Bacheloropdracht

Het ontwerpen van een Head-Mounted Display voor SUIT

Leon E. Schipper

Re-lion B.V., Enschede
Universiteit Twente

RE-liON

UNIVERSITEIT TWENTE.

Informatieblad

Eindverslag bacheloreindopdracht Industrieel Ontwerpen

Opdracht
Het ontwerpen van een Head Mounted Display

Student
Leon E. Schipper
s0203629
Industrieel Ontwerpen
Universiteit Twente

Bedrijf
Re-lion
Rigtersbleek-Aalten 35
7521 RA Enschede

Examen
Datum inleveren verslag: 17 januari 2014
Examencommissie:
- Prof. Dr. Ir. A.O. Eger (Voorzitter)
- Ing. F. van Slooten (Begeleider Universiteit Twente)
- Ir. M. Jonkman (Begeleider Re-lion)

Voorwoord

Het verslag dat voor u ligt, beschrijft textueel en visueel het proces en de resultaten van de bacheloreindopdracht die ik heb uitgevoerd bij het bedrijf Re-lion B.V. in Enschede. Tijdens mijn vier maanden durende stage heb ik onderzoek gedaan naar het ontwerp van een Head-Mounted Display voor het product SUIT.

In overlap met mijn bestuursfunctie als voorzitter van het Dagelijks Bestuur van de Stichting Batavierenrace en met spijt gelijk zonder enige pauze door te zijn gegaan met het uitvoeren van mijn bacheloreindopdracht, heb ik met erg veel plezier gewerkt aan deze opdracht en heb ik kennis mogen maken met een zeer innovatief en gezellig bedrijf. Ondanks dat ik gedurende het gehele proces de gevolgen heb moeten ervaren van overwerkt zijn, heb ik met enige uitloop toch een degelijk resultaat weten te behalen.

Het resultaat is niet het belangrijkste in een bacheloreindopdracht, ook al moet dit natuurlijk naar behoren zijn. Wat vooral leerzaam was gedurende deze tijd is om een dergelijk project volwaardig binnen een bedrijf uit te voeren. Ik had het genoegen te mogen werken in een sfeer met zeer gemotiveerde en enthousiaste mensen, met hun eigen expertises. Mijn dank gaat dan ook uit naar al deze collega's voor hun vertrouwen.

Speciale dank gaat uit naar mijn bedrijfsbegeleider Marin Jonkman. Het feit dat ik overwerkt ben en zoals gezegd dit in het gehele proces zichtbaar was, moet voor hem vermoeiend zijn geweest en de nodige twijfels hebben laten ontstaan. Ondanks dit heeft hij het vertrouwen niet los gelaten en heeft hij mij erg geholpen. De dank hiervoor is dan ook erg groot.

Mijn speciale dank gaat ook uit naar mijn begeleider van de Universiteit Twente, Fjodor van Slooten. Hij heeft mij met vele tips en structuur geholpen de zaken op orde te houden en het feit dat hij langs is gekomen bij het bedrijf waardeer ik zeer.

Samenvatting & Abstract

Re-lion is een Nederlands bedrijf gevestigd in Enschede, dat zich gespecialiseerd heeft in de ontwikkeling van virtuele trainingssystemen. Het product SUIT is een pak dat door bijvoorbeeld soldaten gedragen kan worden en wat het mogelijk maakt in de virtuele wereld te trainen op tactiek. Het projectkader wordt gevormd door het ontwerpen van een eigen Head-Mounted Display (HMD), gezien de huidige gekochte HMDs niet volledig voldoen aan de wensen van Re-lion.

Omdat de Oculus Rift Developer Kit (DK) een goed ontwerp is waar een jaar lang goed over is nagedacht, is ervoor gekozen dit als uitgangspunt te nemen. Dit geldt zowel voor de vormgeving als de interne electronica.

Als resultaat is er een HMD ontworpen die voldoet aan de gestelde eisen van Re-lion, waarmee de HMD nagenoeg gebruiksklaar is om in productie te worden genomen. Re-lion kan dit product vervolgens voor SUIT gaan gebruiken.

Re-lion is a Dutch company in Enschede, that is specialized in the development of virtual training systems. The product SUIT is a suit that can be worn by in example soldiers and that makes it possible to train on tactics in a virtual environment. The project framework is coming up with a design for their own Head-Mounted Display (HMD), given that the current purchased HMD's do not meet all of the demands of Re-lion.

Because the Oculus Rift Developer Kit (DK) is a good design which took about a year to design, it was decided to have this product as a starting point, both in design and in the internal electronics.

As a result, an HMD is designed that meets the requirements of Re-lion, hopefully making the HMD substantially ready to be put into production. Re-lion could start to use this product for SUIT.

Inhoud

Informatieblad
Voorwoord
Samenvatting & Abstract
Inhoud
Inleiding 6

1. Analyse 7

1.1 Analyse Re-lion SUIT 7
1.2 Basisbegrippen HMDs 9
1.3 Analyse Re-lion HMD 11
1.4 Marktanalyse 12
1.4.1 Concurrentie SUIT 12
1.4.2 Vergelijking HMDs 12
1.4.3 Oculus Rift DK 15
1.4.4 Schermanalyse 17
1.4.5 Optiek 18
1.5 Literatuur HMD 20
1.6 Vooronderzoek materiaal 20
en productietechnieken 20
1.7 Doelgroepanalyse 22
1.8 Mountverbinding 23
1.9 Programma van Eisen 25

2. Ontwerp 26

2.1 Voorstudie 26
2.1.1 Collages + beginstudie 26
2.2 Conceptfase 27
2.2.1 Schetsen 27
2.2.3 Concept 'Beugel' 33
2.2.4 Concept Iron man 34
2.2.5 Concept Klapper 35
2.3 Beschouwing concepten 36
2.4 Concept verkenning en ontwerp 38
2.4.1 Vormgeving 38
2.4.2 Deksel 39
2.4.3 Hoofdkabel, audio en functieknoppen 41
2.4.4 Mount 43
2.4.5 Klapvoorkant 44
2.4.6 Optiek 45
2.4.7 Plaatsing verschillende schermen 46

3. Uitwerking 47

3.1 Uitwerking ontwerp 47
3.1.1 Mount 47
3.1.2 Hoofdbandbevestiging 48
3.1.3 Hoofdkabel en audio 49
3.1.4 Afdichting eyecups 50
3.2 Productie 51
3.3 Detaillering 54
3.3.1 Behuizing 54
3.3.2 Mount 56
3.3.3 Hoofdkabel, audio en functieknoppen 56
3.3.4 Deksel 57
3.3.5 Optiek 58
3.3.8 Afsteuning 58
3.4 Eindresultaat 59

4. Evaluatie & conclusie 60

4.1 Evaluatie 60
4.2 Vergelijking Oculus Rift DK 62
4.3 Conclusie 63
4.4 Aanbevelingen 63

5. Begrippenlijst 64

6. Bijlages 6 5

Bijlage I - Tabel schermspecificaties 65
Bijlage II - Korte test mate van afsteuning 66
Bijlage III - Collage militaire training 67
Bijlage IV - Collage militaire apparatuur 68
Bijlage V - Collage HMDs 69
Bijlage VI - Schetsstudies begin 70
Bijlage VII - Schetsstudie achterkant 73
Bijlage VIII - Schetsstudie losse afsteuning 74
Bijlage IX - Schetsstudie klapvoorkant 75
Bijlage XI - Maattekeningen Solidworks 77

7. Literatuurlijst 78

Inleiding

Het doel van deze opdracht is om een zo compleet mogelijk ontwerp te maken van een Re-lion Head-Mounted Display (HMD), zodat er een prototype gemaakt kan worden. Met dit prototype kan Re-lion een hardwarefabrikant benaderen om deze in productie te nemen.

De huidige HMD voldoet niet aan de eisen van Re-lion en is ongeschikt voor hun product SUIT. Daarom wil Re-lion graag een eigen HMD in productie nemen.

In de eerste fase worden belangrijke onderdelen die nodig zijn voor het ontwerpen van een HMD geanalyseerd. Hieronder vallen onder andere de analyses van de huidige HMD en van het systeem SUIT. Daarnaast wordt er gekeken naar de markt, de mogelijke productietechnieken en naar belangrijke factoren voor de werking van de HMD, namelijk het scherm, de lenzen en de stabiliteit. Dit alles resulteert in een Programma van Eisen (PvE) voor de te ontwerpen HMD.

De drie concepten die gegenereerd zijn op basis van het Programma van Eisen worden in hoofdstuk 2 nader toegelicht. Hierna worden deze getoetst aan het PvE en zullen er verbeteringen worden doorgevoerd.

In hoofdstuk 3 worden de geselecteerde concepten verder uitgewerkt. Soms waren extra analyses nodig om weloverwogen ontwerpkeuzes te kunnen maken.

In het laatste deel van dit verslag is het eindconcept uitgewerkt en getest. De verschillende keuzes die zijn gemaakt zullen hier beschreven en onderbouwd worden.

Het project moet leiden tot:
- Een verbeterd ontwerp van een HMD, aansluitend bij het Programma van Eisen.
- Een Solidworks model van het prototype.
- Aanbevelingen voor verdere ontwikkeling van de HMD

1. Analyse

Figuur 1. Re-lion SUIT in actie

Als eerste worden de huidige Head-Mounted Display (HMD) en het bijhorende systeem geanalyseerd. Er volgt kort een marktanalyse en de belangrijkste onderdelen van een HMD worden bekeken. Uiteindelijk komt dit alles samen in een Programma van Eisen & Wensen.

1.1 Analyse Re-lion SUIT

SUIT staat voor Small Unit Immersive Trainer en is een virtueel trainingssysteem voor doelgroepen zoals defensie-eenheden en brandweer. In figuur 1 is het SUIT-pak te zien.

Voor het gebruik van SUIT zijn er drie verschillende groepen nodig:
- De operators; dit zijn de mensen die getraind moeten worden,
- De instructeur; dit is de persoon die met de operators meeloopt en instructies geeft,
- De technicus; dit is de persoon die de techniek achter SUIT reguleert.

SUIT bestaat globaal uit de volgende onderdelen:
- Het Excon station; dit is het centrale punt waar de technicus de training reguleert en waar de verwerking van de virtuele omgeving plaatsvind.
- De headset; dit zal in paragraaf XXX verder worden toegelicht
- Smartvest; dit vest bestaat uit sensoren, de computing box die alle berekeningen uitvoert en accupacks.
- Wapens; het product SUIT bevat twee soorten wapens waarmee getraind kan worden.

Het Excon station verzorgt de voorzieningen om de locaties te kunnen bepalen. Het bevat de server, de monitoren, de switches en de draadloze adapters. hoofd bevinden.
De UWB stations, waarbij UWB staat voor Ultra Wide Bands, verzorgen de daadwerkelijke plaatsbepaling. De UWB maakt connectie met de UWB tags, die zich op beide schouders en het hoofd bevinden.
Het pak zelf bevat in iedere hand een RFID tag om te bepalen of er een wapen aanwezig is in één van beide handen; het wapen heeft hiervoor een RFID reader. Op het pak zitten verder sensoren en accu's, die verbonden zijn met de SUIT-pc, die op de rug gedragen wordt. Daarnaast is de HMD ook verbonden met de SUIT-pc. De focus in deze opdracht zal liggen op de HMD.

SUIT maakt gebruik van eigen software, namelijk Builder. Hierin kan een eigen virtuele omgeving worden gebouwd, waarmee de trainingen uitgevoerd kunnen worden. Hierdoor kunnen de trainingen erg divers zijn. Er kunnen complexe scenario's getraind worden die in het echt niet of moeilijk gerealiseerd kunnen worden. De trainingen kunnen in een team van ongeveer 12 personen worden gehouden, de bandbreedte van de UWB stations is hierin de bepalende factor.

Het systeem neemt de hele training op, waardoor na de training geëvalueerd kan worden aan de hand van de videobeelden.

Een groot voordeel van SUIT is de mobiliteit van het systeem. Het systeem kan relatief eenvoudig worden ingepakt, zodat het mogelijk is op verschillende locaties te trainen. Door deze flexibiliteit kan er op kosten worden bespaart op gebied van acteurs, munitie, tijd en transportkosten.

Figuur 2. Een overzicht van de setup van Re-lion SUIT
Verschillende monitoren maken het voor de technicus mogelijk om de status in te zien van de hardware, de kalibratie van de pakken en van het trainingsscenario. Elk pak is genummerd, waardoor de technicus precies kan zien wie welk pak gebruikt. De technicus zorgt bij aanvang van de training voor de kalibratie van de pakken. Hierna kan de instructeur via een groot scherm het scenario starten en beheren.

Het product SUIT is geschikt voor tactische trainingen en niet geschikt voor fysieke trainingen. Tactische trainingen met een virtueel trainingssysteem zullen voornamelijk binnen gebeuren, maar buiten is ook een potentiële omgeving.
Hiervoor moet SUIT eerst worden aangepast zodat het systeem buiten gebruikt kan worden.

1.2 Basisbegrippen HMDs

Voordat de Re-lion HMD wordt beschouwd, wordt er eerst ingegaan op de basisbegrippen die relevant zijn bij het ontwerpen van een HMD.

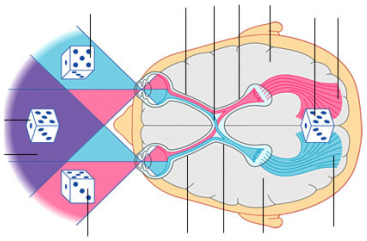
Een HMD staat voor Head-Mounted Display. Simpel gezegd is het een kastje met een beeldscherm dat op het hoofd wordt gedragen. Het bevat lenzen (en eventueel spiegeltjes) die het beeld op het netvlies projecteren. Een HMD kan op een headset gemonteerd worden, op of in een helm geïntegreerd worden en sommige HMDs kunnen als een bril worden gedragen.

Immersie
De immersie in een omgeving in de virtuele realiteit is de ervaring die de gebruiker ondervindt. Het is het gevoel dat de gebruiker heeft van het in die wereld bevinden en er een onderdeel van uit te maken.

De mate van immersie is afhankelijk van meerdere factoren, zoals de grote van het gezichtsveld, de keuze van de lenzen en de resolutie van de projectie.

Monuculair/Binoculair
Er zijn twee vormen van HMDs: monoculairs en binoculairs. Door een monoculaire HMD wordt er met één oog gekeken en door een binoculaire HMD wordt er met twee ogen gekeken.

Voor deze gebruikssituatie is het belangrijk dat het systeem en de HMD tijdens gebruik spatwaterdicht is. De opdrachtgever heeft dit als eis meegegeven voor het ontwerp. Tijdens gebruik is het belangrijk dat er geen stof in het systeem kan komen. Dit is vooral belangrijk zodra SUIT buiten wordt gebruikt.



Figuur 3. Stereoscopisch gezichtsveld
Bron: www.orthoptie.be

Gezichtsveld
Het stereoscopisch gezichtsveld is het vermogen van de hersenen om twee beelden vanuit de ogen onder een andere hoek te versmelten tot één beeld. Zie figuur 3 voor de werking ervan.

Het gezichtsveld, ook wel Field of View (FoV) genoemd, is een belangrijke factor bij HMDs: hoe realistischer het gezichtsveld overeenkomt met het menselijk oog, des te beter de immersie is en des te meer situation awareness de persoon heeft. Situation awareness is de perceptie van omgevingsfactoren.

De FoV wordt uitgedrukt in graden en is het gebied dat met beide ogen gezien kan worden, zowel perifeer als centraal zicht. Centraal zicht is het deel dat we met grote scherpte voor ons kunnen zien. Het perifeer zicht is het deel van de omgeving rond het centrale zicht dat wel gezien kan worden, maar niet in details.

Lenzen
De optiek is van grote invloed op de mate van virtuele immersie. De lens moet ervoor zorgen dat het virtuele beeld vanaf het scherm op een 'oneindige' afstand komt te staan. Hierdoor bevinden de oogspieren zich in ruststand en worden de ogen niet moe tijdens het gebruik van een HMD.

Daarnaast is de lens een belangrijke factor voor de 'Field of View', wat een belangrijk begrip is voor de immersie die de gebruiker ondervind. Hoe groter de 'Field of View' is, des te meer het virtuele gezichtsveld aansluit op die van het menselijk oog en daarmee is de immersie groter.

Hiernaast zijn er voor de lens nog twee andere begrippen relevant. Ten eerste vinden er kleurfouten plaats door de verschillende brekingsindices van het lichtspectrum, waardoor voornamelijk aan de randen kleurfouten zichtbaar zijn. Dit verschilt per lens; in zowel de vergroting van de lens als het materiaal waarvan de lens gemaakt is. Er zijn ook lenzen die deze kleurenfouten kunnen reduceren. Dit zijn achromatische lenzen. De kosten voor deze lenzen zijn veel hoger dan 'normale' lenzen.

Pupilafstand - Interpupillary distance (IPD)
De pupilafstand is de afstand tussen de twee pupillen gemeten in milimeters. De Engelse benaming ervan is Interpupillary distance, wat veelal afgekort wordt tot IPD.

Bij HMDs is het belangrijk dat de centra van beide geprojecteerde beelden overeenkomen met de IPD-waarde van de gebruiker.

Projectiemethode
Er zijn verschillende opstellingen mogelijk om de gebruiker te voorzien van een beeld:
- Rechtstreeks beeld via een lens;
- Projecteren van het beeld op de lens via spiegels;
- Nieuwere technieken kunnen letterlijk beeld projecteren op oppervlakten via kleine projectors in de HMD.

Hiernaast kunnen beelden worden weergegeven op één gesplitst scherm of op meerdere schermen met meerdere videokanalen.

1.3 Analyse Re-lion HMD

De HMD die op dit moment wordt gebruikt in het product SUIT, is de Triviso VRvision HMD. Voor een langere periode wordt er al gebruik gemaakt van deze HMD, ook al voldoet deze niet geheel aan de wensen van Re-lion. De HMD bestaat uit twee AMLCD schermpjes en twee lenzen. Het gezichtsveld is horizontaal 34° en 25° verticaal (in graden).

Bij de VRvision is het mogelijk om de IPD in te stellen tussen de 55 en 72 mm, door het verschuiven van de lenzen, zie figuur 4. Verdere relevante eigenschappen zijn:
- Een gewicht van 210 g;
- Een resolutie van 800 x 600;
- Geïntergreerde microfoon;
- Koptelefoon uitgang;
- DVI-aansluiting;
- Stroomverbruik van 2,5 Watt, via USB.

Figuur 4. Verstellen IPD bij Trivisio VRvision
Bron: www.trivisio.com

Figuur 5. Re-lion Headset
1. Head-Mounted Display
2. GoPro-mount
3. Skull Crusher headset
4. Stelknoppen
5. Koptelefoons
6. Positiesensor
7. Datakabel

De Re-lion headset bestaat uit de volgende onderdelen -zie figuur 5-:
1. De Trivisio HMD;
2. De NVG-mount met GoPro-koppeladapters;
3. De Skull Crusher, deze headset wordt gebruikt met SUIT en wordt geklemd op het hoofd;
4. De instelknoppen om de Skull Crusher te fixeren op het hoofd van de gebruiker;
5. De koptelefoon, deze heeft een zo klein mogelijk magnetisch veld om de positiesensor op de headset niet te storen;
6. De positiesensor in een plastic behuizing;
7. De datakabel die naar de SUIT-pc gaat.

Indien de operator naar de echte wereld wil kijken of naar een mede-operator, valt op dat ze liever onder- of bovenlangs de HMD kijken, dan dat ze de HMD opklappen. Dit komt doordat het lastig is de HMD telkens bij het terugklappen weer goed in te stellen voor de ogen.

In kader van de opdracht is de wens geuit vanuit de opdrachtgever om ook te kijken naar een nieuwe behuizing voor de controller box. Daarnaast waar de positiesensor op de headset geplaatst wordt.

De huidige HMD bevalt niet helemaal bij Re-lion omdat:
- De huidige HMD is vrij prijzig ($3423);
- Het heeft een relatief klein gezichtsveld (34°);
- Onbekende levertijd;
- Kabels zijn met de huidige headset moeilijk te vervangen;
- Fixeren van HMD in goede positie voor de ogen gaat erg lastig en moet steeds weer opnieuw gebeuren;
- Geïntegreerde microfoon is van slechte kwaliteit.

1.4 Marktanalyse

De markt van de virtuele trainingssystemen is een opkomende markt, in Europa is er nog niet veel concurrentie.
De concurrenten van Re-lion op gebied van virtuele trainingssystemen hebben vanzelfsprekend allen hun eigen technologieën en maken ook gebruik van verschillende HMDs.

Ook de markt in HMDs is de afgelopen jaren enorm gegroeid, waardoor er vele HMDs zijn ontworpen in verschillende prijscategorieën en voor verschillende doeleinden.

1.4.1 Concurrentie SUIT

De concurrenten van Re-lion zijn voornamelijk Amerikaanse bedrijven, zoals:
- Intelligent Decisions;
- Raytheon Virtsim;
- Quantum3D;
- Cubic CombatREDI.

Hierbij ziet de directie van Re-lion de eerste twee als de grootste concurrenten op het gebied van SUIT.

Intelligent Decisions maakt gebruik van een zelf ontworpen HMD waarvan alleen bekend is dat het een resolutie heeft van 1280x1024. Het bedrijf bedenkt al jarenlang innovatieve oplossingen voor het Amerikaanse leger. Ze zijn echter niet gespecialiseerd in virtuele trainingen en maken voor hun systeem gebruik van Quantum3D's technologie. Grootste verschil tussen deze technologie en die van SUIT is dat men zich bij Quantum3D door middel van een joystick op het wapen voortbeweegt in de virtuele wereld. Bij SUIT gebeurt dit door daadwerkelijk te lopen.

Raytheon maakt gebruik van de eMagin Z800 HMD. Bewegingen van de operators worden gedetecteerd door middel van optische beweegsensoren die verspreid zitten over het pak. In hoeverre lichtinval de detectie verstoort, is onbekend. Voortbewegen in de virtuele wereld gebeurt zoals bij SUIT. Cubic ComatREDI maakt ook gebruik van eMagin HMDs. Zoals Quantum3D, wordt er voortbewogen met een joystick.

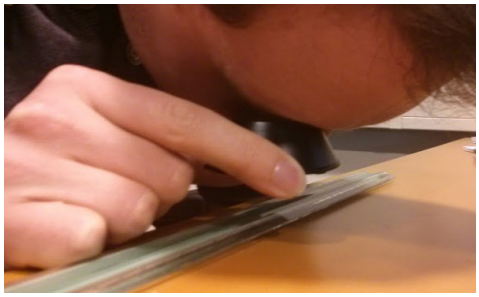
SUIT en Raytheon hebben het voordeel dat het voortbewegen door de virtuele wereld aansluit op de realiteit. Quantum3D en Cubic hebben daarentegen minder ruimte nodig, maar is minder realistisch in training. Verdere vergelijkingen tussen Re-lion en haar concurrenten vallen buiten bestek van deze opdracht.

1.4.2 Vergelijking HMDs

De eMagin is vrijwel een vergelijkbare HMD met de Trivisio HMD, maar is wel goedkoper.

De tabel in bijlage I bevat gegevens van verschillende HMDs, waarbij de specificaties zoveel mogelijk zijn ingevuld.

Optiek
Het is alleen bij de Oculus Rift DK mogelijk om de lenzen te scheiden van de HMD. De Oculus Rift DK is de nieuwste HMD in de tabel. Bij de meeste HMDs is dit niet mogelijk en maken de lenzen ook deel uit van een mechanisme om de IPD-waarde in te stellen. Een voordeelvan de lenzen eraf te kunnen halen is dat er andere lenzen op gemonteerd kunnen worden. De InfinitEye maakt als enige gebruik van een ander soort lenzen, namelijk fresnellenzen. In paragraaf 1.4.5 worden de fresnellenzen toegelicht.



Figuur 6. Bepalen beeldlengte met liniaal

De opdrachtgever heeft als eis dat het bij de te ontwerpen HMD ook mogelijk is om de lenzen eraf te kunnen halen.

Draagwijze

De Carl Zeiss en Silicon Micro HMD worden beide als bril gedragen. De Oculus Rift DK, eMagin en InfinitEye hebben een hoofdband in de HMD verwerkt en worden door deze band op het hoofd geklemd. De Intevac, Trivisio en Sensics moeten door middel van een mount bevestigd worden aan een helm of headset. De TrainAsYouFight HMD moet op een helm worden geklemd.
Gezien de gebruikers van SUIT is het gebruik van een verbinding op een helm, zoals op een leger of politiehelm, het meest natuurlijke bij een training met SUIT.
De HMD als een bril dragen is niet geschikt voor SUIT, gezien de HMD tijdens de training in alle waarschijnlijkheid van het hoofd valt. De verplichting om de HMD op een helm te klemmen, zoals bij de TrainAsYouFight HMD, is niet wenselijk omdat de te ontwerpen HMD dan nooit op een andere manier gedragen kan worden.

Het dragen door middel van een hoofdband is minder natuurlijk tijdens de training, maar wenselijk indien de gebruikers normaal geen helm dragen. De opdrachtgever heeft als vereiste meegegeven dat de HMD bevestigd moet kunnen worden aan een NVG/GoPro-mount. Daarom zou een combinatie van mount-verbinding en een hoofdband bruikbaar kunnen zijn voor SUIT.

Scherm

Opvallend is dat de HMDs veelal twee schermen hebben van klein formaat, waardoor je een lagere resolutie kan hebben voor dezelfde beeldkwaliteit. Deze resoluties worden alsmaar hoger door nieuwere technieken in de schermen. Dit komt de beeldkwaliteit ten goede. De Oculus Rift DK en de TrainAsYouFight HMD hebben beide één scherm, dat vervolgens softwarematig gesplitst wordt om stereoscopisch te kunnen zien.. De InifitEye heeft twee 7 inch scherm.
De resolutie is echter niet de belangrijkste eigenschap van een scherm. Een hoge resolutie maakt de HMD relatief duur.

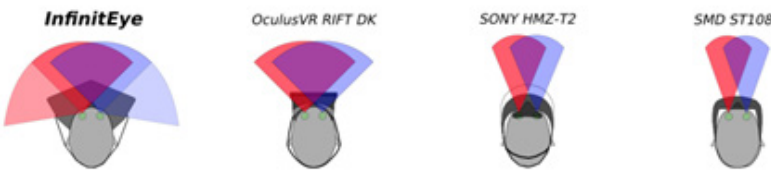
De opdrachtgever heeft als eis gesteld dat de te ontwerpen HMD een scherm moet bevatten tussen de 6 en 7 inch. De reden hiervoor is dat er bij gebruik van lenzen met een brandpuntsafstand van 50mm er een minimale lengte is van het beeld om geen schermranden te zien. Dit wordt als volgt berekend:
- Lengte op een liniaal dat gezien kan worden door een lens bepalen, dit is ongeveer 60 mm (zie figuur 6);
- Deze lengte verdubbelen om lengte met beide ogen te krijgen, dit is ongeveer 120 mm.
- Omdat er ook nog een ruimte zit tussen de lenzen voor de neus, moet deze afstand ook worden meegenomen, dit is ongeveer 5 mm.

In totaal levert dit een beeld op met een lengte van minimaal 125mm. Deze lengte staat gelijk aan minimaal een 6 inch scherm. Indien de beeldverhouding 16:9 is, dan is de minimale hoogte 70mm.

De afmetingen van de InifinitEye zijn vrij groot door de twee LCD schermen. Dit is niet wenselijk voor het gebruik bij SUIT.

Field of View (FoV)

De horizontale Field of View is voor de meeste HMDs tussen de 30° en 50°. Opvallend is dat er maar één HMD is die een lagere horizontale FoV heeft dan de huidige Re-lion HMD. De Oculus Rift. Figuur 7 laat de verschillende FoV's zien voor vier HMDs.



Figuur 7. Verschillen in gezichtsveld tussen 4 HMD's
Bron: (vrwiki.wikispaces.com)

Rood = zicht linker oog
Blauw = zicht rechter oog
Paars = stereoscopisch zicht

Doelgroep
De Carl Zeiss, Oculus, Silicon, Sony, en InfinitEye HMDs zijn vooral bedoeld voor de particuliere markt. Consumenten kunnen deze HMDs gebruiken om games te spelen of films te kijken. De Trivisio, Intevac, eMagin, TrainAsYouFight HMDs zijn vooral voor de zakelijke markt bedoeld; voor virtuele trainingsdoeleinden. De te ontwerpen HMD valt onder de zakelijke markt. Het verschil tussen deze twee markten is terug te vinden in de HMDs op gebied van constructie, materiaalgebruik, draagwijze en optiekkwaliteit.

Gewicht
De Oculus Rift DK heeft een gewicht van 379 g en de InfinitEye een gewicht van 512 g. Het heeft de voorkeur de HMD zo licht mogelijk te houden, om te voorkomen dat er teveel gewicht op het hoofd komt. Des te meer gewicht de HMD heeft, des te minder natuurlijk de bewegingen zullen zijn. De opdrachtgever heeft daarom als eis meegegeven dat het zo licht mogelijk moet worden en minder dan 500 g.

Prijs
De prijzen van de Oculus Rift DK en de InfinitEye zitten beide tussen de 300 en 1000 dollar. In deze prijscategorie behoren ook de Carl Zeiss, Silicon en Sony HMDs. De opdrachtgever heeft gesteld dat de prijs voor de te ontwerpen HMD onder de 1000 euro moet blijven.

Audio
De meeste HMDs hebben een aansluiting voor een koptelefoon. Ook hebben sommigen een microfoon ingebouwd om te kunnen communiceren.

Tijdens de training met SUIT wordt er gebruik gemaakt van geluid en microfoon. Het geluid is belangrijk voor eventuele effecten en instructies. Gezien er op de headset ook een positiesensor zit, is het belangrijk dat het magnetische veld, dat veelal door koptelefoons wordt gegenereerd, de sensor niet stoort. De microfoon wordt gebruikt voor onderlinge communicatie tussen de operators. Er moet in de HMD een microfoon zijn verwerkt, die niet veel omgevingsgeluiden oppikt. Daarnaast moet de HMD een aansluiting hebben voor koptelefoons.

Concluderend moet de te ontwerpen HMD de volgende eigenschappen hebben:
- Lenzen die van de HMD af te halen zijn;
- HMD kan bevestigd worden aan een NVG/GoPro-mount en bij voorkeur als extra door middel van een hoofdband;
- Er zit één display in van minstens 6 inch;
- De Field of View is zo hoog mogelijk, indien mogelijk vergelijkbaar met de Oculus Rift DK;
- Gewicht van de HMD moet minder dan 500 g zijn;
- Prijs lager dan 1000 euro;
- Ingebouwde microfoon bevatten;
- Aansluitmogelijkheid hebben voor koptelefoons.

Figuur 8. Oculus Rift DK

Figuur 9. Screen Door Effect

1.4.3 Oculus Rift DK

Op 1 augustus 2012 kwam er een Kickstarter-project online om geld in te zamelen voor een HMD met een groot gezichtsveld die speciaal bestemd zou zijn voor gamers. Bedenker en ontwerper van deze HMD is Palmer Luckey.

Via online fora werd gedurende het ontwerpproces feedback gegeven op allerlei zaken, waarna uiteindelijk de Developer Kit uitkwam onder de uiteindelijke naam, de Oculus Rift - figuur 8 -. Deze Developer Kit is bij vele developers een groot succes en men is nu in afwachting op de consumentenversie van de Rift.

De Oculus Rift DK is een relatief goedkope HMD en heeft als unieke eigenschap dat het een enorm gezichtsveld heeft, van 90 graden. Dit, in combinatie met het grote 7 inch scherm, zorgt voor een goede immersie in bijvoorbeeld games. Opdrachtgever Re-lion heeft zelf ook een developer kit aanschaft en deze vergeleken met hun eigen HMD. De immersie in de virtuele omgeving van SUIT is erg hoog, dat een grote meerwaarde heeft voor de simulatie van de virtuele wereld.

Scherm

Opvallend bij de Oculus Rift Developer Kit (DK) is dat alle pixels op het beeld zichtbaar zijn, dankzij het 'Screen Door Effect'. Dit effect houdt in dat de zwarte rijen tussen de pixels zichtbaar zijn. Deze zwarte rijen worden zichtbaar in geval dat de optiek een hogere resolutie heeft dan het projecteerde beeld. Figuur 9 geeft dit effect weer. In demo-games zoals in een achtbaan doet dit geen afbreuk aan de immersieve ervaring, tot een zekere hoogte. Ondanks dat door de immersieve ervaring nog steeds misselijkheid kan optreden, is de kwaliteit van de virtuele omgeving behoorlijk minder door het zien van deze pixels. Het lezen van teksten is nagenoeg onmogelijk door de lage pixeldichtheid.

Optiek

De Oculus Rift DK heeft asferische lenzen die in eyecups zitten. Er worden meerdere lenzensets meegeleverd, waarmee er rekening gehouden wordt met mensen met oogafwijkingen. Lenzenset A zijn de standaard lenzen die bedoeld zijn voor mensen met normaal zicht of die verziend zijn. De lenzensets B en C zijn bedoeld voor mensen die bijziend zijn. Alle lenzen hebben een brandpuntsafstand van 50 mm. De hoogte van de de A-set is ongeveer 22 mm.

Het scherm is softwarematig in tweeën gesplitst om stereoscopisch beeld weer te geven aan de ogen. De ene helft van het scherm mag de andere helft niet beïnvloeden, door bijvoorbeeld lichtvervuiling. Daarom is er een tussenschot geplaatst tussen de lenzen.

Afsteuning

De afsteuning is het onderdeel dat tegen het gezicht aandrukt, bestaande uit een plastic deel dat vast gemaakt wordt aan de behuizing van de Oculus Rift DK en een foam deel dat tegen het gezicht aandrukt -figuur 11-. De foamlaag sluit de echte wereld af waardoor de gebruiker alleen nog de virtuele wereld kan zien. Ook draagt het bij aan het draagcomfort van de Oculus.

De Oculus Rift DK heeft de mogelijkheid om de afstand tussen de lens en het oog te vergroten met maximaal 10 mm. Om deze afstand van het foam en de lens te veranderen heeft de Oculus Rift DK een stevig systeem ontwikkeld. Door aan de zijkant met een knoop of munt te draaien is deze afstand in te stellen. De Oculus Rift DK wordt gedragen door middel van twee hoofdbanden, die aan deze afsteuning gemonteerd zitten. Om die reden moet deze afsteuning dan ook stevig en goed verbonden zijn met het deel waar de electronica inzit.

De opdrachtgever heeft als eis meegegeven dat de onderkant van de te ontwerpen HMD open is, zodat de operators een gevoel hebben waar ze zich bevinden in

de echte wereld. Hiermee zou eventuele misselijkheid ook worden voorkomen. Er is hiervoor een kleine test gedaan met de Oculus Rift DK onder vier medewerkers van Re-lion. Vier testpersonen zijn niet representatief voor de gehele doelgroep. Echter kan het resultaat wel aanwijzingen geven die relevant zijn voor het ontwerp.

De test is uitgevoerd in drie situaties:
1. een afsteuning met de foamlaag geheel weg, een vergelijkbare situatie met de huidige HMD;
2. een afsteuning waarbij de foamlaag aan de zij- en onderkant weg is;
3. een afsteuning waarbij de foamlaag rondom zit en dus volledig de wereld rondom afschermd.

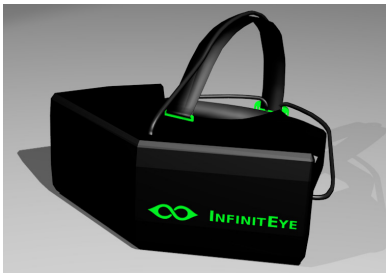
Er is gekeken wat de collega's het fijnst vonden, hoe hun beleving was en in welke situatie ze nog bewustzijn hadden van de locatie in de echte wereld.

De conlusie die uit deze test getrokken kan worden, is dat de situatie waarbij de foamlaag rondom zit de voorkeur heeft. Dit wordt als het plezierigst ervaren. Van de vier testpersonen was er één die het prettiger vond om de onderkant open te houden. Hij geeft daarbij wel aan dat dit ten koste gaat van de immersiviteit. Daarom zal worden gekeken of het mogelijk is voor de gebruiker zelf te bepalen of hij of zij de onderkant wil afsluiten. De reacties van de medewerkers zijn te vinden in bijlage II.

Door de combinatie van de ontwikkeling van de Oculus Rift en de relatief goedkope productietechniek 3D-printen, zijn meerdere consumenten zelf ook varianten gaan maken van de Rift, deels om deze alvast zelf te verbeteren.

Zo ook is de InfinitEye - figuur 11 - ontstaan, die een nog veel groter gezichtsveld heeft, namelijk 180 graden totaal en 121 graden per oog. Deze HMD maakt gebruik van twee 7 inch LCD schermen en gebruikt als optiek fresnellenzen. Tijdens de analyse van de verschillende soorten lenzen in hoofdstuk 1.6 zal er meer uitleg gegeven worden over fresnellenzen. De twee schermen in combinatie met de optiek zorgen voor dit grote gezichtsveld. Dit heeft op het gebied van immersie veel voordelen.

De Oculus Rift DK kan relatief goedkoop geproduceerd worden door de eenvoud van de onderdelen. Qua electronica is het alleen nodig een LCD paneel te hebben, een positiesensor, een videocontroller en bijhorende kabels. Zie figuur 11.



Figuur 10. InfinitEye

Figuur 11. Oculus Rift DK onderdelen
1. Behuizing
2. Afsteuning
3. Deksel
4. Sets eyecups
5. Positiesensor
6. Controller box videocontroller
7. LCD paneel
8. Behuizing Controller box
Bron: ifixit.com

1.4.4 Schermanalyse

Bij het ontwerpen van een HMD is het belangrijk te realiseren wat het beste formaat scherm is om te gebruiken, omdat een groter scherm niet per definitie geschikter is. De beeldkwaliteit hangt onder andere af van de combinatie van de schermresolutie en de afmetingen van het scherm. Als bijvoorbeeld een 5,6 inch scherm wordt vergeleken met een 7 inch scherm met vergelijkbare resolutie, dan is de pixeldichtheid bij het 5.6 inch scherm veel groter dan bij het 7 inch scherm. Hierdoor zorgt dit 5,6 inch scherm voor een scherper en gedetailleerder beeld. Bij het 7 inch scherm kan dan het 'Screen Door Effect' optreden.

Vanuit de opdrachtgever is de ontwerpeis gesteld op schermen tussen de 6 en 7 inch. Hiervoor moet er gekeken worden naar schermen van dit formaat, minstens in HD kwaliteit, met daarbij een LCD controller die het signaal van het betreffende scherm kan verwerken. Een LCD controller is nodig om het signaal van de computer of video in formaat aan te passen en te schalen naar het LCD scherm. Als voorbeeld, het scherm van de tablet Google Nexus 7 2013 heeft een goede resolutie en zou bruikbaar kunnen zijn, mits hiervoor een LCD controller beschikbaar is.

Voor de keuze van een scherm zijn er enkele schermeigenschappen relevant die kort besproken worden.

- Afmetingen paneel: Dit zijn de afmetingen van het LCD paneel zelf. Dit is van belang bij de uitwerking van het ontwerp, zodat het scherm in de behuizing past;
- Afmetingen actief deel: Dit zijn de afmetingen van het scherm zelf, dus het actieve deel. Het verschil tussen deze afmetingen en van het paneel zelf, vormen de zogenaamde bezels. De bezels zijn dus de randen rondom het actieve deel;
- Pixelgrootte: Dit is de afmeting van iedere pixel;
- Pixeldichtheid: Dit is de afstand tussen twee pixels in; des te hoger de dichtheid is, des te scherper het beeld;
- Dot-pitch: Dit is de diagonale afstand in milimeters tussens twee pixels van dezelfde kleur. Hoe kleiner deze afstand is, des te scherper is het beeld;
- Resolutie: De resolutie is het aantal pixels per lengte-eenheid. Bij schermen is de resolutie vaak een onterechte aanduideling voor het precieze aantal pixels;
- Schermtechnologie: Dit wordt hieronder uitgelegd.

De schermtechnologie die gebruikt wordt binnen een HMD is daarbij ook een belangrijke factor voor de gebruikerservaring. De drie technologieën LCOS, LCD en OLED worden het meest gebruikt in HMDs. (Sensics, 2009)

LCOS

Dit is een afkorting voor Liquid Crystal on Silicon. Deze technologie heeft enkele overeenkomsten met de LCD-technologie, behalve dat een LCOS-scherm reflectief is. Dit houdt in dat het scherm aan de voorkant verlicht wordt. Een groot voordeel van LCOS is dat ze hogere resoluties beschikken dan vergelijkbare technologieën. De grootste nadelen zijn dat ze aanzienlijk meer stroom verbruiken en ze warm worden waardoor koeling noodzakelijk is. LCOS schermen zijn vrij klein en zijn er niet in 7 inch versies.

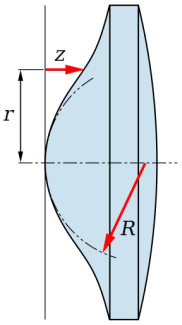
LCD

Dit is een afkorting voor Liquid-crystal display. Het is een van de meest gebruikte schermen voor allerlei producten. Een LCD-scherm is transmissief, wat inhoud dat het scherm wordt verlicht door een lichtbron aan de achterzijde. De voordelen zijn de goede kleurweergave, de uitstekende helderheid en de hoge resoluties.

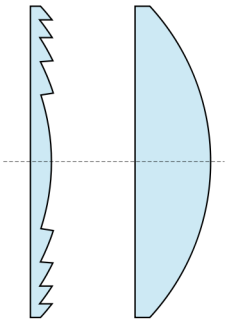
OLED

Dit is een afkorting voor Organic light-emitting diode. OLED heeft vele voordelen ten opzichte van LCOS en LCD:

- OLED-schermen hebben geen aparte lichtbron nodig, gezien licht zelf wordt gegenereerd. Hierdoor verbruiken deze schermen veel minder stroom;
- Zijn lichter van gewicht;
- Hebben beter contrast en helderheid;
- Geven kleuren beter weer.



Figuur 12. Asferische lens
Bron: wikipedia.com



Figuur 13. Fresnel lens en sferische lens
Bron: modulatedlight.org

Op veel vlakken hebben OLED-schermen de voorkeur boven andere technologieën. Deze technologie heeft alleen nog geen hoge resolutieschermen. Zodra OLED-schermen in hoge resoluties beschikbaar zijn, zullen ze uitermate geschikt zijn voor het gebruik in HMDs.

LCD-schermen hebben voor nu de voorkeur, gezien de bewezen technologie en de hoge resoluties waarin ze te verkrijgen zijn. Als eis heeft de opdrachtgever meegegeven dat de stroomvoorziening via USB moet worden geleverd. Dit betekend dat er gekeken moet worden naar een scherm dat weinig stroom verbruikt. Ook moet het scherm eenvoudig te verwisselen zijn mocht er een upgrade komen.

De meest gebruikte overdrachtsstandaard bij LCD schermen is LVDS. De opdrachtgever wil graag een flexibele datakabel met stekker, zodat de headset gemakkelijk los te koppelen is van het SUIT-pak.

1.4.5 Optiek

De functie van de lens bij een HMD is in paragraaf 1.2 uitgelegd.

Asferische lenzen

De opdrachtgever heeft aangedragen om gebruik te maken van asferische lenzen in combinatie met eyecups. Hiervan waren reeds twee sets gehaald, één set met een diameter van 51 mm en de andere set met een diameter van 57 mm. Beide sets hebben een brandpuntsafstand van 50 mm, gelijk aan die van de Oculus Rift DK.

Bij asferische lenzen is de ene kant bolvormig en de andere kant heeft een hyperbolische vorm - figuur 12-. De lenzen hebben als voordeel dat er verschillende beeldfouten gecorrigeerd kunnen worden. Des te meer beeldfouten er door de lens zijn, des te meer softwarematige correcties er nodig zijn, wat niet wenselijk is.

Het beeld vervormt zich aan de randen van de lens. Hiervoor is een 'warp-correctie' nodig in de virtuele omgeving. Het gebied dat nog scherp en correct te zien is, wordt ook wel aangeduid als de 'sweet spot': het gebied waarin de meeste pixeldichtheid is. De 'sweet spot' is overigens geen officiële term en is daardoor geen eigenschap waarmee lenzen vergeleken kunnen worden.

Naast het LCD-scherm zijn ook de lenzen bepalend voor het gewicht van een HMD. Glazen lenzen zorgen voor een beeld met minder beeldfouten, zijn kwalitatief gezien veel beter, maar zijn wel weer zwaarder. Kunststof lenzen zijn wat lichter, maar dat gaat veelal ten koste van de beeldkwaliteit.

De bijhorende optiek bij het ontwerpen van een HMD is een cruciaal, maar ook een lastig onderdeel. De bepaling van de geschikte optiek kan dan ook het beste overgelaten worden aan een specialist op gebied van optometrie.

Fresnellenzen

In plaats van asferische lenzen worden er in sommige HMD-prototypen gebruik gemaakt van fresnellenzen. Deze lenzen hebben het voordeel dat ze plat zijn, erg licht en weinig ruimte in beslag nemen, iets dat een groot voordeel heeft bij HMDs. De fresnel-optiek is door de jaren heen steeds verbeterd, waardoor het beeld aanzienlijk van hogere kwaliteit is dan voorheen.
Een fresnellens bestaat uit een in ringen opgedeelde 'gewone' lens, zie figuur 13. De dikte van deze ringen is steeds gelijk, waardoor de lens vlak lijkt. De afstand tussen de ringen bepaalt de kwaliteit van de lens. Des te dichter de ringen op elkaar zitten, des te minder zijn deze zichtbaar als men erdoorheen kijkt. Zoals iedere lens heeft een fresnellens ook twee brandpunten. Het brandpunt aan de 'ringzijde' bevindt zich dichter bij de lens, vergeleken met een sferische lens met dezelfde optische eigenschappen.

Kleine fresnellenzen met een brandpuntsafstand lager dan 100 mm zijn nauwelijks verkrijgbaar. Experimenteel

kunnen de brandpuntsafstanden worden gehalveerd door twee lenzen op elkaar te plakken. De kwaliteit van het beeld wordt hierdoor niet veel minder, waardoor het interessant is om in overweging te nemen. Vergeleken met vergelijkbare asferische lenzen, blijft de beeldkwaliteit van fresnellenzen echter minder. Zo is bij fresnellenzen het contrast slechter en is het beeld ongelijkmatig helder. De ontwerper van de Oculus Rift DK heeft in het beginproces ook naar fresnel lenzen gekeken.

Een ander nadeel van fresnellenzen is dat het centrum van de lens overeen moet komen met het centrum van het oog. De pupilafstand moet dus overeenkomen met de afstand van de fresnelcentra. Bij asferische lenzen is dit niet het geval en is er nog steeds gewoon zicht als de pupilafstand groter of kleiner is. Dit betekent dat bij het gebruik van fresnel lenzen, de lensafstand instelbaar moet zijn.

Lenstests

Om de twee sets asferische lenzen te testen met de Oculus Rift DK zijn er in kader van deze opdracht eyecups gemaakt in Solidworks om deze vervolgens 3D te printen -figuur 14-.

Figuur 14. Eyecups Oculus Rift DK

Conclusie uit deze test is als volgt:
- Lenzen zijn vergelijkbaar op gebied van helderheid en contrast;
- Grotere lens zoomt meer in;
- Kleinere lens geeft eerder warping. Deze lens heeft een kleinere diameter, waardoor de rand sneller wordt bereikt. Dit valt softwarematig te corrigeren.

Figuur 15. Opstelling voor het bepalen van FoV van lenzen

Het bepalen van de FoV van de lens gaat als volgt:
- De lens wordt gefixeerd voor een opstelling met als achterwand ruitjespapier - zie figuur 15;
- De afstand tussen de lens en de wand moet gelijk zijn aan de brandpuntsafstand;
- Een laserlicht schijnt door het centrum van de lens, waarbij er van links naar rechts wordt bewogen;
- Zodra de lenspunt op de wand begint uit te rekken, is het punt bereikt waarop er door de lens gekeken kan worden;
- De hoek die gemaakt wordt is de FoV van de lens.

Beide sets lenzen hebben een Field of View van 68 graden per lens.

Testen met op elkaar geplakte fresnellenzen wijzen uit dat het beeld relatief goed is, maar dat de ringen wel gedeeltelijk zichtbaar zijn.

Fresnellenzen kunnen door de geringe afmetingen en het geringe gewicht bruikbaar zijn voor HMDs. Wel moet er dan rekening gehouden worden met de pupilafstand van de gebruiker. Ondanks dat fresnellenzen relatief goed beeld geven, is de beeldkwaliteit bij gebruik van vergelijkbare asferische lenzen veel beter.

Na intern overleg met de opdrachtgever is besloten om in deze opdracht gebruik te maken van de asferische lenzen met een diameter van 51 mm. De ruimte tussen de lenzen bij gebruik van de grotere lenzen (57 mm doorsnede) is erg beperkt, waardoor er nauwelijks neusruimte overblijft.

1.5 Literatuur HMD

Veel literatuur over het ontwerp van Head Mounted Displays komt voort uit onderzoeken van problemen of aanbevelingen voor ontwerpen van HMDs voor het leger. Bijvoorbeeld een helikopterpiloot die in het donker kan vliegen dankzij een HMD geïntegreerd in de helm waarmee hij of zij goed zicht heeft. Of landtroepen die 's nachts door nachtkijkers willen kijken die op hun helmen bevestigd zitten. Dit soort voorbeelden vormen de basis van veel onderzoeken, die als doel hebben voor deze doelgroepen de HMDs te verbeteren.

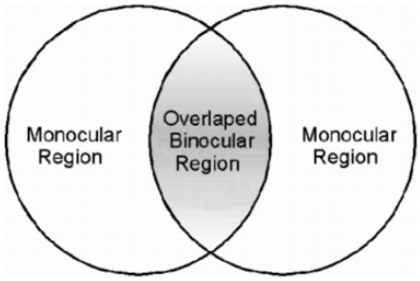
In een publicatie van het Amerikaans leger, 'Helmet-Mounted Displays: Sensation, perception and Cognition Issues' (Clarence E. Rash, 2009), worden verschillende richtlijnen en aanbevelingen aangekaart die relevant zijn voor het ontwerpen van HMDs, met natuurlijk de focus op het leger. Hierin worden echter wel punten aangehaald die relevant kunnen zijn voor de te ontwerpen HMD.

Één van de aangekaarte aanbevelingen gaat over het gezichtsveld. Er wordt gesteld dat een groot gezichtsveld, van minimaal 60 graden, aan te bevelen is om goed in een virtuele omgeving op te gaan. Het menselijk visueel systeem heeft een totaal gezichtsveld van 200 graden horizontaal en 130 graden verticaal.

De resolutie blijkt tegengesteld aan het gezichtsveld te zijn: des te groter het gezichtsveld, des te lager de resolutie is. Wel worden er mogelijkheden aangekaard om het gezichtsveld te vergroten zonder dat dit ten koste gaat van de resolutie. Dit valt grotendeels buiten bestek bestek van deze opdracht. De meest belangrijke mogelijkheid wordt nu toegelicht.

Binoculaire overlapping

Bij binoculaire overlapping zijn er twee optische kanalen die elkaar gedeeltelijk overlappen -figuur 16-. Hierdoor zijn er twee aparte beelden te zien voor elk oog en daarnaast wordt een deel overlapt. Hierdoor wordt een groter gezichtsveld gerealiseerd. Hiervoor zijn echter wel twee beeldbronnen nodig en twee videokanalen met de juiste optiek.



Figuur 16. Gedeeltelijke overlapping van het gezichtsveld (Richtlijnen HMD ontwerp USA Army, hoofdstuk 3 blz 50)

1.6 Vooronderzoek materiaal en productietechnieken

Tijdens de analysefase is er gekeken naar de mogelijke materialen en productietechnieken om vooraf kennis te verschaffen die tijdens het ontwerpproces in het achterhoofd meegenomen kunnen worden.

Er zijn vele materialen mogelijk bij de productie van het prototype en de eindproductie. Vanuit de opdrachtgever blijkt dat het aantal te produceren HMDs voorlopig maximaal 100 stuks zal bedragen. Hierdoor kunnen bepaalde productietechnieken uitgesloten worden, omdat deze hoeveelheid niet onder massaproductie valt. Bekend is dat door middel van 3D printen het mogelijk is om functionele prototypes te realiseren. De materialen, de nauwkeurigheid en het algehele proces kan zich er ook voor lenen om bij een kleine oplage het eindproduct 3D te printen. De huidige Trivisio HMDs worden gefabriceerd door middel van SLS technologie, waarbij het materiaal Nylon 11 wordt gebruikt. De SLS technologie en andere productietechnieken zullen nu kort worden beschreven en vergeleken.

Rapid Prototyping is een verzamelingsnaam voor de verschillende technieken om snel fysieke prototypen of producten te vervaardigen. Er zijn meerdere technieken en de vijf belangrijkste technieken worden beschouwd (Bron: RapidPrototyping.nl).

Stereolithografie (SL) is één van de oudste Rapid Prototyping-technieken.
Het basisprincipe is het laagsgewijs uitharden van een UV-gevoelige epoxyhars door middel van een UV-laserstraal. Het voordeel van deze techniek is de hoge nauwkeurigheid die ermee behaald kan worden. Vergeleken met de andere technieken is het nadeel dat

de producten minder sterk zijn (Hollis, 2007, p. 67). Door de hoge nauwkeurigheid zijn de producten zeer bruikbaar als visuele prototypes, maar minder geschikt als functionele prototypes.

Voordelen:
- Heel nauwkeurig / detail
- Goede oppervlakte afwerking

Nadelen:
- Kleine materialenkeuze
- Zwakker materiaal

Fused deposition modeling (FDM) maakt gebruikt van thermoplastisch materiaal in de vorm van een draad. Deze draad wordt door een verhitte spuitmond gevoerd waarin het materiaal tot het smeltpunt wordt gebracht. Het gesmolten materiaal wordt laagsgewijs opgebracht volgens de parameters aangegeven in een aangeleverde CAD-file. De bouwrichting bepaalt ook de sterkte, wat dus een aanzienlijk belangrijke ontwerpfactor is. (Bron: Designerdata.nl)

Voordelen:
- Redelijk nauwkeurig
- Kleuren mogelijk

Nadelen:
- Ruw oppervlakte
- Laagswijze opbouw
- Steunmateriaal nodig

Selective Laser Sintering (SLS) is een techniek die vooral gebruikt wordt om functionele prototypen of producten te produceren. Het is een Rapid Prototyping-techniek die erg lijkt op Stereolithografie, waarbij een laser met een kleine diameter laagsgewijs een poeder versmelt.

Voordelen:
- Nauwkeurigheid
- Grote materialenkeuze
- Geen ondersteuning nodig
- Sterkte materiaal

Nadelen:
- Ruw oppervlakte
- Niet in kleur te printen
- Nabehandeling nodig

Vacuumgieten is een andere techniek die voor kleine oplages geschikt is. Vacuumgieten is een rapid production-proces, waarbij het resultaat vaak niet te onderscheiden is van een spuitgegoten product. Het is met deze techniek mogelijk om door middel van een siliconenmatrijs kleine series te produceren. Voor de siliconenmatrijs is een 'mastermodel' nodig, die gemaakt kan worden met bijvoorbeeld SL. De nauwkeurigheid van het mastermodel is bepalend voor het resultaat.

Voordelen:
- Nauwkeurigheid
- Grote materialenkeuze
- Geen laagswijze opbouw, dus sterk eindproduct
- Goede oppervlakte afwerking
- Kostenefficiënter

Nadelen:
- Maximaal 20 afgietsels per siliconen matrijs

De PolyJet techniek is vooral geschikt voor rubbergelijkende producten. Een UV gevoelige polymeer wordt laag-op-laag uitgeschreven in een zeer hoge resolutie en wordt direct onder invloed van UV-licht uitgehard. Deze techniek is de enige techniek waarbij rubberachtige materiaaleigenschappen bereikt kunnen worden met een goede oppervlaktekwaliteit.

Voordelen:
- Nauwkeurig
- Goede afwerking
- In kleur te printen
- Rubbergelijkend materiaal

Nadelen:
- Zwak materiaal

Gezien de grote materiaalkeuze en sterkte van het materiaal lijkt SLS een betere techniek voor het prototype. Als eindproduct lijkt voor nu het vacuümgieten een goed alternatief, om een zo hoog mogelijke sterkte te verkrijgen van het product.

Bij het ontwerpen van een stootvast product moet behalve het kiezen voor een stootvast materiaal ook bij het ontwerp rekening gehouden worden met zones (of delen van het product) die mogelijk aan hoge krachten blootgesteld worden. Deze zones kunnen dan worden voorzien van elementen die deze krachten kunnen opvangen, zoals stootkussens. Bij de materiaalkeuze is het belangrijk dat het een hoge Impact Strength heeft, maar ook dat het materiaal niet te inelastisch is waardoor het sneller bros kan breken.

De wanden zijn volledig spatwaterdicht te krijgen met bijvoorbeeld SLS en een oppervlakte behandeling. Ook alle kieren en openingen in het product moeten spatwaterdicht zijn. Veel producten bevatten hiervoor siliconen of rubberen lagen die voor de noodzakelijke afdichtingen zorgen.

1.7 Doelgroepanalyse

Primaire belanghebbenden
De primaire belanghebbenden zijn diegenen die het product SUIT aankopen of gaan gebruiken, zoals het Ministerie van Defensie, Korps Landelijke Politie Diensten (KLPD) en de Brandweer.

Zij hebben behoefte aan extra en verbeterde trainingsmogelijkheden, zodat hun medewerkers op meerdere scenario's voorbereid zijn en hun vaardigheden blijven verbeteren.

Een andere behoefte sluit aan bij de bezuinigingen vanuit de overheid. Defensie, politie en brandweer willen besparen in trainingskosten, zonder verlies van de kwaliteit ervan. SUIT voorziet in deze wens, doordat men niet het personeel naar trainingsdorpen hoeft te transporteren om ze daar enige dagen te laten verblijven. Hierdoor wordt er bespaard op transport- en verblijfkosten.

Hiernaast hebben degenen die het systeem aanschaffen, er baat bij dat het systeem lang mee gaat. Dit betekent dat de HMD stevig moet zijn, gezien het aannemelijk is dat de HMD meerdere malen gaat vallen.

De technicus en de instructeur hebben vooral belang bij een overzichtelijk systeem, waar zij de training en de scenario's flexibel kunnen instellen en beheren.

De operators, de eindgebruikers, hebben er belang bij dat de training zo realistisch mogelijk aansluit op de echte wereld. Eenheden van het Ministerie van Defensie en de KLPD maken gebruik van nachtkijkers in donkere situaties. Door de mogelijkheid te verschaffen om zelf een nachtkijk-functie in de virtuele wereld te activeren, worden sommige scenario's realistischer.
De brandweer gebruikt steeds vaker warmtebeeldcamera's ter ondersteuning van invallen bij brand. Deze worden gebruikt om eventuele slachtoffers en brandhaarden te ontdekken. Door een functie aan de HMD toe te voegen waardoor de brandweer bij trainingen warmtebeelden kunnen activeren, zullen de trainingen als realistischer worden ervaren. De opdrachtgever heeft als wens aangegeven dat ze graag een functieknop op de HMD willen voor dit soort doeleinden.

Door fysieke en mentale inspanningen is er kans op transpiratie bij de operators, wat in direct contact komt met de HMD. Gezien het vaak verschillende operators zijn die de HMD dragen, is het belangrijk dat die hygiënisch schoon te houden is.

Hiernaast moet de HMD comfortabel door de operators gebruikt kunnen worden gedurende hun training. Dit betekend dat het qua draagcomfort goed moet zitten, niet te zwaar is en dat de HMD eenvoudig en snel voor het gezicht is in te stellen.

Secundaire belanghebbenden
De secundaire belanghebbenden zijn diegenen die het product moeten onderhouden, zowel bij Re-lion als bij de klant. Zij hebben er belang bij dat eventuele reparaties gemakkelijk uit te voeren zijn. Indien er een onderhoudscontract is met Re-lion, heeft Re-lion er belang bij dat de onderdelen van haar product gemakkelijk te verkrijgen en vervangen zijn voor eventuele reparaties.

Het leger is vanzelfsprekend zowel voor mannen als vrouwen toegankelijk, ook al zijn deze laatsten ver in de minderheid. Slechts 9% van de militairen bestaat uit vrouwen volgens het Ministerie van Defensie (2005). Voor de pupilafstand is dit relevant voor de bepaling van de boven- en ondergrens ervan.

Concluderend zijn de volgende punten belangrijk voor het ontwerp van de HMD:
- De HMD moet stootvast zijn;
- De HMD moet een functieknop bevatten;
- De HMD moet hygiënisch zijn;
- Het onderhoud moet gemakkelijk zijn.

1.8 Mountverbinding

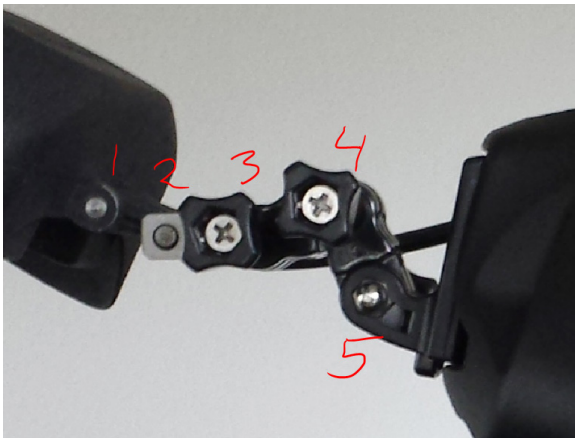
De mount zorgt voor de verbinding tussen het hoofd en de HMD zelf. De opdrachtgever wil dit graag via een NVG/ GoPro-mount realiseren. Deze verbinding is cruciaal voor de stabiliteit van de HMD. Indien deze niet stabiel is, gaat dit ten koste van de immersieve ervaring van de opperator. Ook kan het misselijkheid veroorzaken. Om te analyseren wanneer stabiliteitsproblemen optreden, zijn hiervoor tests gedaan.

- De huidige HMD is 210 g. Voor nu wordt aangenomen dat de te ontwerpen HMD twee keer zo zwaar wordt. Bij het zijwaarts heen en weer bewegen van de HMD waren er hele kleine stabiliteitsproblemen zichtbaar. Die zijn echter verwaarloosbaar in geval van de huidige HMD. Naar verwachting zal een zwaardere HMD ervoor zorgen dat deze kleine stabiliteitsproblemen groter worden. De verbinding zoals in de huidige situatie is daarmee geschikt voor de huidige HMD, maar ongeschikt voor een zwaardere HMD.

- Om te analyseren wat de stabiliteit is van de Oculus Rift bevestigd aan de huidige mountverbinding op de Skull Crusher, wordt deze aan de mount bevestigd.
Dit gebeurde met tieraps via het scharnier zelf. Deze constructie zelf zorgt al voor enige instabiliteit, gezien de Oculus hierdoor niet stevig genoeg geklemd kan worden aan de mount.

- Om toch het gewicht te nabootsen van de Oculus Rift met een huidige mountverbinding, wordt er een test gedaan om te analyseren hoe stabiel de huidige verbinding is met de Trivisio HMD met een extra gewicht eraan. Het totale gewicht is nu vergelijkbaar met die van de Oculus Rift.
Hieruit bleek dat de mount niet stabiel genoeg was om een schokvrij beeld te verkrijgen. Dit komt ten dele door dat er vijf scharnierpunten in totaal zijn, waarbij er maar drie gefixeerd kunnen worden, zie figuur 18. Nadat er aan de zijkant steun is aangebracht door een schuimstukje, werd de HMD stabieler. Bij zijwaartse bewegingen gaat de Trivisio-HMD lichtelijk uit balans.

- Analyse van de mount
De mount waarmee de huidige HMD bevestigd zit aan de Skull Crusher bestaat uit vijf scharnierpunten, waarbij drie punten gefixeerd kunnen worden. De onstabiliteit in de huidige mount wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de punten 1 en 2 in figuur 17. Deze punten kunnen niet volledig gefixeerd worden, maar kunnen wel ingesteld worden dat de scharnier stroever beweegt.
Concluderend kan gesteld worden dat de bewegingsvrijheden van de kantelpunten 1 en 2 een rol spelen in de instabliteit van de HMD. Des te meer scharnierpunten er zijn, des te instabieler het systeem is.



Figuur 17. Scharnierpunten in huidige mount

- Het testen van de Oculus Rift op de bestaande mount is erg lastig en de resultaten hiervan zijn dan ook niet betrouwbaar. Met tieraps is geprobeerd de mount te bevestigen aan het bevestigingspunt voor de bovenste hoofdband. Dit is niet stabiel en geeft zodanig geen goede resultaten. Met lijmklemmen is het misschien mogelijk om een stevige verbinding tussen mount en Oculus te realiseren. Ook dit zorgt voor onbetrouwbare resultaten door het extra toegevoegde gewicht van de klemmen.

- Testen met twee bewegingsvrijheden
We beschouwen de siuatie dat de mountverbinding maar twee bewegingsvrijheden hebben; het omhoog/omlaag klappen van de HMD en het dichterbij de ogen brengen.

De Skull Crusher kan gemakkelijk op het hoofd geklemd worden door middel van 3 verstelknoppen. Dit maakt de Skull Crusher universeel. Het betekent dat de verticale hoogte tussen mount en lenzen altijd hetzelfde kan zijn. Hierdoor is het mogelijk om een HMD te hebben die alleen maar hoeft neer te klappen en die dichterbij de ogen gebracht kan worden.

Dit is niet het geval bij een militaire helm, waarbij er maar enkele maten zijn (zoals S,M,L,XL). Er is daarbij maar één manier om de helm correct te bevestigen op het hoofd. Hierdoor is de verticale hoogte tussen mount en lenzen per persoon anders. Ook zijn deze legerhelmen niet stabiel; omdat ze op het hoofd nog te bewegelijk zijn door de tussenruimte in de helm dat bescherming als doel heeft.
Re-lion heeft aangegeven dat tijdens deze opdracht er van de Skull Crusher uit moet worden gegaan.

Figuur 18. Stabiliteitstest

1.9 Programma van Eisen

Het product moet:

Eisen

1. Prestaties
- 1.1. Stootvast zijn
- 1.2. Stroomvoorziening via USB hebben
- 1.3. Een scherm van 6 tot 7 inch diagonaal bevatten
- 1.4. Een 1080p scherm bevatten
- 1.5. Moet spatwaterdicht zijn
- 1.6. Moet stofdicht zijn

2. Geometrie
- 2.1. De mogelijkheid hebben eenvoudig het scherm te plaatsen of te verwisselen.
- 2.2. Licht van gewicht zijn, kleiner dan 500 gram
- 2.3. Een open onderzijde van de bril hebben
- 2.4. Modulair geheel afgesloten kunnen worden
- 2.5. Bevestigd aan headset of helm door middel van een GoPro-mount/NVG mount
- 2.6. Afneembare lenzen hebben

3. Signaal
- 3.1. Een interne microfoon bevatten
- 3.2. Een audio output bevatten
- 3.3. Flexibele kleine datakabel met stekker

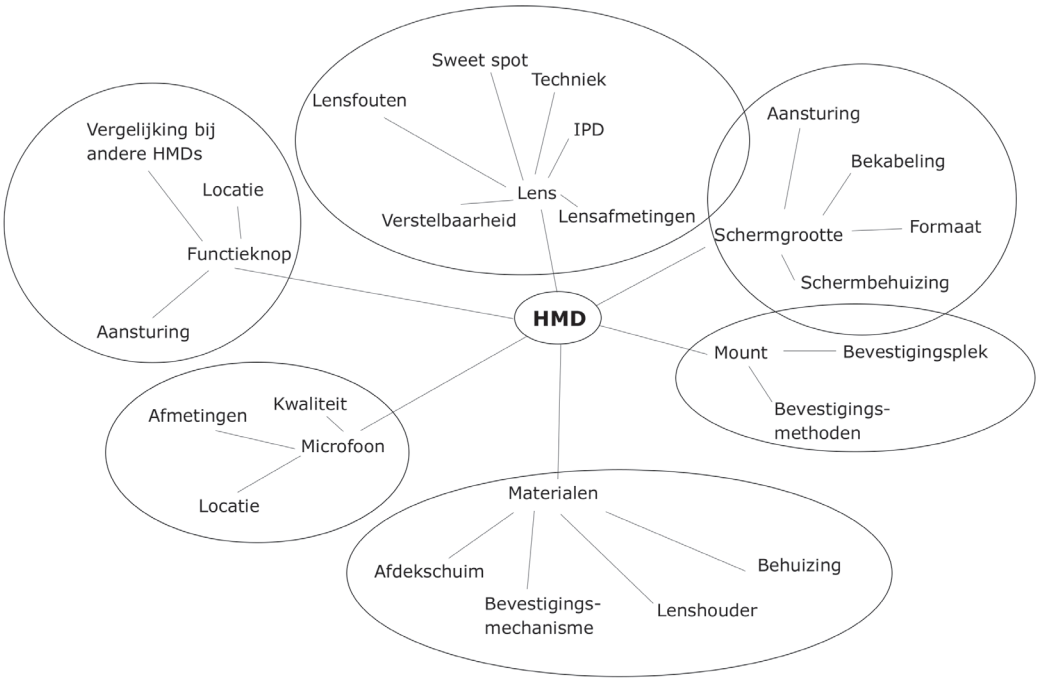
4. Productie
- 4.1. Een oplage hebben van minder dan 100 producten
- 4.2. Een kostprijs hebben van onder de €1000,-

5. Onderhoud
- 5.1. Gemakkelijk schoon te maken zijn
- 5.2. Intern eenvoudig te onderhouden zijn

Wensen
- Pré: Programmeerbare functieknop
- Extra: Sensor behuizing op de headset
- Extra: Display controlboard behuizing indien mogelijk

2. Ontwerp

Dit hoofdstuk beschrijft de ideeën die tijdens en na de analysefase naar boven kwamen. Er is gekeken naar eventuele literatuur die misschien bruikbaar kon zijn, er zijn door middel van collages ideeën opgedaan. Aan de hand van schetsstudies is gekeken naar bruikbare concepten, die ook in dit hoofdstuk worden beschreven.



Figuur 19. Ideeënweb schetsstudie

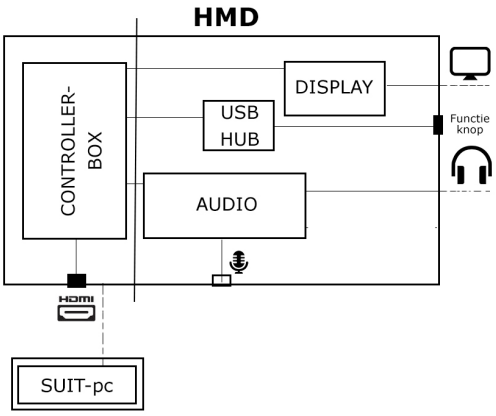
2.1 Voorstudie

2.1.1 Collages + beginstudie

Voor het ontwerpen van de behuizing is onderzoek gedaan naar bestaande objecten die gebruikt worden door de doelgroep, om qua vormgeving enige aansluiting hieraan te kunnen geven. Natuurlijk is de te ontwerpen HMD een product van Re-lion. Huisstijlelementen van dit bedrijf zullen dan ook in acht genomen worden.

In de eerste plaats is er een kleine collage gemaakt van trainingsmomenten van het leger - bijlage III -. Dit om de sfeer na te bootsen waarin een dergelijke training plaatsvindt.

Om de vormkenmerken van militaire apparatuur te analyseren, is er tevens een collage gemaakt van militaire apparatuur - bijlage IV -. Een opvallend kenmerk is dat veel apparatuur reliëf bevat; over het gehele oppervlak of kleine uitsparingen met reliëf.



Figuur 21. Onderdelen in de HMD bijhorend bij schetsstudie

Dit is zowel van functioneel als van uiterlijk belang. Functioneel omdat hiermee materiaal bespaard wordt, vooral bij de delen waar geen krachten op komen. Ook kan het soms zorgen voor het gripvermogen op het betreffende product. En op uiterlijk vlak omdat het reliëf voor een stoer uiterlijk zorgt.

Bij iets waar veel kracht bij nodig is of vrijkomt, te denken aan bijvoorbeeld boormachines, zijn ventilatieschachten nodig om de geproduceerde warmte te ventileren. Dergelijke gereedschappen worden als stoer en 'mannelijk' ervaren. Het leger is natuurlijk een goed voorbeeld dat met stoer gepaard gaat.

Qua vormkenmerken is er ook gekeken naar reeds bestaande HMDs die in de markt te verkrijgen zijn -bijlage V -. De HMDs die bestemd zijn voor de consument bevatten veel doorgetrokken en vloeiende lijnen en afgeronde vormen. Dit in tegenstelling tot apparatuur die bestemd is voor legerdoeleinden, die vooral voor functionaliteit gemaakt zijn en tegen stootjes kunnen. In deze apparatuur, zoals displays voor in helikopterhelmen of nachtkijkers, zitten veel ronde hoeken en zijn vaak zoals in de vorige alinea was toegelicht, meer het 'stoerder ontwerp'.

Van alle zaken die mogelijk relevant zijn voor het ontwerpen van HMD, is een ideeënweb gemaakt -figuur 19-.

2.2 Conceptfase

2.2.1 Schetsen

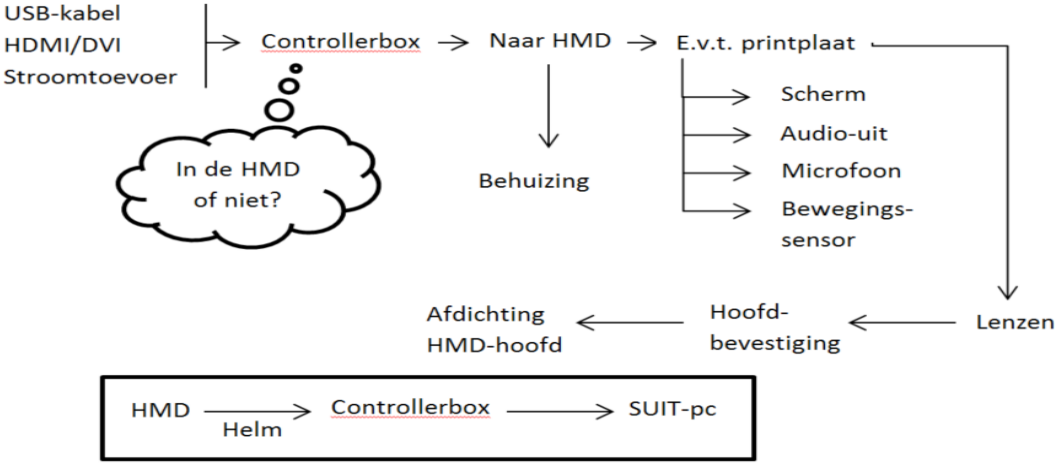
Na de brainstormsessie is er begonnen met het schetsen. Ideeën worden beschreven over de belangrijke componenten van de HMD, die vervolgens worden samengevoegd tot drie concepten. De schetsstudie is voor de volledigheid als bijlage - bijlage V - toegevoegd. In figuren 22 tot en 24 enkele beginschetsen van waaruit de inspiratie wordt gehaald.

Electronische componenten

Tijdens de analysefase zijn er verschillende componenten beschouwd die relevant zijn voor het ontwerpen van een HMD. Figuren 20 en 21 geven deze componenten weer.

Na overleg met de opdrachtgever is besloten deze controller box buiten de HMD te houden, om hiermee aanzienlijk in gewicht te besparen. De controller box kan op de headset bevestigd worden of in de rugzak waar de SUIT-pc in zit.

Figuur 21 geeft aan welke componenten precies in de HMD zitten en hoe de kabels lopen richting de controller box.



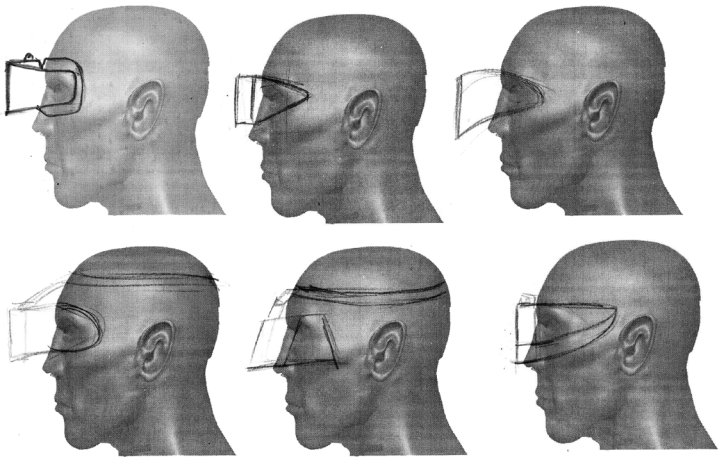
Figuur 20. Onderdelen in de HMD bijhorend bij schetsstudie vanuit Oculus Rift gemaakt

Vormgeving behuizing

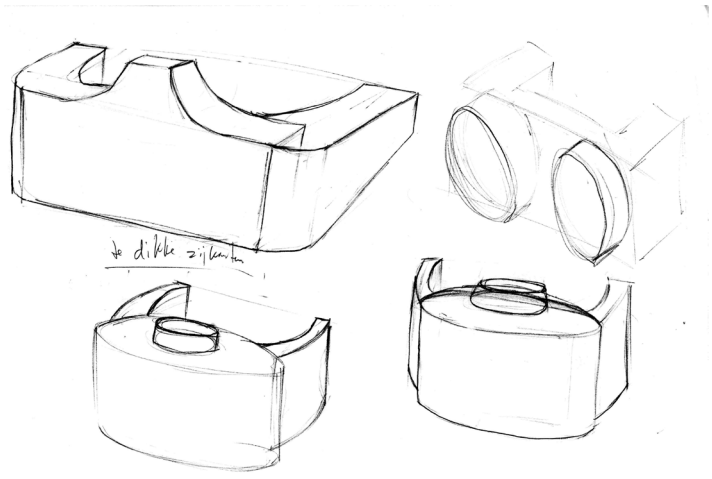
In de eerste schetsen is er gekeken naar de mogelijkheden op gebied van ronde vormen, deels geïnspireerd van zonne- en skibrillen. Tijdens een dergelijk proces is het erg belangrijk om 'out-of-the box' te denken, om te voorkomen dat men bij bestaande vormen blijft. Vooral in geval van de Oculus Rift DK en het feit dat er een bepaald formaat scherm gebruikt wordt, kan hiervoor zorgen.

Om de schetsen gelijk te 'testen' is er een willekeurig 3D gezicht gebruikt om daarop te schetsen, waardoor al vrij duidelijk gezien kan worden of vormen wel of niet geschikt zijn, zowel van de voorkant als van de zijkant.

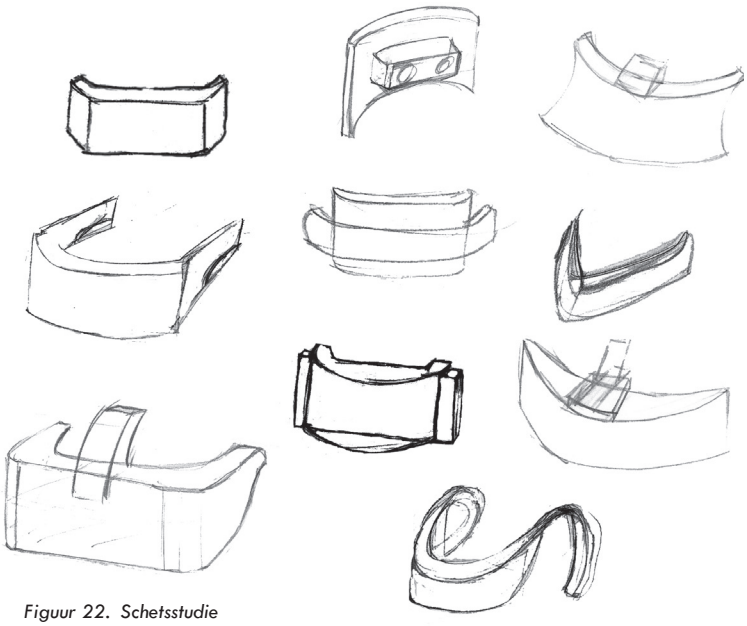
Uit de collages kwam naar voren dat er veel ronde vormen zitten bij legerobjecten.



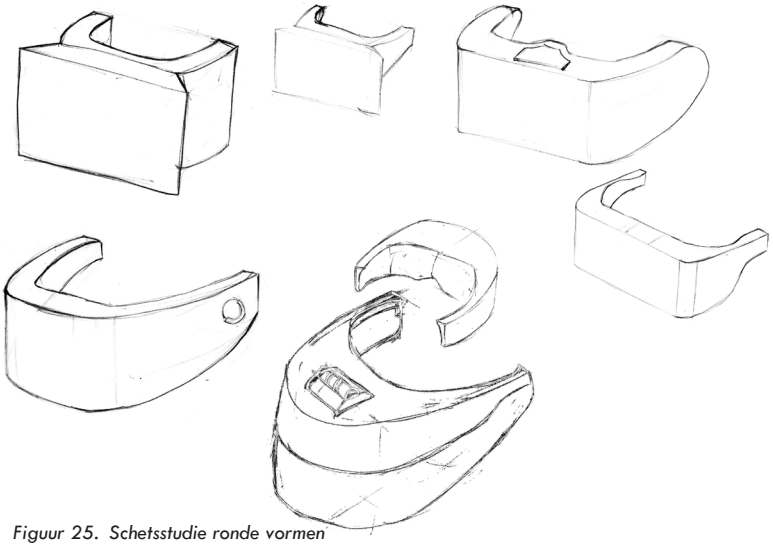
Figuur 23. Schetsstudie zijkant hoofden



Figuur 24. Schetsstudie ronde vormen



Figuur 22. Schetsstudie



Figuur 25. Schetsstudie ronde vormen

Ronde vormen zijn veelal terug te vinden in futuristische objecten, zoals auto's, zie figuur 26. De ronde vormen bij auto's zijn aerodynamischer, waardoor de luchtweerstand zo laag mogelijk wordt gehouden.
Een ander voorbeeld zijn de ronde vormen in het pak van Iron Man - figuur 27 -, een bekende fictieve superheld. Iron Man is een stoere personage en dit uit zich ook in zijn pak. Het pak vormt zich geheel naar het lichaam van de personage. Een pak dat aansluit op het menselijk lichaam, bevat vrijwel altijd afgeronde vormen. Iron Man vormt een inspiratie voor de te ontwerpen HMD.

Figuur 26. Futuristische auto

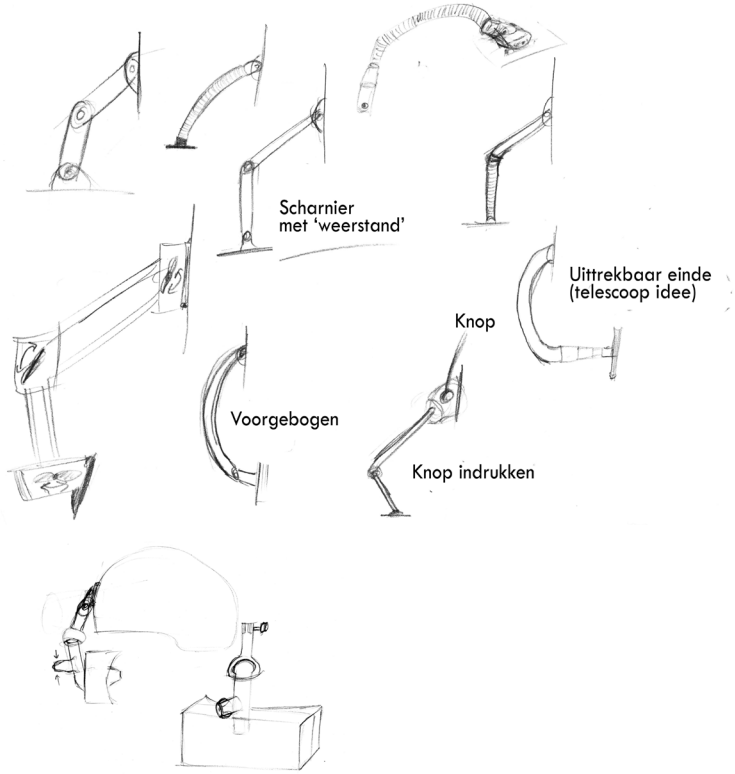
Figuur 27. Iron Man

Mountverbinding

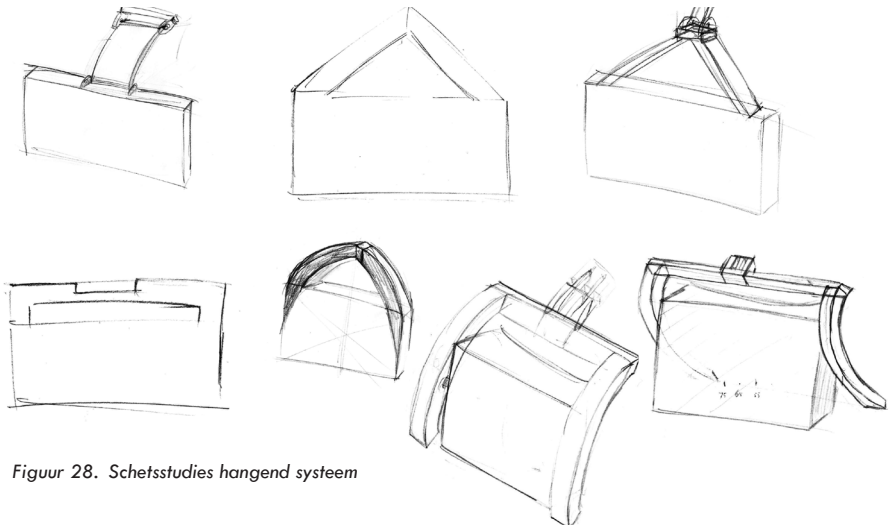
Een belangrijk aspect is dat de verbinding van de HMD en het hoofd stabiel is. Een instabiliteit van de mount zorgt ervoor dat het scherm beweegt. Hierdoor moeten de ogen blijven accomonderen om een scherp beeld te behouden. Dit kan voor duizeligheid zorgen. In figuur 29 is gekeken naar mogelijke verbindingen.

Er zijn twee mogelijkheden om de HMD stabiel te houden. Eén hiervan is het verstevigen van de mount zodat eventuele draaiingen niet meteen een grote verdraaiing van de HMD verzoorzaken. Anders gezegd moet een eventuele draaiing opgevangen kunnen worden, door zoveel mogelijk contactpunten.

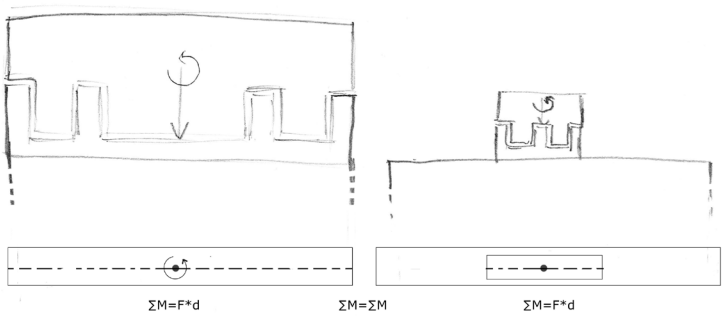
In figuur 28 is gekeken naar een systeem waarbij de HMD hangt tussen de mount. De gedachte is dat hierdoor de HMD stabieler voor het hoofd hangt.



Figuur 29. Schetsstudies mount



Figuur 28. Schetsstudies hangend systeem



Figuur 30. Krachten op mount

Om meer stabiliteit te krijgen is het verbreden van de mount op de HMD -zie figuur 30- een mogelijkheid. Het gewicht van de HMD moet in geval van bijvoorbeeld de Trivisio gedragen worden door het kleine verbindingsstuk. Door de mount op de HMD te verbreden is eenzelfde benodigde kracht verdeeld over een veel langere verbinding. Door er tussenstukjes in te plaatsen, wordt de HMD vastgezet op ieder klein stukje, dat een tegenkracht moet verzorgen zodat de HMD niet gaat draaien. Deze kracht is nu echter veel kleiner omdat het gewicht onder ieder stukje van de mount veel kleiner is. Hierdoor wordt de stabiliteit vergroot.

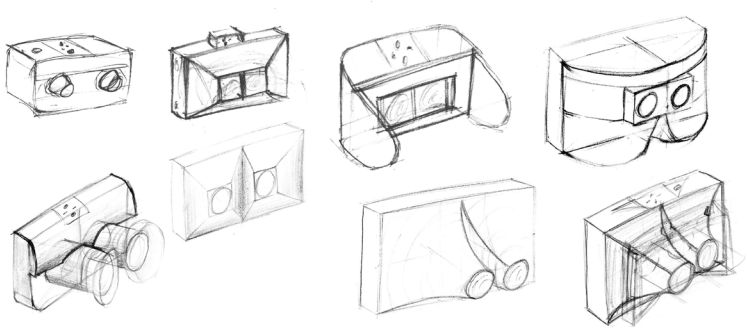
Achterzijde, optiek & afsteuning

De vormgeving van de achterzijde van de HMD is bepalend voor de afsteuning en de optiek. Een concept zoals linksonder in figuur 31 is geen mogelijkheid, omdat dit ten kosten gaat van het gezichtsveld. Bij nachtkijkers wordt er wel gebruik gemaakt van een lijkende vormgeving, dit gaat alleen ten koste van het gezichtsveld.Dit is overigens simpel voor te stellen door het gebruiken van twee lege WC-rollen waar je doorheen kijkt. Het gezichtsveld is beperkt tot de diameter van de toiletrol.

De keuze van het soort lenzen is relevant voor het ontwerp van de achterkant. Het gebruik van fresnellenzen zou ervoor zorgen dat het model smaller kan worden. Tijdens het schetsen is deze mogelijkheid wel meegenomen om wellicht tot andere mogelijkheden te komen voor de 'gewone' asferische lenzen.

De afsteuning draagt bij aan het comfort waarmee de HMD gedragen wordt. Het gebruik van foam ter afsteuning tegen het gezicht, zorgt voor een zachte afsteuning.
Er is gekeken hoe dit foam bevestigd kan worden aan de HMD. Drie mogelijkheden zijn hiervoor geopperd -figuur 32-:

- Het gebruiken van klittenband om de foam te plaatsen: Dit is erg geschikt omdat je gemakkelijk modules kan maken van het foam. Waar eerst gedacht werd dat



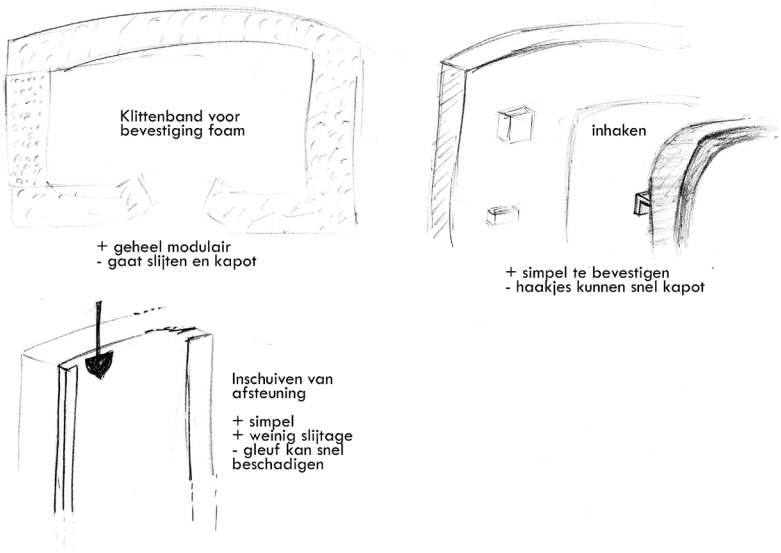
Figuur 31. Schetsstudies achterkant

klittenband snel slijt en daarom minder geschikt is, bleek na overleg met een professional dat dit niet het geval is.

- Het erin schuiven van foam om het hiermee klemmend aan de behuizing te bevestigen: Hiermee zit het goed vast en is er ook geen slijtage. Nadeel is echter wel dat de sleuf makkelijk kan beschadigen en dat het foam zo geproduceerd moet worden dat er een verhard stuk aan de onderkant is wat in de HMD geschoven kan worden.

- Het erin haken van het foam door middel van bevestigingshaakjes aan het foam: Werkt simpel, echter sluit dit minder goed het licht af doordat de contactpunten maar op enkele plekken van het foam zitten. Hierdoor kan op de plekken waar het niet bevestigd is aan de HMD, licht doorgelaten worden tussen de HMD en het foam door. Ook moet er op het foam haakjes worden produceerd wat weer duurder zal zijn.

Het gebruik van klittenband heeft tot dusverre de voorkeur, omdat:
- het gemakkelijk te produceren is
- het makkelijk in onderhoud is
- het goed modulair te bevestigen is
- de afstand van lens tot oog gevarieërd kan worden door verschillende diktes foam aan te bieden.



Figuur 32. Schetsstudies bevestiging foam voor afsteuning

Audio & functieknoppen

Een andere belangrijke eis is het bevatten van een microfoon en een uitgang voor een koptelefoon.

Het is belangrijk de locatie van de microfoon goed te kiezen. Hiernaast is de richtkarakteristiek van de microfoon doorslaggevend op de microfoon bruikbaar is voor de te ontwerpen HMD. De microfoon moet namelijk geen andere achtergrondgeluiden oppakken. De opdrachtgever heeft drie electret microfoontjes gekocht om hiermee te experimenteren. Deze zijn in kader van deze opdracht aan kabels gesoldeerd om te testen met SUIT. Alle drie de microfoons hadden een omnidirectionele richtkarakteristiek, inhoudend dat ze geluiden geheel rondom de microfoon oppakken.

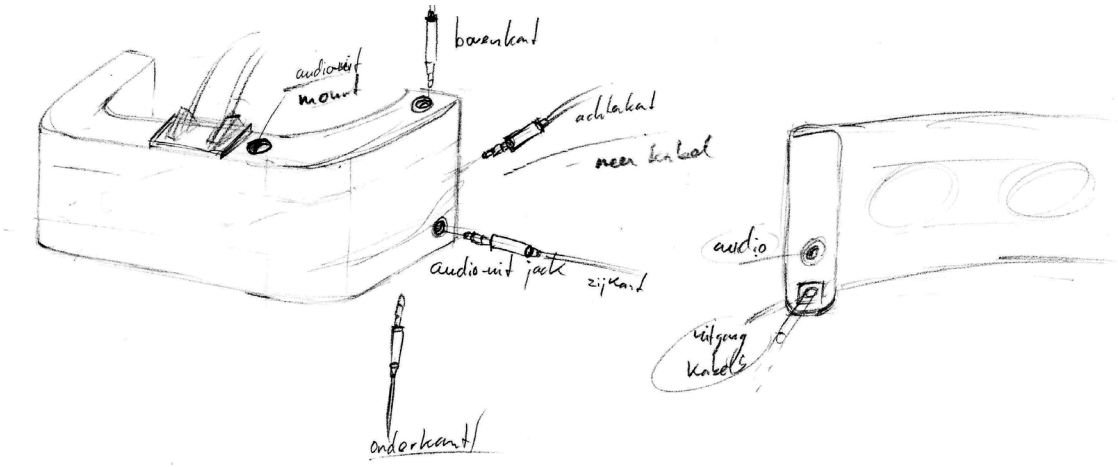
Bij microfoons is daarnaast het frequentiebereik belangrijk. Dit is het gebied waarin het membraan van de microfoon geluidstrillingen goed kan registreren zonder variaties erin. Voorkeur gaat uit naar een vlakke karakteristiek, wat inhoudt dat het membraan op een bepaald frequentiebereik alle frequenties even goed kan registreren. Tijdens de tests presteerde de microfoon met het vlakste frequentiekarakteristiek (welke ook het grootste frequentiebereik heeft), het beste op het registreren van geluiden.

Bij gebruik in een HMD is het wenselijk dat de microfoon alleen geluiden registreert van de operator. Hiervoor is een uni-directionele richtkarakteristiek geschikt, omdat deze geluiden kan registreren vanuit één richting.

Plaatsing van de microfoon in de HMD kan het beste midden bij de neus, gericht naar beneden. Er is gekeken of er inzicht verkregen kon worden in de stromingen door de neus. Hierdoor zou het mogelijk zijn of het uitademen door de deur storend voor de microfoon zou zijn. Het blijkt dat tot heden de neusstromen niet in kaart zijn gebracht omdat dit erg ingewikkeld is. Daarom is er in dit onderzoek voor gekozen de microfoon in het midden te plaatsen, om eventuele storingen te voorkomen.

Verder is gekeken naar het aansluiten van een koptelefoon op de HMD -figuur 33-. Er zijn hiervoor verschillende mogelijkheden en daarmee afwegingen. Voorkeur gaat uit om de 3.5mm audio-aansluiting het beste zo dicht mogelijk bij de mount te plaatsen om zo min mogelijk kabels rondom de HMD te hebben. Via de mount kan de kabel richting oren.

Waar aan gedacht moet worden bij locatiebepaling is dat het systeem ook opgeklapt moet kunnen worden. Door aan de achter-, onder- of zijkant de ingang te plaatsen, heb je extra kabel nodig om de HMD omhoog te kunnen klappen.



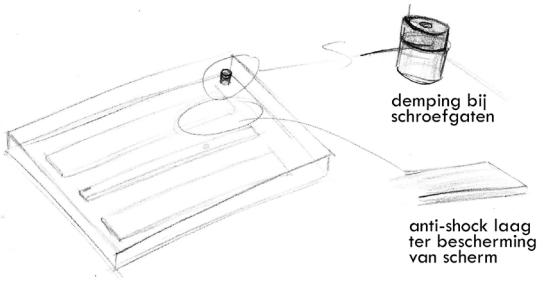
Figuur 33. Schetsstudies koptelefoon-aanlsuiting

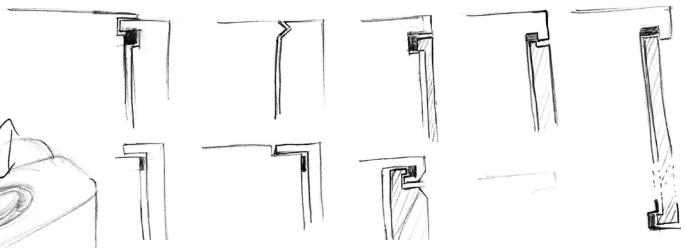
Een andere eis vanuit het Programma van Eisen is het bevatten van een functieknop. Een nadeel van functieknoppen is dat er op de HMD gedrukt moet worden. Dit gaat ten koste van de stabiliteit. De knoppen aan de bovenkant plaatsen heeft niet de voorkeur omdat de HMD hierdoor naar beneden gedrukt wordt. De verticale richting is namelijk de enige beweeggraad van de mountverbinding.

Aan de voorkant een knop plaatsen is niet praktisch. Hierdoor is een knop aan de zijkant de beste mogelijkheid. Ongeveer 70 tot 95% van de mensheid is rechtshandig. In kader van deze opdracht wordt veronderstelt dat ditzelfde percentage geldt voor de operators. Zo zullen de meeste operators die rechtshandig zijn, het wapen ook rechtshandig vasthouden. Daarom kan een functieknop het beste aan de linkerzijde van de HMD geplaatst worden. Zie ook figuur 34.

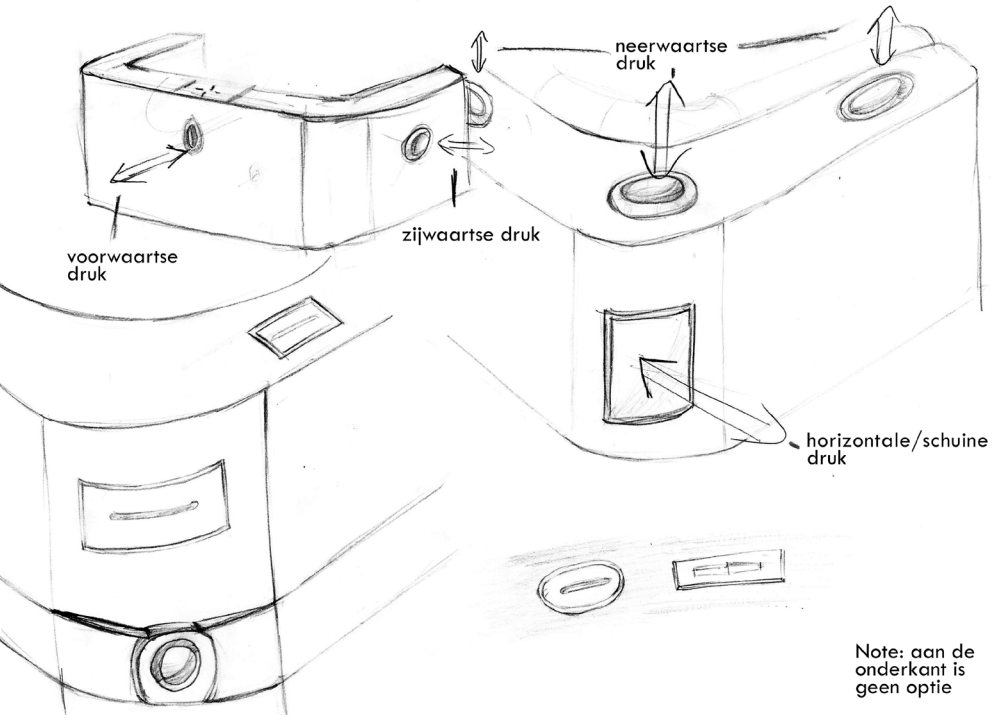
Spatwaterdicht

Het onderhoud moet bij de HMD gemakkelijk te zijn uitvoeren. De interne onderdelen moeten dus goed bereikbaar zijn. Daarbij moet in acht worden genomen dat de HMD spatwaterdicht moet zijn. Een eerste studie -figuur 35- is gedaan hoe een eventuele voordeksel het beste bevestigd kan worden zodat het systeem spatwaterdicht is. Het gebruik van siliconenrubbers is noodzakelijk om het geheel spatwaterdicht te maken. Bij het monteren van de deksel moet ook gelet worden op de schokbestendigheid van het systeem. Het is niet de bedoeling dat er onderdelen afbreken waneer het systeem valt.

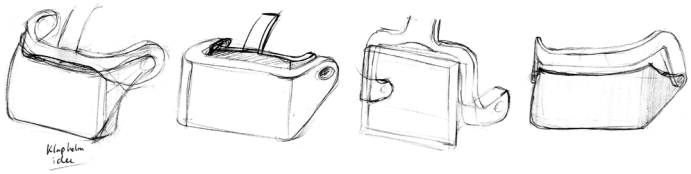




Figuur 35. Schetsstudies afdichting deksel



Figuur 34. Schetsstudies functieknop

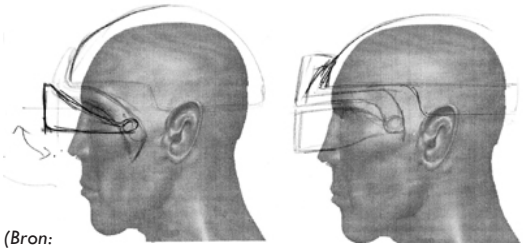


Figuur 37. Figuur 27 - Schetstudies neerklappende HMDs

2.2.3 Concept 'Beugel'

Tijdens het schetsen kwam een concept naar voren waarbij de HMD feitelijk in de mountverbinding hangt. Inspiratie voor dit model is een motorhelm, waarbij de helm natuurlijk op het hoofd blijft zitten en je het scherm kan opklappen.

Figuur 36. Inspiratiehelm (Bron: helmonline.nl)



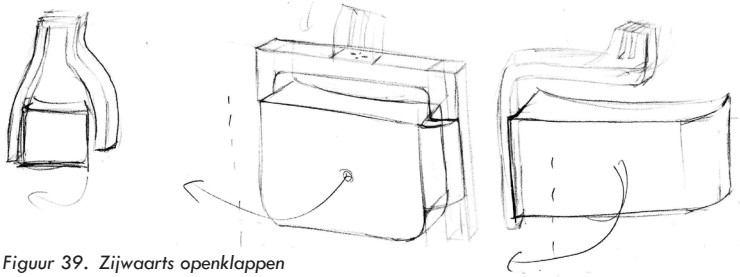
Figuur 38. Neerklappen op gezicht

Wanneer je bij het omhoog klappen van het scherm de mount neergeklapt laat, komt het scherm in de juiste positie voor de ogen wanneer je deze terugklapt.

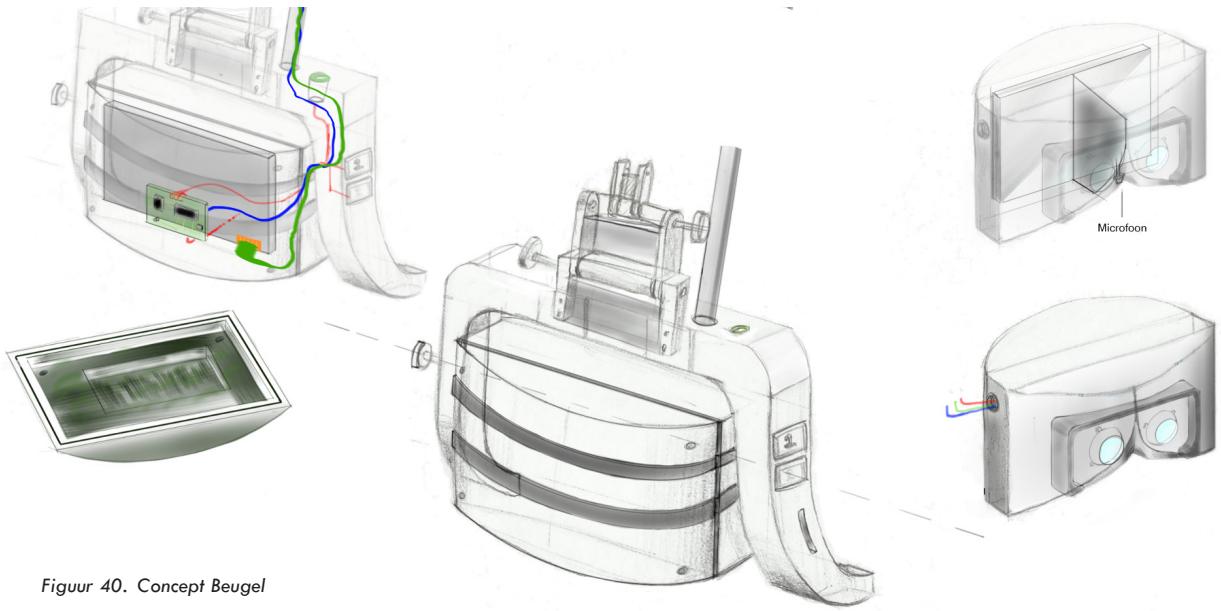
Kort is er gekeken of het wellicht mogelijk is om het scherm zijwaarts open te klappen - figuur 39 -, zodat de bevestiging aan het hoofd wellicht beter gefixeerd kan worden. Nadeel hieraan is dat het weer een extra scharnierpunt met zich meebrengt en het lastiger is goed te positioneren voor de ogen.

Als resultaat is het concept 'Beugel' tot stand gekomen. Hier hangt de behuizing met LCD scherm in de beugel en kan het worden vastgedraaid met één draaiknop aan de zijkant. De functieknoppen, waar er overigens twee van zijn geplaatst, zitten op de beugel gemonteerd, evenals de audio-uitgang voor de koptelefoon. Via het scharnierpunt worden de interne kabels naar de hoofdkabel geleid die via de beugel naar het hoofd toegaat. In de deksel kan een eventuele PCB geplaatst worden en het LCD-paneel zelf, beschermd tegen stoten door een foam-opvulling. De deksel bevat een siliconenstrip om het geheel spatwaterdicht te maken.

Aan de voorkant zijn twee rubberen strips aangebracht die de HMD tegen schokken moeten beschermen.
De lenzen worden door middel van eyecups, zoals ook gebruikt bij de Oculus Rift, geplaatst op de HMD. Hierdoor kun je ze er makkelijk vanaf halen en schoonmaken, zoals in het Programma van Eisen is gesteld.



Figuur 39. Zijwaarts openklappen

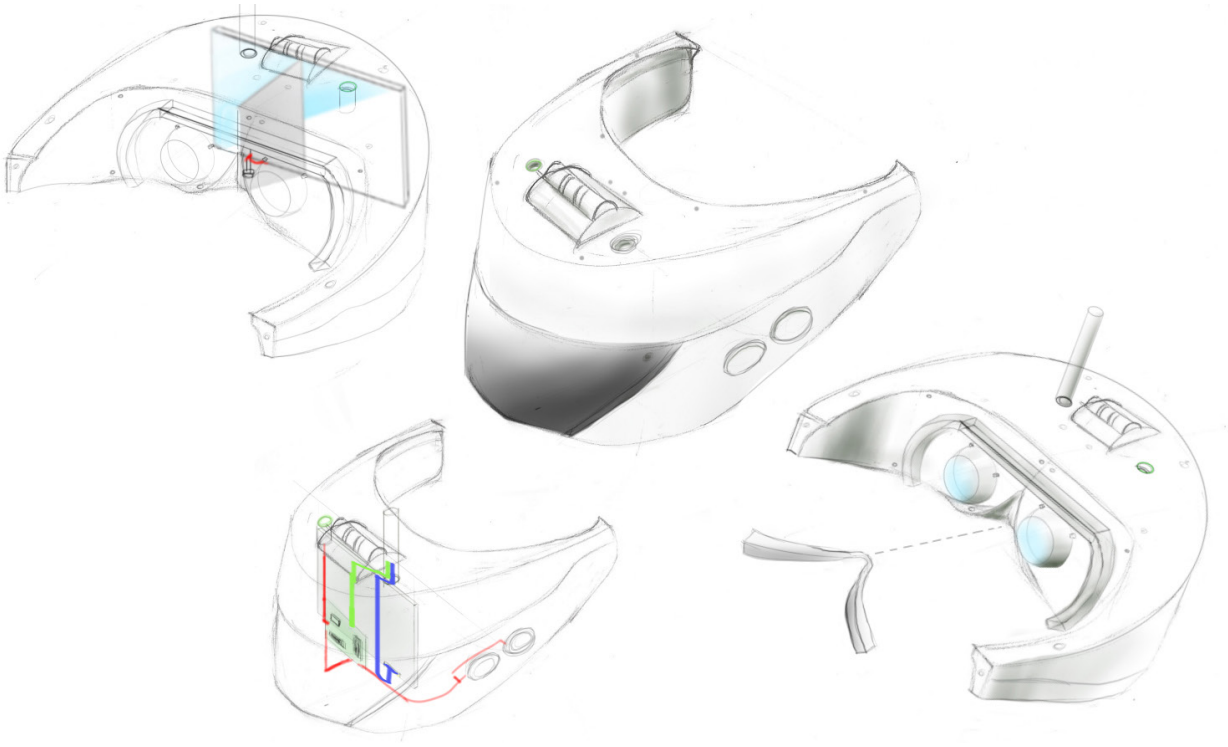


Figuur 40. Concept Beugel

2.2.4 Concept Iron man

Inspiratie voor dit concept is gehaald uit de fictieve superheld Iron Man. Het idee van dit concept is het dichtklappen van een masker dat eventueel één geheel kan vormen met het gehele SUIT-pak. Het is dus een stoerder concept.

Het is mogelijk om het systeem in zijn geheel af te sluiten dankzij de neusvleugel die meegeleverd wordt, waardoor de mate van immersie zelf bepaald kan worden. Wederom aan de zijkant zitten twee functieknoppen, waarmee het mogelijk is om bijvoorbeeld wapens te verwisselen of een menu te bedienen mocht dat in de toekomst nodig zijn. De bovenkap kan worden opengeschroefd zodat men onderhoud kan plegen aan de interne hardware. De zwartkleurige kap aan de voorkant biedt extra bescherming en vangt eventuele schokken op door de foam dat zich hierin bevindt en de interne hardware omgeeft. De lenzen zitten in eyecups, die los te draaien zijn.



Figuur 41. Concept Iron Man

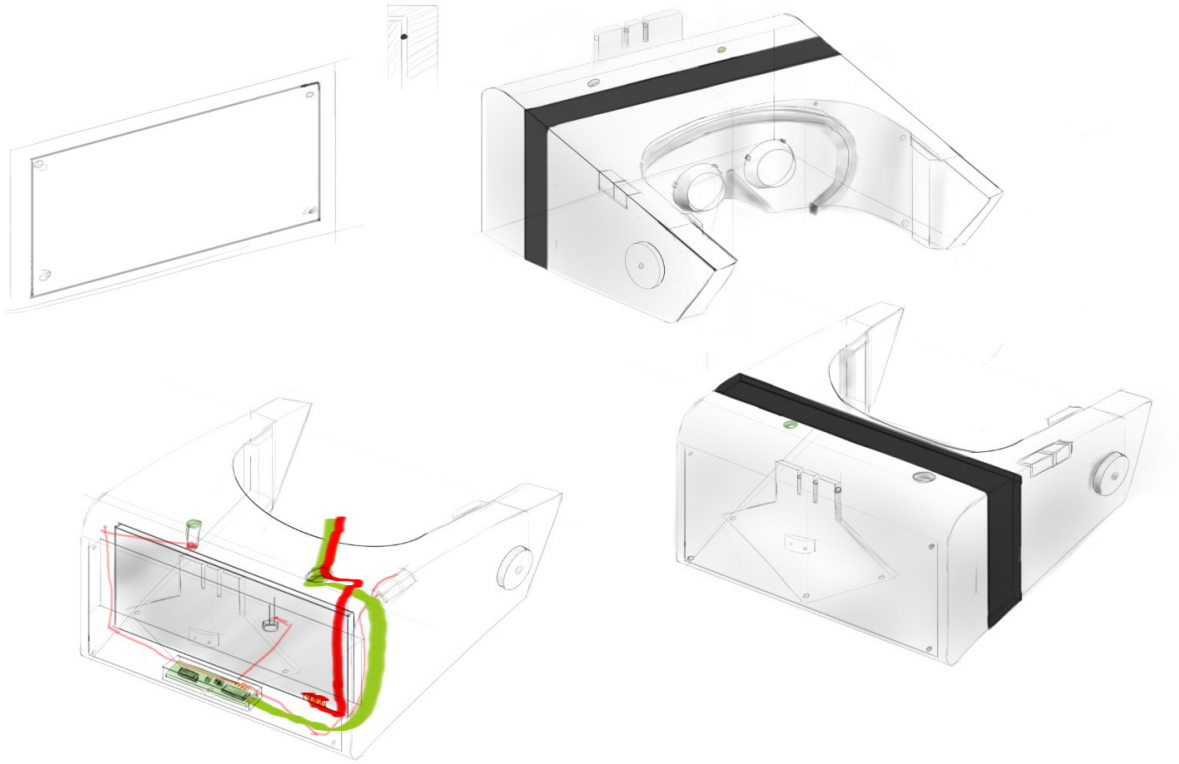
2.2.5 Concept Klapper

Het idee achter concept Klapper komt voort vanuit de werking van een telefoonhouder voor in de auto.

Figuur 42. Telefoonhouder voor in de auto

De telefoon wordt geklemd tussen twee pads die naar binnen klappen. Hierbij blijft de telefoon op zijn plek in de houder. Als we zo'n functionaliteit kunnen toepassen op het fixeren van de HMD aan het hoofd, zou de instabiliteit te wijten aan de mountverbinding verminderd kunnen worden.

De uiteinden van de HMD kunnen door aan de knop te draaien naar binnen worden geklapt, om hiermee de HMD op het gezicht te klemmen. De krachten die op de mountverbinding komen bij zijwaartse bewegingen worden hierdoor opgevangen en de HMD blijft gefixeerd voor de ogen. Via de voorkant is het mogelijk om de interne hardware te bereiken. Op deze voorklep zit tevens de mount verspreid, waardoor de krachten die vanuit de verbinding komen verspreid worden over de HMD. De eyecups zorgen ervoor dat de lenzen van de HMD afgehaald kunnen worden.



Figuur 43. Concept Klapper

2.3 Beschouwing concepten

De deze paragraaf zal er aan de hand van het Programma van Eisen gekeken worden in hoeverre bovenstaande drie concepten voldoen hieraan.

Uit tabel 1 is te concluderen dat concept Klapper het beste concept is volgens het Programma van Eisen, met een klein verschil ten opzichte van concept Iron man. Met deze evaluatie in het achterhoofd zal nu per concept worden afgewogen of het daadwerkelijk een goed concept is. Hierin is ook de mening van de opdrachtgever verwerkt.

Concept Beugel

Dit concept scoort het minst in het Programma van Eisen, deels omdat het zwaarder lijkt te worden dan de andere concepten en in onderhoud het een stuk lastiger is dankzij de beugel. Ondanks dat het idee erachter is dat de HMD stabieler voor het hoofd hangt, is door het scharnierpunt waardoor ook nog eens de kabels lopen, het concept ingewikkeld en waarschijnlijk fragiel.

Eisen	**Concept Beugel**	**Concept Iron Man**	**Concept Klapper**
1.1 Stootvast	-	+	+
1.2 Stroom via USB	+/-	+/-	+/-
1.3 Scherm 6 tot 7 inch	+/-	+/-	+/-
1.4 Een 1080p scherm	+/-	+/-	+/-
1.5 Spatwaterdicht	+/-	++	++
1.6 Stofdicht	+/-	++	+
2.1 Scherm plaatsen/verwisselen	++	+	++
2.2 Lichtgewicht <500g	+/-	+	+
2.3 Open onderzijde	+/-	+/-	+/-
2.4 Modulair afsluitbaar	+/-	+/-	+/-
2.5 NVG/Go-Pro mount	+/-	+/-	+/-
2.6 Afneembare lenzen	+/-	+/-	+/-
3.1 Interne microfoon	+/-	+/-	+/-
3.2 Audio-output	+/-	+/-	+/-
3.3 Flexibele datakabel	+/-	+/-	+/-
4.1 Oplage<50	+/-	+/-	+/-
4.2 Kostprijs < €1000	+/-	+/-	+/-
5.1 Gemakkelijk schoon maken	-	+	++
5.2 Intern eenvoudig te onderhouden	--	+	+
Wensen			
1 Programmeerbare functieknop	+/-	+/-	+/-
2 Sensorbehuizing op headset	nvt	nvt	nvt
3 Display controller box behuizing	nvt	nvt	nvt
Totaal	-2	9	10

--	*voldoet zeer slecht [-2]*
-	*matig [-1]*
+/-	*gemiddeld [0]*
nvt	*niet van toepassing of niet meetbaar [0]*
+	*voldoende [+1]*
++	*goed [+2]*

Tabel 1. Toetsing aan het Programma van Eisen

Ook is er in dit concept verkeken op de schaal, gezien een 7" scherm met behuizing al gauw 12 cm hoog wordt. Doordat er een beugel ook nog eens bovenop komt, zal dit voor een nog groter geheel zorgen en het ook onnodig zwaarder maken. Omdat dit het ook zwaarder maakt, gaat dit ten koste van de stabiliteit en het draagcomfort. Daarnaast neemt de voorklep veel ruimte in met een onnodige hoeveelheid veel foam ter bescherming. Dit is zonde van het extra gewicht dat dit met zich meebrengt. Qua stootvastheid scoort dit concept het minst goed, uit het model blijkt afgezien de twee rubberen strips verder niet dat het systeem stootvast is.

Concept Iron Man

Bij concept Iron Man is er vooral verkeerd ingeschat op de schaal van het geheel. Het model wordt gekenmerkt door de ronding aan de boven- en onderkant, maar dit zorgt in de realiteit voor een erg grote ronding, met veelal nutteloze ruimte. Door het terugbrengen van deze ronding naar realistische waarden zal de vormgeving van dit concept drastisch veranderen.

Qua stootvastheid hadden er meer rondingen in het concept moeten zitten. Het bestaat nu uit veel scherpe hoeken.

Qua vormgeving is dit concept veel stoerder en daarom past dit model het beste bij SUIT. De grote ronding zorgt echter voor een onrealistisch concept.

Concept Klapper

Dit concept scoort als beste in het Programma van Eisen en ook zorgt het principe van dit concept voor een stabiel systeem. Wel is er lichtelijk verkeken op de schaal van het klapmechanisme. De bedoeling van dit model was dat deze op het gezicht zou klemmen, iets wat alleen mogelijk is op de jukbeenderen en het gebied tussen de jukbeenderen en het oor. Met de schaal die gebruikt is in dit concept zouden deze 'klappers' op de oren of zelfs erachter komen.

Ook zitten de knoppen niet mooi in het concept verwerkt. Het model heeft daarnaast veel scherpe randen wat de stootvastheid van het product niet ten goede doet. Tenslotte oogt het model vrij groot en lomp, iets dat niet passend is bij het product SUIT.

Conclusie

Alle drie de concepten zijn bij nader inzien niet compleet en niet van afdoende kwaliteit om tot een eenduidige keuze te komen. Concept Beugel is te fragiel en wordt naar verwachting te zwaar. Bij concept Iron man is de schaal niet juist doordat het onrealistisch grote rondingen heeft aan de voorkant. En concept Klapper heeft een principe dat in de hoedanigheid zoals in het concept staat niet werkt en wellicht onnodig zwaar is.

Op de vormgeving van concept Klapper kan worden doorontwikkeld. Deze lijkt op enigszins op de Oculus Rift. Er zijn echter wel aantal onderdelen van de HMD die eerst beter moeten worden belicht:

- De beeldschermplaatsing;
- De mount en de verbinding;
- De afsteuning tegen het gezicht;
- De stootvastheid van de HMD;
- De instelbaarheid van de afstand tussen lens en oog.

Als aanvulling op het Programma van Eisen komen er drie eisen bij die relevant zijn voor het ontwerp en niet compleet of goed waren uitgewerkt bij de bovenstaande drie concepten.

- Afstand tussen oog en lens moet instelbaar zijn;
- De HMD moet stabiel voor de ogen gefixeerd kunnen worden;
- Wens: de HMD sluit aan op de vormkenmerken van SUIT.

2.4 Concept verkenning en ontwerp

Concept Klapper vormt de basis voor een verbeterd concept. Ook zal de Oculus Rift meer als inspiratiebron dienen voor een verbeterd ontwerp van concept Klapper. Het klapmechanisme van dit concept wordt niet meegenomen. Dit mechanisme brengt extra gewicht met zich mee en verwacht wordt dat de werking ervan niet opweegt tegen een stabiliteitsverbetering.

Allereerst is concept Klapper dermate aangepast tot het begin van een nieuw ontwerp. Figuur 44 laat het ontwerp zien waarop voortgeborduurd wordt.

Figuur 44. Uitgewerkte schets van concept Klapper

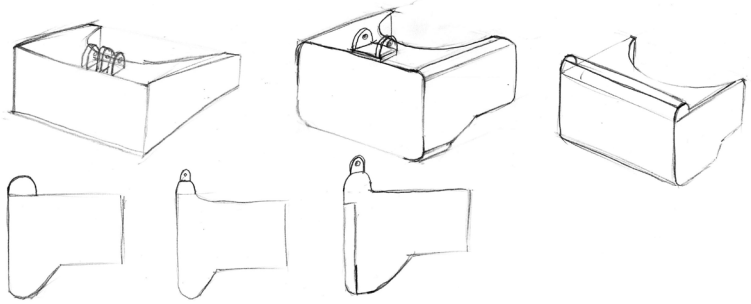
Hierbij is er meer aandacht besteed aan stootvastheid en de afsteuning op het gezicht. Door de rubberen randen en het Re-lion logo in rubber aan de voorzijde, wordt de HMD aanzienlijk beter beschermd tegen eventuele stoten. In bovenstaand ontwerp is gekozen zoveel mogelijk gebruik te maken van afgeronde randen, om hiermee stootschade te beperken. Aan de zijkant is een knop aangebracht om de afsteuning van foam dichter of verder weg van het gezicht te plaatsen. In het bovenstaande ontwerp ontbreken nog wel de functieknoppen.

Na aanleiding van de uitgewerkte schets, zijn er enkele punten opgevallen:

- De 3.5mm jack is wellicht niet waterafstotend aan de bovenkant;
- Misschien is het mogelijk een verwisselbare afsteuning te hebben om de oog-lens-afstand te variëren;
- Het Re-lion logo aan de voorzijde heeft geen meerwaarde doordat de HMD door het gewicht niet op het platte vlak zal vallen;
- De stevige rubberen randen zijn mogelijk niet nodig.
- Er moeten zo min mogelijk beweegbare onderdelen zijn. Hierdoor zou de HMD alleen maar sneller kapot kunnen gaan.

2.4.1 Vormgeving

De schets in figuur 44 is een herontwerp van concept Klapper, waarbij de schets nog steeds een beetje groot oogt. Ook het deel dat eindigt bij het gezicht is nog vrij hoog en kan wellicht smaller om gewicht te besparen én om wellicht een beter uiterlijk te krijgen. Er is gekeken naar een nieuw grof model voor de behuizing van de HMD.

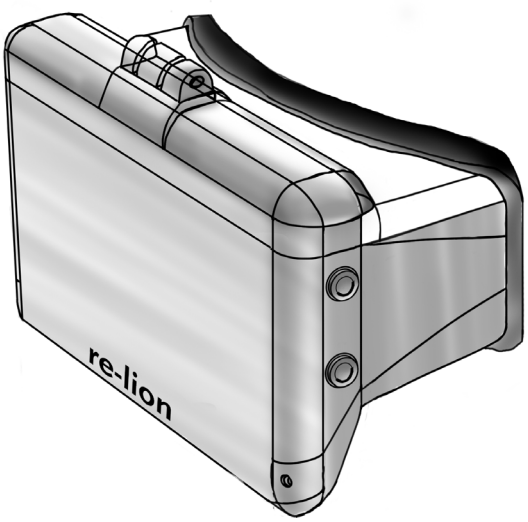


Figuur 45. Vernieuwde vormgeving

De vormgeving in figuur 45 vormt de basis voor verbetering van het ontwerp.

De mount wordt iets verhoogd om daarmee ruimte te creëren om de bevestiging vast te draaien.
In het bovenstuk kunnen de kabels gelegd worden en is er ruimte voor het bovenste deel van het LCD scherm.

Een belangrijk aspect van waaruit de schets in figuur 46 ontworpen is, is de combinatie van de Oculus Rift en de Skull Crusher. Indien de hoogte aan de voorkant bijvoorbeeld zou doorlopen richting het gezicht, kan de HMD niet dichtgeklapt worden. Dit komt doordat de HMD dan tegen de Skull Crusher aankomt - figuur 47 -. Het geleidelijk laten aflopen naar een minder hoge vorm bij het gezicht voorkomt dit. Ook wordt hiermee bespaard op materiaal.



Figuur 46. Behoorlijk uitgewerkte schets van herontwerp concepten

Figuur 47. Combincatie Oculus en Skull Crusher

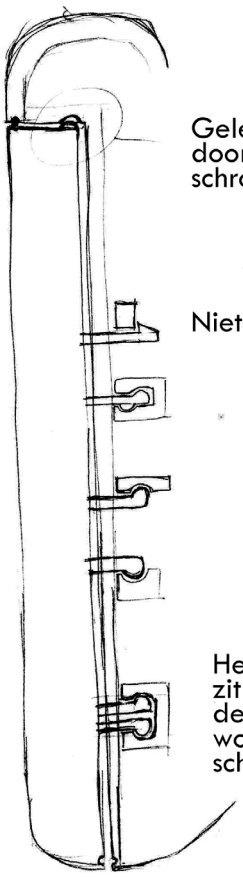
2.4.2 Deksel

Naast het scherm dat geplaatst moet worden, is het van belang te realiseren dat de deksel van de behuizing zorgt voor de druk tegen het LCD-scherm aan zodat deze geklemd wordt. Dit betekent dat de deksel ook goed vast geklemd moet worden, zowel aan de zijkanten als aan de boven- en onderkant. Zoals dit reeds tot uiting is gekomen in voorgaande paragrafen, zal dit gebeuren door schroeven.

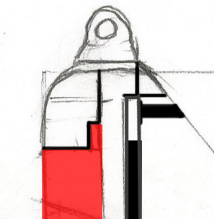
De deksel zorgt ook voor de mate van spatwaterdicht en moet dus goed afsluiten. Gekeken is naar de mogelijkheid om de deksel op de behuizing te klikken, waarna de schroeven alleen nog nodig zijn om de deksel vast te zetten. Deze dubbele bevestiging wordt niet als meerwaarde beschouwd en zal achterwege worden gelaten. Zie figuur 48.

Om zo min mogelijk schroeven te gebruiken en de bovenkant van de deksel reeds spatwaterdicht te maken, is er eerst vanuit gegaan om de deksel in de behuizing te schuiven, zoals in figuur 49 te zien, waar het rood gearceerde deel de deksel is. Er was hiervoor ook gekozen om het deel waar de mount zit, zo stevig mogelijk te houden. Bij nader inzien bleek dit niet zo doeltreffend als gewenst en daarnaast onnodig ingewikkeld voor het productieproces.

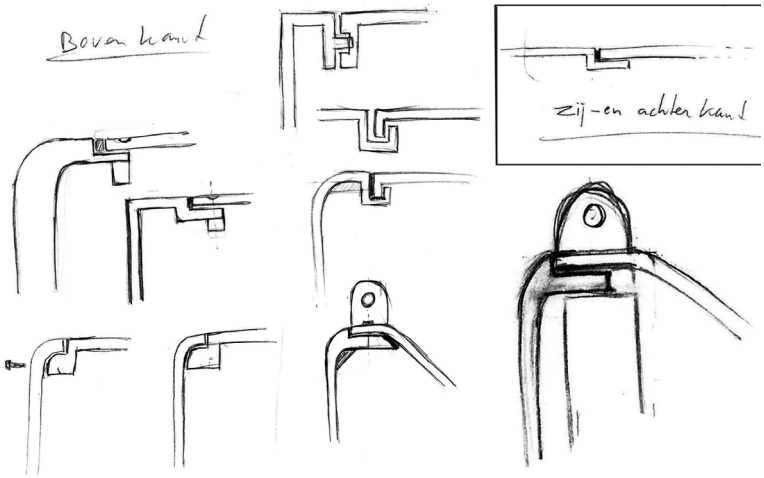
Gekozen is voor een simpelere constructie, waarbij de deksel aan de voorkant erin geschoven wordt. Aan de randen zal een siliconenlaag zitten, waardoor het geheel spatwaterdicht zal zijn. Deze constructie is te zien rechtsonderin figuur 50.



Figuur 48. Klemmen deksel



Figuur 49. Deksel inklemming (rood gearceerd)

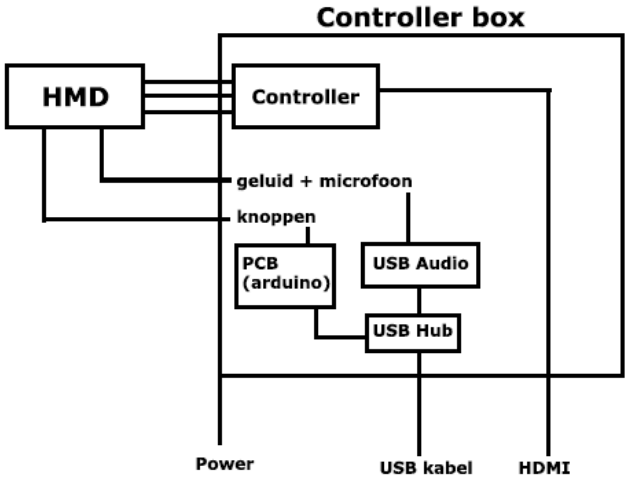


Figuur 50. Deksel met uiteindelijke versie

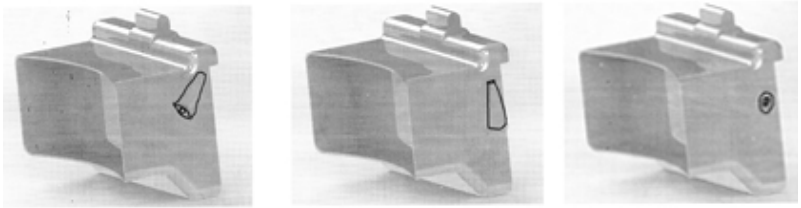
2.4.3 Hoofdkabel, audio en functieknoppen

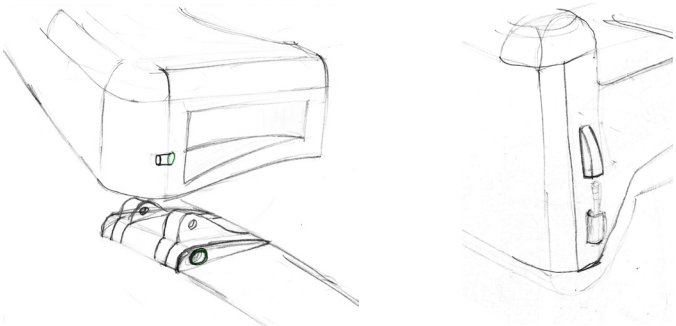
In de eerste plaats is er gekeken naar naar de kabels die nodig zijn voor de electronica in de HMD en hoe deze onderling zijn verbonden. Dit is in een eerder stadium ook al gedaan, maar door bepaalde ontwerpkeuzes moest deze analyse herzien worden -figuur 51-. Om het gewicht van de HMD zo laag mogelijk te houden, is ervoor gekozen de controller box te voorzien van alle electronische componenten.

In de controller box komen:
- de videocontroller
- de verwerking van het geluid en microfoon
- de verwerking van de functieknoppen



Figuur 51. Schema electronica





Figuur 52. Locaties 3.5 mm jack

Figuur 53. USB Audio-kaart

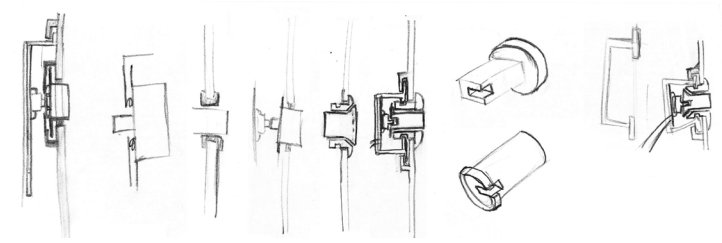
Prototype
Voor het prototype is voor de verwerking van de functieknoppen een Arduino board nodig. Wegens het kleine formaat wordt de Arduino Nano hiervoor aanbvevolgen. Via USB kan deze worden aangesloten op de SUIT-pc. De koptelefoonaansluiting en de microfoon worden aangesloten op een kleine USB audiokaart -figuur 53-. Door een USB hub toe te voegen aan de controller box, kunnen de functieknoppen, het Arduinoboard en de audiokaart met één kabel worden verbonden met de SUIT-pc.

De videocontroller wordt afhankelijk van de gekozen controller rechtstreeks aangesloten op de SUIT-pc. Hierdoor zijn er twee kabels vanuit de controller box die aangesloten moeten worden op de SUIT-pc. Eventueel is er nog een externe stroomvoorziening nodig.

Eindproductie
Bij de eindproductie wordt het Arduinoboard, de usb audiokaart en de usb-hub samengevoegd tot één printplaat. Hierdoor bevat de controller box twee printplaten.

In een eerder stadium is er al gekeken naar de locatie waar de 3.5mm jack moet komen. De derde schets in figuur 52 is geen optie gezien de jack dan horizontaal komt te liggen, waardoor het scherm niet meer past.

In alle andere gevallen bevat de HMD of uitstekende delen of moeten er delen verhoogd worden. Voorkeur gaat uit naar het plaatsen van de aansluiting op de bovenkant, zodat deze verwerkt kan worden in de bolling die reeds aanwezig is in het ontwerp. Ook bungelt er hierdoor geen extra kabel aan de zijkant van de HMD.

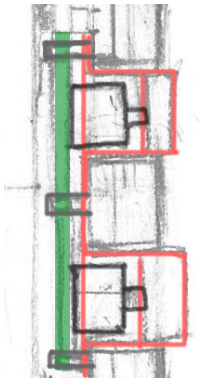


Figuur 54. SMD functieknoppen

De microfoon is reeds besproken en er wordt gebruik gemaakt van een electret microfoon, gezien de geringe afmetingen ervan.
De LVDS-kabel vanuit het LCD-scherm zal naar boven geleid worden om vervolgens naar de hoofdkabel te gaan. Via deze hoofdkabel zullen de kabels van de functieknoppen, de 3.5mm jack en de microfoon ook lopen.

Als functieknop zal er gebruik worden gemaakt van kleine SMD knopjes, die overal in electronica terug te vinden zijn. Deze zullen uiteindelijk op een smalle PCB worden bevestigd.

Wel moet eraan gedacht worden dat het spatwaterdicht moet blijven. Er zijn enkele schetsen gemaakt van eventuele opstellingen voor knopjes. Uiteindelijk is ervoor gekozen om gebruik te maken van siliconenknopjes, die op maat gemaakt kunnen worden. Dergelijke siliconenknopjes worden speciaal gemaakt voor SMD knopjes en je zag ze voorheen veel terug in televisie-afstandsbedieningen en andere elektronica. De siliconenplaat met de knopjes erop worden bevestigd aan de binnenkant van de HMD, aan 3 kleine staafjes. De PCB zal hieraan ook worden bevestigd door middel van gaatjes in de PCB.



Figuur 55. SMD functieknoppen met siliconen laag

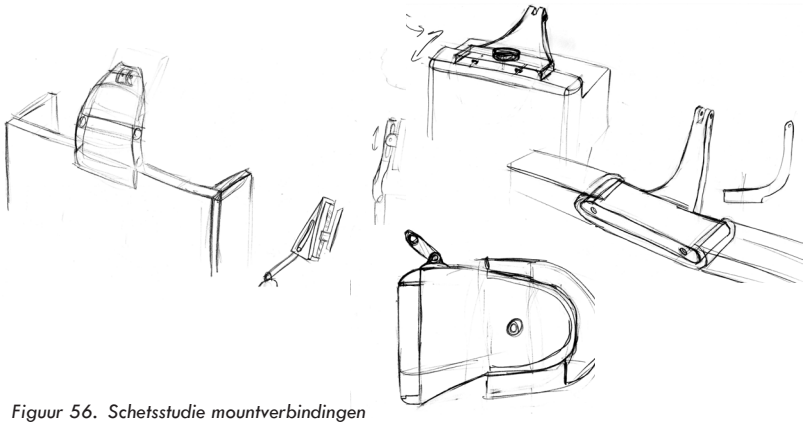
2.4.4 Mount

De mount is het verbindingsstuk tussen de HMD en het hoofd en is daarmee van essentieel belang voor de stabiliteit van de HMD.

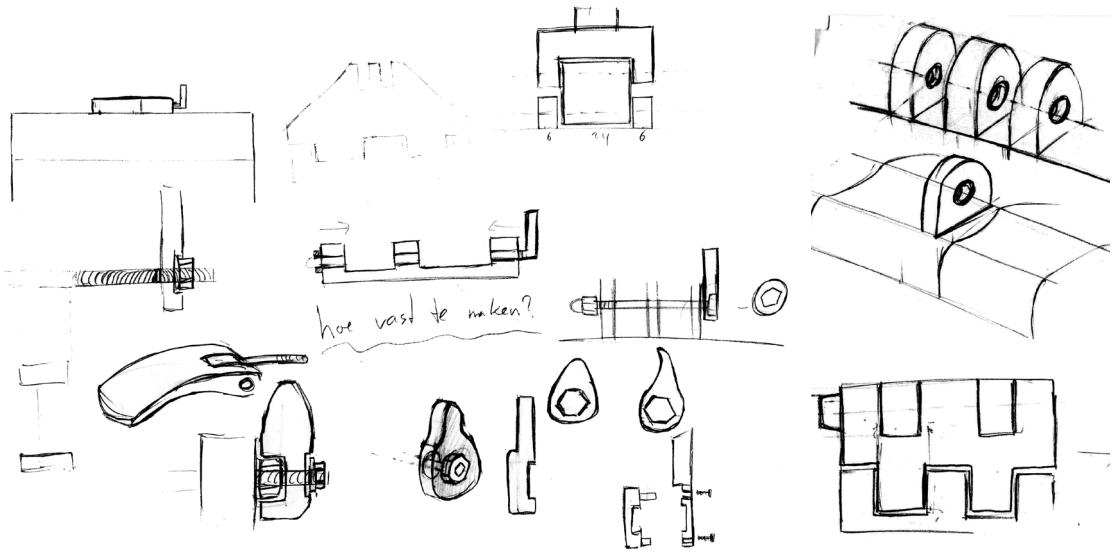
Zoals reeds uitgelegd in paragraaf 2.2.1 zou het meest ideale zijn dat de mount zo breed mogelijk is om hiermee de verbinding zo stabiel mogelijk te houden.

Bij de huidige HMD zit er een breed koppelstuk van Trivisio tussen de GoPro-koppelstukjes en de mount op de HMD. Deze kan niet worden vastgedraaid, maar door middel van stelschoefjes is te bepalen met hoeveel kracht het scharnierpunt wordt geklemd. Gezien dit punt niet te fixeren is, moet dit worden vervangen voor een ander koppelstuk. De mount op de Trivisio heeft een lengte van 36 mm, waarbij het koppelstuk geklemd wordt tussen twee randen van 6 mm per rand.

Bij de Trivisio HMD valt op dat de HMD opgeklapt kan worden door de draaiknop hooguit een halve slag los te draaien. Vanuit deze constatering is er gekeken naar een systeem waarbij een L-vorm ervoor zorgt dat de mount vastgedraaid kan worden. Omdat het maar om een halve draaislag gaat, is er niet veel nodig om de HMD vast te klemmen.



Figuur 56. Schetsstudie mountverbindingen



Figuur 57. Mount L-Verbinding

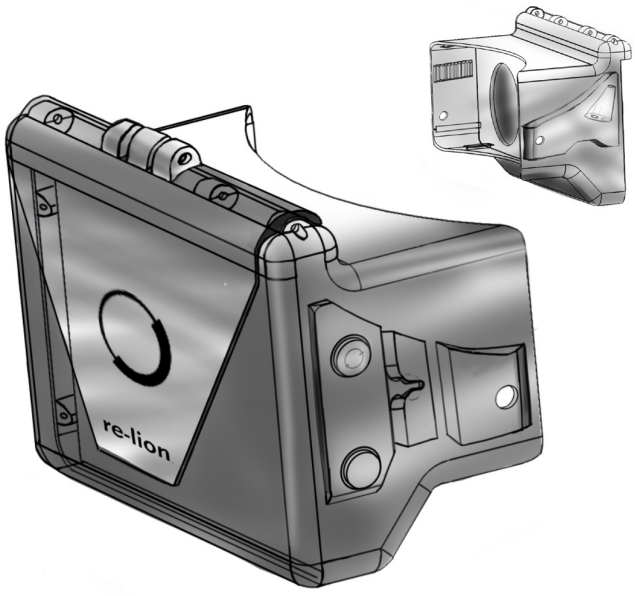
2.4.5 Klapvoorkant

De wetenschap dat de verbreding van de mount meer stabiliteit geeft, was inspiratie voor een nieuw idee.
De oorsprong ervan komt voort uit concept Klapper. Hier was het principe dat aan de zijkant van het hoofd de HMD werd vastgeklemd om stabiliteit te verkrijgen. Zodra de Oculus Rift tegen het hoofd aangedrukt wordt, volgt de Oculus Rift moeiteloos elke beweging van het hoofd.

Om de HMD permanent tegen het gezicht aan te drukken, is er een kracht nodig. Het idee was dat iets aan de voorkant deze kracht kon leveren. De voorkant zou dan de HMD moeten wegduwen tegen het gezicht. In bijlage IX is de uitwerking te zien van dit idee. Er is gekeken naar de mechaniek om de HMD tegen het gezicht aan te drukken. Figuur 58 is een schets van het idee. Hierbij ontbreekt echter de mechaniek hoe de behuizing daadwerkelijk wordt weggeduwd.

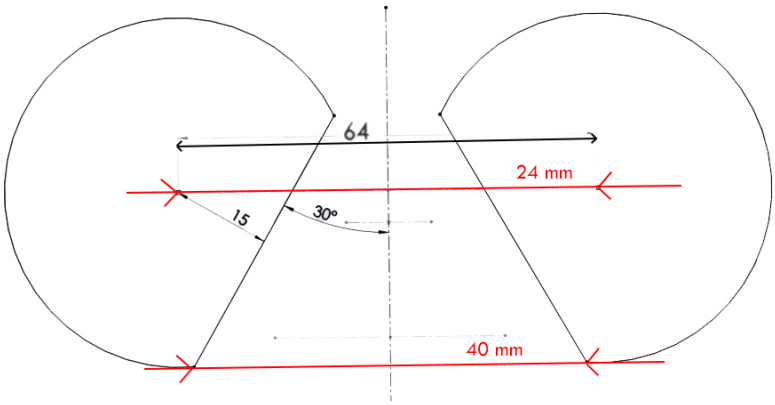
Dit idee is uiteindelijk ook met een houtblok getest -figuur 59-. Hieruit bleek dat het houten blok, dat ongeveer het gewicht van de Oculus had, stabiel bleef bij zijwaartse bewegingen.

Na heroverweging van dit idee werd duidelijk dat een 2 tot 3 mm dikke voorplaat de zware behuizing moet wegduwen. De voorplaat en de mechaniek erachter zouden de HMD alleen maar zwaarder gaan maken. Na overleg met de opdrachtgever weegt dit niet op tegen de beoogde stabiliteitsverbetering. Door dit achterwege te laten is de HMD lichter en kan een verbreedde mount zoals bij de huidige HMD, voldoen aan de beoogde stabiliteit.



Figuur 58. Uitgewerkt idee klapvoorkant

Figuur 59. Functionele test



Figuur 60. Maattekening afvlakking

2.4.6 Optiek

Door middel van drie lipjes aan de onderzijde van de eyecups, kunnen de eyecups vast worden gedraaid op de HMD. Op deze drie lipjes zit een kleine ronde verhoging waardoor de eyecup niet uit zichzelf terug kan draaien.

De Oculus Rift maakt gebruik van relatief kleine lenzen, waardoor dit geen problemen geeft voor de neus. Maar met het gebruik van lenzen met een grotere diameter, is er al snel ruimtegebrek voor de neus.

Omdat het niet comfortabel is als de neus pijnlijk tussen de eyecups gedrukt wordt en het daarbij ook onmogelijk misschien wordt om goed door de eyecups te kijken, is er naar een oplossing gezocht. Door de lens in de hoek van de neus af te vlakken, kan er meer ruimte gecreëerd worden voor de neus.

Eerst is de ruimte tussen de eyecups van de Oculus Rift opgemeten. Het blijkt dat 24 mm tussenruimte voldoende is voor de neus, gemeten in een horizontale lijn door het centrum van de eyecups. De tussenruimte aan de onderkant van de eyecups is ongeveer 40 mm. Zie het rode gedeelte van figuur 60.

Door het plaatsen van een papiertje op de lens, kan achterhaald worden in hoeverre de afvlakking invloed heeft op het zicht. Het blijkt dat het zicht nog goed is bij een afstand van 10 mm van het middelpunt van de lens af.

Om een veilige marge te houden van het zicht en daarnaast de HMD op de neus te kunnen laten rusten, is ervoor gekozen om de lens te laten eindigen op een afstand van 15 mm.

Pupilafstand

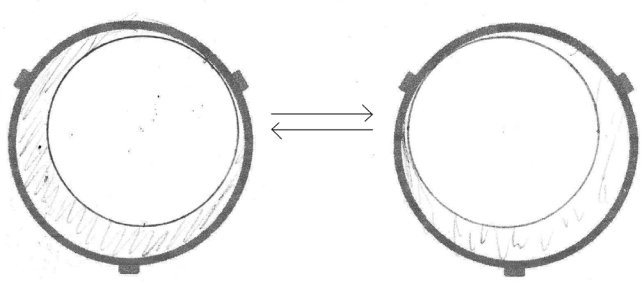
Er is nagegaan of er noodzaak is om de afstand tussen beide pupillen in te kunnen stellen. De pupilafstand varieert van 55 tot 75 mm, dus 20 mm. Als er aangenomen wordt dat de sweetspot van de gekozen lens ongeveer 10 mm is, zullen de meeste IPD-waardes binnen de sweet spot vallen.

Een mogelijkheid om het gedeeltelijk variabel te maken is om de eyecups een ovale vorm te geven. Hierdoor hoeven alleen de cups omgewisseld te worden indien een operator een grotere of kleinere IPD-waarde heeft dan het gemiddelde.

Als men een hoge IPD-waarde heeft, dan is dit gunstig voor de ruimte tussen de lenzen. Heeft men een lagere IPD-waarde, dan is de ruimte voor de neus tussen de lenzen beperkter.

Gezien de precieze vorm en afmetingen verder uitgezocht moet worden, wordt deze optie meegegeven als aanbeveling, met de voorwaarde dat de lenzen dan wel in diameter kleiner zijn dan de gekozen lenzen.

De fijne afstelling van de IPD-waarde kan softwarematig, waardoor er altijd scherp beeld zal zijn.



Figuur 61. Uitwisselbare ovale eyecups

2.4.7 Plaatsing verschillende schermen

Vanuit het Programma van Eisen is gesteld dat de HMD een 6 tot 7 inch LCD scherm moet kunnen bevatten.
Het aangedragen KOE-scherm is vrij groot en heeft aparte afmetingen, waardoor andere schermen veelal kleiner zijn met ook kleinere bezels.

De mogelijkheden om een scherm passend en klemmend te plaatsen zijn er voldoende, de vraag blijft echter wel of het niet beter is een nieuwe behuizing te 3D printen.
Twee mogelijkheden voor het plaatsen van schermen met andere afmetingen dan het KOE-scherm, zijn hieronder toegelicht.

De schermen tussen de 6 en 7 inch hebben allemaal verschillende afmetingen. In figuur 62 een selectie van verschillende buitenafmetingen.

Verschillende buitenafmetingen LCD panelen

6”	|	145 x 88 x 0.5 mm
6.2”	|	155.2 x 88 x 5
6”	|	153 x 118 x 10.0
7”	|	164.9 x 100 x 5.7
7”	|	165 x 104 x 5.5
7”	|	164.9 x 103.8 x 6.7
7”	|	164.9 x 104 x 10
7”	|	169.5 x 104 x 10 → Afmetingen voorkeursdisplay KOE

Het verschil is in lengte 170-150 = 20mm,
het verschil in hoogte is 118-88= 30mm en het verschil in diepte is 10-3= 7mm.

Figuur 62. Afmetingen LCD-panelen, willekeurige schermen.
Bron: Alibaba.com

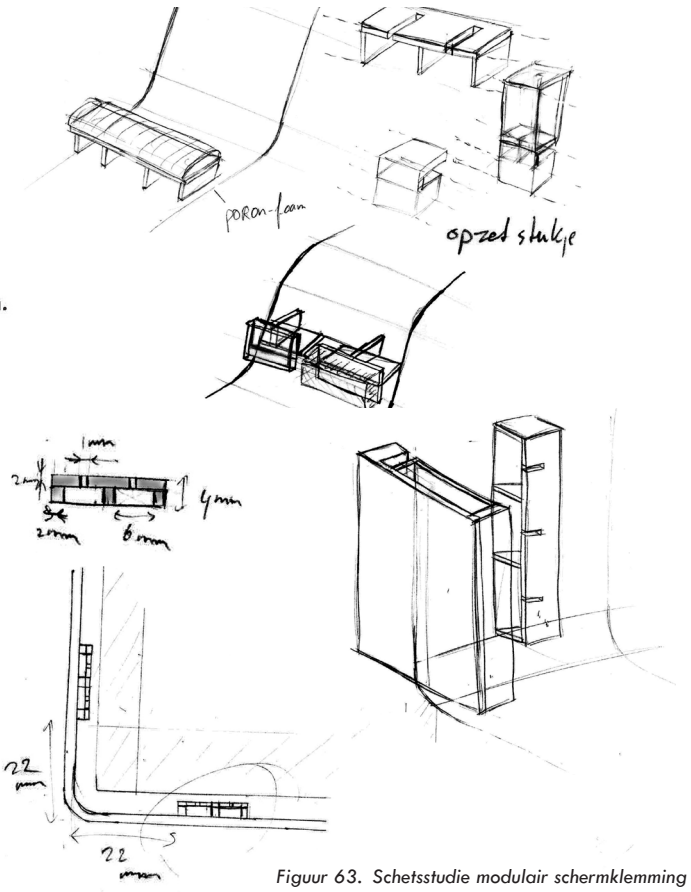
Vooral het verschil in hoogte en lengte is belangrijk, het gaat hier namelijk om 2 a 3 cm.

Het scherm wordt vastgeklemd tegen opstaande randen, waarbij op deze randen een poronlaag zit. Poron is een soort foam dat electronica beschermt tegen schokken en wordt meestal gebruikt voor dit soort klemmingen.

Door de randen in de behuizing zodanig te ontwerpen dat er bovenop nog een ‘ blokje’ geschoven kan worden, kunnen de drukpunten verhoogd worden en passen kleinere schermen er ook in.

Ondanks de mogelijkheden van een soortgelijk modulair systeem, is het ook mogelijk om alleen gebruik te maken van poron. Poron heeft verschillende hardheden, waardoor het mogelijk is een hardere variant als verhoging te gebruiken. Deze methode heeft voorkeur, omdat het gebruik van een blokjes-systeem zoals hierboven is bescheven ingewikkelder is dan het gebruik van een dikkere laag poron.

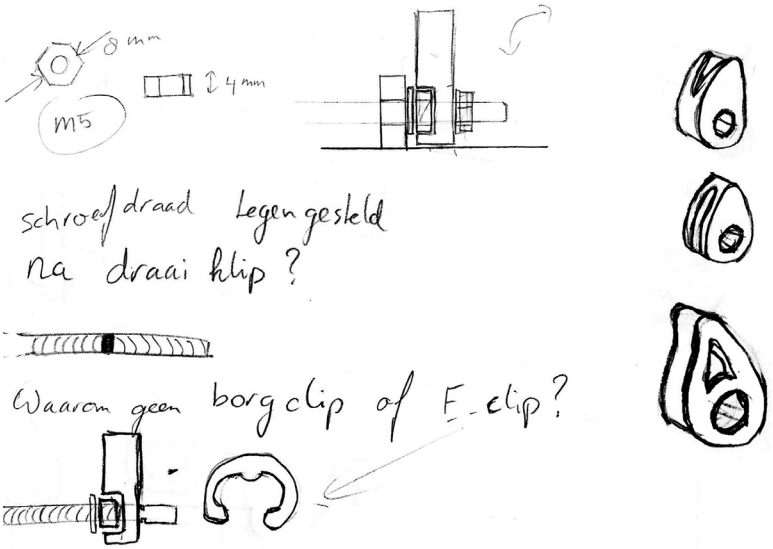
Maar ook dikke lagen poron zullen een scherm niet goed vastklemmen als het om een erg groot verschil in schermgrootte gaat. Indien het om een halve centimeter gaat, dan biedt poron hiervoor een goede oplossing. Is het echter meer, dan kan er beter een nieuwe en kleinere behuizing worden geprint.



Figuur 63. Schetsstudie modulair schermklemming

3. Uitwerking

Dit hoofdstuk zal de verdere uitwerking beschrijven van het ontwerp. Allereerst wordt het ontwerp puntsgewijs verder uitgewerkt en toegelicht, waarna het productieproces wordt beschreven. Na het productieproces wordt de detaillering van de HMD beschreven, met als laatste onderdeel de presentatie van het eindconcept.



Figuur 64. Hendel

3.1 Uitwerking ontwerp

In het laatste deel van vorig hoofdstuk zijn meerdere aspecten besproken en keuzes toegelicht die gebruikt worden voor het eindontwerp. De mountverbinding is zoals inmiddels duidelijk een cruciale factor voor de stabiliteit van de HMD; kort wordt beschreven hoe de HMD geklemd kan worden. De verbinding voor de extra hoofdband wordt beschreven aan de hand van een korte schetsstudie waarbij de voor- en nadelen worden afgewogen. Tenslotte worden er nog drie onderdelen aangehaald, namelijk de locatie van de hoofdkabel, de locatie van de 3.5 mm jack en het nieuwe onderdeel dat ervoor moet zorgen dat de verbinding tussen de HMD en de eyecups stof- en spatwaterdicht.

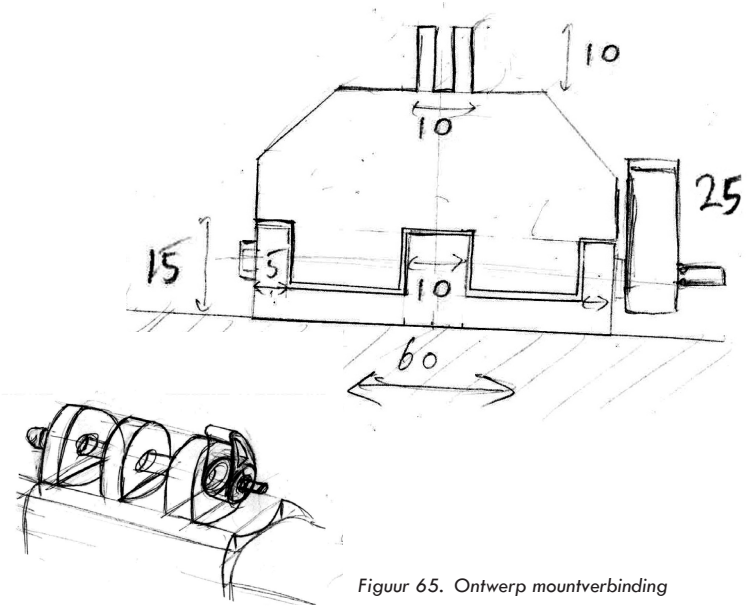
3.1.1 Mount

Er is gekozen om de mountverbinding te verbreden ten opzichte van de Trivisio. Door middel van een L-verbinding moet de HMD met een kwartslag vastgedraaid worden.

Het aantal tussenstukjes, waarmee de opstaande randen wordt bedoeld, waarop de verbinding wordt geklemd is zoals uitgelegd in hoofdstuk 2.3.1 bepalend voor de krachtverdeling op de mount. Vergeleken met de Trivisio HMD is er één tussenstuk extra en zijn de twee zijranden 1 mm dunner, zodat het nog beter kan klemmen. Zie ook figuur 65.

Het probleem bij een gehele bout in L-vorm is dat het lastig te monteren is omdat er geen hele slagen gemaakt kunnen worden. De moer moet namelijk ook al gefixeerd zitten in de mount, zodat deze tijdens gebruik niet kan draaien. Het moet dus mogelijk zijn het uitstekende deel van de 'L-vorm' los te halen.

De as in de mountverbinding zit aan de ene kant vast met een gefixeerde moer en aan de andere kant kan de mount worden geklemd met ook een moer. Deze moer zit in de hendel gefixeerd, waarbij de hendel niet kan verschuiven door het gebruiken van een E-clip. Zie figuur 64.



Figuur 65. Ontwerp mountverbinding

3.1.2 Hoofdbandbevestiging

De meest stabiele situatie voor de HMD zou zijn dat de HMD door middel van de mount gefixeerd is aan de Skull Crusher en door middel van een hoofdband tegen het gezicht wordt gedrukt. Hierdoor worden vrijwel alle bewegingsgraden weggehaald.

Bevestiging met koppelstuk

Een mogelijkheid is om een hoofdband door middel van een koppelstuk aan de HMD te bevestigen, waardoor de gebruiker snel de hoofdband los kan halen. Zie de figuren 66 en 67

Nadeel is dat dit koppelstuk tijdens gebruik wel vast moet blijven zitten. Hiervoor zijn voldoende oplossingen, maar die maken de HMD wel zwaarder én in geval van gaten in de behuizing, minder stevig.

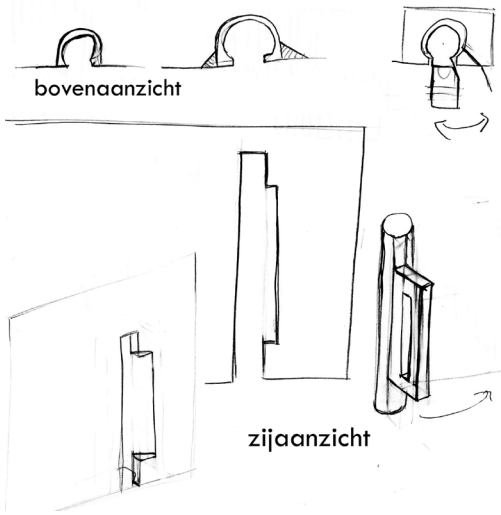
Bevestiging aan externe as

Een andere mogelijkheid is het gebruiken van een externe as die in een inkeping wordt bevestigd. Om deze as kan vervolgens de hoofdband bevestigd worden, zoals in figuur 68. Het grootste voordeel is dat eventuele krachten op de as komen en op horizontaal vlak van de inkeping, wat vrij stevig is.

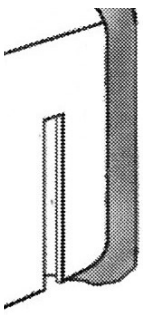
Nadeel is echter dat door de geringe wanddikte het erg lastig is om een stevige as van een diameter van minimaal 3 mm zo dicht bij de rand te plaatsen, zodat deze as ook nog eens vast geklemd kan worden door e-clips of schroefjes.

Met de voor- en nadelen van bovenstaande mogelijkheden in gedachte, is besloten de hoofdband te bevestigen aan een interne as, dus uit het materiaal waarvan de behuizing gemaakt is. Zie figuur 69.

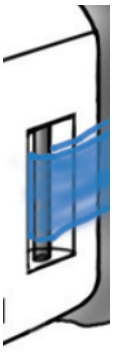
Nadeel hiervan is dat het materiaal kapot kan gaan door de krachten die op de band komen. Maar eerst komen alle krachten op de elastische band zelf te staan, waardoor de krachten op de as in de behuizing niet erg hoog zullen zijn. Ook als de HMD valt, is er geen uitstekend koppelstukje waardoor de behuizing kapot kan vallen. Uiteraard is het wel belangrijk om deze 'as' niet te dun te maken.



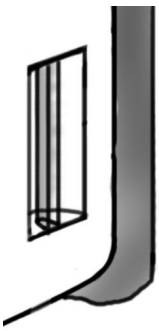
Figuur 66. Hoofdbandbevestiging door schuifstuk



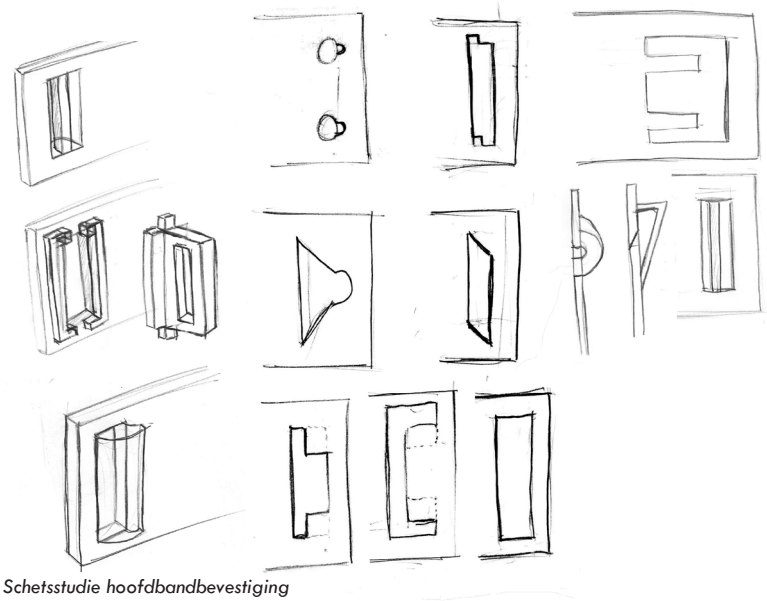
Figuur 67. Opening waar koppelstuk in geschoven kan worden



Figuur 68. Hoofdband bevestigd door externe as



Figuur 69. Interne as



Figuur 70. Schetsstudie hoofdbandbevestiging

3.1.3 Hoofdkabel en audio

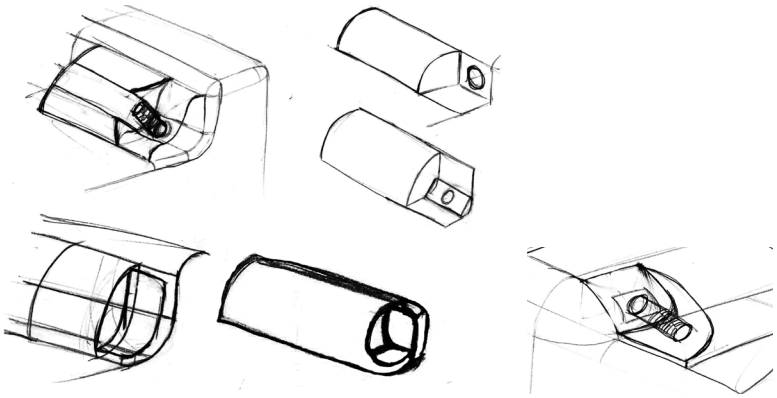
Alle electronica binnen de HMD bevatten draden die gebundeld naar de controller box toegaan om daar verwerkt te worden of om vanuit daar stroom te krijgen.

De locatie waar deze bundel de HMD uitgaat, moet in het ontwerp goed bepaald worden. Stel de bundel zou aan de onderkant eruit gaan, dan is er extra lengte kabel nodig omdat je de HMD moet kunnen opklappen. Zoals in hoofdstuk 2.2.1 is toegelicht, is de meest ideale locatie vlakbij de mount, zodat de kabel via de mount naar de controller box geleid kan worden.

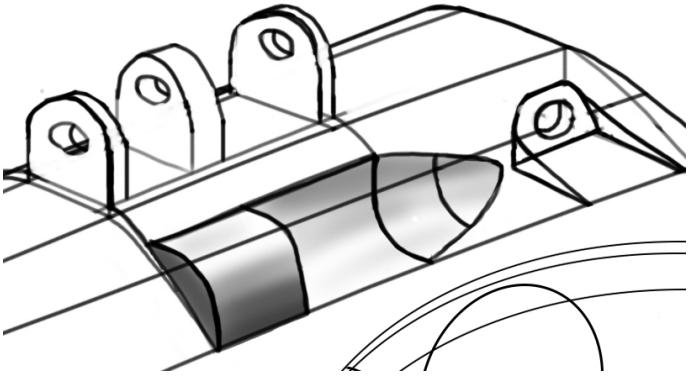
In het eindontwerp zal de 3.5mm audio-jack onder de mount-verbinding zitten en zal de kabeluitvoer aan de rechterzijde zitten. Het zit aan de rechterzijde om daarmee het gewicht te verdelen, gezien de knoppen en de bijhorende onderdelen aan de linkerzijde zitten. Voor de 3.5 mm jack zit een inham met een lengte van 30 mm. Dit zou voldoende moeten zijn voor de meeste audiopluggen.

Daarnaast moet er gedacht worden aan het feit dat deze gebundelde kabel veel zal bewegen en er knikken in kunnen komen. Essentieel is dus om te voorkomen dat er breuken optreden in de kabel, vooral bij het gedeelte waar de kabel de HMD verlaat. Dit wordt gedaan door een kabelgeleider, zoals op veel electronisch apparatuur te vinden valt.

Figuur 71. Kabelgeleider Oculus Rift



Figuur 72. Korte schetsstudie locatie hoofdkabel



Figuur 73. Schets locatie kabeluitvoer en plaatsing 3.5 mm jack

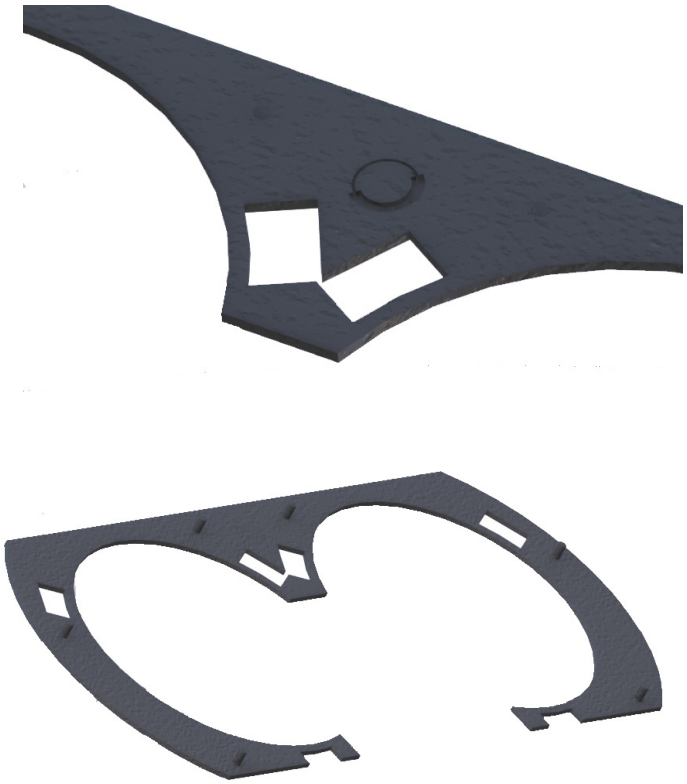
3.1.4 Afdichting eyecups

Het gebruiken van eyecups geeft naast de vele voordelen, ook een nadeel; er is een potentieel gevaar tijdens gebruik dat er stof of water in de HMD komt.

Belangrijk is dus dat ook de eyecups stofdicht op de HMD geklikt kunnen worden. Feitelijk gezien zijn er twee mogelijkheden om dit te realiseren. De ene optie is om een laag onder de randen van de eyecups te plaatsen, waardoor ze hiermee afgedicht worden als ze geplaatst worden op de HMD. De andere optie is het plaatsen van een laag op de HMD, waardoor er niet op elke eyecup een laag hoeft te zitten. Voor de laatste optie is gekozen, omdat dit makkelijker te produceren is en en daarnaast kan het geïntegreerd worden in het uiterlijk van de HMD.

Het gedeelte op de HMD waar de eyecups komen, bevat kleine gaatjes waarin de afdichtlaag vastgedrukt kan worden. De afdichtlaag bevat kleine staafjes hiervoor.

De laag kan het beste worden geproduceerd van siliconen-materiaal. Het is mogelijk om dit in grotere aantallen te produceren bij gespecialiseerde bedrijven, maar het is ook mogelijk om door middel van een Polyjet-printer het te printen.



Figuur 74. Siliconen afdichtingslaag eyecups

3.2 Productie

In deze paragraaf wordt het aanbevolen productieproces toegelicht en wordt er per onderdeel beschouwd met welke productietechniek en met welk materiaal het geproduceerd kan worden.

De volgende onderdelen moeten geproduceerd worden:
1. een behuizing,
2. een deksel,
3. een siliconen afdichtrand voor de deksel,
4. twee eyecups,
5. een siliconen afdichtlaag voor de eyecups,
6. een kabeluitvoergeleider,
7. een mountkoppelstuk,
8. een mounthendeltje,
9. siliconen functieknoppen,
10. de foamrand.

Verder is er nodig:
- een kleine PCB voor de functieknoppen, geluid en mic,
- een hoofdkabel om alle kabels te bundelen,
- een 3.5 mm geluidsjack,
- een 1.1 mm hoge electret microfoon,
- twee paar asferische lenzen,
- kabeltjes voor aansluiting PCB en microfoon,
- KOE LCD scherm met LVDS bekabeling,
- Schroefjes, moertjes, een as met richel met een diameter van 5 mm en een e-clip voor de richel.

Om de productietechniek te bepalen, moet er nagegaan worden welke materialen stevig genoeg en verder geschikt zouden zijn voor de onderdelen die geprint moeten worden. Anderzijds is het ook goed de tegenovergestelde insteek te bekijken, door eerst naar een geschikte productietechniek te zoeken en hierbij een geschikt materiaal te vinden.

Beide methodes kunnen gebruikt worden om na te gaan welke combinatie het beste is. Daarnaast moet er informatie worden ingewonnen bij de verschillende leveranciers, gezien hun expertise. Materialise is een marktleider op het gebied van 3D printen, bij wie

De productietechniek die gekozen wordt is onder andere bepalend voor de sterkte van het eindproduct. Gedurende het proces is er vanuit gegaan dat het prototype geprint zou gaan worden door Selective Laser Sintering (SLS). SLS onderdelen worden ook gebruikt voor motoronderdelen en de techniek heeft een goede reputatie om onderdelen te maken die als eindproduct kunnen functioneren. (Hollis, R.L. (2007))
Materialise heeft een duidelijke uitleg gegeven over de voor en nadelen van de productietechnieken en wat daarbij het meest geschikte materiaal is.

Voor het prototype is het aan te raden om het te printen met SLS, omdat dit een stevige en goede methode is om een prototype te realiseren. Trivisio heeft er bijvoorbeeld voor gekozen hun eindproduct met SLS te printen.

Fused deposition modeling (FDM) wordt afgeraden omdat de laagsgewijze opbouw van het printen zorgt voor een aanzienlijke vermindering van de sterkte.

Voor de eindproductie wordt vacuümgieten aanbevolen. Het mastermodel wordt gemaakt door middel van stereolithografie, wat de basis vormt voor de siliconen matrijs. Door het vacuümgieten wordt het product nog steviger, omdat er geen laagsgewijze opbouw meer is.

Voor ieder onderdeel wordt kort toegelicht welke productietechniek gebruikt wordt en van welk materiaal het gemaakt wordt, indien dit reeds is bepaald.

1. De behuizing
Het prototype zal worden geprint door middel van SLS. Het wordt geprint met de polymeer polyamide 12, wat ook wel Nylon 12 wordt genoemd. Dit is een stevig materiaal, met een hoge impact strength, namelijk 53+/- 3.8 kJ/m^2, vergeleken met andere SLS-materialen. Ook breekt het materiaal niet snel bros, dankzij het hoge percentage rek die het kan ondervinden voordat het breekt. (Bron: Materialise.com).

Bij de eindproductie zal het product door middel van vacuümgieten worden gemaakt. Het zal worden gemaakt van het materiaal HMPU3, een ABS lijkend materiaal. Deze heeft een hogere impact strength, namelijk 56 kJ/m^2, dan Nylon 12, maar levert daarop wel bijna voor de helft in op elasticiteit. Doordat vacuümgieten geen laagsgewijze opbouw heeft, zorgt deze techniek ervoor dat het product veel sterker is dan een SLS-prototype. Daarom is de elasticiteit minder van belang.

Het printen van de behuizing alleen kost ongeveer 300 euro via SLS en meer dan 500 euro met FDM printen. Het afgieten van tien stuks door middel van vacuümgieten is ongeveer 2000 euro. Indien er tien of meer HMDs geproduceerd moeten worden, dan is het kostenefficiënter om dit te laten vacuümgieten. Dit aantal geldt als omslagpunt tussen SLS printen of vacuümgieten.

2. De deksel
De deksel wordt zoals de behuizing met SLS geprint in geval van het prototype. Bij een hoger productieaantal dan tien, zal dit onderdeel geproduceerd worden door vacuümgieten.

Bij SLS wordt Nylon 12 als materiaal gebruikt en bij vacuümgieten wordt HMPU3 als materiaal gebruikt.

3. De siliconen afdichtrand voor de deksel
De siliconen afdichtrand wordt door middel van de Polyjet-techniek geproduceerd. Indien de onderdelen geprint worden bij leverancier Materialise, kan er voor het materiaal Objet TangoBlackPlus worden gekozen. Dit materiaal wordt veelal gebruikt voor afdichtranden.

Of het goedkoper is om dit te laten produceren bij een bedrijf zoals Materialise, of om het in China te laten produceren, dat moet verder worden bekeken en valt buiten bestek van deze opdracht.

4. De twee eyecups
Ook de twee eyecups worden in geval van het prototype geprint door middel van SLS, met als materiaal Nylon 12. Gezien het hier om twee eyecups per HMD gaat, zal het punt snel bereikt zijn waarbij het produceren door middel van vacuümgieten goedkoper is. Ook de eyecups zullen dan worden gemaakt van HMPU3.

5. De siliconen afdichtlaag voor de eyecups
Deze afdichtlaag wordt ook met de PolyJet-techniek geproduceerd van het materiaal Objet TangoBlackPlus.

6. De hoofdkabelgeleider
Zoals bij de meeste producten met een stroomkabel, zal dit onderdeel van een rubberachtig materiaal worden geprint. De materiaalkeuze hierin is enorm en valt verder buiten bestek van deze opdracht.

7. Het mountkoppelstuk
Het mountkoppelstuk wordt door middel van SLS geproduceerd, eveneens van het materiaal Nylon 12. De vraag is echter wel of het kostenefficiënter is om dit onderdeel te blijven produceren door SLS of dat het goedkoper is om dit met vacuümgieten te produceren.

8. Het mounthendeltje
Het mounthendeltje wordt van Nylon 12 gemaakt en geproduceerd door SLS. Zoals bij onderdeel 7, moet er nog bekeken worden welke methode daadwerkelijk goedkoper is.

9. De siliconen functieknoppen

De siliconen functieknoppen zouden eventueel ook door middel van de Polyjet-techniek geproduceerd kunnen worden. Maar binnen de knop zal een verhard deel moeten komen zodat de SMD druktoets goed zonder teveel weerstand ingedrukt kan worden.

Daarom wordt aangeraden dit onderdeel te laten produceren door een fabrikant die ervaring heeft in dit soort siliconenknoppen.

10. De foamrand

Leverancier Eurofoam uit Duitsland is in staat de foamranden te produceren. Het is nog niet duidelijk of zij het ook kunnen leveren met de luszijde van het klittenband achterop de foamlaag, maar gezien hun ervaringen is de verwachting dat zij dit kunnen realiseren.

Qua gewicht zal het gehele product iets meer dan 500 gram wegen, na schatting en berekening door Solidworks met het concept in ver gevordend stadium; het scherm is 180 gram, de behuizing ongeveer 160 gram, de deksel 150 gram, de beide eyecups samen ongeveer 40 gram met de lenzen erin en hiernaast nog enkele onderdelen die niet veel wegen. Het zal ongeveer uitkomen op een gewicht van 550 gram. Dit is het gewicht van het prototype, waarbij er gekeken moet worden hoe het gewicht verlaagd kan worden bij het eindproduct.

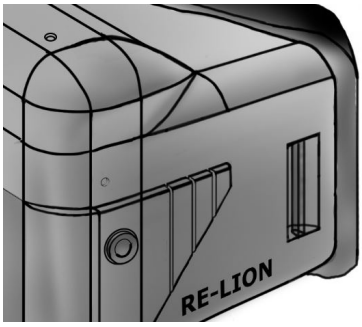
3.3 Detaillering

Gedurende het proces zijn er meerdere ontwerpkeuzes gemaakt die hebben gezorgd voor het eindconcept zoals deze nu gepresenteerd zullen worden. Dit gaat om kleine keuzes zoals het plaatsen van de kabeluitvoer aan de rechterzijde om het gewicht te verdelen, gezien de functieknop-onderdelen aan de linker zijde van de HMD zijn geplaatst. Maar ook om grotere keuzes, zoals afmetingen van de HMD en de vormgeving ervan.

3.3.1 Behuizing

De eerste drie concepten hadden een totaal andere vormgeving van de HMD ten opzichte van de Oculus Rift, die het uitgangsproduct was. Uiteindelijk bleken deze concepten in vormgeving niet optimaal, namelijk te zwaar, te groot en te ingewikkeld. Het herontwerp verschoof in de vormgeving meer richting de Oculus Rift.

De Re-lion HMD, om het eindproduct zo te noemen, heeft alle randen afgerond, om hiermee valschade te reduceren. Door het gebruik van ronde hoeken in plaats van rechte hoeken, krijgt de HMD bij een eventuele val een minder harde klap. Ronde hoeken zijn namelijk beter in staat een schok te absorberen dan rechte hoeken. (Dr. ir. T.H.J. Vaneker, Universiteit Twente)

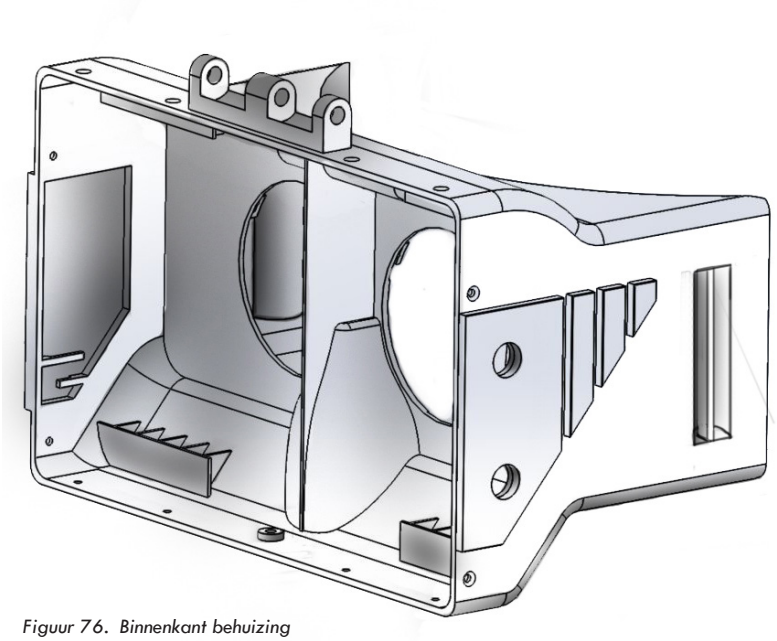


Figuur 75. Afgeronde randen

De behuizing is zo ontworpen dat er zo min mogelijk materiaal nodig is voor de behuizing. Daarom steken beide voorkant zowel de boven- als onderkant uit, met een totale hoogte van 12cm, gezien dit het deel is waar het scherm geplaatst wordt. Na deze uitstekende delen, versmalt de HMD zich richting het hoofd toe tot een hoogte van ongeveer 8 cm. Dit is ook noodzakelijk om te voorkomen dat de HMD tegen de Skull Crusher aankomt als deze wordt dichtgeklapt.

De behuizing van de HMD bestaat uit drie grote onderdelen, namelijk het deel waarin de electronica geplaatst wordt, de deksel die het geheel afsluit en daarbij het scherm klemt binnen de behuizing. De eyecups, het onderdeel waarin de lenzen zitten, vormen het laatste onderdeel dat de HMD tot een gesloten geheel maakt.

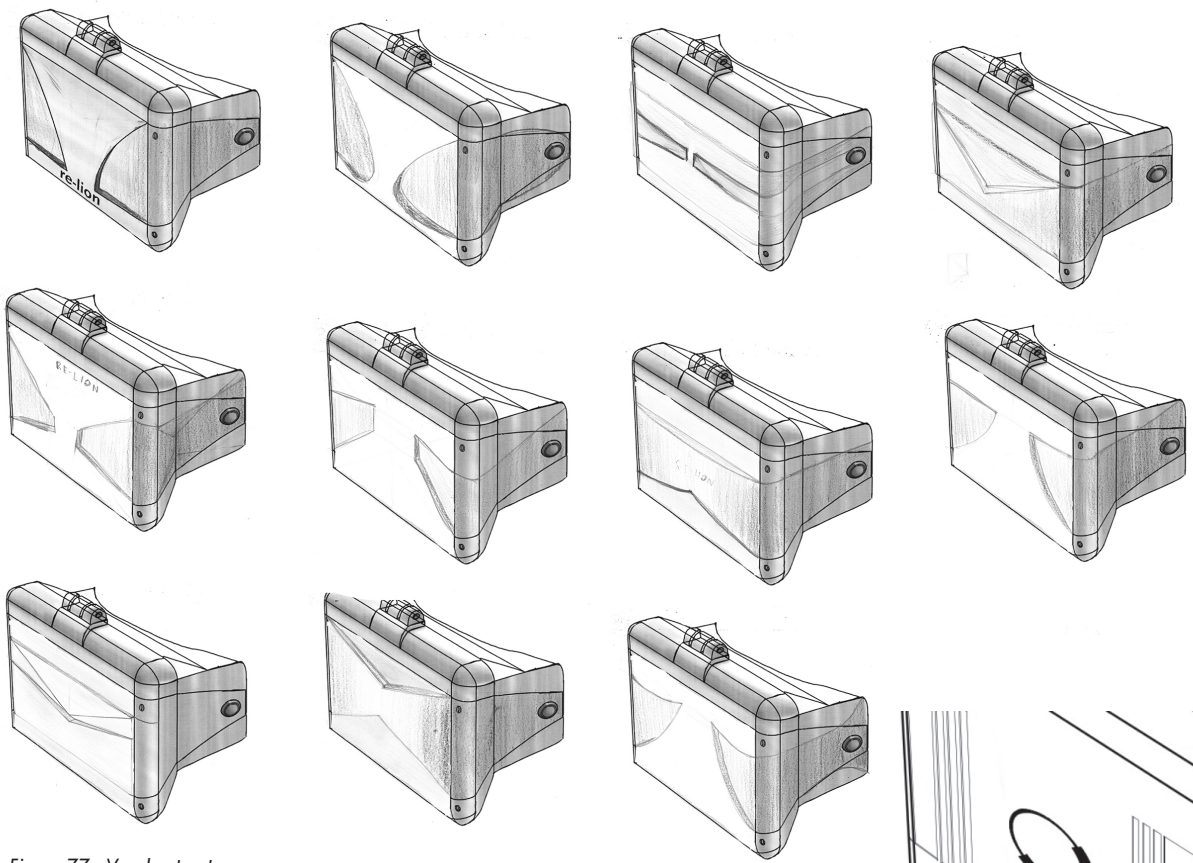
De binnenkant van de HMD - zie figuur 76 - bevat zowel boven als onder opstaande randen waartegen het LCD scherm gedrukt zal worden. Tussen deze rand en het scherm zal het materiaal poron gebruikt worden, dat het scherm tegen schokken zal beschermen. De poron zal ook komen op het tussenschot, omdat dit onderdeel direct in contact komt het het actieve gedeelte van het LCD scherm.



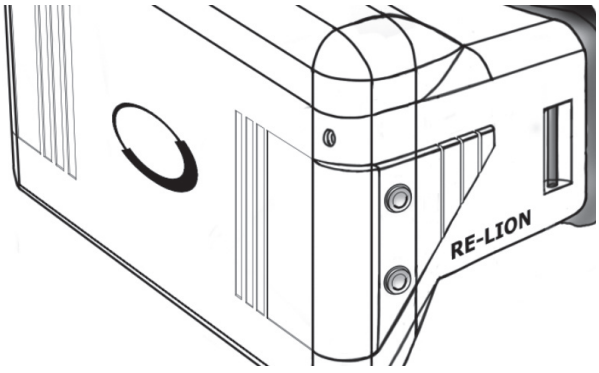
Figuur 76. Binnenkant behuizing

De HMD moet qua uiterlijk natuurlijk ook aansluiten bij het product SUIT en haar gebruikers. Het is daarom belangrijk te kijken hoe het uiterlijk eruit komt te zien.
De voorkant is het meest zichtbaar en het moet dan ook correcte uitstraling hebben. Daarom is er een studie gedaan naar verschillende voorkanten, waarin door middel van vormgeving emoties leken te ontstaan. Deze voorkanten zijn daarna voorgelegd aan de medewerkers van Re-lion, waarbij ieder erover eens was dat er geen 'treurige' emoties te moesten zijn, door middel van neerwaartse lijnen, of emoties die lijken op een robotgezicht. Iedereen had hier een ander idee over en om die reden is er verder gekeken.

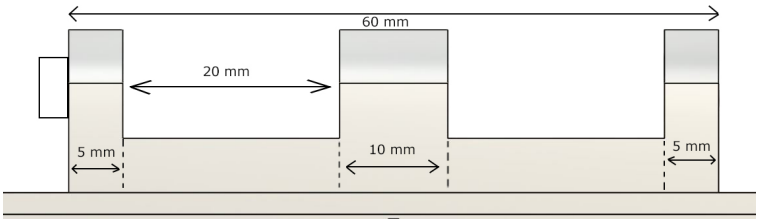
Voordat er een besluit wordt genomen is het belangrijk de zijkant te beschouwen. De tekeningen hiervan zijn te vinden in bijlage VIII. Gekozen is om het neutraal te houden, dat wil zeggen geen emoties erin, met daarbij het ronde logo van Re-lion op de voorzijde. Het relief in de voorkant en de zijkanten zorgen voor het uiterlijk. De verhoogde delen aan de zijkant hebben als doel de verbreding van de HMD om hierin de functieknoppen te kunnen plaatsen.



Figuur 77. Voorkant ontwerp



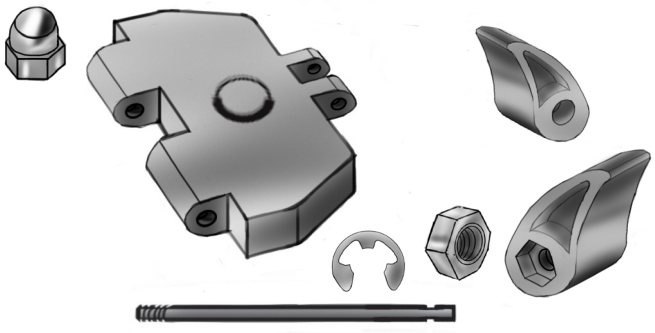
Figuur 78. Definitief ontwerp voorkant



Figuur 80. Afmetingen mountverbinding HMD

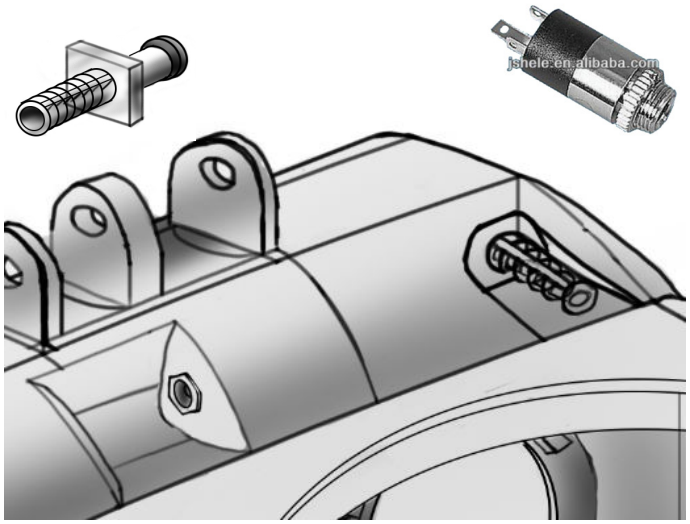
3.3.2 Mount

Op de bovenkant zit de mountverbinding, waaraan een GoPro NVG mount bevestigd kan worden. Deze mountverbinding is ongeveer 20 mm breder dan de Trivisio HMDs, namelijk 60 mm, om meer stabiliteit te generen. Aan deze verbinding wordt een ontworpen koppelstuk bevestigd, zodat de GoPro verbindingsstukken hieraan bevestigd kunnen worden. Dit koppelstuk kan worden geklemd met het L-vormig hendeltje op een as, waardoor de gebruiker de HMD kan opklappen. Zie ook figuur 79.



Figuur 79. Koppelstuk

Achter de mountverbinding is de aansluiting voor een koptelefoon geplaatst, zodat de kabel gemakkelijk via de mount naar boven geleid kan worden. Hier was de afweging vooral waar ruimte was om de 3.5 mm jack te plaatsen, of eventueel gemaakt kon worden. De 3.5 mm jack aan de binnenkant plaatsen was geen optie omdat hiervoor geen ruimte was. Hierdoor moest de jack in ieder geval deels aan de buitenkant komen en daarom is er ook voor gekozen een ronde jack te gebruiken, zodat deze verwerkt kon worden in de bolling achter de mount. De inham voor de 3.5 mm jack loopt na 30 mm in een bolling weer op, waardoor een knik in de audiokabel wordt voorkomen. De invoer van de koptelefoon gaat via de linker zijde, zodat de kabel gelijk de gebundelde kabel in kan gaan. Zie figuur 81.

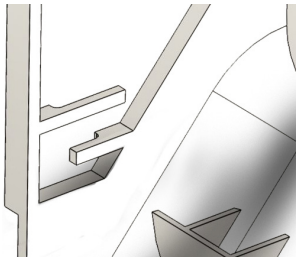


Figuur 81. Hoofdkabelgeleider en aansluiting koptelefoon

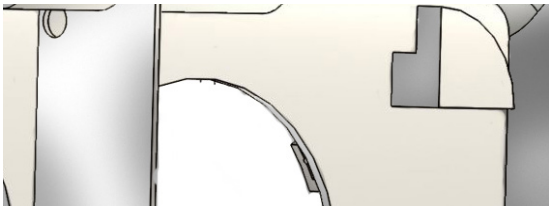
3.3.3 Hoofdkabel, audio en functieknoppen

De kabelgeleider moet zoals eerder is toegelicht ervoor zorgen dat de kabels binnen de hoofdkabel niet breken door de knikken die de kabel vaak zal maken. Ook voor de hoofdkabel is de afweging geweest dat de kabel zo dicht mogelijk bij de mount moest bevinden, om deze gemakkelijk naar de Skull Crusher te laten lopen.
Daarnaast is er geen extra kabel nodig om de klapbeweging van de HMD mogelijk te maken, wat wel het geval zou zijn als de kabelgeleider zich aan de zij- of onderkant zou bevinden.

Binnen de behuizing moeten de kabels van de verschillende electronische onderdelen naar de gebundelde kabel komen. Hiervoor zijn zowel voor de functieknoppen als voor de microfoon kabelgeleiders binnen de behuizing gemaakt die de kabels naar de hoofdkabel geleiden. Voor de functieknoppen zit er een klein gat in het tussenschot, zodat die kabels hierdoor kunnen.



Figuur 82. Kabelgeleiding microfoon



Figuur 83. Kabelgeleiding functieknoppen

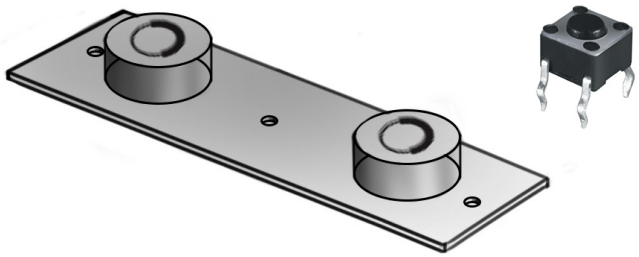
Figuur 84. Electret microfoon
Bron: Alibaba.com - Union Biochemistry Co.

De microfoon is onderin de behuizing geplaatst, in het midden om zo optimaal mogelijk geluid op te kunnen vangen. Omdat de ruimte tussen het scherm en de onderwand beperkt is, namelijk 5 mm, is er ook weinig ruimte voor een microfoon. Daarom wordt er gebruik gemaakt van een smalle electret microfoon met een diameter van 3 mm en een hoogte van 1,1 mm.

De microfoon wordt direct aangesloten in de controller box en gaat via de zijwand naar de gebundelde hoofdkabel toe.

Een van de eisen voor de HMD is het bevatten van een functieknop. Er is gekozen om twee functieknoppen te verwerken in de HMD, met oog op de toekomst waarbij er wellicht meerdere functies kunnen worden toegekend aan de knoppen. Een functie waaraan gedacht kan worden is bijvoorbeeld het activeren van nightvision tijdens de training. Of het wisselen van een wapen. Twee SMD druktoetsen worden op een kleine printplaat geplaatst en kunnen worden ingedrukt door siliconen knoppen. Deze siliconen knoppen bestaan uit één siliconen laag die zowel stevig is mocht de HMD vallen, als dat het gelijk de zijkant spatwaterdicht maakt. De functieknoppen zullen 2 mm uitsteken uit de behuizing, zodat de gebruiker op gevoel de juiste knop kan voelen. Door de knoppen verder uit te laten steken, kan de indruk gewekt worden dat ze hard ingedrukt moeten worden, iets wat niet de bedoeling is.

De printplaat en de siliconen laag wordt aan de wand bevestigd door drie uitstekende pinnetjes uit de wand en kunnen met een druppeltje lijm vastgezet worden. De bedrading loopt omhoog via een kabelgeleider en gaat door een gat in het tussenschot naar de hoofdkabel toe.



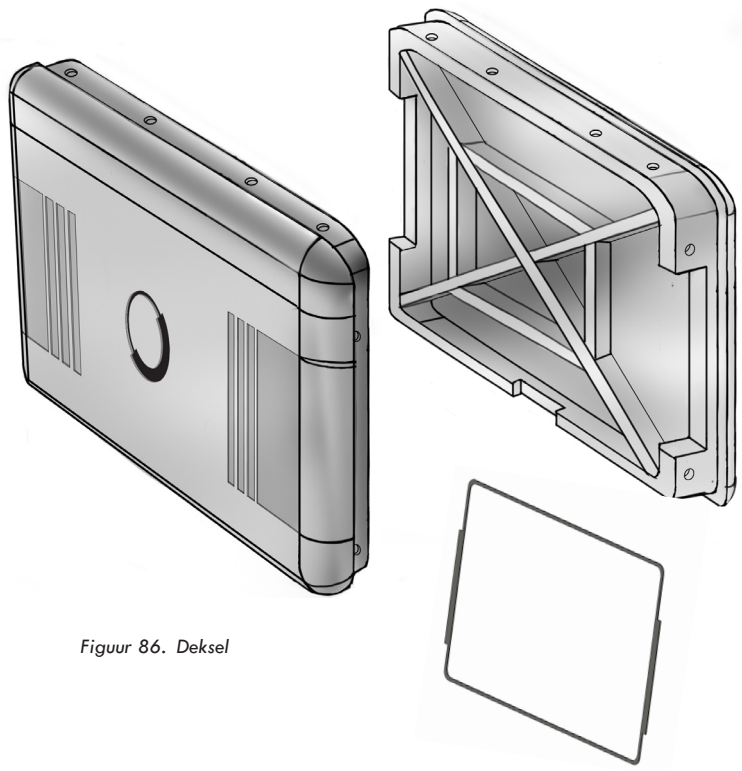
Figuur 85. Siliconen knoppen laag en SMD druktoets
Bron druktoets: www.conrad.nl

3.3.4 Deksel

De deksel zorgt voor de bescherming van het geheel en moet schokken absorberen. Het scherm wordt daarnaast door de deksel tegen de opstaande randen binnen de behuizing gedrukt, om het scherm vast te klemmen. Om stevigheid te verkrijgen van de deksel en daarnaast om het scherm zo goed mogelijk tegen schokken te beschermen, bestaat de binnenkant van de deksel uit een raamwerk met randen van 2 mm. Door deze randen breed te houden, kunnen eventuele schokken op het scherm beter verdeeld worden. Ook zorgt dit voor een goede stevigheid binnen de deksel.

De voorkant van de deksel bevat het reliëf dat doorloopt vanaf de zijkanten. In het midden staat alleen het ronde logo van Re-lion. Er is gekozen om de voorkant zo neutraal mogelijk te houden, zodat de HMD uit zichzelf zo min mogelijk 'emotie' uitstraalt en gewoon doeltreffend is.

De randen zijn afgerond om de stootvastheid te vergroten, zoals ook is uitgelegd in paragraaf 3.3.1.



Figuur 86. Deksel

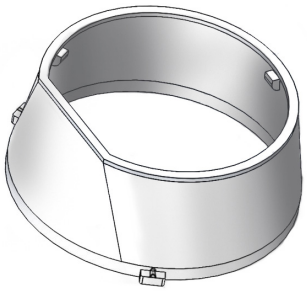
3.3.5 Optiek

De eyecups zorgen ervoor dat de lenzen zo dicht mogelijk bij de ogen kunnen komen. Door het gebruiken van eyecups in plaats van een vaste lenshouder, zijn de lenzen afzonderlijk van elkaar los te koppelen.

Doordat het materiaal nog licht elastisch vervormbaar is, is het mogelijk om de lens van onderen in de lenshouder te klikken. Een bijhorende ring wordt er vervolgens ook ingeklikt om de lens vast te klemmen in de eyecup.

Voordat de lens erin past, moet deze worden afgevlakt volgens de dimensies in figuur 60.

De eyecups worden gedraaid op de HMD en blijven geklemd zitten door de zijlipjes. Om te voorkomen dat er stof of vocht de behuizing binnenkomt, zit tussen de eyecup-wand en de eyecups een siliconen afdichtlaag.



Figuur 87. Eyecup

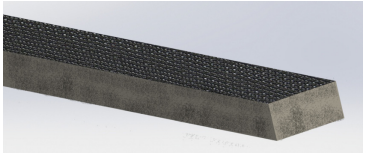
Figuur 88. Siliconen afdichtlaag

3.3.8 Afsteuning

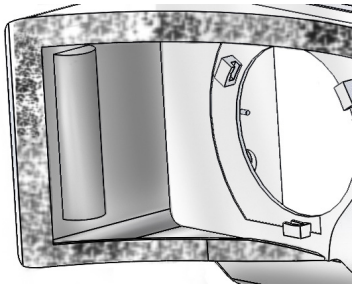
Door middel van klittenband kan er een foamlaag op de achterkant worden bevestigd, zoals in figuur 89 te zien is.

Klittenband bestaat uit twee lagen, namelijk de haakzijde en de luszijde. De haakzijde bevat de haakjes die de harige luszijde vasthaakt.
De foamlaag wordt aangeleverd in rollen foam. Onder de foamlaag - figuur 90- zit de luszijde al verwerkt, zodat het foam direct aangebracht kan worden. De haakzijde wordt aan de achterkant van de behuizing vastgelijmd. De foamlaag is 20 mm breed.

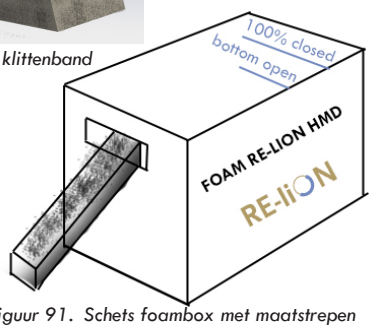
De foamlaag kan in verschillende diktes worden aangeleverd, waarmee de gebruiker kan bepalen wat de afstand is tussen de ogen en de lenzen. De gebruiker kan ook bepalen of de HMD volledig wordt afgesloten of dat het onderste deel open blijft. In hoofdstuk 1.8 is een analyse geweest naar welke invloed de mate van geslotenheid heeft op de belevenis van de virtuele wereld. Door het geheel af te sluiten blijkt dat het gebruik van de HMD immersiever is dan wanneer de onderkant opengelaten wordt. Sommigen vinden het echter fijner dat de onderkant open blijft, zodat er nog enig besef is van de 'echte' wereld. De operator kan eventueel in overleg met de instructeur zelf van een foamrol de benodigde lengte foam afknippen en deze op de te gebruiken HMD te plakken. Voor een operator is de benodigde lengte van de foamstrook lastig in te schatten. Het is daarom raadzaam om bijvoorbeeld met de foamdoos de benodigde lengte te kunnen bepalen voor de gewenste configuratie, zie figuur 91.



Figuur 90. Foamlaag met klittenband



Figuur 89. Achterkant met klittenband



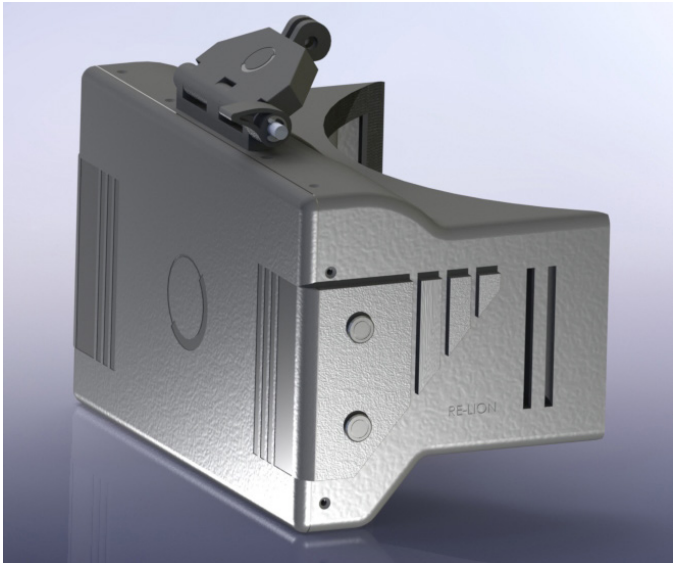
Figuur 91. Schets foambox met maatstrepen

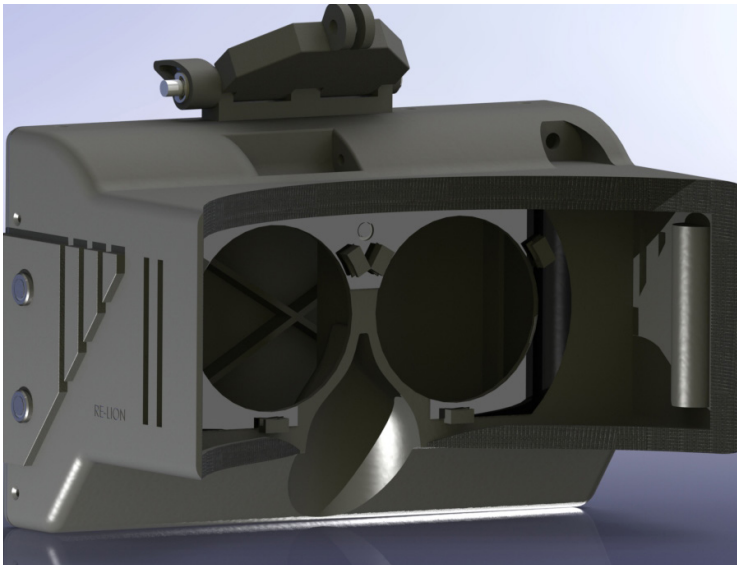
3.4 Eindresultaat

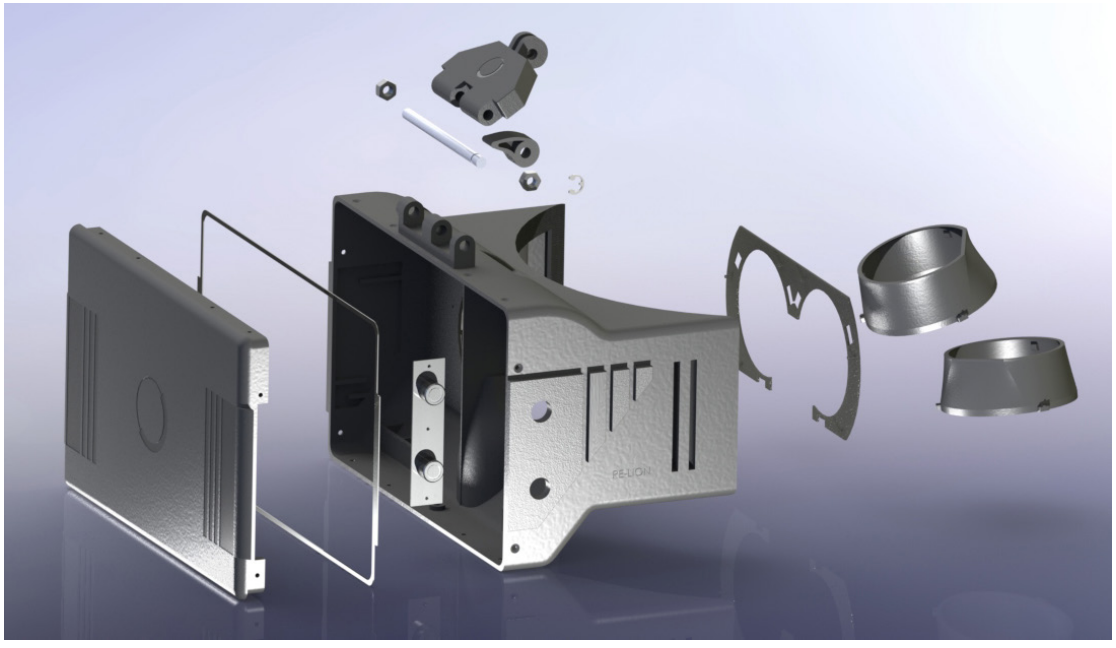
Het eindresultaat van dit proces is de Re-lion HMD, een head-mounted display bedoeld voor het product SUIT. Anders dan voorheen gebruikt bij SUIT, is de weg nu ingeslagen naar HMDs met grotere schermen, namelijk 7 inch schermen. De Re-lion HMD geeft de mogelijkheid op hoge resolutie met hoge immersive ervaring als onderdeel van het systeem SUIT een tactische virtuele training te volgen.

Onderstaand model is hiervan het eindresultaat. Het model is verder uitgewerkt in Solidworks, zodat de onderdelen kunnen worden geprint voor verdere productie.

In bijlage XI zijn maattekeningen toegevoegd van het Solidworks model.







4. Evaluatie & conclusie

In dit hoofdstuk zal het ontwerp geëvalueerd worden aan de hand van het Programma van Eisen en feedback van zowel de ontwerper als de opdrachtgever. Ook zal het ontwerp kort worden vergeleken met de Oculus Rift, die de basis vormde van deze opdracht. Hierna wordt er een conclusie getrokken over het ontwerp, waarna er aanbevelingen worden gedaan voor verdere ontwikkeling.

4.1 Evaluatie

De HMD is eerst getoetst aan de hand van het Programma van Eisen - tabel 2 -, waarbij de score beduidend beter is dan de eerste drie concepten. Het enige minpunt is dat de Re-lion HMD zwaarder weegt dan 500 gram. Daarmee is de eis niet gehaald. De berekeningen van het gewicht zijn gemaakt aan de hand van de dichtheid van het materiaal waarmee SLS geprint gaat worden. Daarbij is er gekozen voor een wanddikte van 2 mm voor het gehele model. In het bestek van deze opdracht, is de enige manier om te controleren of deze wanddikte dunner kan, of juist dikker moet, door het proefondervinderlijk te achterhalen.

De nieuwe Re-lion HMD zal nu op verschillende punten geëvalueerd worden.

Ontwerp

De vormgeving van de Re-lion HMD lijkt op de Oculus Rift DK. Er is getracht om hiervan af te wijken, maar door de grote afmetingen van het scherm krijgt het al gauw een vierkante vorm.

Materialen

De materialen die gebruikt worden voor zowel het prototype als de eindproductie voldoen waarschijnlijk aan de benodigde stevigheid. Het voorgestelde materiaal voor de eindproductie, namelijk HMPU3, is zwaarder dan het materiaal gebruikt bij het prototype.

Eisen	Concept Re-lion HMD
1.1 Stootvast	+
1.2 Stroom via USB	+
1.3 Scherm 6 tot 7 inch	++
1.4 Een 1080p scherm	++
1.5 Spatwaterdicht	++
1.6 Stofdicht	++
2.1 Scherm plaatsen/verwisselen	++
2.2 Lichtgewicht <500g	-
2.3 Open onderzijde	++
2.4 Modulair afsluitbaar	++
2.5 NVG/Go-Pro mount	++
2.6 Afneembare lenzen	++
3.1 Interne microfoon	++
3.2 Audio-output	++
3.3 Flexibele datakabel	+
4.1 Oplage<50	++
4.2 Kostprijs < €1000	++
5.1 Gemakkelijk schoon maken	+
5.2 Intern eenvoudig te onderhouden	++
Wensen	
1 Programmeerbare functieknop	++
2 Sensorbehuizing op headset	nvt
3 Display controller box behuizing	nvt
Totaal	32

--	*voldoet zeer slecht [-2]*
-	*matig [-1]*
+/-	*gemiddeld [0]*
nvt	*niet van toepassing of niet meetbaar [0]*
+	*voldoende [+1]*
++	*goed [+2]*

Tabel 2. Toetsing eindconcept aan het Programma van Eisen

Omdat het productieproces voor extra stevigheid zorgt, kan de wanddikte dunner worden. Dit kan resulteren in een gewicht onder de 500 g. Of de stevigheid van de HMD voldoende is zal door middel van een sterkteberekening moeten worden berekend voordat het product in eindproductie wordt genomen.

Kosten

De opdrachtgever heeft aangegeven dat de HMD voor maximaal 1000 euro gemaakt moet kunnen worden. Bij het prototype zullen de kosten voor het prototype ongeveer uitkomen rond de 1000 euro.

- De gehele behuizing kost ongeveer 500 euro;
- Het aangedragen KOE LCD-scherm kost 355 euro;
- De bijhorende controllerboard kost 78 euro;
- De lenzen kosten ongeveer 20 euro;
- De electronica zoals de USB Hub, het Arduino board, microfoon, 3.5 mm jack en de USB audiokaart en de bekabeling kosten ongeveer 50 euro.

De kosten voor de eindproductie zullen met hetzelfde scherm neerkomen op ongeveer 700 euro. De productiekosten voor de behuizing is goedkoper en componenten kunnen goedkoper ingekocht worden.

Gebruiksvriendelijkheid

Het gebruik van de HMD is makkelijk. Indien de HMD opgeklapt moet worden, is het alleen een kwestie van een hendeltje omhoog klappen.

Er zijn nog wel twijfels over de inham voor de 3.5 mm jack. Als er een vrij lange audioplug wordt gebruikt, is de vraag of dit wel gaat passen. Er is rekening gehouden met audiopluggen die op de meeste koptelefoons te vinden zijn; de inham is namelijk 30 mm lang, wat voldoende zou moeten zijn. Om de audiokabel geen knik te laten maken, loopt de zijrand nog 10 mm door in een bolling. Dit neemt natuurlijk niet weg dat de kans bestaat dat er audiopluggen zijn die niet passen.

Mountverbinding

Er is veel onderzoek gedaan naar de stabiliteit van de HMD. Deze onderzoeken hebben ertoe geleid dat de mount verbreed is en er op de mount een tussenstuk bij is gekomen. Hierdoor wordt verwacht dat de stabiliteit van de HMD vergroot wordt. In hoeverre deze stabiliteit er daadwerkelijk is, moet proefondervinderlijk worden uitgezocht.

Kabelgeleiders

Voor de microfoonkabels en de kabels van de functieknoppen zijn er kabelgeleiders gemaakt aan de wanden van de HMD. Hoe stevig die geleiders zijn en of ze goed geproduceerd kunnen worden, moet nader overlegd worden met de leverancier. Het zou ook mogelijk zijn om de kabels te begeleiden met kleine kunststof kabelgeleiders die op de wanden geplakt kunnen worden. In dat geval is het niet meer nodig dit te verwerken in de behuizing zelf.

4.2 Vergelijking Oculus Rift DK

De Re-lion HMD lijkt in vormgeving lichtelijk op de Oculus Rift Developer editie (DK). De Oculus Rift DK was dan ook het uitgangsproduct voor het ontwerp van een nieuwe HMD voor Re-lion.

Grootste verschillen zijn dat de Re-lion HMD bestaat uit minder onderdelen en het bevat een GoPro NVG mountverbinding, waardoor deze op een helm of headset geklikt kan worden. De Oculus Rift DK heeft intern een 7 inch LCD scherm met een resolutie van 1280x800. Vanuit de opdrachtgever is bepaald in het programma van eisen dat de Re-lion HMD een Full-HD scherm moet bevatten , met een diagonale lengte van 6 tot 7 inch.

De Oculus wordt als gamingapparaat aangeschaft en wordt als zodanig in een huishouden gebruikt. Dit in tegenstelling tot de HMD die voor het product SUIT gebruikt gaat worden. Deze Re-lion HMD zal namelijk door vele gebruikers gedragen worden, waardoor er direct andere eisen gesteld worden op gebied van hygiëne, naast eventuele extra wettelijke bepalingen voor militaire eenheden, politie en brandweer. De Oculus Rift DK heeft geen foamlaag die losgehaald kan worden om schoon te maken. Bij de Re-lion HMD is het noodzakelijk dat deze foamlaag eenvoudig te demonteren is, zodat deze kan worden vernieuwd na gebruik. Doordat de gebruiker zelf van een voorraadrol de foamlaag kan afhalen, bepaalt de gebruiker in hoeverre de buitenwereld wordt afgeschermd. De gebruiker kan bijvoorbeeld beslissen om de onderkant open te laten en alleen de boven- en zijkant met foam te bedekken. Bij de Rift DK is de buitenwereld permanent uit zicht verdwenen, terwijl het bij de Re-lion HMD zelf mogelijk is dit te bepalen.

In de conclusie is kort een vergelijking gemaakt tusen de optiek van de Oculus Rift DK en de Re-lion HMD. Het voordeel van de Re-lion HMD is dat deze verder van het gezicht gefixeerd kan worden, indien men bijvoorbeeld een brildrager is. Dit is minder goed mogelijk bij de Oculus Rift DK, omdat deze met de band tegen het gezicht wordt gedrukt. Bij de Rift is het echter mogelijk om stapsgewijs met een lengteverschil van 10 mm, de afstand tussen de ogen en lenzen te vergroten. Het vergroten of verkleinen van de afstand tussen de ogen en de Re-lion eyecups, gaat door middel van een dikkere respectievelijk dunnere foamlaag.

Als laatste is het gewicht van de Oculus Rift DK met 379 gram aanzienlijk minder dan de Re-lion HMD, met ongeveer 550 gram voor het prototype. Dit komt waarschijnlijk door het productieproces, gezien de wanddikte van de Oculus Rift minder dan 1 mm is. De HMD kan met een wanddikte-verschil van 1 mm al gauw 150 gram minder wegen.

4.3 Conclusie

Het ontwikkelde concept is een eerste opzet naar een nieuwe HMD die Re-lion voor haar product SUIT kan gebruiken. Haar huidige HMDs voldoen niet aan hun wensen, zoals besproken in hoofdstuk 1.1, waardoor een nieuwe en liefst eigen HMD ontworpen moest worden.

Vergeleken met de huidige HMDs, biedt de Re-lion HMD veel meerwaarde op gebied van gebruik, comfortabiliteit en bevelenis. Doordat het instellen eenvoudiger gaat, eventueel onderhoud veel makkelijker gaat en de mate van immersie in de virtuele wereld groter is.

Het eindconcept voldoet afgezien van het gewicht aan alle andere eisen gesteld in het Programma van Eisen. De markt op gebied van virtuele brillen vergroot zich snel met de komst van de Oculus Rift DK, waardoor er binnen korte tijd meerdere interessante HMDs beschikbaar zullen zijn. Of het eindconcept nog voldoet na het uitbrengen van de consumentenversie van de Oculus Rift in 2014, is afwachten.

4.4 Aanbevelingen

Afsluitend aan dit onderzoek zijn er enkele aanbevelingen die interessant zijn voor verder onderzoek en verbetering aan de Re-lion HMD.

- Siliconen hoes

Zoals bij vele telefoons te zien is, kan deze in een siliconen beschermhoes geschoven worden. Als aanbeveling is het misschien interessant om te kijken wat voor siliconenbeschermlaag mogelijk is, zodat de HMD nog beter beschermd wordt tegen schokken. Daarnaast kan de aankoper van SUIT eventueel zelf bepalen wat voor beschermhoes om de HMD heen komt.

- Camera

Het heeft meerdere voordelen om gebruik te maken van een camera die aan de voorkant van de HMD geplaatst kan worden. Een voordeel is dat door de camera, het mogelijk kan zijn om tijdelijk uit de virtuele wereld te “stappen” zonder de HMD op te hoeven klappen. Via de camera kan men dan zien wat er in de echte wereld gebeurt.

Daarnaast is het voor het systeem mogelijk om bijvoorbeeld geweren of pistolen te volgen door middel van markers. Ook is het mogelijk om door middel van de camera een betere precisie te krijgen waar iedereen zich bevindt en kunnen deze personen dan ook worden herkend in de virtuele wereld.
Een andere mogelijkhed met de camera is het toepassen van Augmented Reality. Deze mogelijkheid is alleen minder bruikbaar voor het systeem.

- Wanddikte

De wanddikte van het eindontwerp is 2 mm en kan afhankelijk van de productiemethode dunner worden om daarmee gewicht te besparen. Ook zullen testen moeten uitwijzen of de wanddikte dunner kan en of het dikker moet om stevigheid te garanderen.

- Ovale eyecups

Om de mogelijkheid te geven de eyecups te plaatsen zodanig dat ze het beste aansluiten op de IPD-waarde van de operator, zou gekeken kunnen worden naar ovale eyecups. Ovale eyecups bieden wellicht perspectief en dit verdient dan ook aandacht in een vervolgonderzoek. Zie paragraaf 2.4.7 voor meer informatie hierover.

5. Begrippenlijst

3D-printen	-	Een verzamelbegrip voor het snel vervaardigen van fysieke prototype of producten
(AM)LCD	-	(Active-Matrix) **Li**quid-**c**rystal **d**isplay, een type plat beeldscherm
Asferische lens	-	Een lens waarbij ten minste één lenskant zowel niet bolvormig als vlak is, maar afwijkend.
Dioptrie	-	Eenheid voor sterkte van een lens, 1dpt = 1 m^{-1}
Electret	-	Een kleine microfoon waarbij akoestische trilling resulteert in electrische spanning.
FDM	-	Fuser deposition modeling, rapid prototyping-techniek met sterke laagsgewijze opbouw
Fresnellenzen	-	Een speciale lens opgebouwd uit ringen of schillen van geringe dikte en gewicht.
Gezichtsveld	-	Het horizontale of verticale gebied wat er met de ogen gezien kan worden, in graden. Wordt ook wel aangeduid met FoV.
GroPro-mount	-	Verbindingsproduct voor bijvoorbeeld camera's aan helmen
HD	-	High Definition, een beeldscherm standaard
HMD	-	Head Mounted Display, een apparaat waarmee het mogelijk is in een virtuele wereld te kijken.
Immersive	-	Mate van opname in een virtuele wereld, een 3D beeld wat de gebruiker te zien krijgt.
Impact Strength	-	Eigenschap van een materiaal, mate waarin materiaal weerstand biedt tegen een impact
IPD	-	Interpupillary distance, ofwel pupilafstand, ofwel oogafstand. Afstand tussen beide pupillen.
NVG-mount	-	Night Vision Goggles-bevestiging, een bevestigingsstandaard bij o.a. Defensie-eenheden
Omidirectioneel	-	Microfoon is gevoelig voor geluiden geheel rondom.
RFID	-	Radio frequency identiciation, een technologie om van afstand informatie af te lezen
Situation awareness	-	Mate van waarneming van de omgeving
SL	-	Stereolithografie, rapid prototyping-techniek waarbij laser hars uithard.
SLS	-	Selective Laser Sintering, rapid prototyping-techniek waarbij laser poeder versmelt
Stereoscopisch zicht	-	Vermogen om twee beelden onder andere hoek te versmelten tot één beeld
SUIT	-	Small Unit Immersive Trainer, product van bedrijf Re-lion
Uni-directioneel	-	Microfoon is gevoelig in één richting.
UWB	-	Ultra Wide Band
Virtueel	-	' Slechts schijnbaar bestaand - als mogelijkheid of vermogen aanwezig' (Van Dale)

	Carl Zeiss Cinemizer	Oculus Rift Developer Kit	Silicon Micro Display ST1080	Sony HMZ-T2	TriVisio Vrvision HMD	Intevac I-Port 75 binocular	eMagin Z 3DVisor	TrainAsYou Fight WHMD	Sensics zSight-1920	InfinitEye
Prijs	$749	$300	$799	$894	$ 3423		$1599		$12,995	$ 420
Schermresolutie	870x500 (1.74:1)	640x800 (1.25:1)	1920x1080 (16:9)	1280x720 (16:9)	800 x 600	1280 x 1024	800x600	1280x1024	1920x1200 per oog	1280x800 per oog
Horizontale Field of View (graden)	H: 30°	H: 90°	H: 39°	H: 45°	H: 34°	H: 60°	D: 40	H:47	H:60	H: 180
Scherm technologie	OLED	LCD	LCoS	OLED	LCD	OLED	OLED	OLED		LCD
Schermgrootte (diag.)	0.39"	7"	0.74"	0.7"						2 x 7”
Gewicht (headset)	120g	379g	180g	330g	210g		227g	522 g	350 g	512 g
Gewicht (controle unit)	60g	-	106g	600g					Nee	
Totale pixels	435	512	2,073,600	921,6	1,440,000					
Pixels Per Inch (PPI)	2572	216	2976	2098						
Head Tracking	Optioneel	Ja (digitaal)	Nee	Nee	Nee		Ja		Ja	
IPD aanpasbaarheid	Ja (59mm - 69mm)	Ja (digitaal)	Ja (60mm - 70mm)	-	Ja (55 - 72mm)	Ja 55-75mm	Ja		Ja 52-72mm	Nee
Geluid	Stereo: Oordopjes | BYOA (2.5mm, mono connectors)	Eigen geluid	Stereo: Oordopjes | BYOA (3.5mm)	Virtual Surround: Oordopjes | BYOA (3.5mm)	Microfoon geïntergreerd , geluid via 3.5 mm jack	Stereo mogelijk	Stereo bevestigd aan HMD	ja, in controllerbox	Ja, geïntergreerd	Nee
Stroomverbruik			7 watt	15 watt	2,5 watt via USB	5 DC input	1,25W	accu	Accu, AC adapter of DC/USB	
In- en uitgangen	HDMI, USB (power)	HDMI type A, DVI, USB Mini, A/C	HDMI type A, micro USB (power)	HDMI type A						
								HDMI, VGA, DVI, Microfoon, Hoofdtelefoon		

Bijlage II - Korte test mate van afsteuning Paragraaf 1.4.3

De test wordt uitgevoerd met in situaties:

- Volledig open HMD
- Bovenkant gesloten, zij- en onderkant open
- Volledig gesloten HMD

Vragen die gesteld worden aan de proefpersonen na elke test:

- Hoe was de beleving?
- Wat vond je het fijnst?
- Met welke variant had je nog de meeste bewustzijn van de locatie in de echte omgeving?

Verslag open/gesloten test: Alle proefpersonen kregen de drie bovenstaande tests, waarbij ze ook tijdens de test in verwarring werden gebracht. Er werd gevraagd vooruit te lopen, waarbij er zo nu en dan in de virtuele omgeving juist achteruit werd gelopen. Hetzelfde voor links en rechts lopen. Hierdoor ontstaat deze visuele verwarring, waarmee er aangetoond kan worden welke configuratie meer desoriëntatie veroorzaakt.

Mike Lansink

Door de onderkant open te houden, moeten de ogen extra focussen. Dit gebeurt bij snelle navigatie tussen virtuele wereld en de echte wereld. Wel vond Mike het prettiger om de onderkant open te houden, ook al is helemaal gesloten meer immersieve.

Edwin van het Bolscher

De conclusie van Edwin is dat je het geheel gesloten moet houden; het zorgt er ook minder voor dat je misselijk wordt. Als de onderkant open is, dan moeten je hersenen twee omgevingen verwerken en gaan je hersenen twijfelen; dit zorgt voor eventuele misselijkheid. Het beste is om dit te laten bepalen door de gebruiker zelf. De helemaal open configuratie gaf veel afleiding, minder immersieve; de onderkant open houden geeft meer immersieve, maar ook toch nog een beetje afleiding.

Dennis Roerdink

Na de drie varianten geprobeerd te hebben, is de conclusie dat er desoriëntatie ontstaat als er twijfel is qua zicht. Geheel open is wel enigszins immersieve, maar met besef van locatie. Alleen de onderkant open is nog meer immersieve, waarbij je nog wel ziet of er een buddy aan komt lopen. Geheel gesloten is natuurlijk het meest immersieve en is het fijnst. De beste voor het pak is misschien onderkant open, maar doordat de virtuele wereld een tegengestelde beweging maakt met de daadwerkelijke beweging, ontstaat er twijfel omdat je ook nog ziet dat de bewegingen tegenstrijdig aan elkaar zijn. Deze twijfel zorgt voor desoriëntatie.

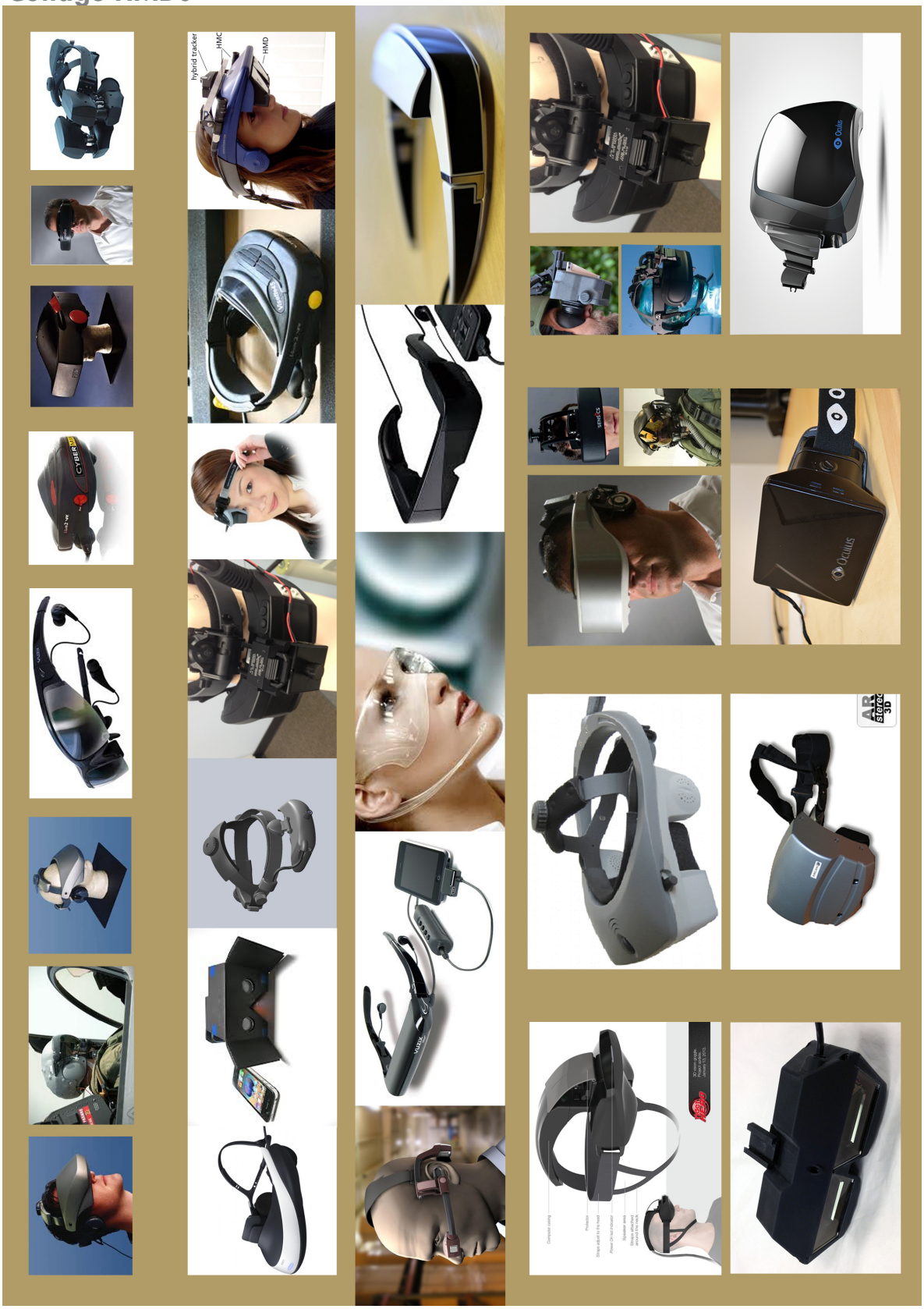
Danny Dijkstra

Volledig gesloten is beter dan alleen onder open, dit is beter om desoriëntatie te voorkomen. Indien gesloten neem je de virtuele wereld voor lief, terwijl je bij een open onderkant gaat twijfelen. Die twijfel wordt weggenomen door helemaal af te sluiten. Geheel gesloten is niet desoriënterend, meer immersive en er zijn geen problemen met rondlopen. Het fijnst is helemaal gesloten, dan hoef je niet meer naar beneden te kijken. Dit is ook tevens de beste keuze voor SUIT, indien de rest van het systeem gewoon goed is en hierop is aangepast.

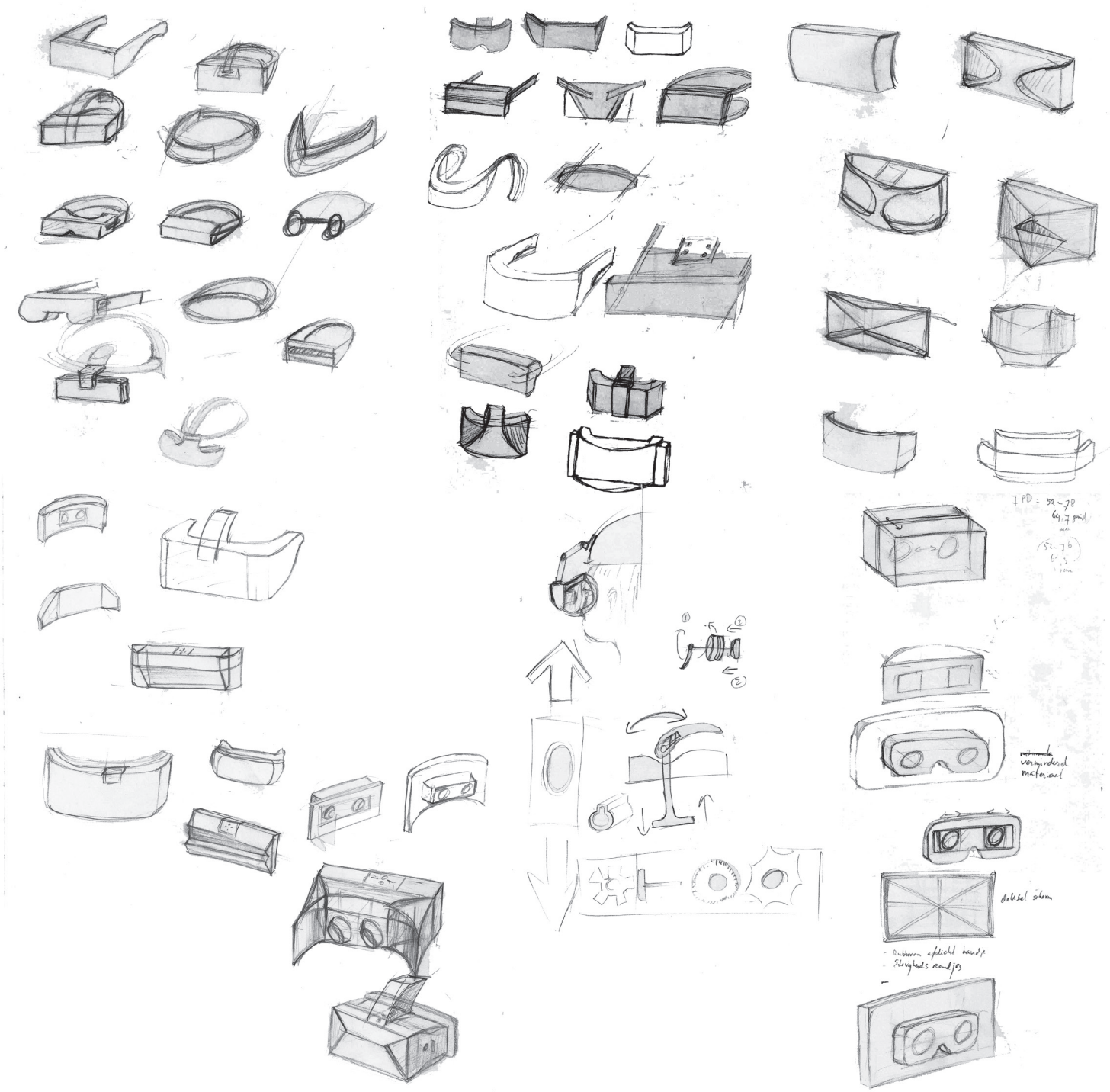
Bijlage III - Collage militaire training

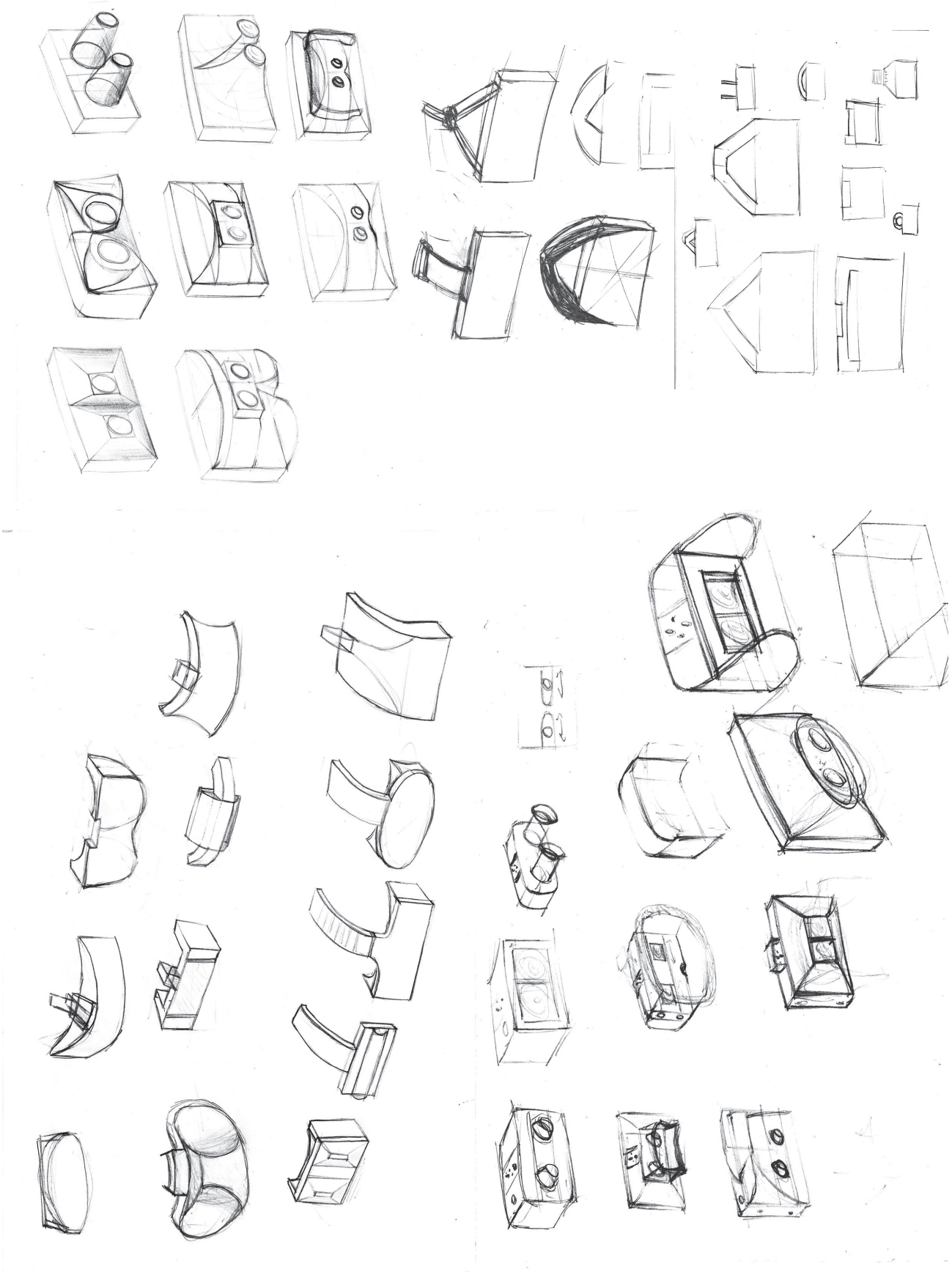
Bijlage IV - Collage militaire apparatuur

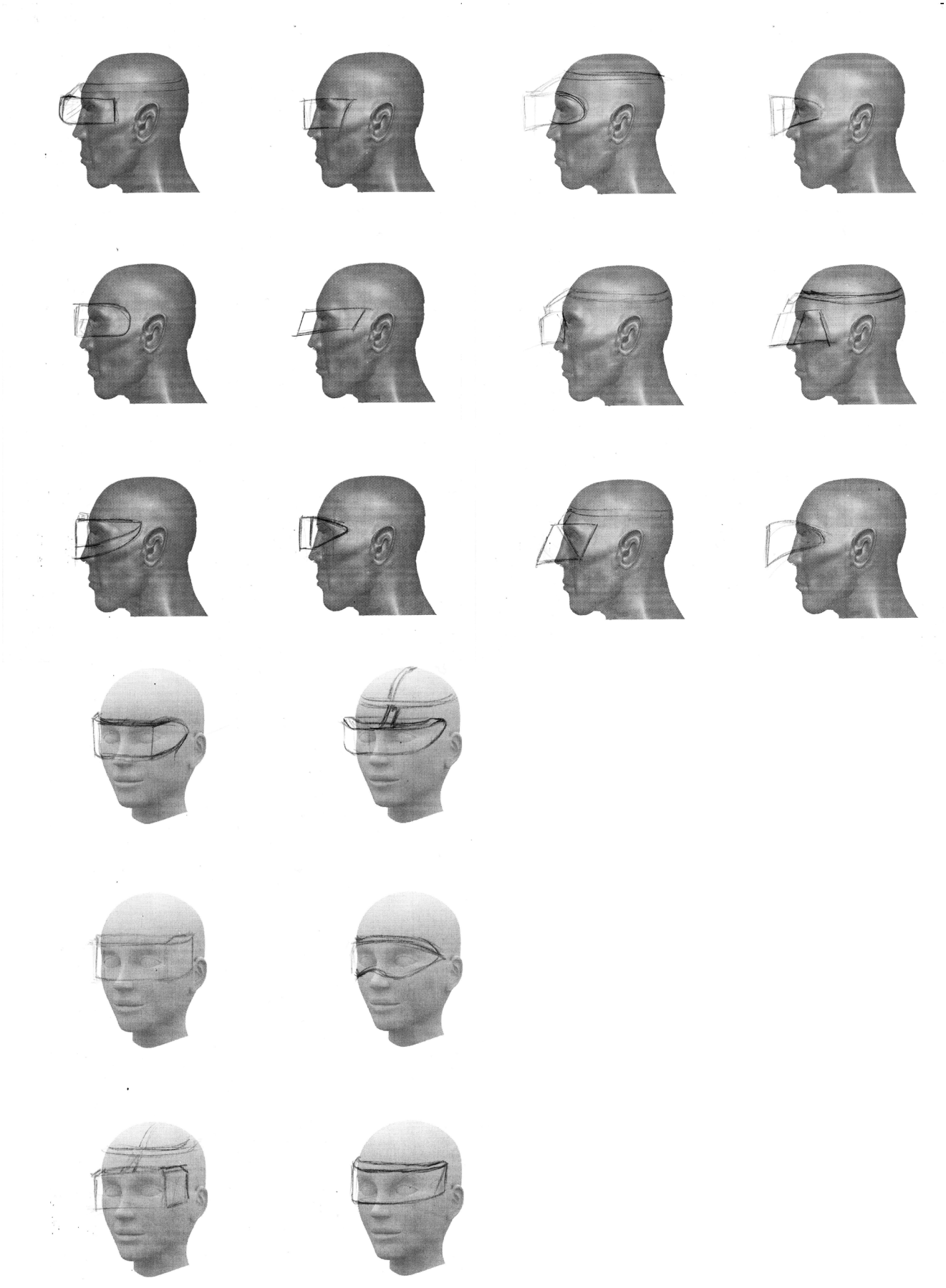
Bijlage V - Collage HMDs



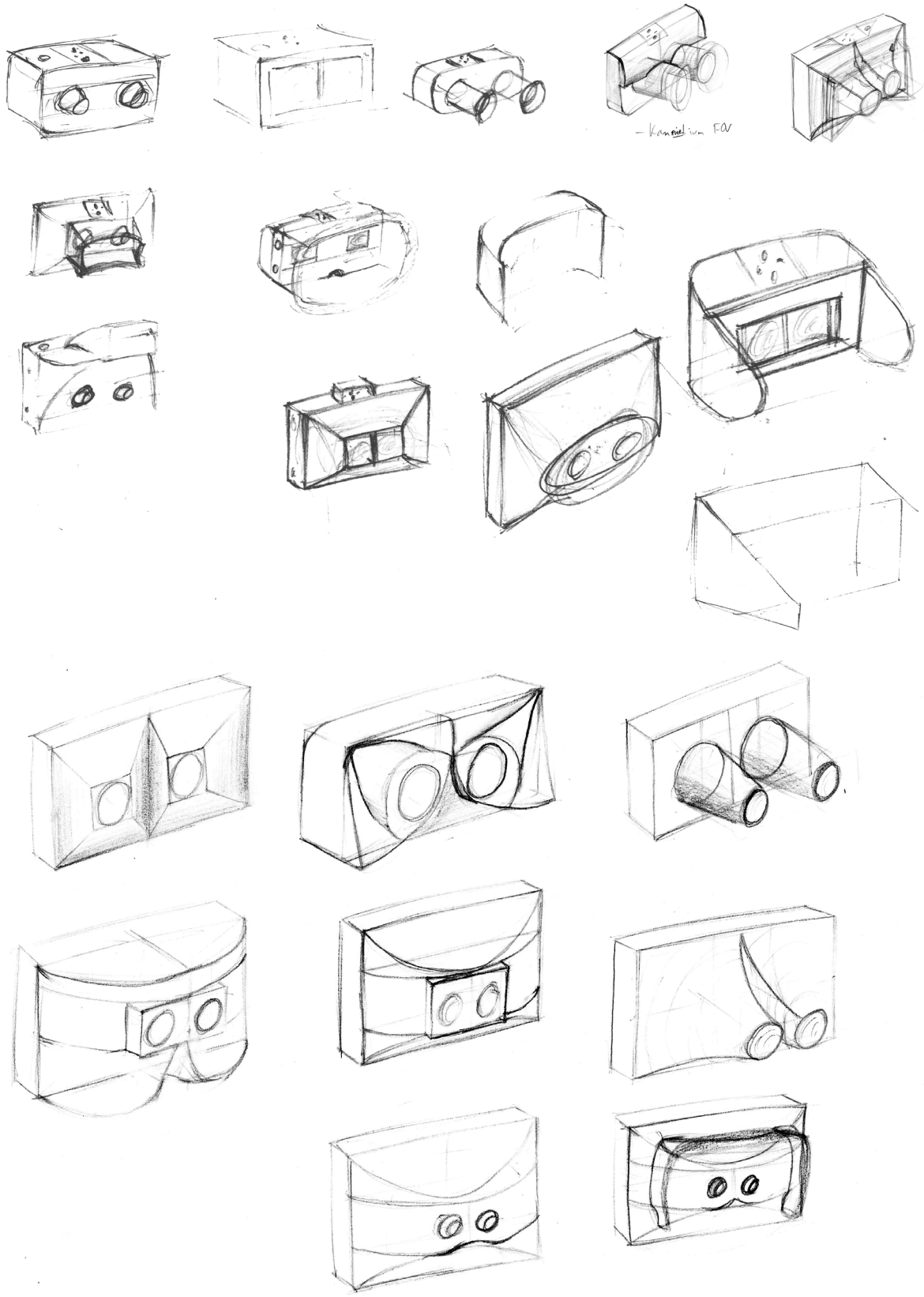
Bijlage VI - Schetsstudies begin



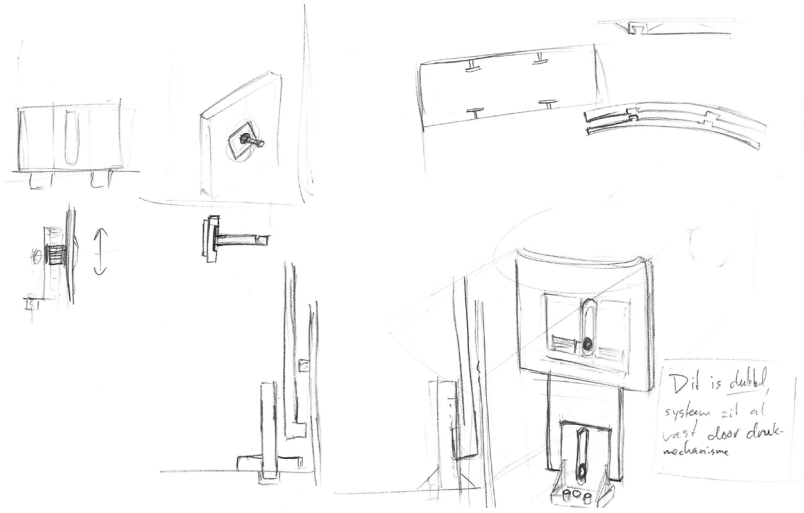




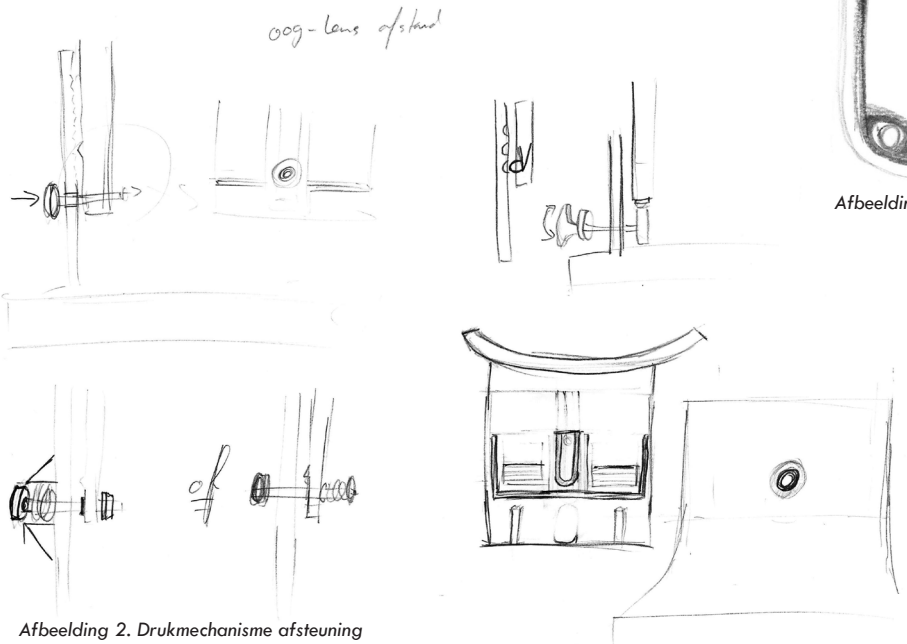
Bijlage VII - Schetsstudie achterkant



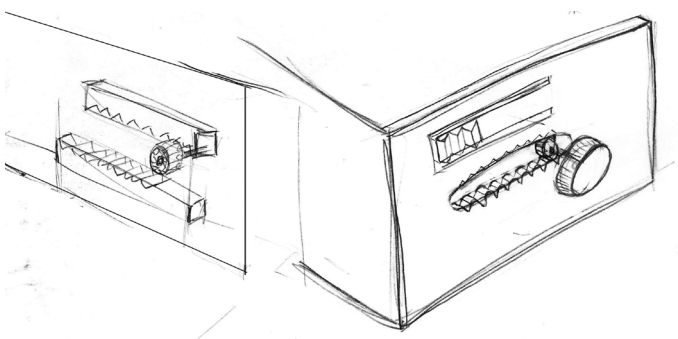
Bijlage VIII - Schetsstudie losse afsteuning



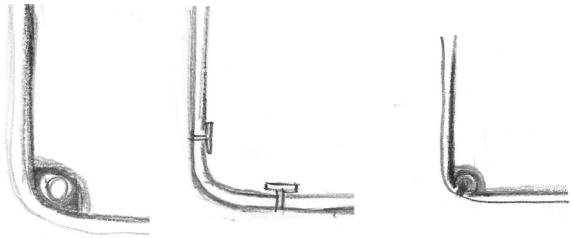
Afbeelding 1. Verbinding tussen afsteundelen



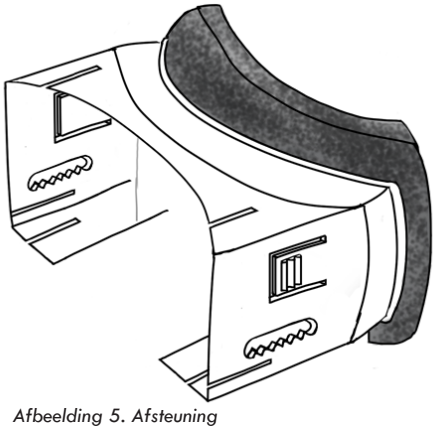
Afbeelding 2. Drukmechanisme afsteuning



Afbeelding 3. Tandheugel voor verstellen van afsteuning

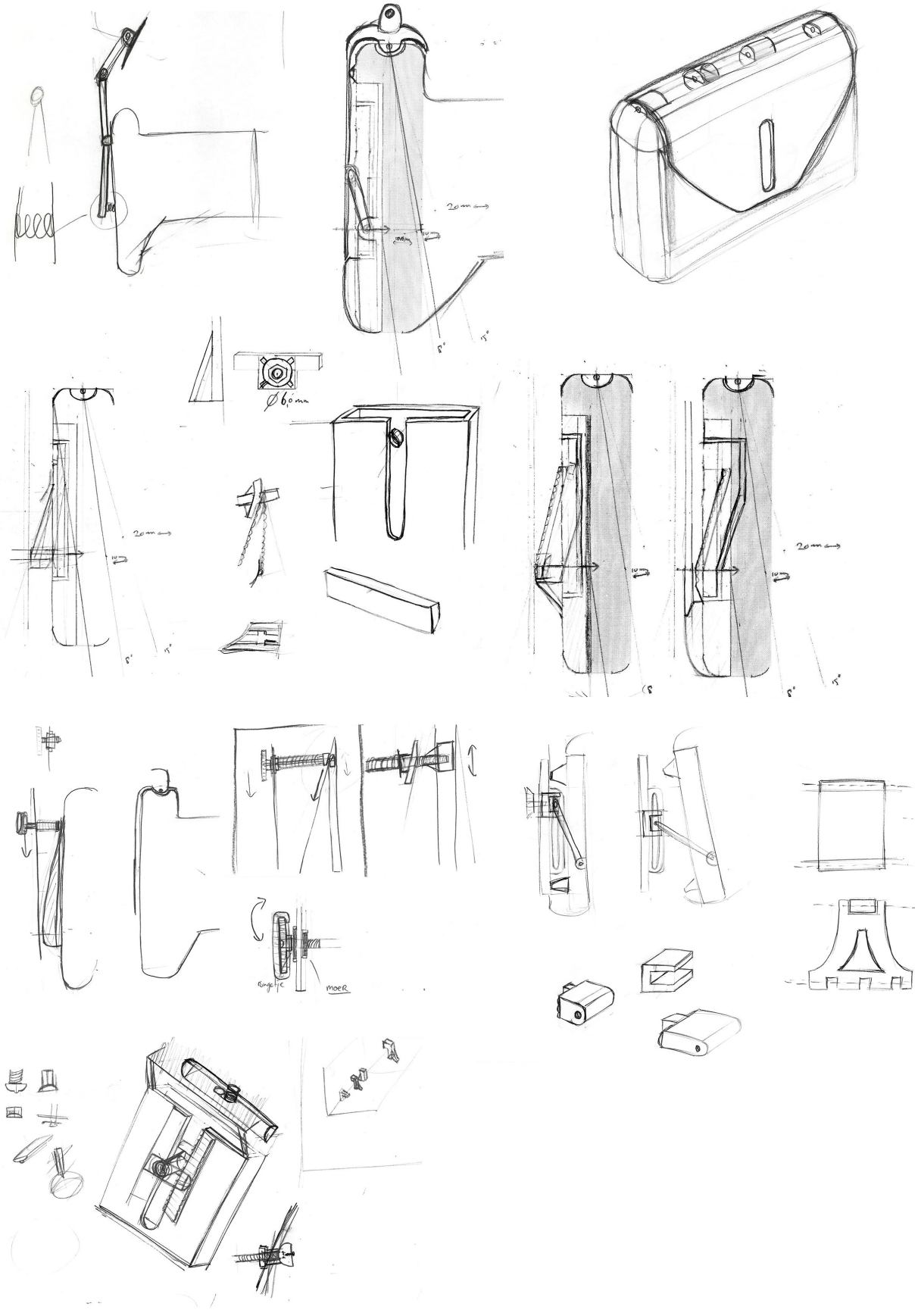


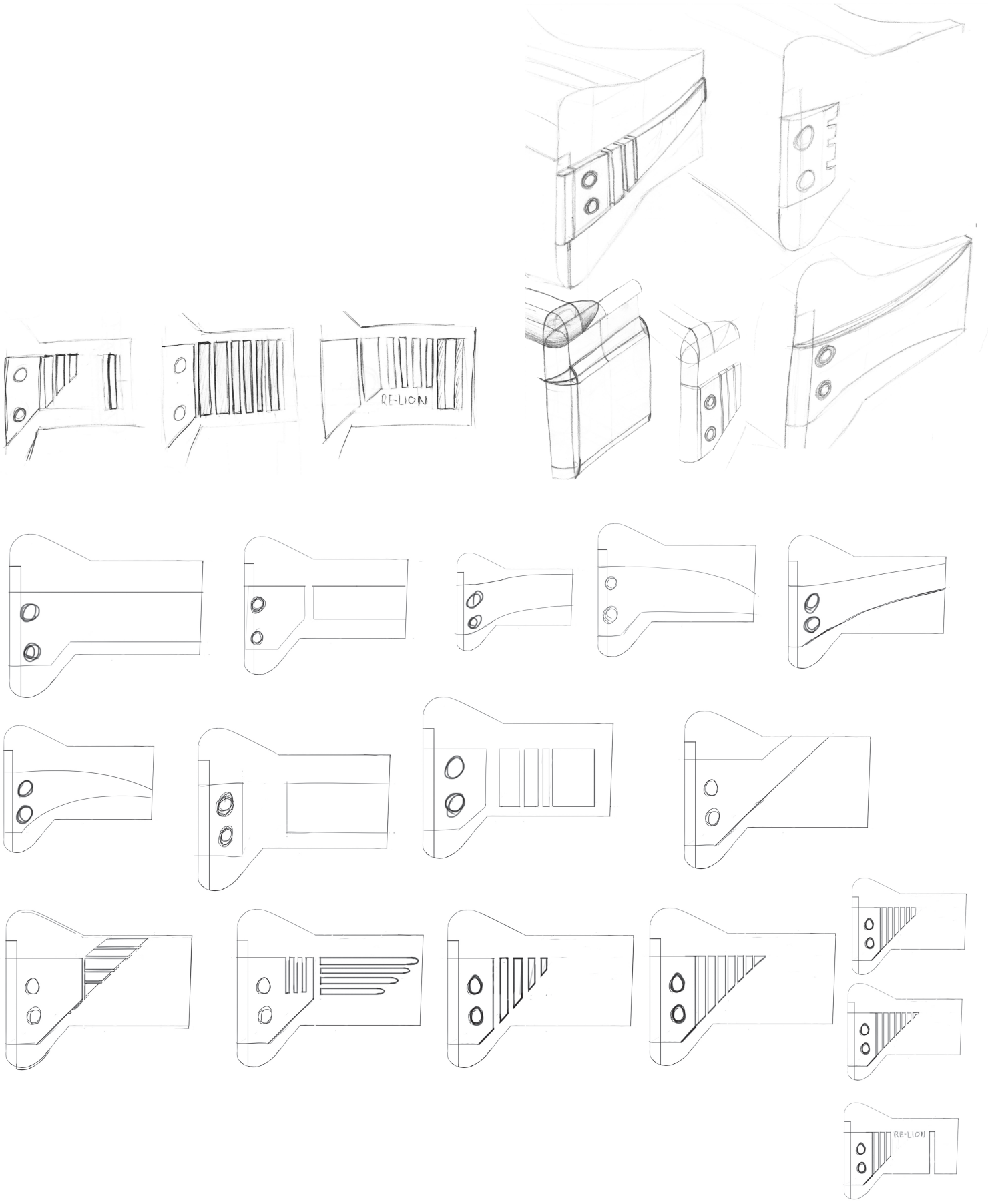
Afbeelding 4. Verschillende mogelijkheden geleiding afsteuning



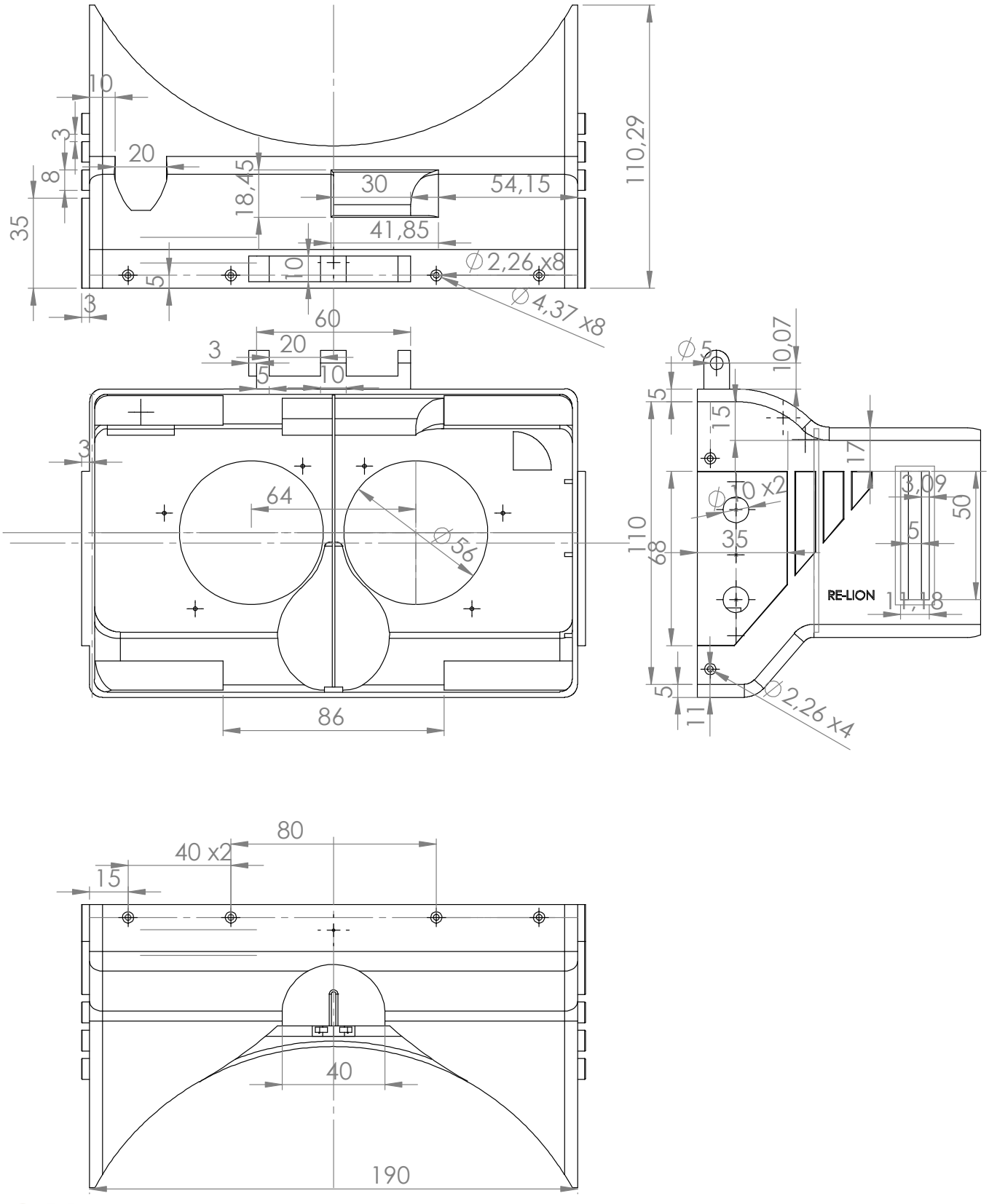
Afbeelding 5. Afsteuning

Bijlage IX - Schetsstudie klapvoorkant




RE-LION
RE-LION

Bijlage XI - Maattekeningen Solidworks



7. Literatuurlijst

Sensics (2009) . Characteristics of Professional HMDs . Verkregen op 27 november 1013 van www.sensics.com/files/documents/characteristicsofprofessionalHMDs.pdf

Clarence E. Rash, Michael B. Russo, Tomasz R. Letowski, Elmar T. Schmeisser (2009) . Helmet-Mounted Displays: Sensation, Perception and Cognition Issues. Verkregen op 8 december 2013 van http://www.usaarl.army.mil/publications/HMD_Book09/

Hollis, R.L. (2009) . Better be Running! Tools to drive design success . Atlanta:CLSI

Ministerie van Defensie (2005) . Feiten over vrouwen bij Defensie . Geraadpleegd op 6 december 2013 van http://nl.wikisource.org/wiki/Feiten_over_vrouwen_bij_Defensie