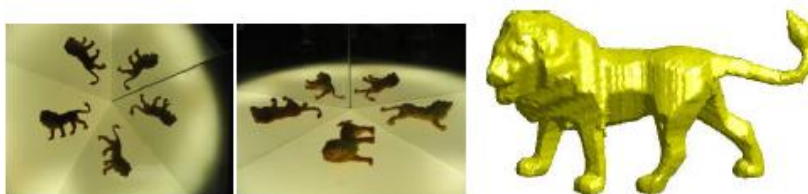
Shape from Silhouette (SFS) (visual hull representation)

SFS is een methode om een 3-D model te generen aan de hand van verschillende silhouetten van een object. Er worden foto's gemaakt vanuit verschillende hoeken. Uit deze foto's word het silhouet gehaald. Dit silhouet wordt daarna gebruikt om een 3-D model te generen. Dit wordt ook wel een Visual Hull genoemd



Figuur 0-6 Genereren van een Visual Hull

Keith Forbes heeft een methode en Matlab programma ontwikkeld waarmee dit proces versimpeld is. Door de versimpeling is er geen kalibratie nodig, en kunnen de foto's uit de hand worden genomen. Voor het maken van een scan zijn alleen twee spiegels, een camera en een computer met Matlab nodig.



Figuur 0-7 Visual Hull door middel van twee silhouet sets

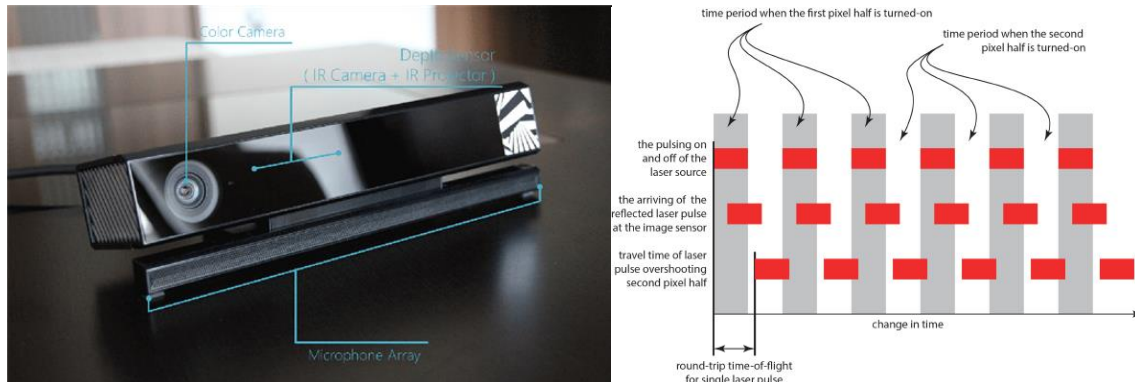
Bron matlab script: <http://www.dip.ee.uct.ac.za/~kforbes/DoubleMirror/DoubleMirror.html> geraadpleegd op 30 september

Overige scan-technieken

Naast licht patroon en fotogrammetrie 3-D scanner bestaan er ook nog ander technieken die hier behandeld zullen worden.

Kinect v2

Inmiddels is er tweede versie uit van de Kinect, deze Kinect maakt gebruik van een andere techniek namelijk time of flight.

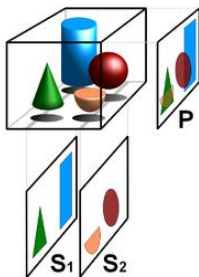


Figuur 0-8

Bron: <http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/meetkinect/features.aspx> Geraadpleegd op 30 september

Tomografie en slice scanners

Tomografie en slice scanner hebben allebei gemeen dat ze een model opdelen in plakken (slices). Hoe het model wordt opgedeeld in plakken verschilt per methode. Deze plakken worden met behulp van software weer omgezet tot een 3-D model. Bekende tomografie scanners zijn onder andere, CT scanners, MRI Scanners en PET scanners. Echter zijn deze scanner duur, groot en complex. Er zijn echter ook andere methodes om een object op te plakken.



Een van die andere methode is de Milkscanner. Een object wordt in reservoir geplaatst, waarna in verschillende stappen kleine hoeveelheid niet doorzichtige vloeistof wordt toegevoegd. Na elke stap wordt een foto gemaakt. Zo deelt de vloeistof het object op in kleine plakjes.



Figuur 0-9 Milkscanner proces

Bron: <http://milkscanner.moviesandbox.net/> geraadpleegd op 30 september

Appendix B - Diverse experimenten met verschillende 3-D scanners

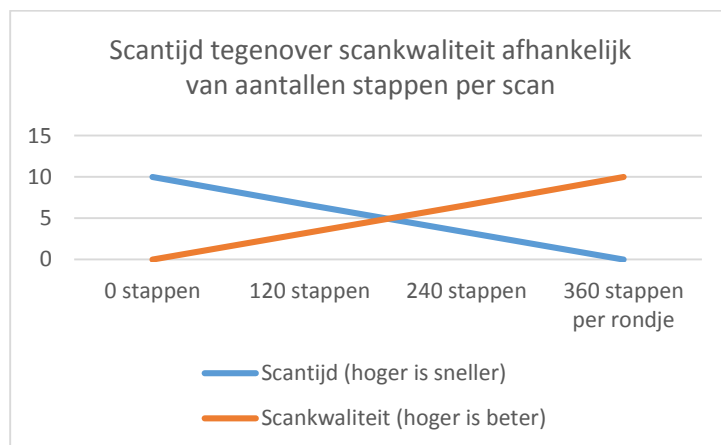
Enkele technieken zijn getest om te zien of deze technieken eventueel geschikt kunnen zijn om te gebruiken in het kader van deze ontwerpopdracht.

Makerbot test

De Makerbot Digitizer is getest door een serie van scans uit te voeren. Tijdens deze test zijn er RSFF modellen van studenten in ingescand.

De Makerbot verkoopt de Digitizer als een betaalbare en gemakkelijke 3-D scanner. Met deze verkoop argumenten zou de scanner goed binnen RST passen, echter blijkt dit niet het geval te zijn. Er vallen een aantal punten op aan het gebruik van deze 3-D scanner. Ten eerste is de prijs nog fors, namelijk 950 euro *(bron, geraadpleegd op). Ten tweede is de scantijd van de scanner vrij lang met een tijd van negen minuten per scan. Ten derde laten niet alle materialen geschikt om te scannen. Materialen welke eigenschappen hebben als doorzichtig, glanzend, zwart of een pluizige textuur zich niet goed scannen. Als laatste kan gesteld worden dat de user interface heel simpel gehouden is. Dit heeft voor en nadelen. Er zijn maar twee 'clicks' nodig om een scan te starten. Daardoor is het voor iedereen vrij eenvoudig om te gaan scannen. Echter zou in het kader van de eisen van RST het handig zijn geweest als er een optie was om een scan te maken die van mindere kwaliteit is, maar wel sneller genomen kan worden.

Als we naar het principe van deze scanner kijken kunnen we aannemen dat als we het aantal stappen per rondje verlagen wat ten koste gaat van de scankwaliteit maar ten goede komt aan de scantijd.



Figuur 0-1

Berekeningen lijn laser scanner.

We zouden de scantijd kunnen verkorten door minder foto's te nemen. Stel dat de scantijd afhankelijk is van het aantal foto's wat je neemt en hoe snel je een foto kan maken, dan krijgen we de volgende formule:

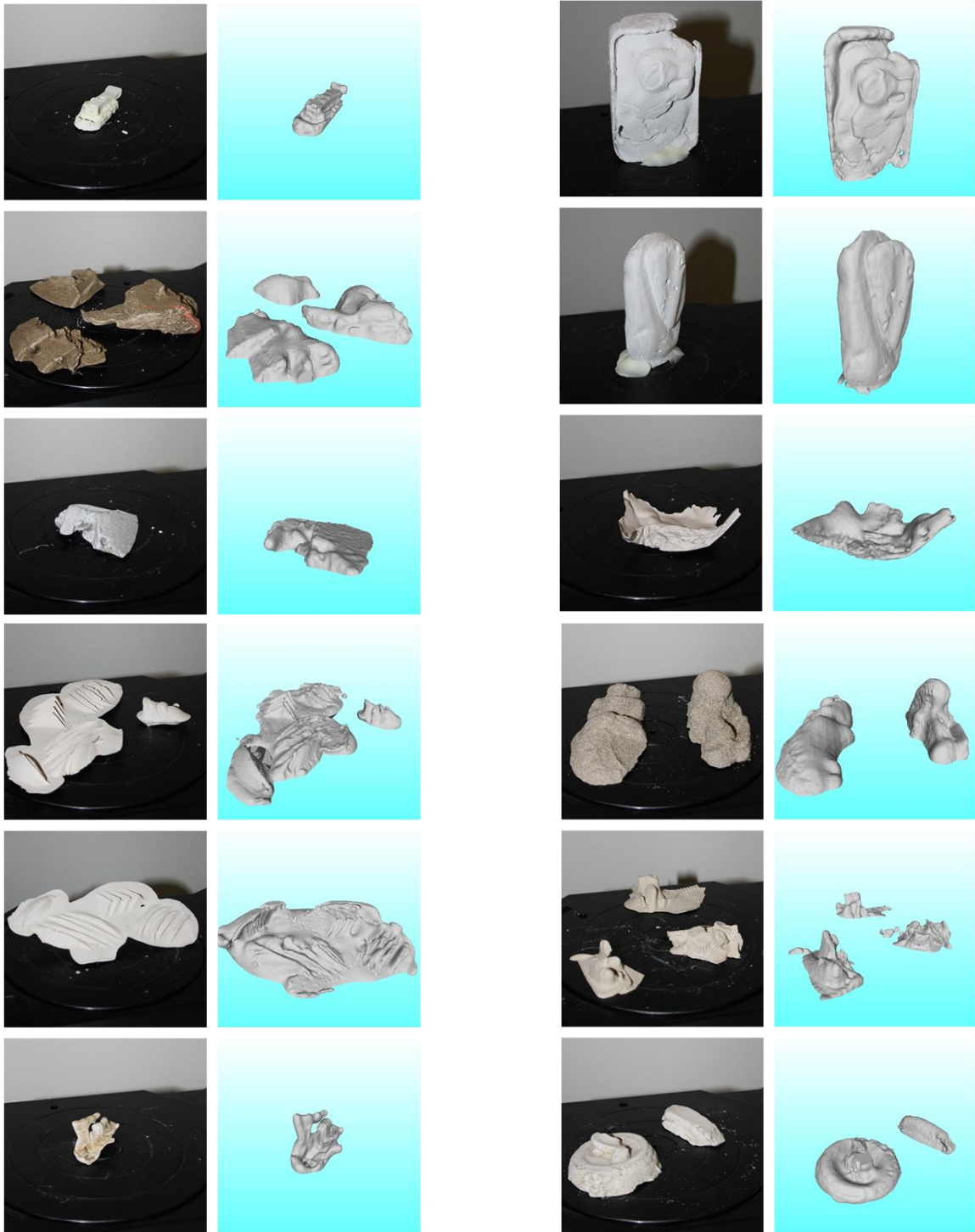
$$\text{Scantijd} = (\text{aantal foto's}) \times (\text{rotatiesnelheid} + \text{fotosnelheid})$$

Bij 8 foto's betekend dat:

$$8 \text{ foto's} \times (1s + 1s) = 16 \text{ seconden}$$

Dat is nog steeds een aanzienlijke rekentijd en samen met de benodigde componenten, camera, draaiplateau en laser nog niet ideaal.

Scan resultaten makerbot test

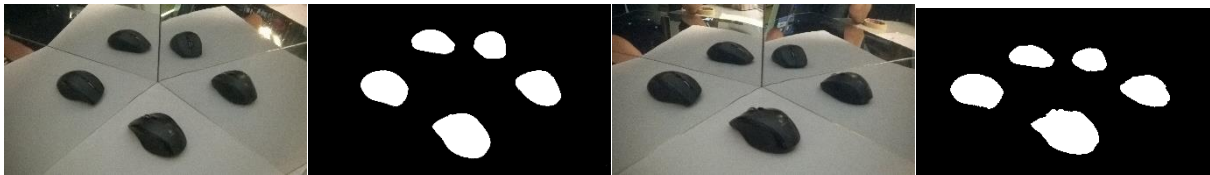


Shape from Silhouette (SFS)

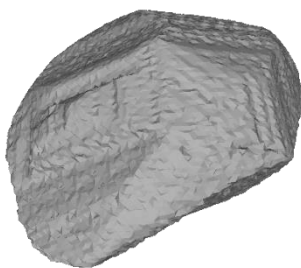
SFS is techniek die onder ander gebruikt is door Keith Forbes. Keith Forbes heeft een PhD gedaan en onder ander deze techniek gebruikt in zijn onderzoek. Door hem is ook een Matlab programma online gezet. Dit Matlab programma kan een bewerkte foto van een dubbele spiegel opstelling gebruiken om een 3-D model te generen. Dit Matlab programma is getest om te kijken welke mogelijkheden deze techniek heeft.



Gebruikte opstelling voor het maken van een foto.



Het Matlab programma gebruikt een zwartwit afbeelding met de silhouetten om een 3-D model te kunnen generen. Hierbij moet de achtergrond zwart zijn en de voorgrond wit. Met behulp van Photoshop is de foto tot de gewenste format bewerkt. Hieronder zien we het model dat het Matlab programma heeft gemaakt.



Matlab deed er gemiddeld ongeveer 30 seconden over om een 3-D model te generen van deze zwart wit afbeeldingen. De resultaten zijn veel belovend. Reken tijden liggen rond de 30 seconden met twee 12MP foto's

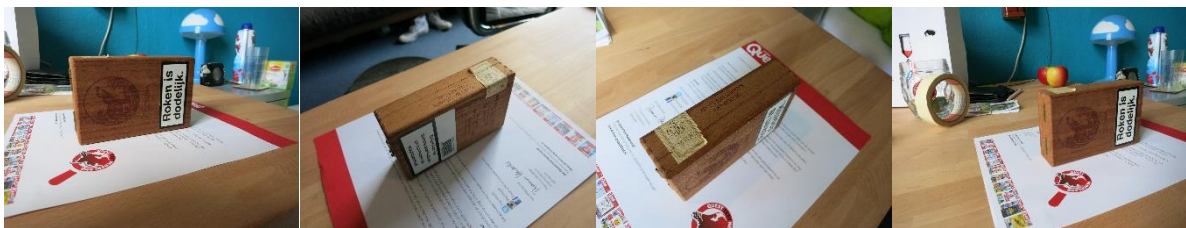
Autodesk 123-D test

Autodesk 123-D catch is een programma welke aan de hand van een serie foto's rondom een product een 3-D model kan generen. Er is test gedaan met een sigarendoosje. Daarbij zijn 49 foto's rondom

het sigarendoosje geschoten. In autodesk 123D catch geüpload en na 7 minuten kon er een 3-D model gedownload worden. Ook is er een test gedaan met een appel. Echter doordat de software niet genoeg herkenningspunten in deze foto's kon vinden is hiervan geen 3-D model gerealiseerd.



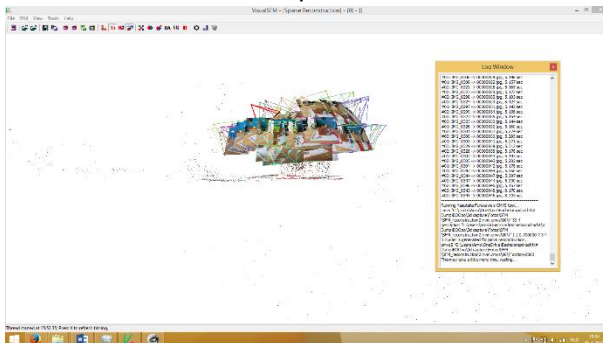
Aanzichten van digitaal 3-D model



Selectie van de foto's die gebruikt zijn voor maken het 3-D model

Visual SFM test

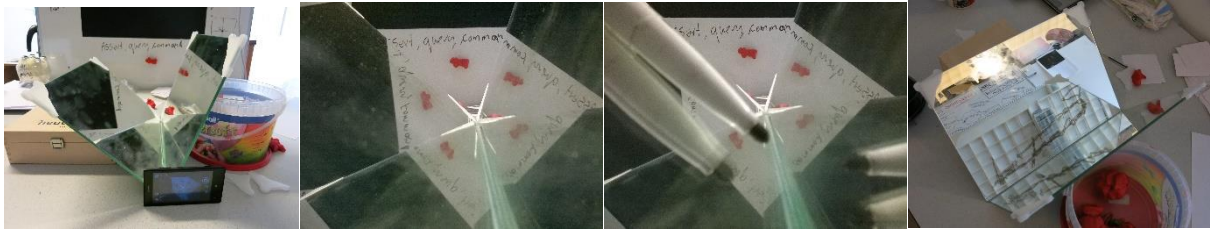
Op een laptop met i5 540m processor en een Nvidia 5100m grafische kaart heeft een berekening op 49 foto's meer dan 3 uur gedraaid, waarna er nog steeds geen resultaat was. Terwijl met autodesk 123-D Catch binnen een paar minuten een model berekend was.



Appendix C – SFS Experimenten

Verkleinen spiegel oppervlak

Er is een poging gedaan om het spiegel oppervlak te verkleinen, zie de proefopstelling hieronder.



De hypothese is het plaatsen van spiegels dicht bij de camera er voor zorgt dat er minder oppervlak aan spiegels nodig is. In de 4^e foto geven de lijnen aan welk oppervlakte van de spiegel nodig was in deze opstelling.

Deze opstelling toont aan dat de oppervlakte van de spiegel inderdaad verder geminimaliseerd kan worden. Maar deze opstelling zorgt er ook voor dat de camera onder een minder optimale hoek staat. Ondanks dat het oppervlakte van de spiegel verkleind is. Is de opstelling in zijn geheel veel langer geworden. Doordat de opstelling groter wordt, en de fotohoek niet meer optimaal is, is deze opstelling geen verbetering van het origineel.

Spiegelhoek

Als de spiegels zo geplaatst worden dat er een even aantal silhouetten (zie 4 en 6) ontstaan treden er twee ongewenste effecten op. Het eerste effect is dat het achterste object twee keer gecreëerd wordt. Ten tweede is in de hoek van de spiegel altijd een 'spleet/randje' zichtbaar, welke een lijn creëert tijdens het maken van foto. Deze lijn zal zich dan altijd op silhouet bevinden. Omdat het achterste silhouet zich virtueel achter de lijn bevindt.

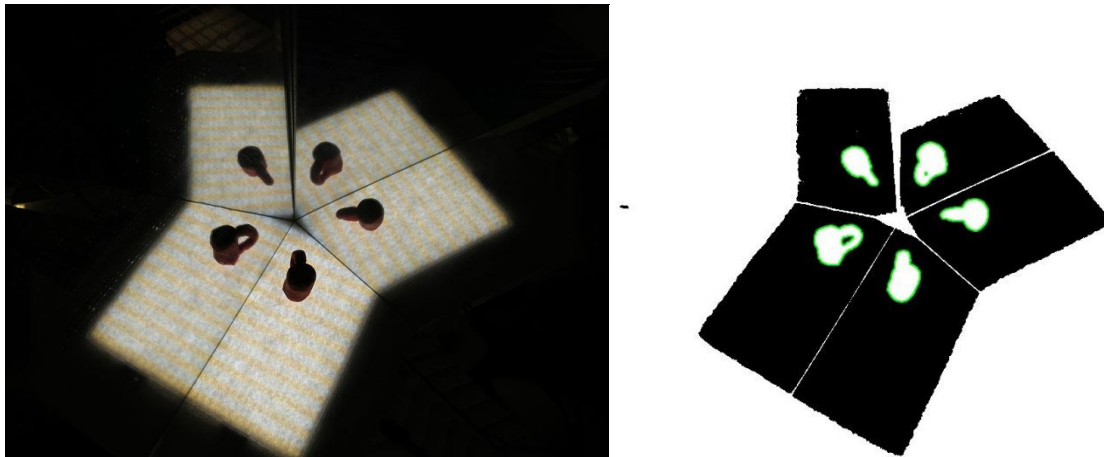
Als we voor minder dan 5 gaan betekent het dat we een model uit minder silhouetten moeten creëren waardoor de kwaliteit van de scan achteruit gaat. Voor 7 silhouetten wordt de hoek dermate small dat er niet veel ruimte overblijft om een silhouet te plaatsen. Ook zal er op de foto weinig ruimte zijn om een object zo neer te zetten dat de silhouetten elkaar niet overlappen.



Zwart is spiegel, Rood is echt object. Zie vooral hoe een gelijk aantal zorgt voor dubbele weergave en hoe klein de hoek wordt bij zeven silhouetten.

Principetest silhouet selectie

Met behulp van Processing is geprobeerd om te onderzoeken of het inderdaad mogelijk is om met behulp van software de juiste silhouetten te selecteren. Processing is een ontwikkelomgeving. Met behulp van de library blobscanner* was het mogelijk om dit te realiseren. In de afbeelding hieronder zijn de geselecteerde silhouetten groen omcirkeld



Selectie van silhouetten door processing (rechts)

* www.sites.google.com/site/blobscanner

Rekentijden test SFS

Testresultaten Matlabscript 'double mirror'

Silhouet set	Silhouet A-1		Silhouet A-2		Silhouet B		Silhout A gecombineerd	
Pixelgrote foto	300*400	3000*4000	300*400	3000*4000	300x400	3000*4000	300*400	3000*4000
Tijd in seconden	8.40	10.29	6.31	8.21	6.12	7.98	7.90	16.71
	8.03	10.48	6.22	8.03	6.00	7.89	7.89	16.11
	8.21	10.13	6.46	7.99	6.10	8.00	8.14	16.67
	8.33	10.10	6.25	8.01	6.41	8.06	7.97	16.12
	7.99	9.99	6.24	7.99	6.09	7.96	8.12	16.19
Gemiddeld in seconden	8.19	10.20	6.30	8.05	6.14	7.98	8.00	16.36
Vershil in seconden	2.01		1.75		1.83		8.36	

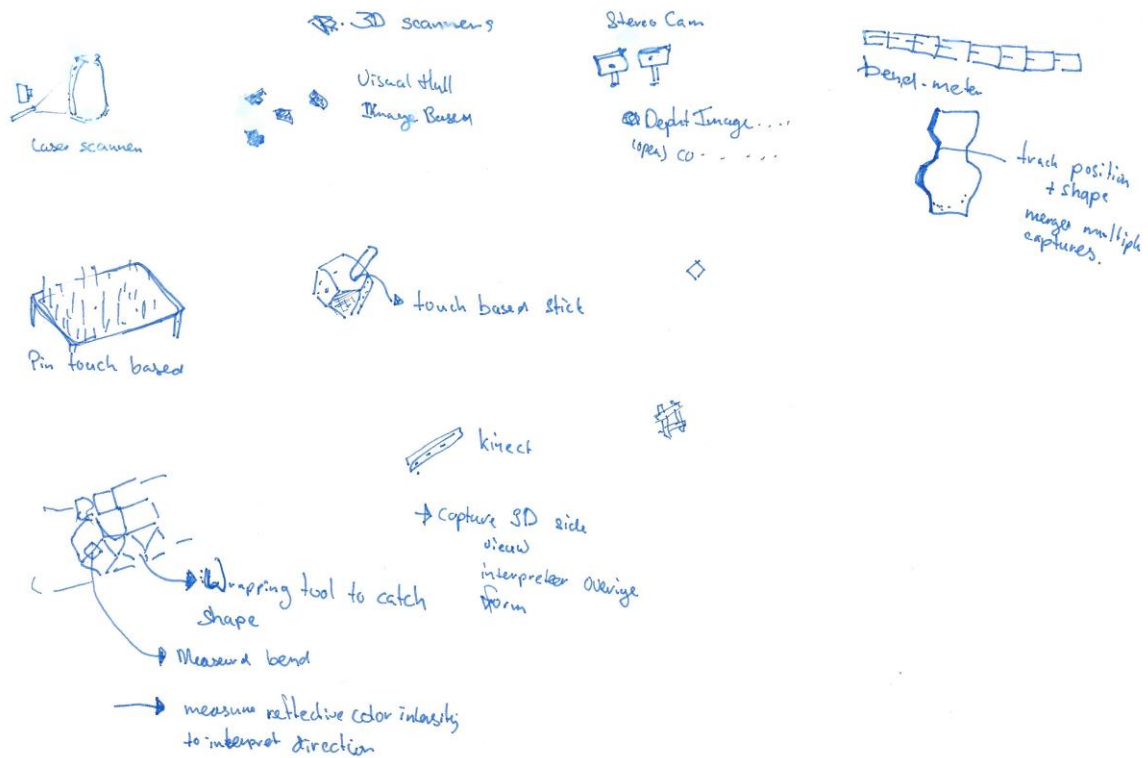
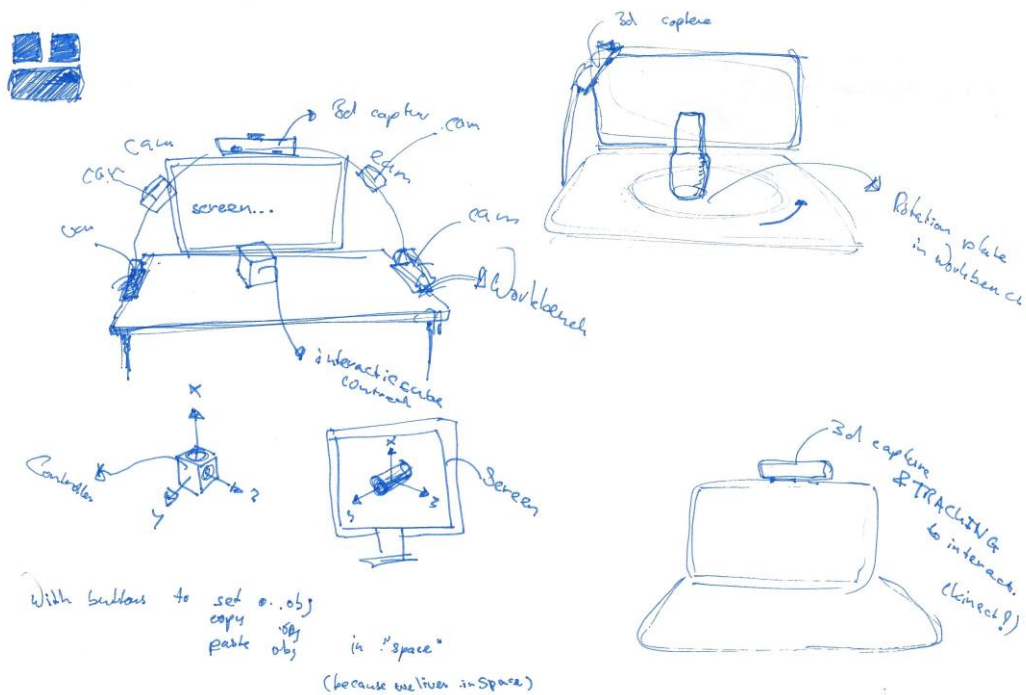
Gemiddeld enkele foto klein
6.88

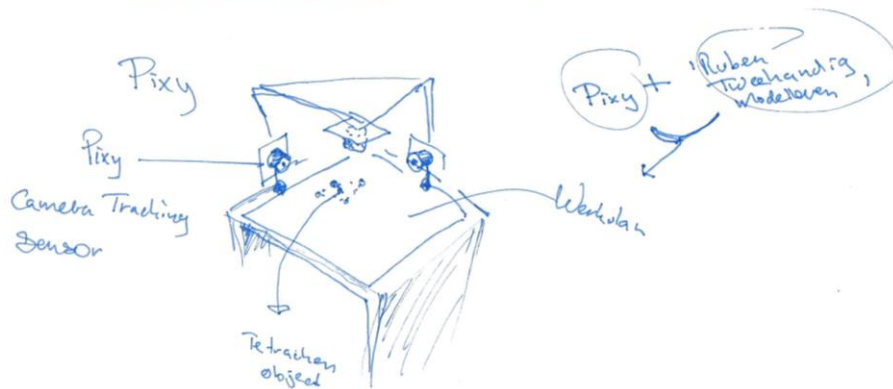
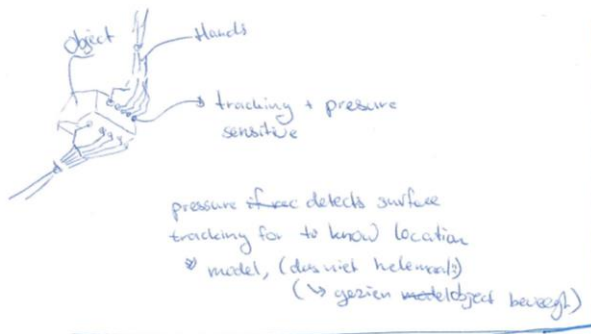
Gemiddeld enkele grote foto
8.74

Gemiddeld verschil (enkele foto's)
1.86

Appendix D - Schetsen

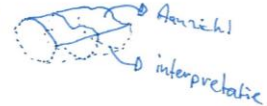
Alternatieve 3-D scan mogelijkheden



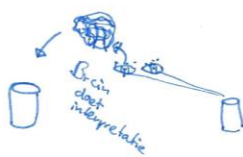


Iteratie die op het scherm wordt geïnterpreteerd als representatie:

Laser line sweep → interpreteer aanzicht naar 3D of stereo view



3D scannen op een andere manier



en representatie
Waarnemen op een 3D manier



Welke informatie ga je gebruiken?

Exact → fotogeometrie naar 3D → grof 3D waarnemen algoritmes tot achterwege laten
Ongeveer → silhouet interpretatie naar 3D
Onnauwkeurig → Kleur of vorm vertalen naar 3D

lightweight programming

touch based
Track fingers so use finger tips for point to make cloud

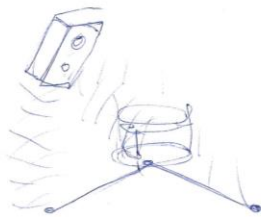


6 punten

3D vorm met 6 punten



Object track + finger top track
← COMPLEX for modelling



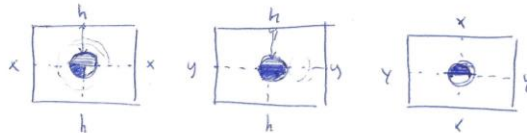
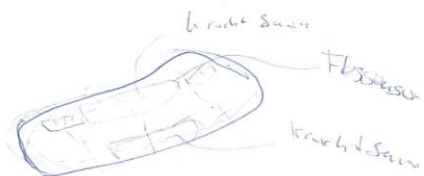
"gps-positie"
+
"hoek camera"
+
"richting"

Pointcloud of camera
positions.

Combi van
Scan en 3d program



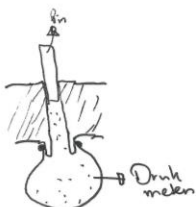
Wii . techniek?



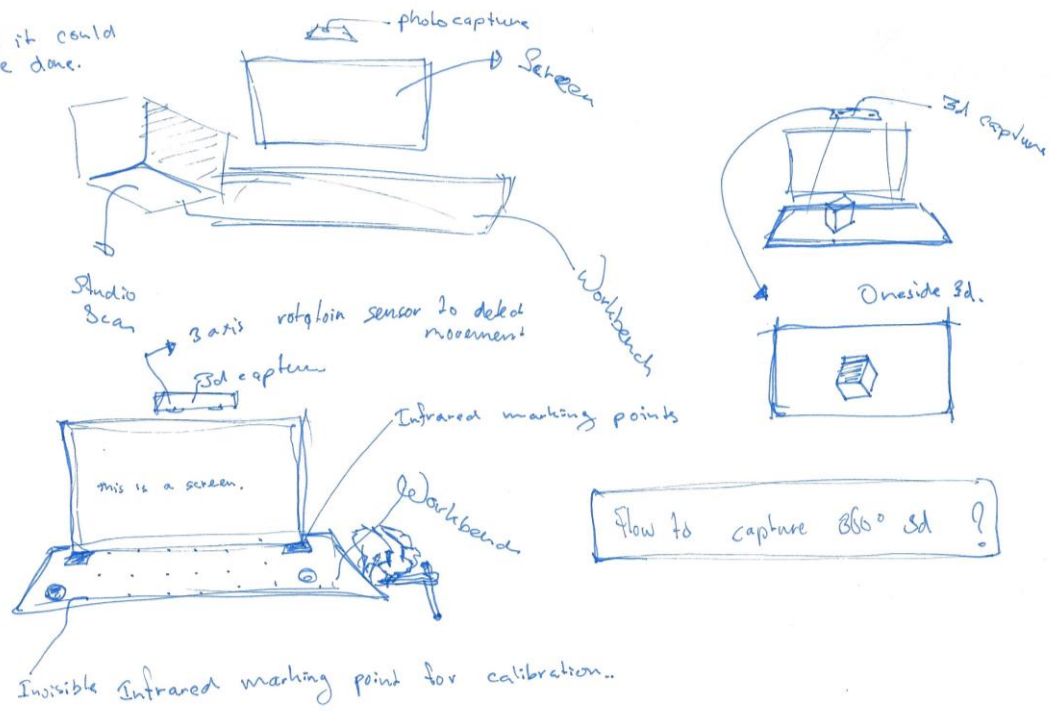
2 beelden $h=h'$



pinnetbed
om vorm
vast te leggen



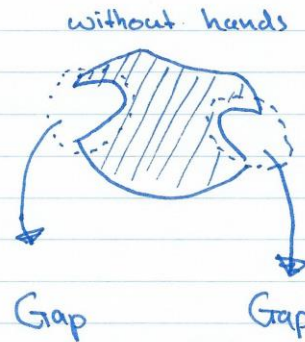
How it could
be done.



- a shattered perfection crafting
The first row is ~~a~~ perfect aligned
the second the square is given a random offset and rotation
which increase each row.



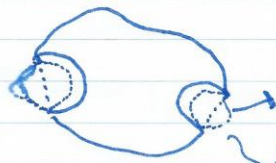
with hands



Fill Gap with points (bubbles) randomly
how further away from know point how greater the randomness
eventually the user can recreate the model with different
interpretations.

POP $\Rightarrow$ drie aanzichten $\Rightarrow$ "stitches"

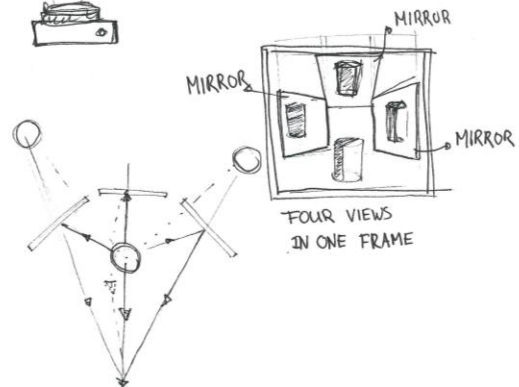
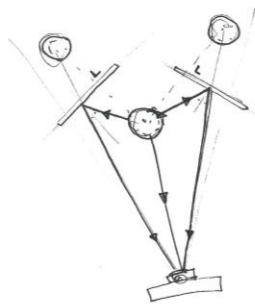
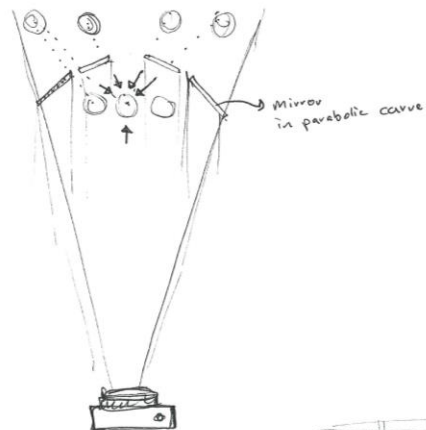
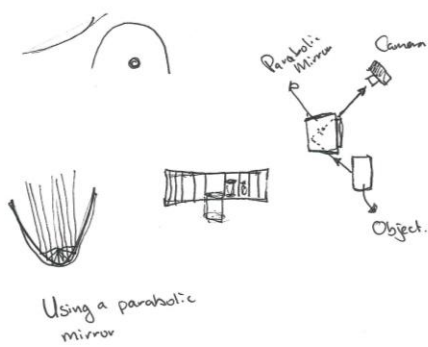
2D



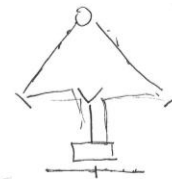
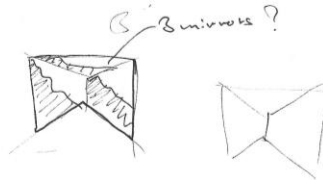
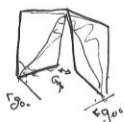
lijn is de te vullen contour
dikke lijn is de min max $\rightarrow$ randomness

Alternatieve Spiegel opstelling

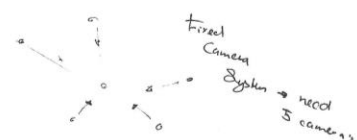
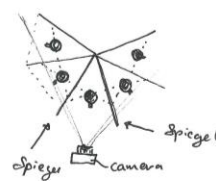
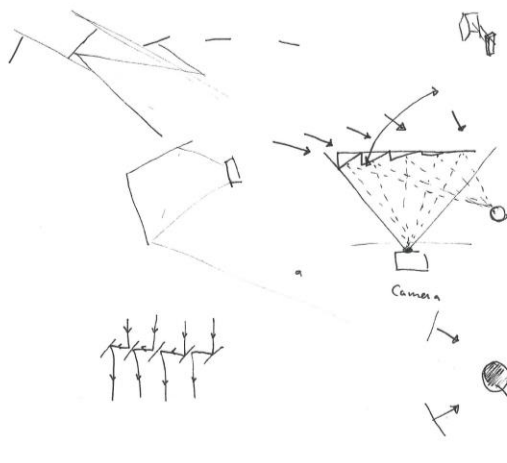
Parabolic



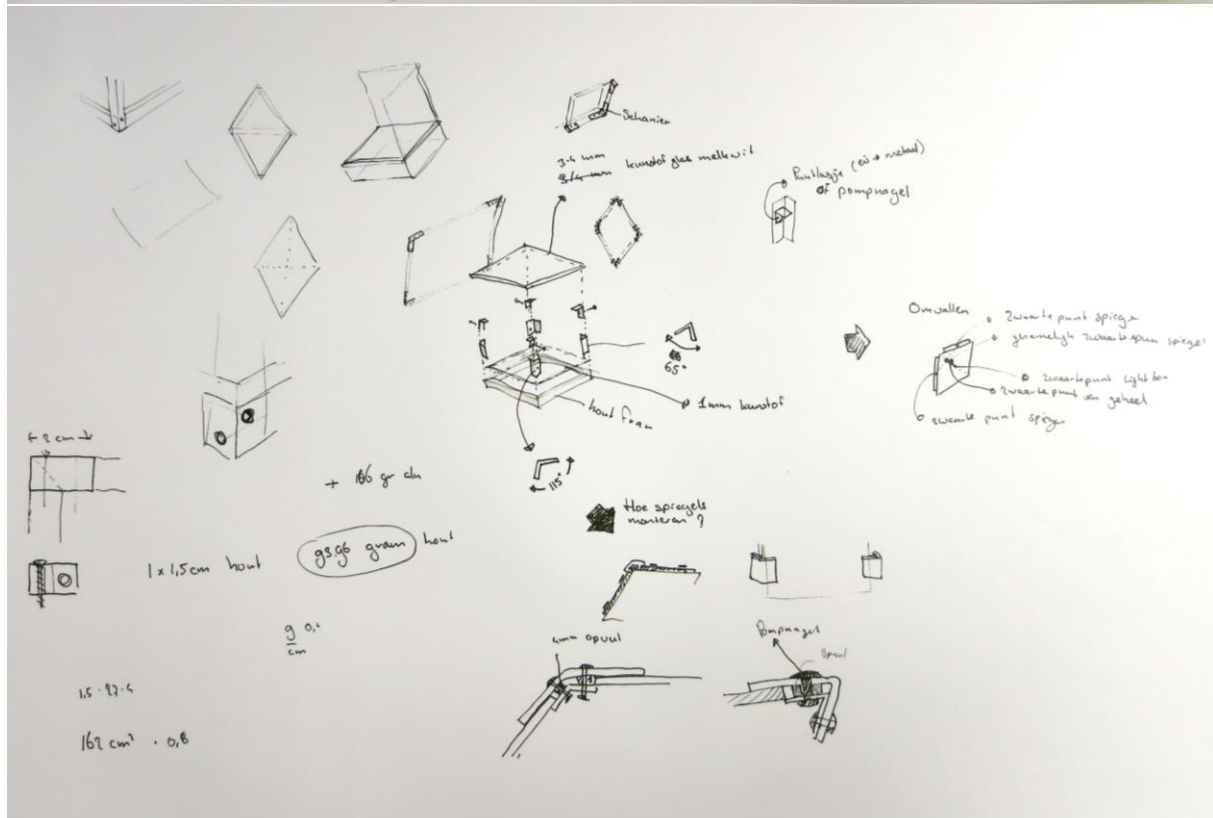
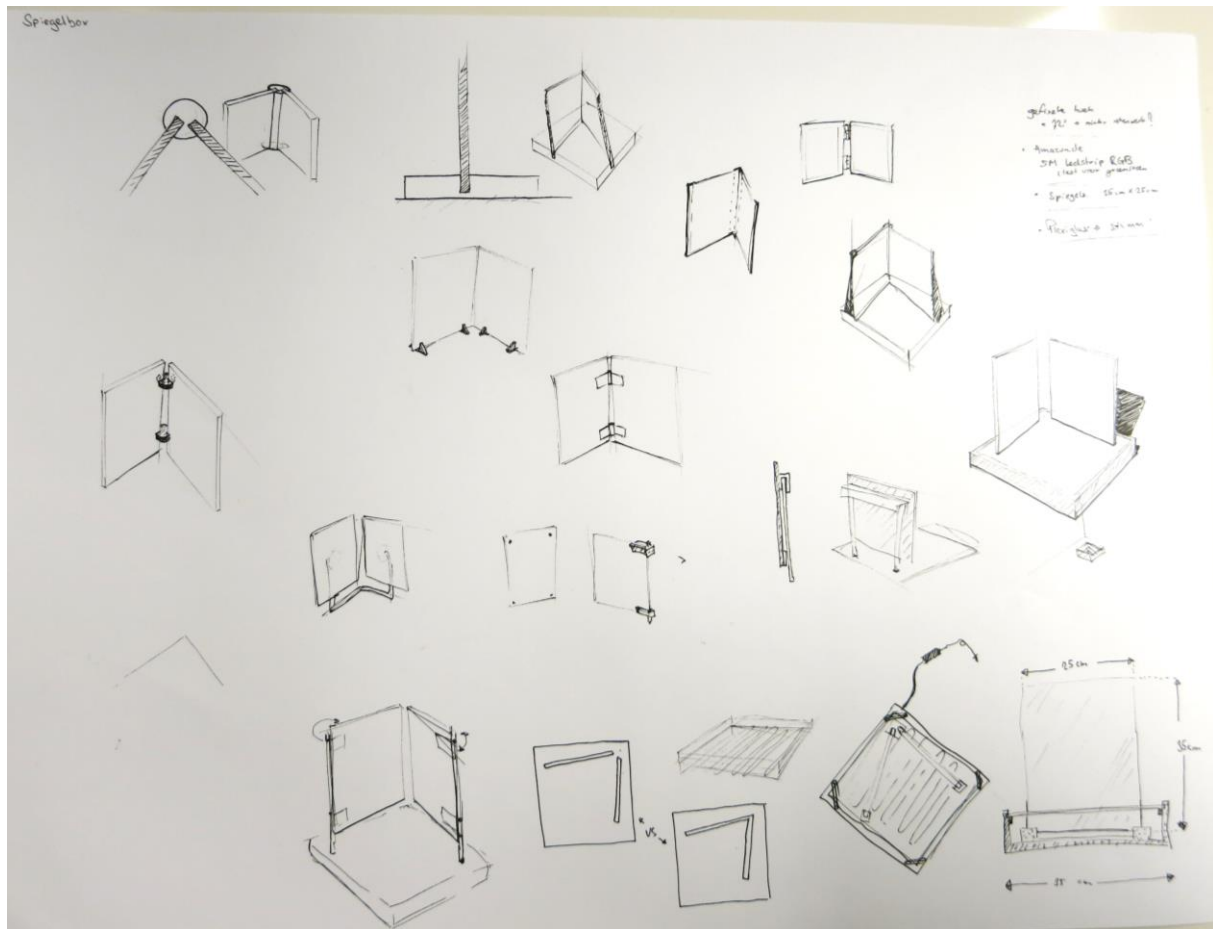
het creëren van een meerdere aanzichten

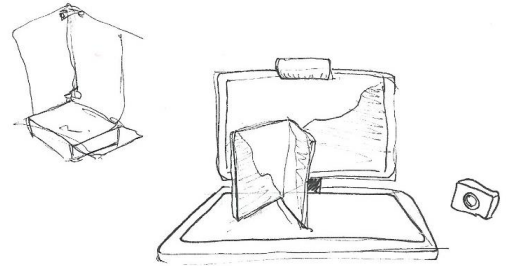
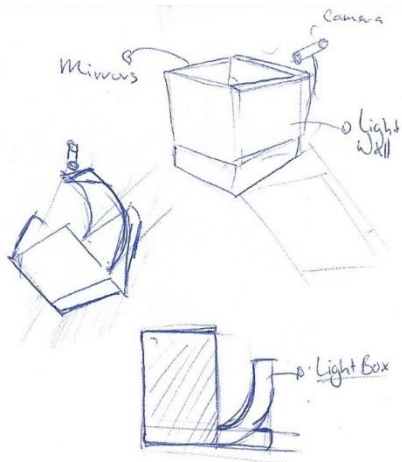


mini-portable scanner

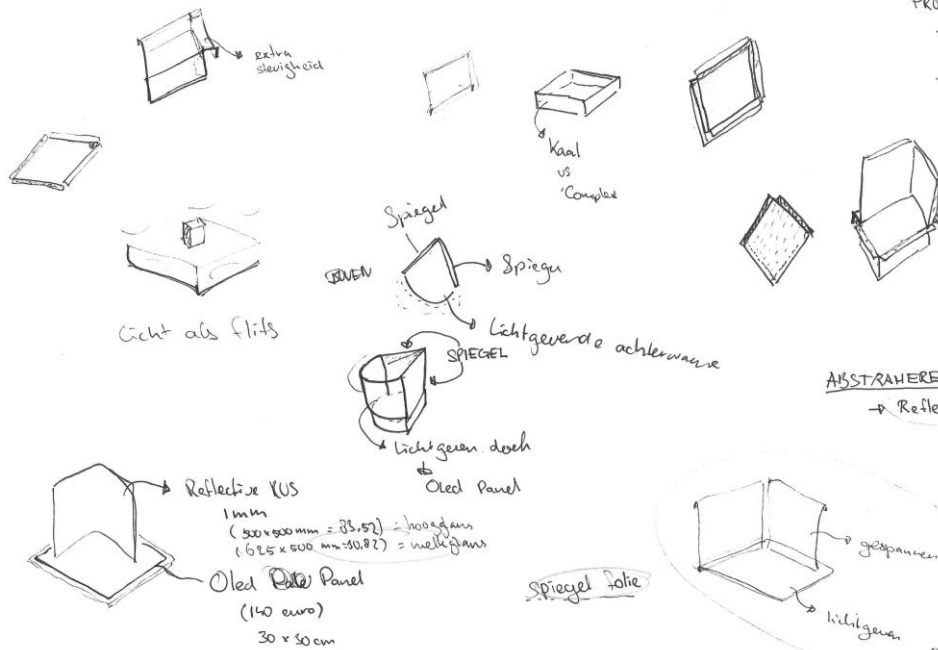


Idee schetsen





- SPIEGELS + SCHANIER
- LICHTBOX IN WERKBLAD
- LOSSE CAMERA



PROBLEMEN

- Lichtspot tussen spiegels en achse
- Doorzetting van Werkplaat

AFSTRAHEREN

- Reflecties van silhouetten
- ↳ Hoe gaan we dat creëren dat is de ontwerp vraag

Realiteit → Ideaal zijn

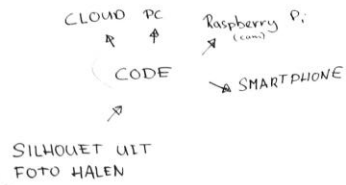
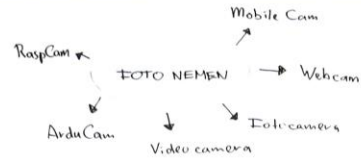
WELKE COMPONENTEN

WELKE FUNCTIES

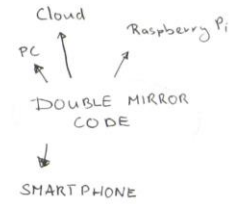
- FOTO NEEMEN
- ~~FOTO BEW~~ SILHOUET UIT FOTO HALEN
- "DOUBLE MIRROR BEREKENING"
- 3D MODEL AANLEVEREN

OPLOSSINGS RUIMTE

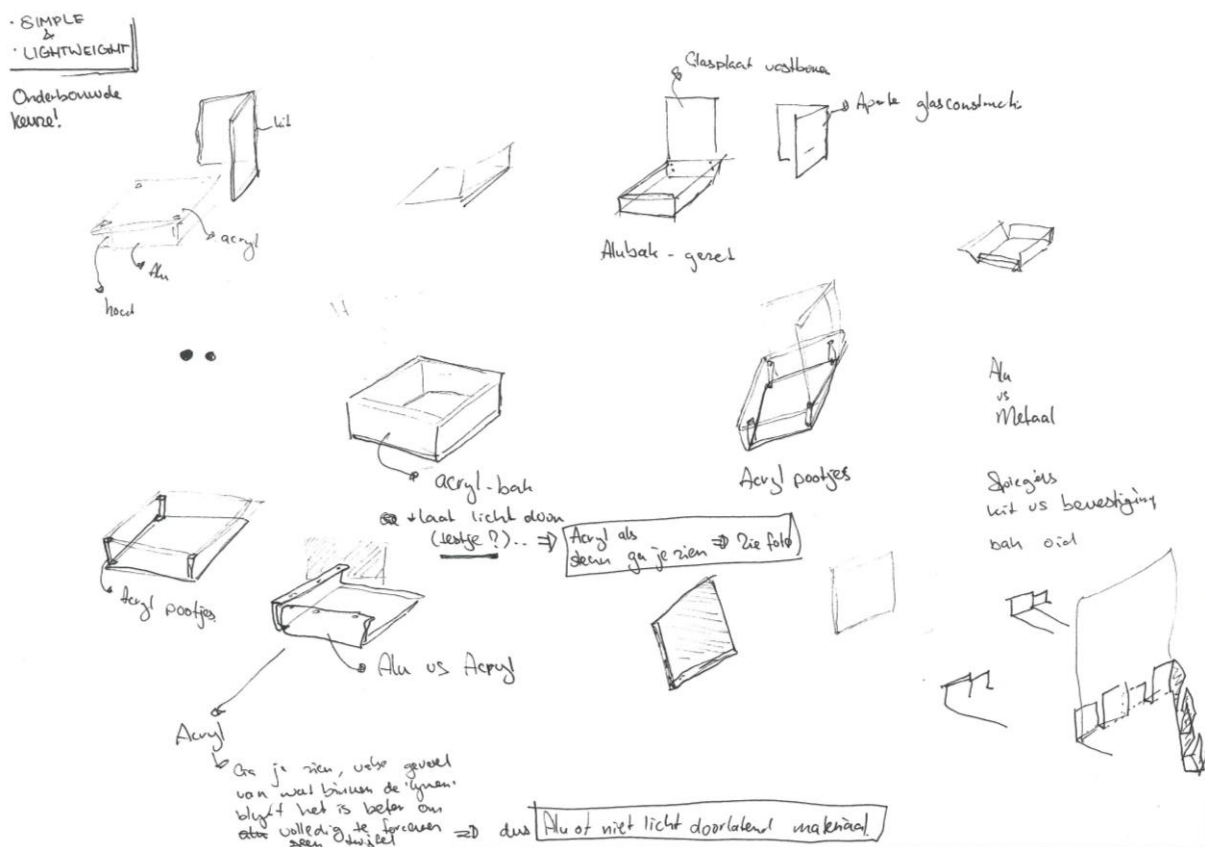
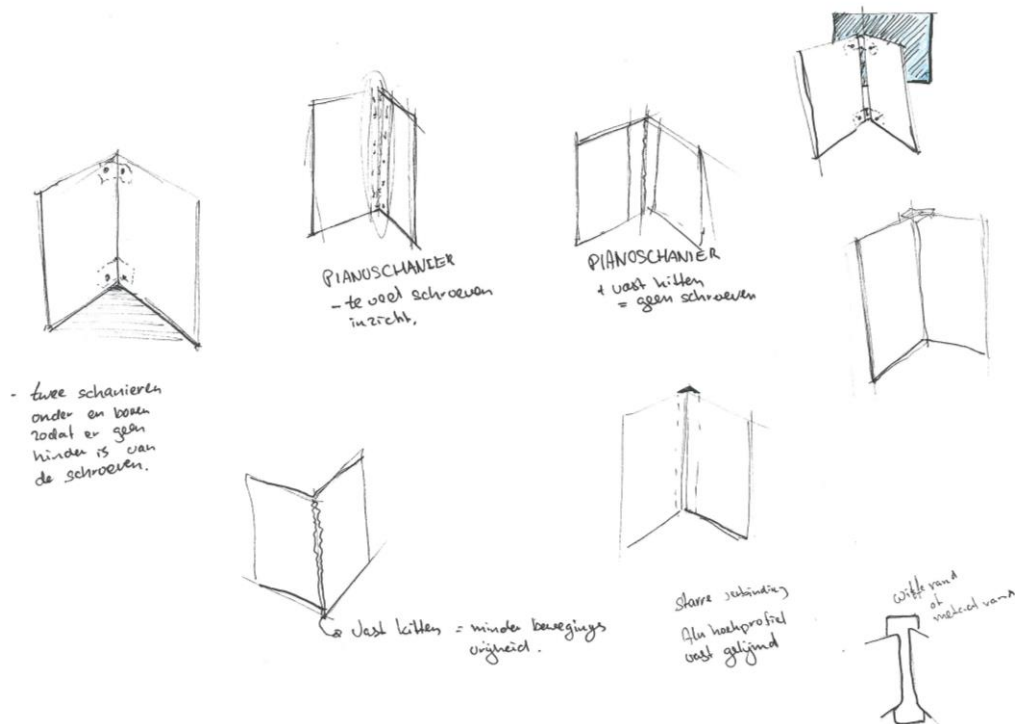
- CLOUD
- PC
- SMARTPHONE
- RASPBERRY PI

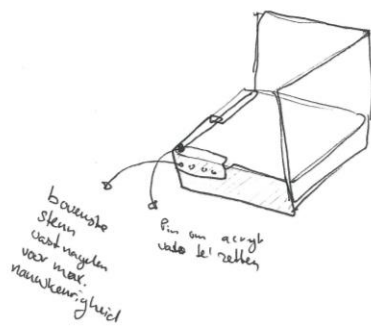


3D-MODEL
AFLEVEREN



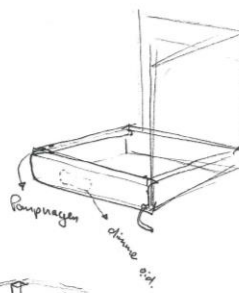
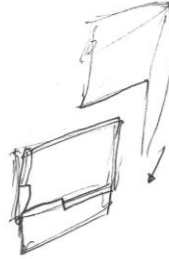
Concept schetsen



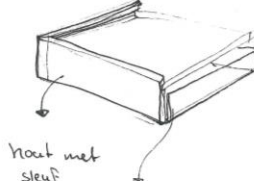


bouwste sken
vervangelen
voor met.
naauwkeurigheid

Pin om deurt
vold te zetten



Pompnagels
dome est



hoort met
sleuf

Afplaat
Rand geset voor spiegel

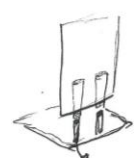
- minder koeling

Gewicht?

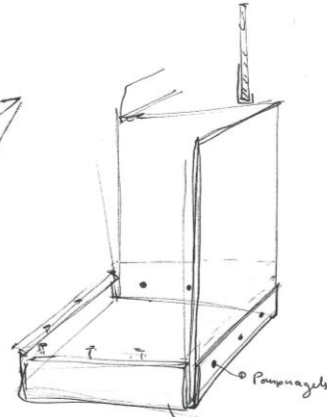
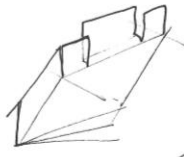
Reum Multi vs Xum Alu



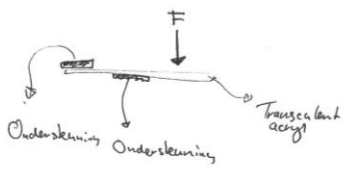
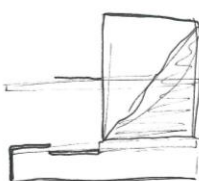
Gewicht besparing?
vallen met
Xum kunststof
Significant.



Potkone

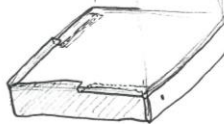


Achbogen Alu



Ondersteuning
Ondersteuning

Trausculand
deigt



Alu-bak rekken
+ een geheel
+ geen schroeven
- minimale afwijking bezet
anders gemiddeld

Spiegel
schuiven / klinken
is die vaste hoch
gewaarborgd.

4,5 mm

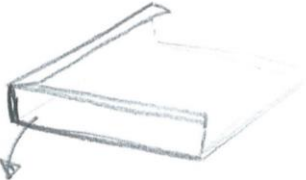
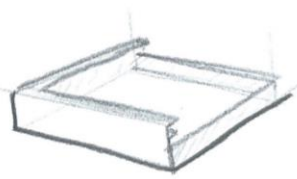


Vanit's

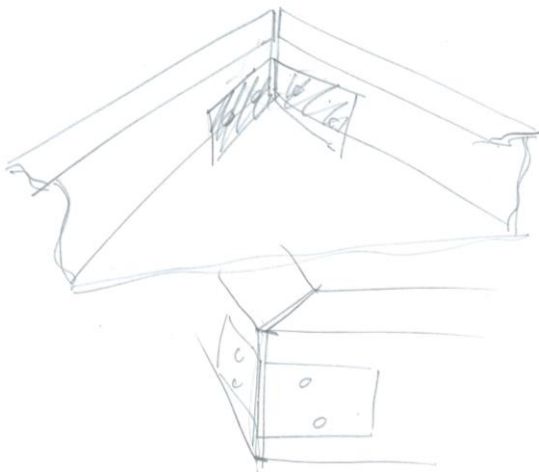
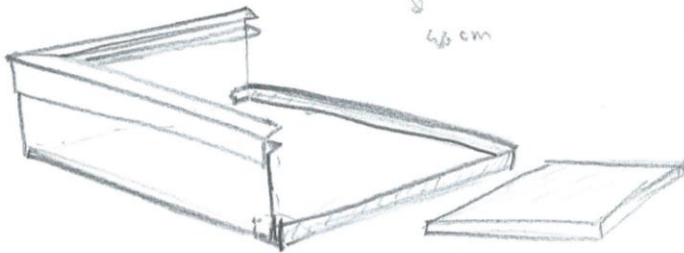
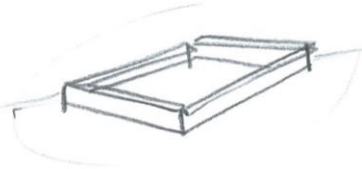
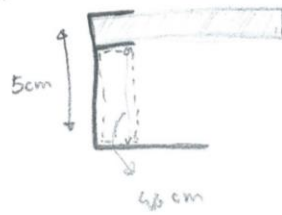
=) 89,177 graden



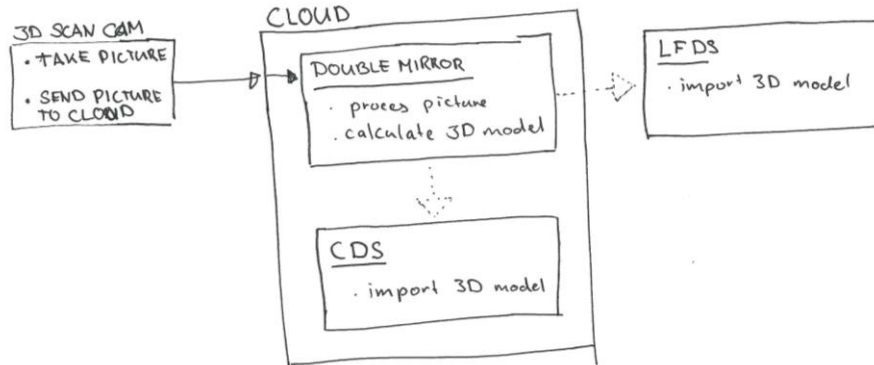
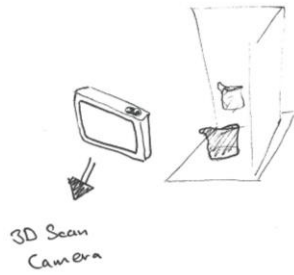
Dunner
Material



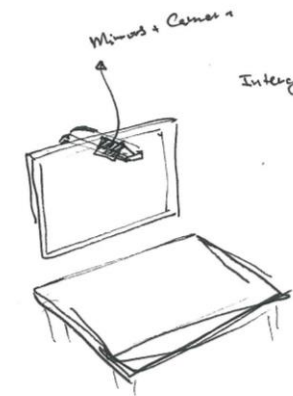
Dik material
Stevig



COLLABORATIVE DESIGN SPACE

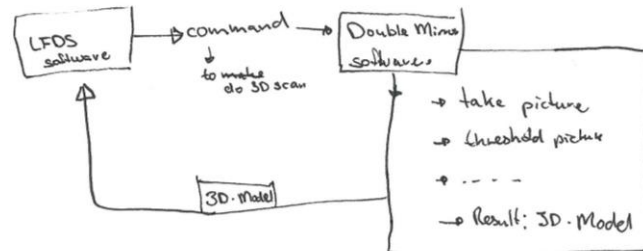


1.

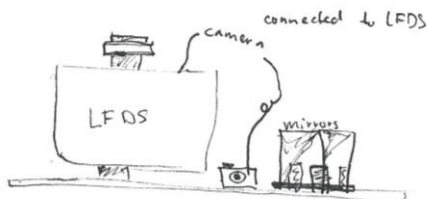


Integrated is NetLFDS

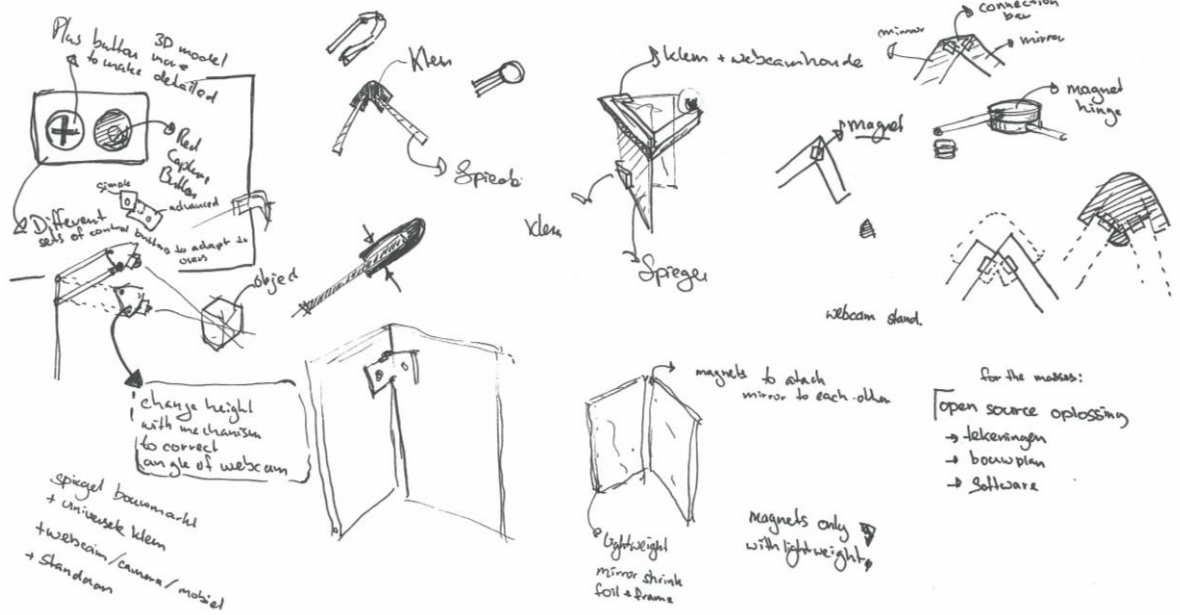
INGEBOWDE HARDWARE



2.



EXTERNE HARDWARE



model i.e.m. app → Westerse Model ideal
 (app → sensor)
 webcam i.e.m. pc (prog → sensor)
 (website)

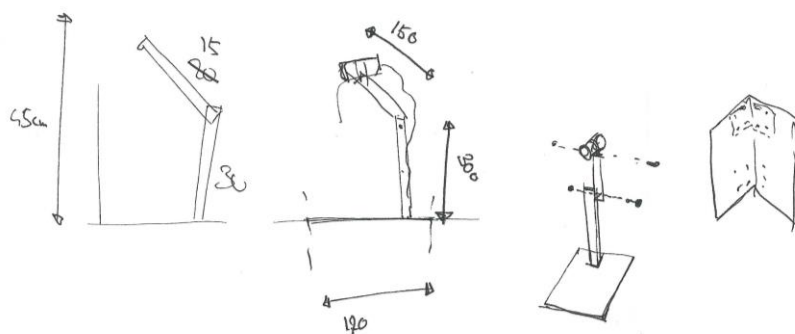
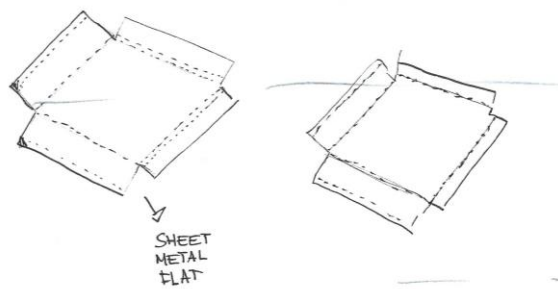
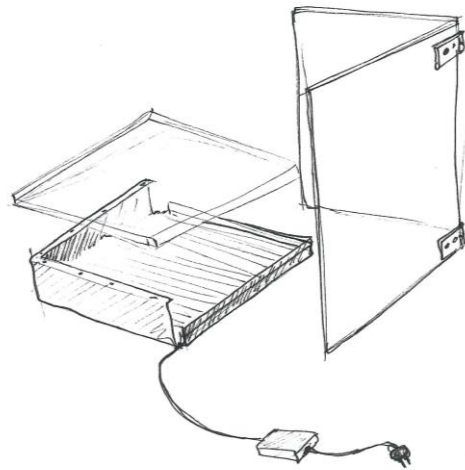
Imaginair
 Raster

Public
 website toevoeging
 → server
 → download

[CDS] in specific tool

if it's wacker op website →

Definitief Ontwerp schets

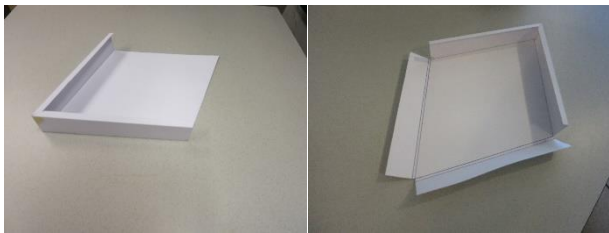


Appendix E – Papiermodellen



Figuur 0-1

Het ontwerp blijkt meer materiaal te hebben dan nodig is



Figuur 0-2

Materiaal vermindering



Figuur 0-3

Iteraties op het vasthouden van het plexiglas



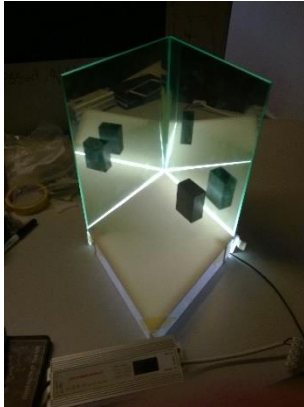
Figuur 0-4

Nog veel vouwen in de hoek, is versimpeld



Figuur 0-5

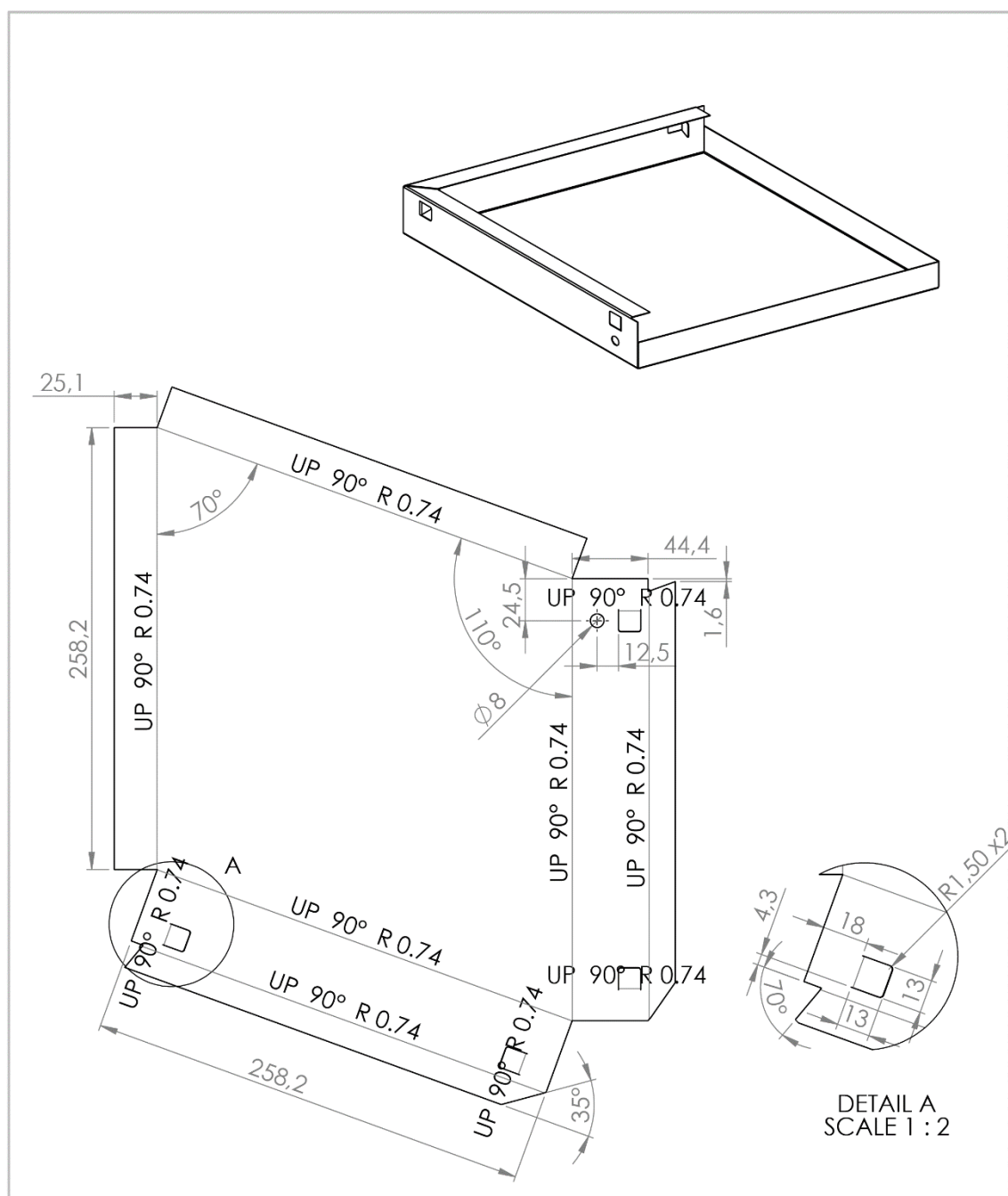
Test met diffuus plexiglas



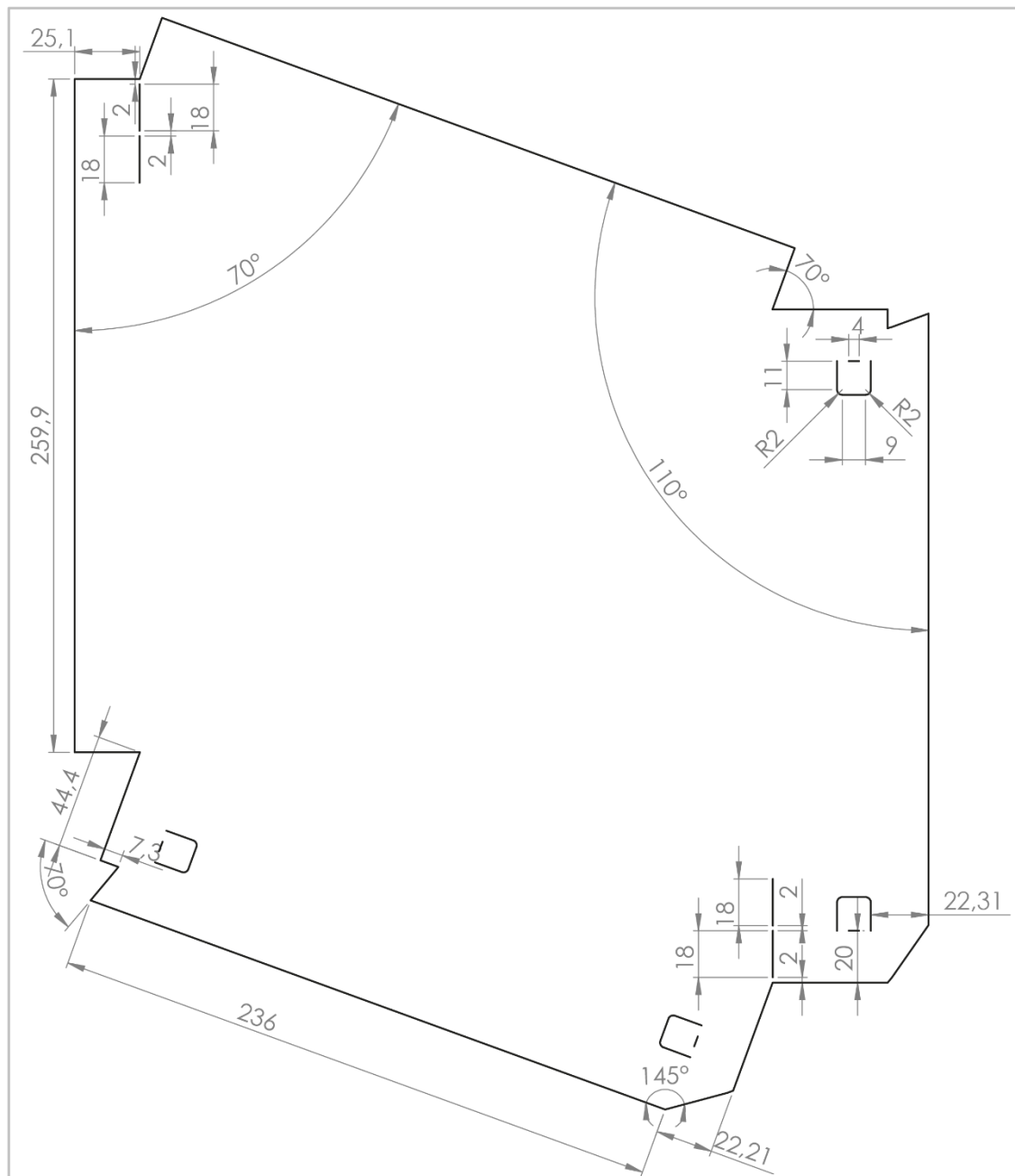
Figuur 0-6

Volledig vorm 3-D scanner, gebouwd uit papier, foamboard en twee glazen spiegels.

Appendix F – Technische tekeningen prototype

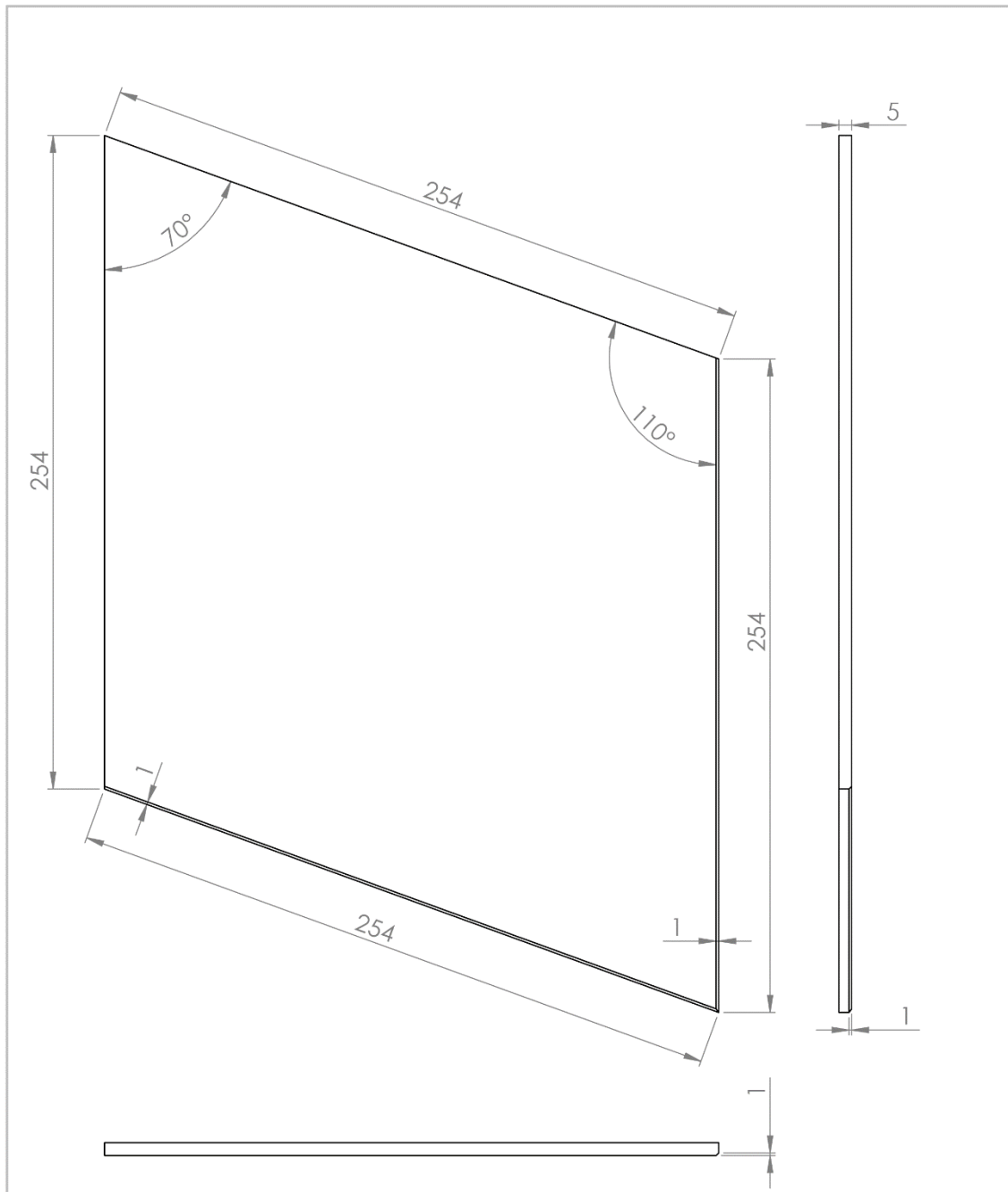


UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
		NAME		SIGNATURE		DATE				TITLE:	
DRAWN											
CHK'D											
APPV'D											
MFG											
Q.A						MATERIAL: Aluminium		DWG NO.		Plaatstaal behuizing	
										A4	
								SCALE:1:3		SHEET 1 OF 1	

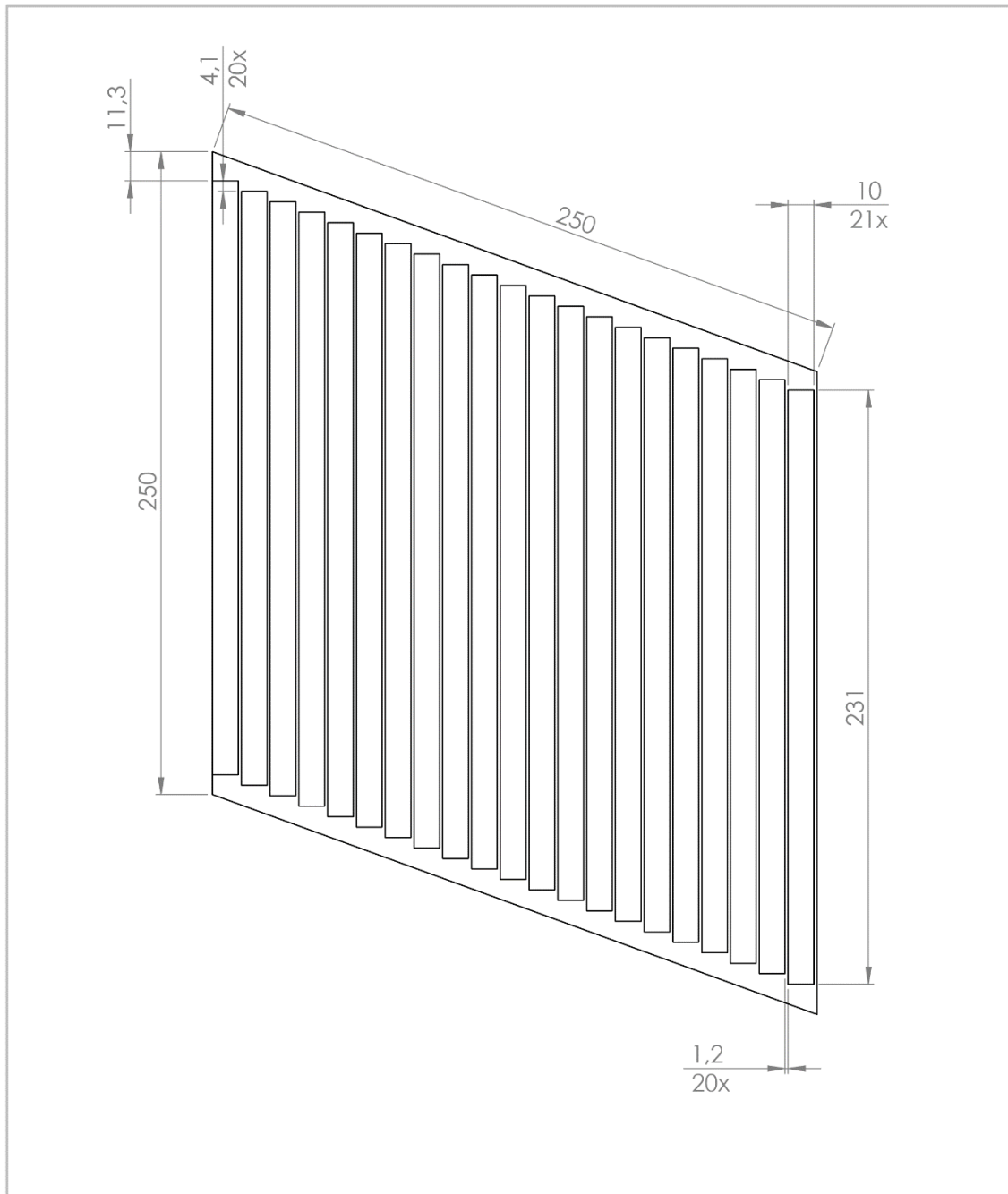


UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
								TITLE:			
DRAWN				NAME		SIGNATURE		DATE			
CHK'D											
APP'VD											
MFG											
Q.A											
						MATERIAL:		DWG NO.		Lasersnijden Sheetmetal	
								SCALE: 1:10		SHEET 1 OF 1	
						WEIGHT:				A4	

Voor het lasersnijden zijn enkele zetlijnen deels geperforeerd



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS				FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:											
NAME		SIGNATURE		DATE				TITLE:			
DRAWN											
CHK'D											
APP'VD											
MFG											
Q.A.						MATERIAL:		DWG NO.		Lichtplaat	
										A4	
						WEIGHT:		SCALE:1:10		SHEET 1 OF 1	



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS				FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:											
	NAME	SIGNATURE	DATE			TITLE:					
DRAWN											
CHK'D											
APP'VD											
MFG											
Q.A				MATERIAL:		DWG NO.		LED strips		A4	
				WEIGHT:		SCALE: 1:5		SHEET 1 OF 1			

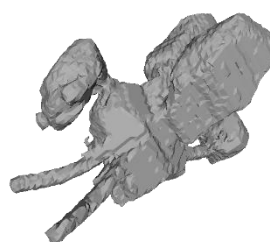
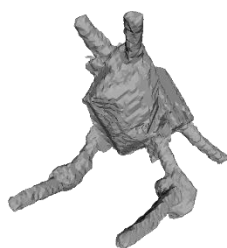
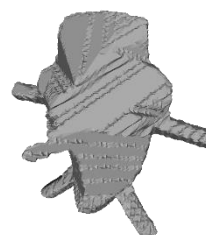
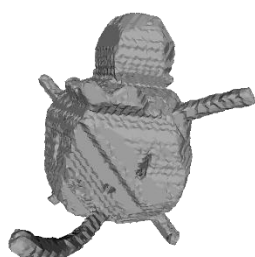
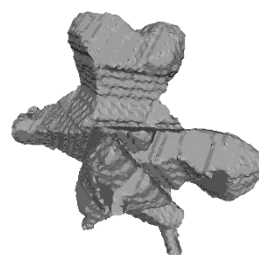
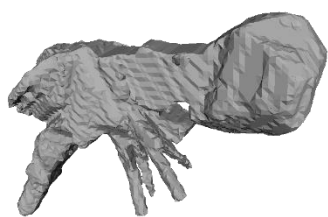
Appendix G – Testresultaten Prototype

Vragenlijst gebruikerstest

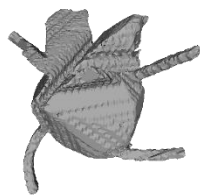
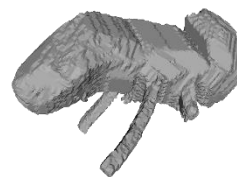
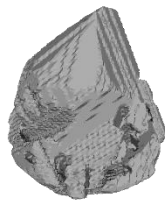
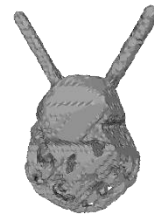
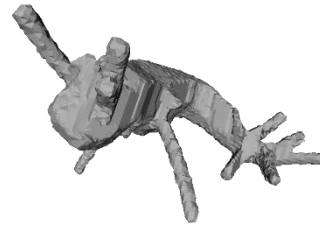
Vraag:	Hoe vond je de LFD5?	Hoe vond je de interactie met de LFD5?	Heb je aanbevelingen voor de LFD5?
Respondent 1	Leuk om te proberen	Gemakkelijk	nee niet echt
Respondent 2	Leuk	Grappig, handig	nee
Respondent 3	Vet	Makkelijk te gebruiken, en toch ziet het er futuristisch uit.	nee
Respondent 4	Een nuttig apparaat, al ben ik bang dat de doorontwikkeling meer tijd zal vergen (en vervolgens het apparaat al weer achterhaalt is). Al denk ik wel dat het een nuttige toevoeging kan zijn bij het 'rapid prototyping'	Deze was prettig, alleen was het wel jammer dat je voor sommige interacties een doorzichtige tang moest gebruiken. Het liefst heb je dat dat hij de hand 'negeren'	Voor nu niet.
Respondent 5	Mooie tool om met weinig materiaal afbeeldingen te maken	Legt in goed contrast de input vast	nee
Respondent 6	Cool!! Ik stond er echt leuk op :p	Heel leuk, helemaal top! Goed functioneel. Alles werkte goed en het gaf iedereen een glimlach op zijn/haar gezicht.	Dat je bewegingen kunt opnemen.
Respondent 7	Makkelijk, handig en snel te gebruiken, ook leuk omdat het iets nieuws voor mij is.	Duidelijk en interessant.	Meer opties om het gebruik voor moeilijkere projecten te vereenvoudigen.
Respondent 8	Leuk	Gaat goed	-
Respondent 9	grappig stopmotion	makkelijk twee duidelijke knoppen	dat je de layers kan aanpassen
Respondent 10	nice, werkt chill	werkt goed, camera kan scherper	zie boven
Respondent 11	Indrukwekkend, nog nooit met zo'n machine in aanraking gekomen	Het is mij niet heel duidelijk waar deze vraag op doelt	Daar heb ik vrij weinig verstand van, dus nee.
Respondent 12	Interessant. Het trok mijn aandacht	Ik had de neiging om te interacteren met de machine. Dus goed.	Wellicht in een andere omgeving plaatsen, misschien met ondersteuning van geluid/muziek om er een complete beleving van te maken.
Respondent 13	Grappig al zou ik er niet snel gebruik van maken voor creatieve processen	makkelijk en intuïtief	Er is erg sterke degradatie van de afbeelding naarmate er meerdere opnames over elkaar gemaakt worden. Misschien zijn er mogelijkheden om via de software met name de witte vlakken beter te bewaren.
Respondent 14			

Vraag:	Hoe vond je de 3D scanner?	Hoe vond je de interactie met de 3D scanner?	Wat zou jij willen scannen met deze 3D scanner?	Wat zou jij willen veranderen aan deze 3D scanner?	Heb jij aanbevelingen voor de 3D scanner?	Heb je belang om je 3D model toegestuurd te krijgen? Laat dan hier je email...
Respondent 1	Snel	Gemakkelijk, maar er zou iets gedaan moeten worden aan het felle licht	Producten naar solidworks brengen	Hogere resolutie	Nee niet echt	klv@utwente.nl
Respondent 2	Cool	Leuk	Een sieraad misschien?	Geen idee		
		Nuttig. Ik doe zelf civile techniek, dus het zou mooi zijn als je dit ook voor bouwen zou kunnen gaan gebruiken.	Figuren, zoals speelgoed en ontwerpen voor gebouwen			
Respondent 3	interessant			Ik zou het op nog grotere schaal doen.	nee	niekkoene@hotmail.com
	Hij werkte prima voor een webcam-camera, al viel de oppervlakte bewerking van het model wel iets tegen.		Bijvoorbeeld lego bouwsets die een soort van "layer" kunnen vormen voor het uiteindelijke gederailerde 3D-model.	De resolute, voor de rest zou ik het niet weten.	Geen aanbevelingen.	Haha, nee bedankt. Veel plezier met m\`n model.
Respondent 4		Geen opmerking over.			extra spiegel invoegen en het model laten \zweven	
Respondent 5	onverwacht simpel	Legt van bovenaf beter vast dan van onder	alleen simpele constructies	ook de onderkant meescannen	iets accuater de scans modelleren en kleur herkenning.	nee
Respondent 6	Eenvoudig, functioneel en super gaaf!	Verblindend X)	Mijn hoofd :)			
	Snel en effectief, maar voor het scannen lastig te zien of het goed is.	Voor de scan lastig te zien.	Modellen/Prototypes voor projecten.	-		Staannde figuren scanbaar maken. (Dat ze niet altijd liggend gescand hoeven worden.
Respondent 7						mika18@hotmail.com
Respondent 8	Leuk	prima, maar je hebt wel uitleg nodig	mezelf	dat het monstertje altijd binnen beeld valt dat je het model direct kan aanpassen nadat het gescand is	-	-
Respondent 9	bijzonder dat zo iets simples een scanner kan zijn	helder	schaakstukken	overkapping, zodat je niet verblind wordt	vakker oppervlakte model versimpeling	no thankyou succes met jullie poject!
Respondent 10	snel, niet enorm precies	makkelijk	horteges	Ik heb vrij weinig verstand van dit gebied, dus	zie boven	rick.ulkema@hotmail.com
Respondent 11	Wederom: indrukwekkend	Wederom:het is mij niet duidelijk waar de vraag of doel	Geen ideeën	geen idee dus	Wederom: ik heb vrij weinig verstand van dit gebied, geen dus	Nee hoor, maar vond het gaaf om meegemaakt te hebben
	De 3D scanner is een leuke extra optie om je persoonlijke gekleide frutsel echt in 3D te krijgen. Maar hij deed het niet direct goed. Dus misschien kan het nog wat gefinetuned worden.	Ik had hulp nodig om het klein goed te positioneren. Het zou leuker zijn als de persoon het zelf kan, zonder hulp. Dus misschien een bordje met aanwijzingen plaatsen?				
Respondent 12			Je eigen hand, vinger of arm.	Zie opmerking 5.		Ik heb er niet zo mn best op gedaan, dus nee. Maar bedankt voor het aanbod.
			Objecten die door gebrek aan mathematische structuur moeilijk te modelleren zijn maar wel makkelijk te vervaardigen zijn uit zachte materialen.	Een grotere spiegelsopstelling geeft grotere flexibiliteit.		
Respondent 13	Ik was positief verrast met de snelheid en eenvoud waarmee een 3d object gedigitaliseerd kon worden.	snel en eenvouding en oogt erg mobiel	gemaakte modellen zou ik willen scannen zodat je deze niet zelf in solid works hoeft te modelleren.	De uiteindelijke scherpte in het eindresultaat.		Nope
Respondent 14						

3-D scan resultaten van de gebruikerstest



Vervolg 3-D scan resultaten

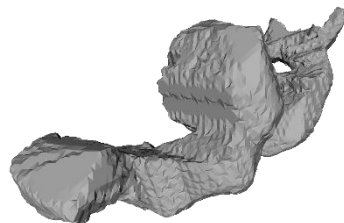
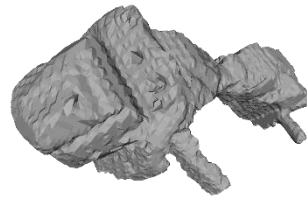
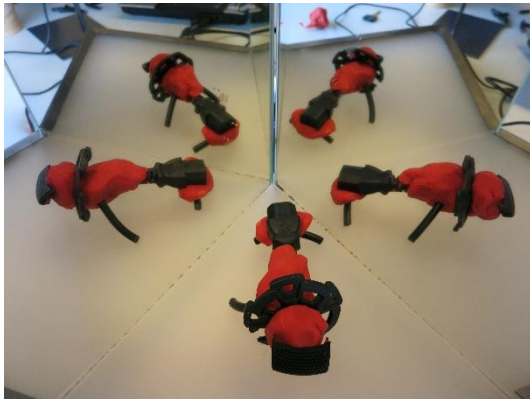


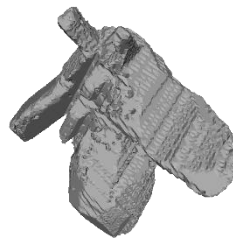
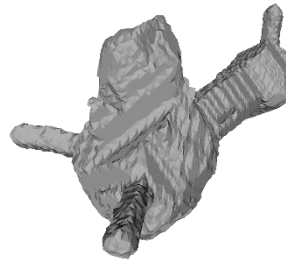
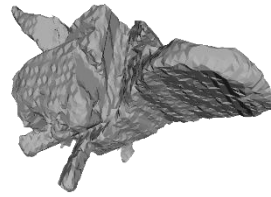
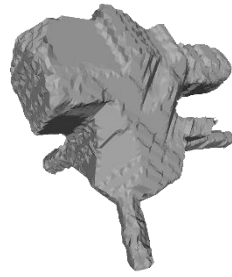
Logbestand rekentijden

9.48	9.53	7.59	4.13	8.97
5.96	5.14	4.70	5.22	8.58
6.55	6.72	4.28	4.99	6.91
6.42	6.38	4.03	7.46	2.41
8.02	8.84	4.49	7.03	4.94
6.78	7.63	11.77	5.23	5.59
6.07	10.55	5.50	6.74	6.84
4.68	10.29	3.96	2.26	4.84
5.98	6.25	4.95	3.61	6.49
5.02	5.79	5.34	5.10	

Gemiddelde hiervan is 6.2397 seconden

Eigen test scan resultaten





Appendix H – Kostenberekening

Kosten materialen bouw prototype

Behuizing

LED strip incl. voeding	€ 69.95
spiegel 2x (250mm x 350mm)	€ 15.98
plexiglas (234mm x 341mm)	€ 4.00
plaatstaal (422mm x 330mm)	€ 1.00
totaal	€ 90.93

Arduinokastje

Arduino nano v3	€ 10.00
9v batterij	€ 2.31
behuizing incl. printplaat	€ 1.70
relais	€ 1.50
transistor bd139	€ 0.20
diode	€ 0.02
weerstand	€ 0.01
totaal	€ 15.74

Webcam en standaard

Logitech webcam c910	€ 59.99
Sterknop 2x	€ 1.06
staal	€ 1.00
boutjes	€ 0.36
totaal	€ 62.41

Totaal € 169.08

Het eindconcept is als volgt:

Geschatte kosten materialen + productie (1000 stuks)**Assemblage****Behuizing**

LED's op printplaat	€ 25.00
LED voeding	€ 16.00
spiegel 2x (250mm x 350mm)	€ 10.00
plexiglas (234mm x 341mm)	€ 2.00
plaatstaal (422mm x 330mm)	€ 0.50
totaal	€ 53.50

Assemblage wordt geschat op
10 assemblage tijd
€ 50.00 kosten per uur
€ 8.33 per stuk

Aansturingskastje

Printplaatontwerp met arduino, relais etc.	€ 10.00
Behuizing	€ 1.00
totaal	€ 11.00

Webcam en standaard

Webcam, inkoop	€ 15.00
Standaard, inkopen	€ 3.00
totaal	€ 18.00

Totaal materiaal en inkoop	€ 82.50
-----------------------------------	----------------

Totaal alles	€ 90.83
---------------------	----------------