

Ingemeten handbike handvatten

Voor handbikers met verminderde arm- en handfunctionaliteit

Eindverslag – Industrieel Product Ontwerpen

Dunya Treurniet

De Haagse Hogeschool

23-02-2023



Gegevens

Opdrachtgever

Naam: Wings Technology
Adres: Damhouderstraat 1d
2266 AS Leidschendam

Bedrijfsbegeleider Ralf Bekers
Telefoon
E-mail
Functie Eigenaar
Opleiding Bewegingstechnoloog

Stagiare

Naam Dunya Treurniet
Adres

Telefoon
E-mail
Studentennummer
Opleiding Industrieel Product Ontwerpen

Opleiding

Naam De Haagse Hogeschool
Adres Johanne Westerdijkplein 75
2521 EN Den Haag

Docentbegeleider Asih Sungkono
Telefoon
E-mail

Afstudeerperiode

29 Augustus 2022 t/m 6 april 2023

Voorwoord

In dit verslag vindt u de documentatie van mijn afstudeeropdracht over het ontwikkelen van ingemeten handbike handvatten voor mensen met verminderde arm- en handfunctionaliteit. Het kunnen sporten en mobiel zijn is iets dat voor mij zowel fysiek als mentaal belangrijk is, maar ook een grote sociale waarde heeft. Ik neem het (te) vaak voor lief, want wanneer je een beperking hebt worden barrières ervaren die sporten en bewegen moeilijk maken. Tijdens deze opdracht heb ik een product mogen ontwikkelen dat deze barrières voor een diverse doelgroep verlaagt en hen meer mobiliteit en vrijheid biedt.

Het is een enorm inspirerende en uitdagende opdracht geweest waarin de handbiker als individu centraal staat. Dit geldt zowel voor zij die volledige, als verminderde of geen arm- en handfunctionaliteit hebben. Er is een oplossing gezocht om de unieke ergonomie, beperkingen en voorkeuren van de handbikers te vertalen naar een schaalbaar product dat in kleine seriegrootte van 25 stuks/jaar geproduceerd kan worden.

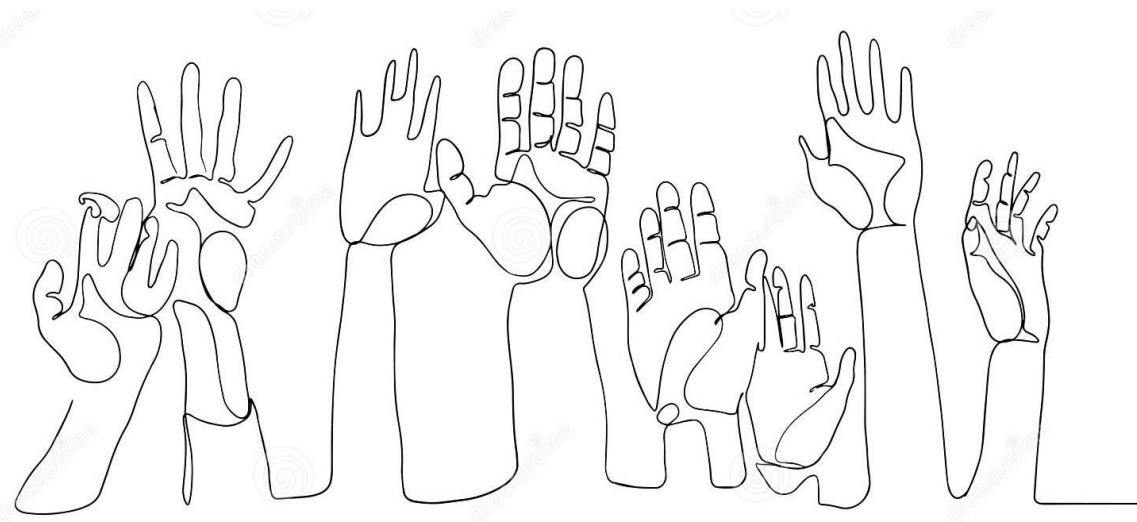
Zoals u misschien vermoedt heb ik in de afgelopen maanden veel over handen nagedacht. Gelukkig maken vele handen licht werk en daarom wil ik de personen graag bedanken die mij zo gesteund en gemotiveerd hebben tijdens mijn afstudeerproject.

Mijn dank gaat allereerst uit naar mijn bedrijfsbegeleider R. Bekers voor de kans om te mogen afstuderen binnen Wings Technology met deze uitdagende afstudeeropdracht. Uw expertise en begeleiding hebben mij geholpen om dit afstudeerproject met enthousiasme en nieuwsgierigheid naar nieuwe kansen en ideeën te doorlopen.

Ik wil graag mijn begeleider A. Sungkono bedanken voor de betrokkenheid en ondersteuning tijdens het afstuderen. Dankzij uw begeleiding bleven mijn doelen scherp en waren de stappen die ik moest nemen om daar te komen duidelijker. Ook wil ik docent D. Tiemens bedanken voor alle expertise, ideeën en positiviteit tijdens mijn afstuderen. Dank u voor uw betrokkenheid en bereidheid om vragen te beantwoorden.

Mijn dank gaat ook uit naar medestudent en afstudeerder B. Hillenaar, wie altijd bereid was mee te denken en kennis te delen. Ten sloten wil ik ook mijn vrienden en familie bedanken voor de steun en motiverende woorden. Zonder de aanmoedigingen, hulp maar ook ontspanning die jullie geboden hebben was het niet gelukt.

Dunya Treurniet



Samenvatting

In dit afstudeerproject is er een gestandaardiseerd productieproces en product ontwikkeld voor het maken van ingemeten handbike handvatten.

In de analyse fase is er onderzoek gedaan naar de eisen en functionaliteiten van de handvatten. Er is onderzoek gedaan naar de relevante antropometrie en anatomie van mensen tijdens het handbiken. Ook zijn de belemmeringen in kaart gebracht die ervaren worden door mensen met verminderde of geen arm- en handfunctionaliteit tijdens het handbiken.

In de ideefase is er gezocht naar oplossingen voor de verschillende deelproblemen. Zo zijn er functionaliteiten zoals: het remmen en schakelen, het zelfstandig aan- en uit doen en het vormen naar de individuele pasvorm die in deze fase invulling gekregen hebben. Door het maken van testmodellen zijn er conclusies getrokken zoals de minimale inklemming die nodig is om zonder gripkracht te kunnen handbiken.

In de conceptfase zijn 3 concepten uitgewerkt. Veel aandacht is uitgegaan naar het standaardiseren van het ontwerp en de haalbaarheid van het productieproces. In deze fase is er gewerkt aan de aanpasbare ondersteuning die de handvatten aan ieder individu bieden. Ook is er gekeken naar het comfort tijdens het aan- en uitdoen van de handvatten en naar de krachten belastingen op de handvatten tijdens het handbiken.

Het gekozen concept is verder uitgewerkt in de materialisatiefase. Er zijn verschillende testmodellen gemaakt waarin materiaal, ontwerp en comfort centraal stonden. Door verbeteringen te maken aan bestaande oplossingen en processen is het ontwerp eenvoudiger te produceren en fijner in gebruik.

Het eindresultaat is een handbike handvat dat naar de pasvorm van de handbiker te vormen is door het aanpassen van gestandaardiseerde onderdelen. De handvatten zijn zelfstandig aan- en uit te doen zodat handbikers in hun eentje op pad kunnen. De remmen en versnellingschakellaars zijn geïntegreerd in het product en de handbiker kan het ontwerp op verschillende aspecten zoals functionaliteit en vormgeving customiseren.

Inhoud

Gegevens	2
Voorwoord.....	3
Samenvatting	4
Inhoud	5
Inleiding	6
Aanleiding.....	7
Opdracht.....	7
Industrieel Product Ontwerpen proces.....	7
H1. Analysefase	8
H1.1 Introductie.....	8
H1.2 Huidig concept	8
1.2.1 Het huidige productieproces.....	9
1.2.2 Analyse van huidig concept.....	10
H1.3 Marktanalyse.....	11
1.3.1 Concurrenten analyse.....	11
1.3.2 Materialen en kleuren	11
H1.4 Gebruiker.....	12
1.4.1 De gebruiker	12
1.4.2. Ergonomie.....	13
1.4.3 De optimale handpositie	16
1.4.4 Inmeetmethode en productietechniek analyse.....	17
H1.5 Visie	18
H1.6 Programma van Eisen	19
H2. Ideefase	22
H2.1 Introductie.....	22
H2.2 Ideeschetsen	23
H2.3 Integrale ideeën	26
H2.4 Ideekeuze	26
H3. Conceptfase	27
H3.1 Introductie.....	27
H3.2 Concept 1	28
H3.3 Concept 2	29

H3.4 Concept 3	30
H3.5 Conceptkeuze.....	31
H4. Materialisatiefase	32
H4.1 Introductie	32
H4.2 Ontwerp optimalisatie	33
H4.3 Materiaalkeuze	35
H4.4 Kostprijs	37
H4.5 Advies eisen inmeetmethode	38
H4.6 Toetsing aan het Programma van Eisen en Wensen	38
H5. Evaluatie	39
H5.1 Introductie	39
H5.2 Ontwerpaanbevelingen	40
H6. Bronnenlijst	41

Inleiding

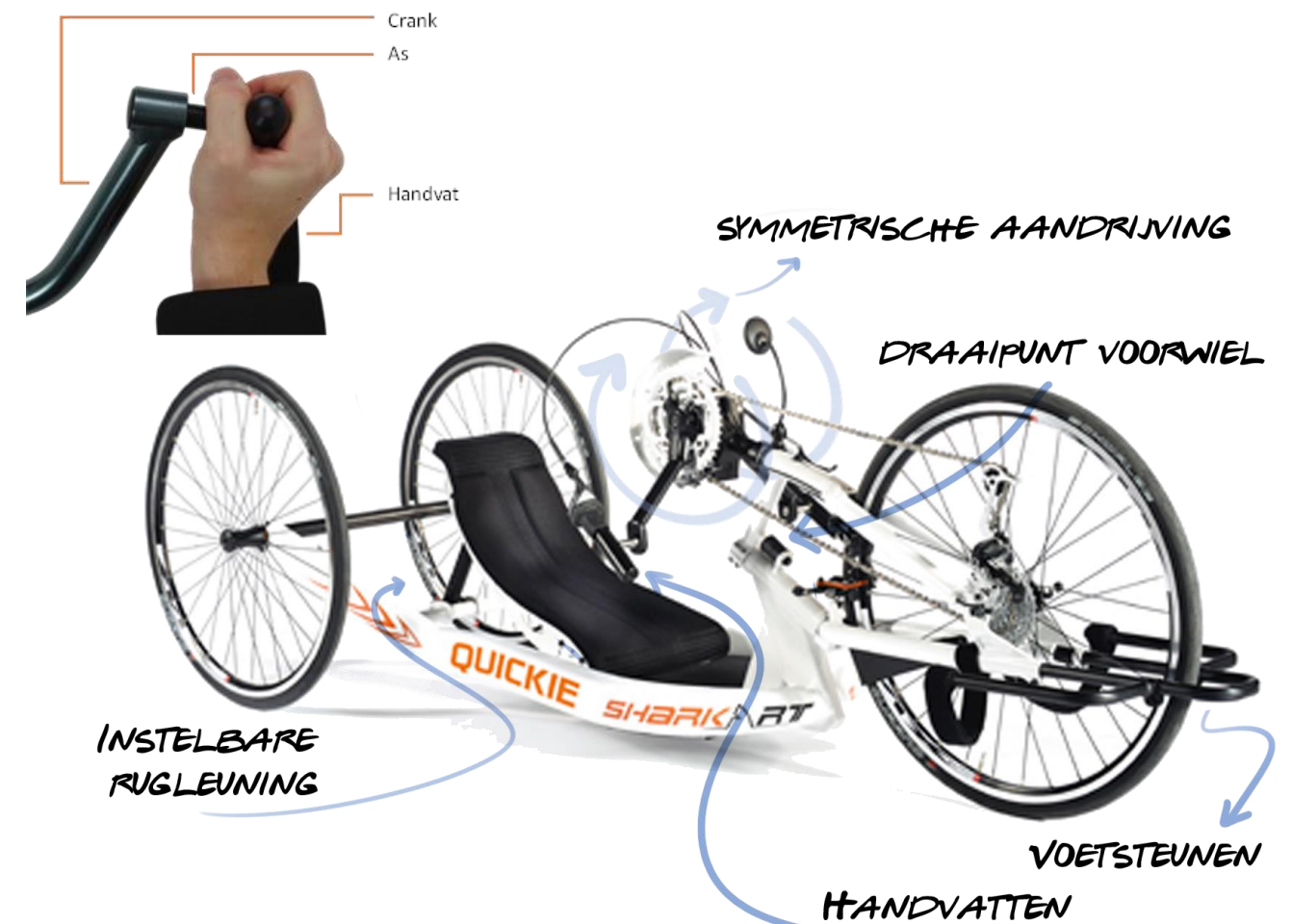
Handbiken is een activiteit die vaak door mensen met een motorische beperking zoals een dwarslaesie beoefend wordt, maar waar ook andere mensen zonder motorische beperking plezier uit halen. Het is een transportatie methode die mensen een grotere mate van onafhankelijkheid biedt. Het is ook een sport die bijdraagt aan een gezonde en actieve levensstijl en die het vertrouwen in lichaam en de zelf vergroot.

Niet alle handbikers zijn in staat om zelfstandig en voor langere tijd een handbike aan te drijven. Bijvoorbeeld doordat zij de grip op de handvatten verliezen, irritatie en wonden op de hand(huid) ervaren en/of op lange termijn overbelastings-blessures van o.a. de schouders en polsen ontwikkelen. Dit kan een gevolg zijn van een aandoening zoals een hoge dwarslaesie of spierziekte.

Sinds 2004 is handbiken een officiële sport binnen de paralympische spelen. Er zijn competities in 4 classificaties, verdeeld op basis van de beperking. Hierin is klasse H4 het minst beperkt en klasse H1 het meest. (Wikipedia-bijdragers, 2022). Handbikers die in klasse H1 vallen ondervinden belemmering van de arm- en handfunctionaliteit tijdens het handbiken.

Het aandrijven van een handbike is niet mogelijk wanneer er niet genoeg gripkracht uitgeoefend kan worden, de handbiker de voortduwende beweging niet kan maken en/of er klachten ontstaan aan de armen en handen tijdens het handbiken. Huidige oplossingen op de markt zijn vaak oncomfortabel of niet zelfstandig aan- en uit te doen door de handbiker zelf. In figuur 1 is een voorbeeld zichtbaar van een handbike handvat voor mensen met verminderde arm- en handfunctionaliteit. De pols wordt door de handbiker met de tanden, of door een tweede persoon, met klittenband vastgezet en de hand houdt een handvat vast waarop kracht uitgeoefend kan worden

Er zijn verschillende soorten handbikes, dit project focust zich op de vast frame-handbike met symmetrische aandrijving. Een andere soort handbike is de aankoppelbare handbike dat aan rolstoel gekoppeld wordt. Hierdoor is er eenvoudig en snel te wisselen tussen rolstoel en handbike en goed toepasbaar is in het dagelijks leven. Een vast frame handbike is vaak meer ergonomisch en efficiënter, door de houding waarin gehandbiked wordt. Zie het figuur 2 voor voorbeelden van de aankoppelbare en vast frame handbike soorten. ("Handbikes en aankoppelfietsen van Stricker | Rev Producten", z.d.)



Figuur 1 Handbike opbouw (QUICKIE Shark RT HANDBIKE, z.d.)

Aankoppelbare handbike



Vast frame handbikes



Figuur 2 Aankoppelbare en vast frame handbikes (Aankoppelbike verkeersregels, z.d.) (Aerodynamische wielbasis, 2019) (Reuters pictures, 2020) (Vooren, 2018)



Aanleiding

De afstudeeropdracht gaat over het ontwikkelen van ingemeten handvatten (links- en rechtshandig) waardoor het mogelijk is om (langer) te kunnen handbiken, zonder blessures en ongemakken. Deze worden ontwikkeld voor de doelgroep handbikers met verminderde of geen arm en/of polsfunctionaliteit.

Wings Technology heeft dit project gestart naar aanleiding van een specifieke vraag van een klant met een dwarslaesie. In een drietal projecten binnen Wings Technology zijn ideeën ontwikkeld om ingemeten handvatten te ontwerpen voor en naar de behoeften van één gebruiker. In dit afstudeerproject wordt er gefocust op de schaalbaarheid van deze oplossing voor een grotere productieserie en wordt er een integraal product tot de materialisatiefase uitgewerkt. In de bijlage 1. vindt u het afstudeervoorstel.

In het afstudeervoorstel en vooronderzoek wordt onder andere de ontwikkeling van een gripkrachtsensor benoemt. De intentie van deze ontwikkeling was dat de handbiker door deze gegevens inzicht zou kunnen krijgen in de optimale positie om efficiënt te kunnen handbiken en om het risico op overbelasting blessures te verminderen. Tijdens het project is echter bepaald dat de basisfunctionaliteit van de ingemeten handbike handvatten, het inklemmen van de handwortel zodat er geen gripkracht nodig is om te kunnen handbiken, de gripkracht sensor binnen deze opdracht overbodig maakt. Het afstudeervoorstel is aangepast, het octrooionderzoek is voor de volledigheid wel in het afstudeervoorstel behouden.

Opdracht

“Ontwerp ingemeten handbike handvatten (links- en rechtshandig) die voor 25 stuks per jaar geproduceerd kunnen worden. De handvatten zullen de handen van de gebruiker ondersteunen zodat handbiken ook mogelijk is met verminderde arm- en handfunctionaliteit. De handvatten zijn zelfstandig aan- en uit te doen, zitten comfortabel zonder drukpunten en kunnen piekbelastingen aan.”

De te ontwikkelen handvatten zullen

- door de gebruiker zelf aan- en uit te doen zijn.
- comfortabel zijn tijdens het handbiken. Hierbij mogen er geen drukpunten op de huid zijn.
- de handwortel zal goed ondersteund worden zodat er, mocht de gebruiker dit behoeven, geen gripkracht van de vingers uitgeoefend hoeft te worden.
- produceerbaar zijn voor een seriegrootte van 25 stuks per jaar.

Het bedrijf

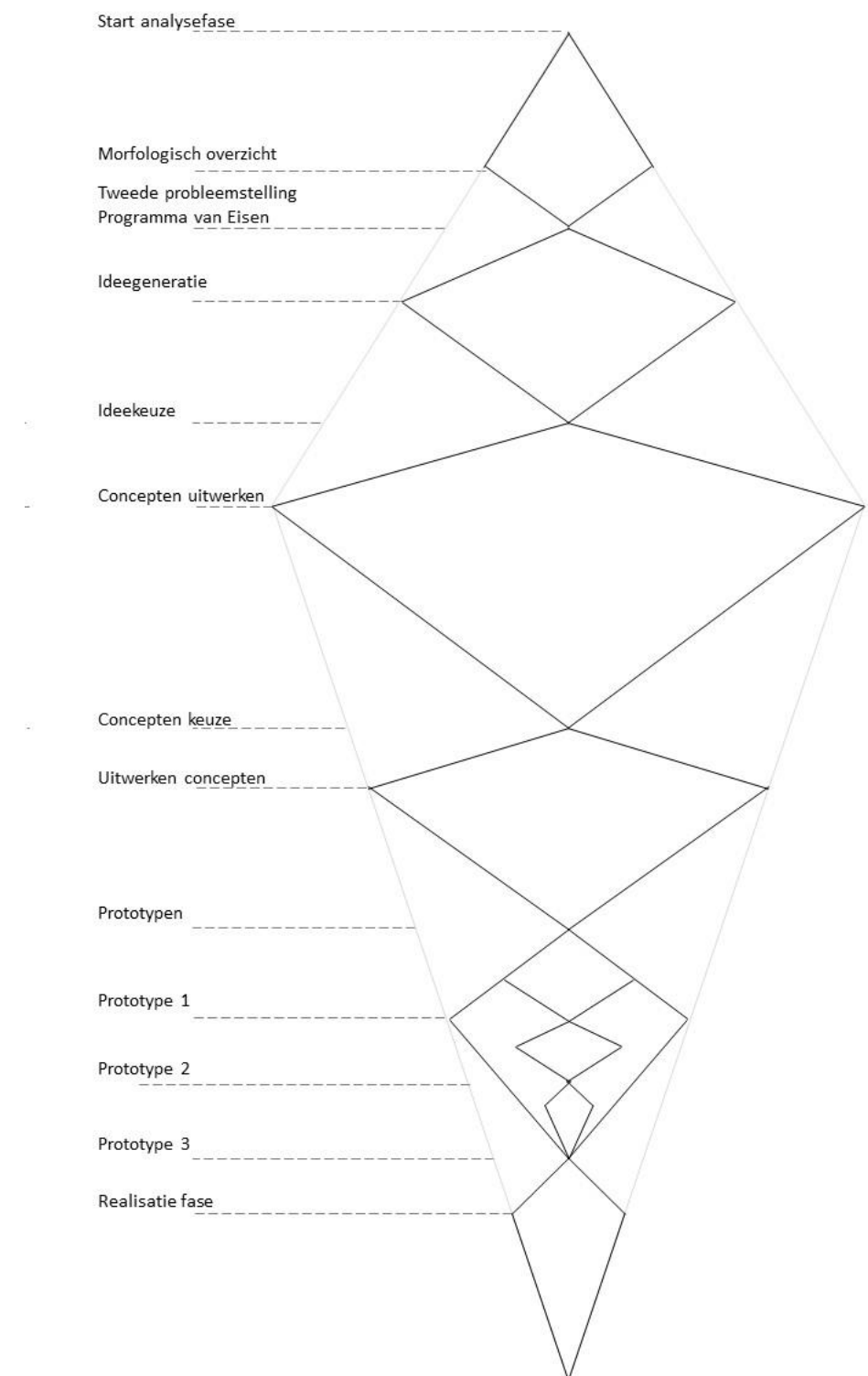
Deze opdracht wordt uitgevoerd voor Wings Technology, de eenmanszaak van Ralf Bekers, bewegingstechnoloog en handbike expert. Handbiken biedt een uitkomst voor mensen met beperkingen om meer mobiliteit en vrijheid te hebben of te kunnen sporten. Wings Technology is verkoper van verschillende handbike merken en past deze handbikes ook aan naar het lichaam, het gebruik en de wensen van de gebruiker. Er zijn veel verschillende gebruikers van handbikes, met verschillende beperkingen zoals verlammingen en amputaties. Door zijn achtergrond als bewegingstechnoloog is R. Bekers in staat handbikes te personaliseren naar de gebruiker en situatie.

Binnen het bedrijf wordt er door een afstudeerstudent Bram Hillenaar, voor de opleiding Werktuigbouwkunde, gelijktijdig de verbinding tussen het handvat en de cranks, ook wel de ‘as’ in figuur 1, ontworpen. Er is tijdens het afstuderen overleg geweest om ontwerpoverwegingen op elkaar af te stemmen waar nodig, zoals de productiemethode van het handvat en de montage van de verbinding van de as op het handvat.

Industrieel Product Ontwerpen proces

Om aan het einde van het project het gewenste resultaat/doel te behalen is er gebruik gemaakt van de IPO-methodiek. Door systematisch en op vooraf bepaalde keuzemomenten te evalueren en toetsen wordt het convergeren en divergeren automatisch toegepast. Aan het einde van een fase, dus na het bereiken van een opgesteld doel, zijn keuzes vastgelegd en concrete conclusies getrokken om vervolgstappen te definiëren.

Belangrijke keuzemomenten binnen dit project:



H1. Analysefase

H1.1 Introductie

In de analyse fase zijn de huidige prototypen en concepten geanalyseerd en zijn er verbeterpunten opgesteld. Ook is er onderzoek gedaan naar de markt; wat voor handbike handvatten zijn er al en hoe verhouden deze zich tot de ingemeten handvat concepten?

De handbiker in relatie tot handbiken is geanalyseerd, door te kijken naar bijvoorbeeld de beperkingen en belemmeringen van de gebruiker, en de ergonomie en de handbike beweging te analyseren. Door deze conclusies en opgekomen vragen toe te passen in de eerste testmodellen zijn conclusies getrokken over de eisen voor de inmeetmethode en de handbike handvatten zelf.



H1.2 Huidig concept

In 2018 is het project gestart met de vraag om een handvat te ontwikkelen voor een gebruiker met weinig kracht in de armen en geen kracht in de handen, dit als gevolg van een dwarslaesie. In het product wordt de handwortel (de handpalm en een gedeelte van de duim) ingeklemd waardoor er geen gripkracht nodig is om te kunnen handbiken. Zie figuur 3 voor de ontwikkelingen en veranderingen die gemaakt zijn in de verschillende projecten, in bijlage 2. wordt dit in meer detail toegelicht.

1.2.1 Het huidige productieproces

Door gebruik te maken van een digitale inmeetmethode wordt er een scan van de hand gemaakt met behulp van de Structure scanner en de set-up zoals te zien is in figuur 4. De gemaakte scan bestaat uit het oppervlakte van de hand, dat onderverdeeld is in kleine oppervlakte. Hoe hoger dit aantal is, hoe nauwkeuriger de scan is. Deze mesh, oftewel de gescande hand, kan bewerkt worden in een modelleerprogramma. Bij een digitale inmeetmethode heeft het modelleerprogramma invloed op het te behalen resultaat, de tijd die nodig is om dit te modelleren en de kosten voor een eventuele licentie.

Na het bewerken van de scan in MeshMixer, met name om fouten zoals gaten of bobbels in de scan weg te werken, wordt er een offset van de hand toegevoegd. Hierdoor is er een tolerantie tussen de hand en het handvat wat comfortabeler is tijdens het aan- en uitdoen, maar ook tijdens het handbiken. Vervolgens wordt het handvat in MeshMixer gemaakt door de offset een wanddikte te geven. De laatste stappen zijn het modelleren van de connectie met de as in SolidWorks en het handvat er vervolgens 3D-printen.

Stap 1. Hand inscannen

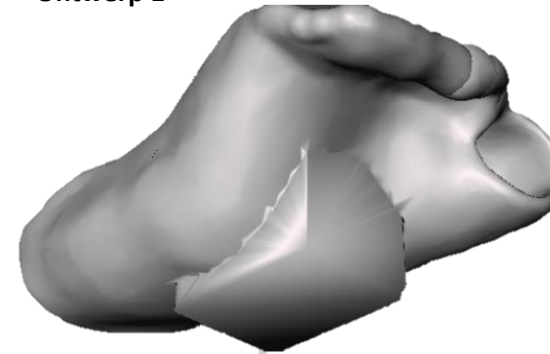
Stap 2. Mesh bewerken

Stap 3. Handvat modelleren

Stap 4. Connectie met de as modelleren

Stap 5. Handvat 3D-printen.

Ontwerp 1



Ontwerp 2



Ontwerp 3



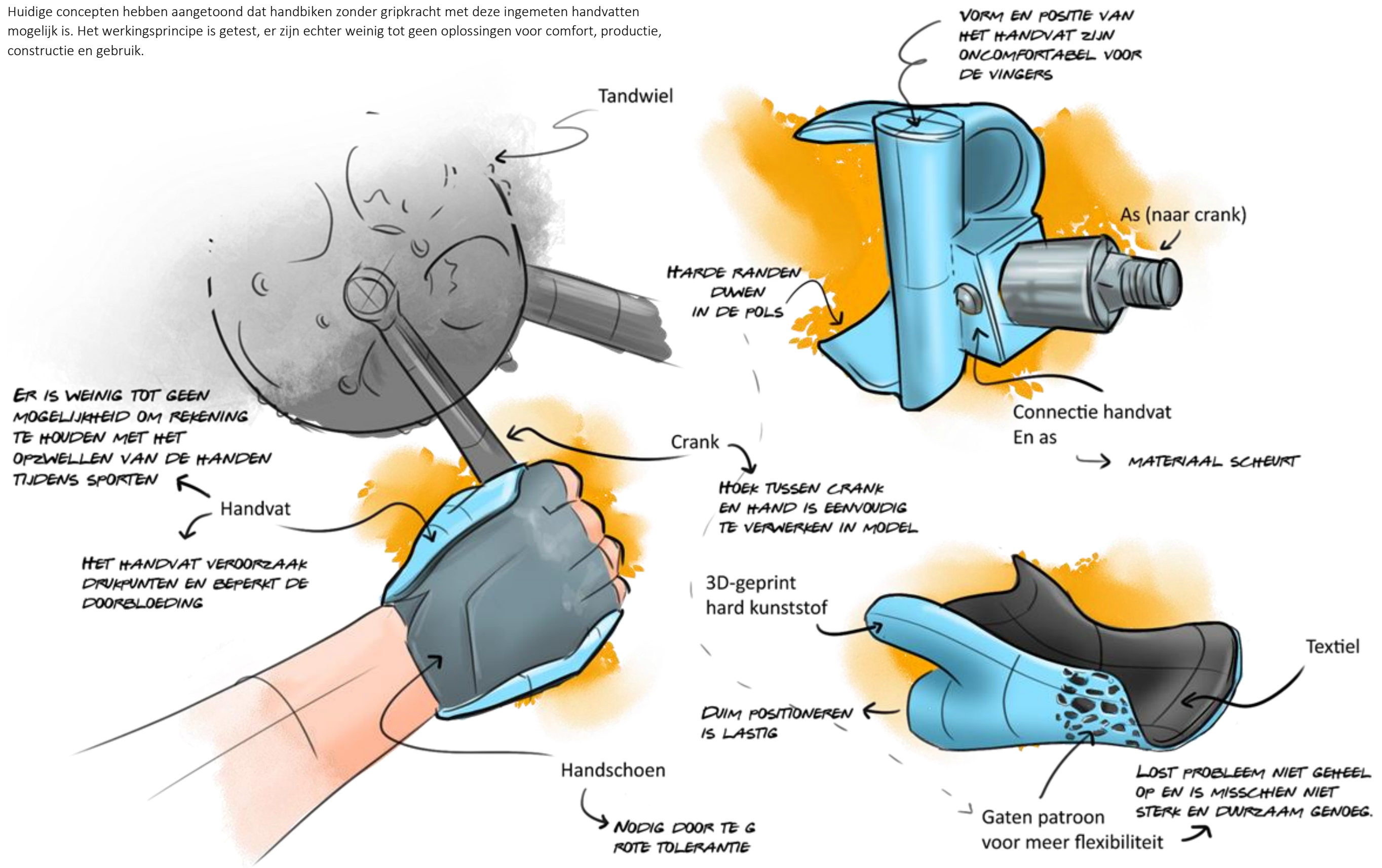
Figuur 3 Voorgaande projecten



Figuur 4 Inmeetopstelling (Heesakkers, 2019)

1.2.2 Analyse van huidig concept

Huidige concepten hebben aangetoond dat handbiken zonder gripkracht met deze ingemeten handvatten mogelijk is. Het werkingsprincipe is getest, er zijn echter weinig tot geen oplossingen voor comfort, productie, constructie en gebruik.



Figuur 5 Aandachtspunten van concepten

H1.3 Marktanalyse

Een marktanalyse is gedaan om de concurrenten te analyseren en kansen in de huidige markt te herkennen.

1.3.1 Concurrenten analyse

Wat voor soorten handbike handvatten bestaan er?

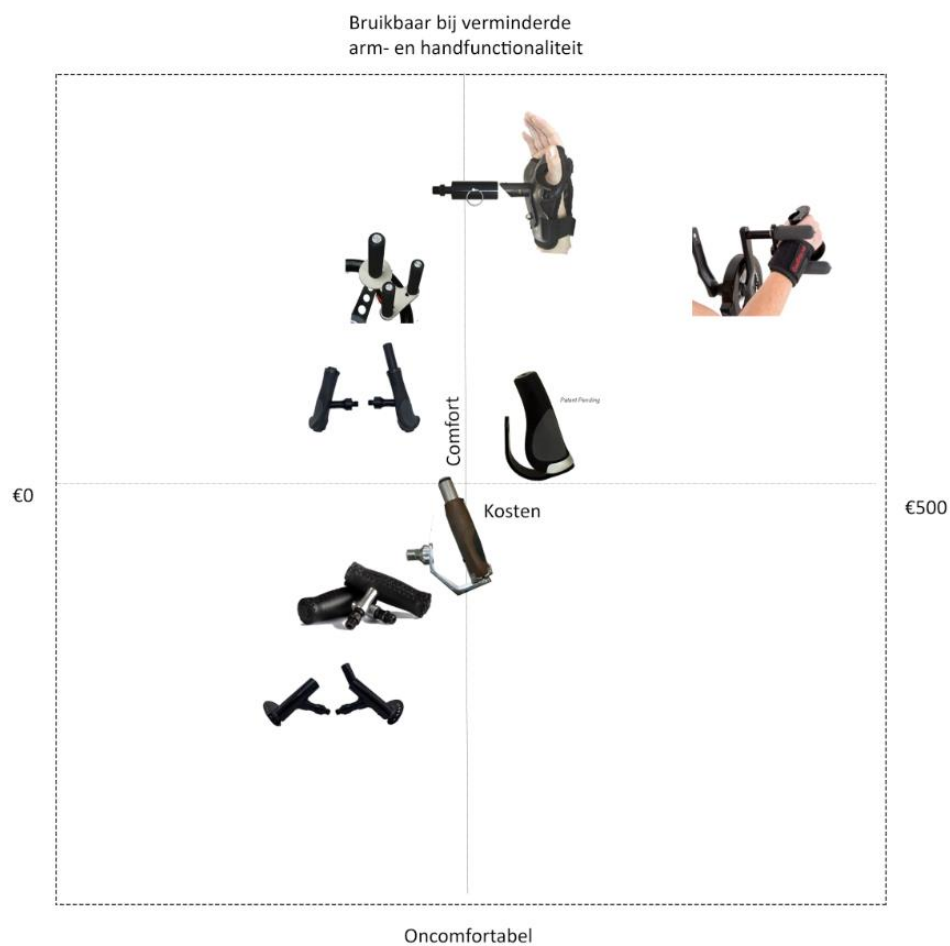
In de handbike wereld zijn er een aantal merken die veel handvatten verkopen: Maddiline, Wolturnus, Top End, Schmicking en Bike-on. Gekeken is naar de verhouding tussen de kosten van deze handvatten, het comfort en de mogelijkheid om dit te gebruiken bij verminderde hand- en armfunctionaliteit. Er kan onderscheid gemaakt kan worden tussen 4 typen handvatten.

1. Het standaard handvat

Dit handvat is opgebouwd uit een ronde of ovaal vormige buis waaraan een as is gelast of verlijmt. De simpelheid van deze handvatten betekent dat deze niet erg duur zijn. Nadelen zijn de as die in de weg zit tijdens het handbiken. Dit is niet alleen oncomfortabel maar kan wonden aan de handen verzorgen als gevolg van schuring en slechte doorbloeding.

2. Het ergonomische handvat

Het ergonomische handvat is iets duurder dan de standaard handvatten en wordt vaak door grotere bedrijven in grotere series geproduceerd. Het handvat heeft vaak extra materiaal rond de basis, bijvoorbeeld foam of siliconen, wat het handvat een ergonomische vorm geeft. Hierdoor houdt deze makkelijker en fijner vast en ziet het product er professioneler en comfortabeler uit. Sommige handvatten hebben de connectie naar de as aan de onderzijde van de hand, waardoor eerder genoemde probleem niet meer kan optreden.



Figuur 6 Concurrenten anayse

3. Het Tri-Pin handvat

Een Tri-Pin handvat is geschikt voor mensen waarvan de gripkracht niet genoeg is om (voor langere periodes) te handbiken. De pols wordt tussen twee van de ´pinnen´ geklemd en de derde pin wordt gebruikt om kracht op uit te oefenen door deze vast te grijpen.

4. Het vastgezette handvat

Wanneer de handbiker helemaal geen handfunctionaliteit heeft of wanneer de Tri-Pin handvat niet genoeg ondersteuning biedt kan er gebruik gemaakt worden van handvatten waarin de handen vastgezet worden. Hierdoor is er geen gripkracht of coördinatie van de handen en onderarmen nodig om te kunnen handbiken. Een groot nadeel is dat er een tweede persoon nodig is om deze aan- en uit te doen, of dit moet door de handbiker zelf gedaan worden met de tanden.

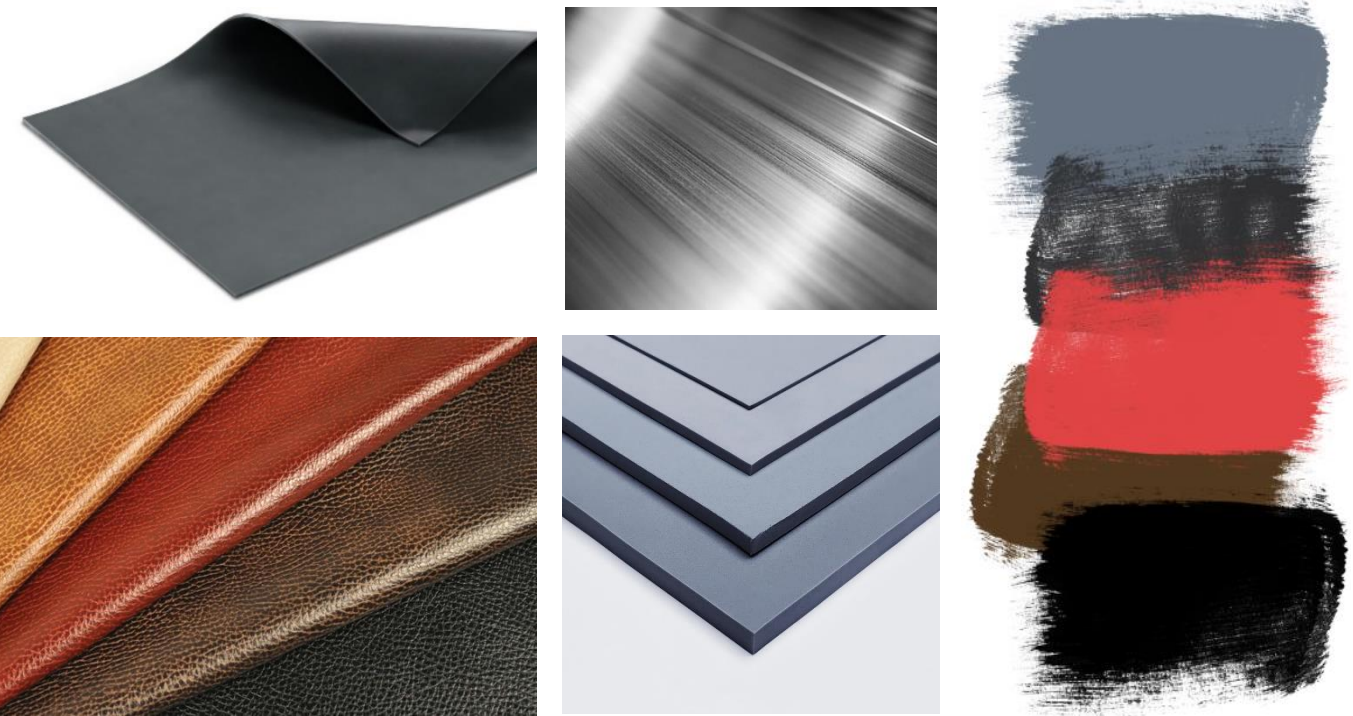
Conclusie

Op basis van de marktanalyse en octrooianalyse in het afstudeervoorstel kan geconcludeerd worden dat er op dit moment wel handbike handvat zijn voor mensen zonder arm- en handfunctionaliteiten, maar er nog geen handvatten ontwikkeld zijn die zowel comfortabel zijn als door de handbiker zelf aan- en uit te doen zijn.

1.3.2 Materialen en kleuren

Welke trends zijn herkenbaar?

Wanneer gekeken wordt naar goedkopere handvatten wordt er veel gebruik gemaakt van metalen met een donkere of zwarte laklaag hier overheen. Op deze manier zijn er weinig onderdelen en zijn ze eenvoudig aan elkaar te verbinden. Bij de ergonomische handvatten worden er foams (voornamelijk EVA) en siliconen gebruikt over deze basis. Ook hierin wordt er veel gebruik gemaakt van grijze en zwarte kleuren, waarschijnlijk omdat hier vlekken niet goed zichtbaar op zijn. Ook leer en textiel wordt gebruikt om de handvatten comfortabeler te maken of een luxere uitstraling te geven.



Figuur 7 Handbike handvat trends

H1.4 Gebruiker

Er is onderzoek gedaan naar de beoogde gebruikers en zijn/haar belemmeringen tijdens het handbiken. Op basis van deze analyse is er bepaald welke functionaliteiten de handvatten moeten hebben.

1.4.1 De gebruiker

Voor wie worden de ingemeten handvatten ontworpen?

De gebruikers van de handvatten kunnen in 3 doelgroepen onderscheiden worden, zie onderstaande illustratie voor kenmerkende aspecten per groep. Deze doelgroepen zijn niet opgesteld op basis van gelijke aandoeningen, maar op basis van de belemmeringen die ervaren worden tijdens het handbiken.

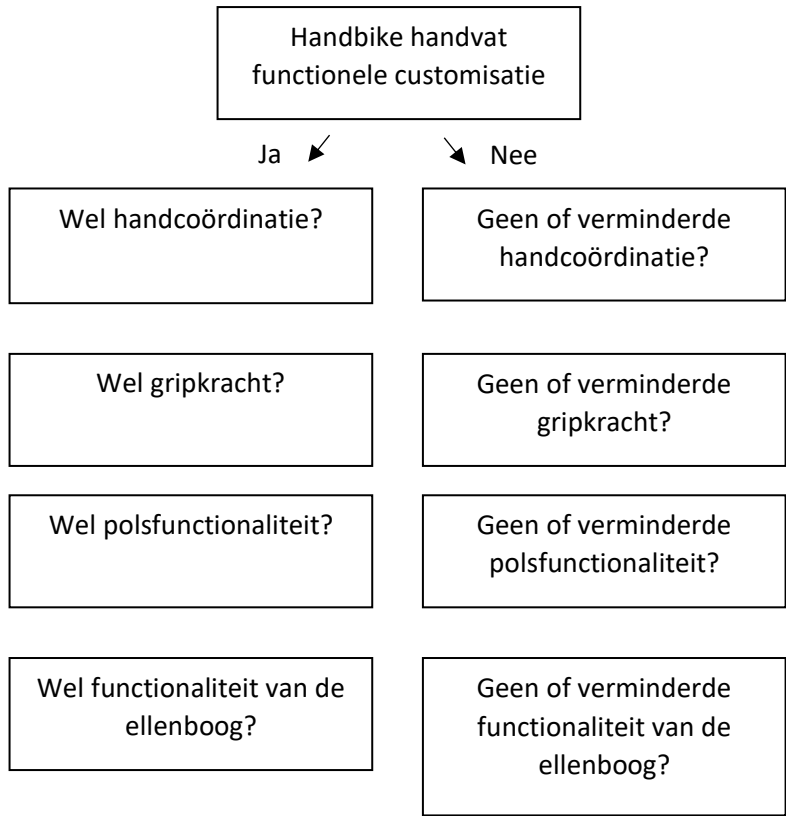
Per aandoening en per handbiker zijn de belemmeringen die ervaren worden namelijk zeer verschillend. Door middel van een stroomschema met ja-nee vragen zijn de verschillende gebruiksscenario’s/mogelijke gebruikers compact weergegeven. De benodigde functionaliteit van de te ontwerpen handvatten zijn o.a. op basis van deze variabelen opgesteld. Wanneer dit op basis van aandoening gedaan zou worden zouden de verschillen per groep te groot zijn om functionele handvatten voor de individuen binnen die groep te ontwerpen.

In tabel 1 is een voorbeeld casus weergegeven.

Oorzaak	Aandoening	Beperkingen	Belemmering
Val van hoogte	Dwarslaesie	Geen hand- en polsfunctionaliteit	Grip op handvat verliezen

Tabel 1 Casus gebruiker

Het aanpassen van het ontwerp naar de handbikers specifieke belemmeringen wordt in dit project **de functionele customisatie** genoemd; in de volgende paragraaf wordt dit verder toegelicht. (“EHF-EHC Classification”, z.d.)

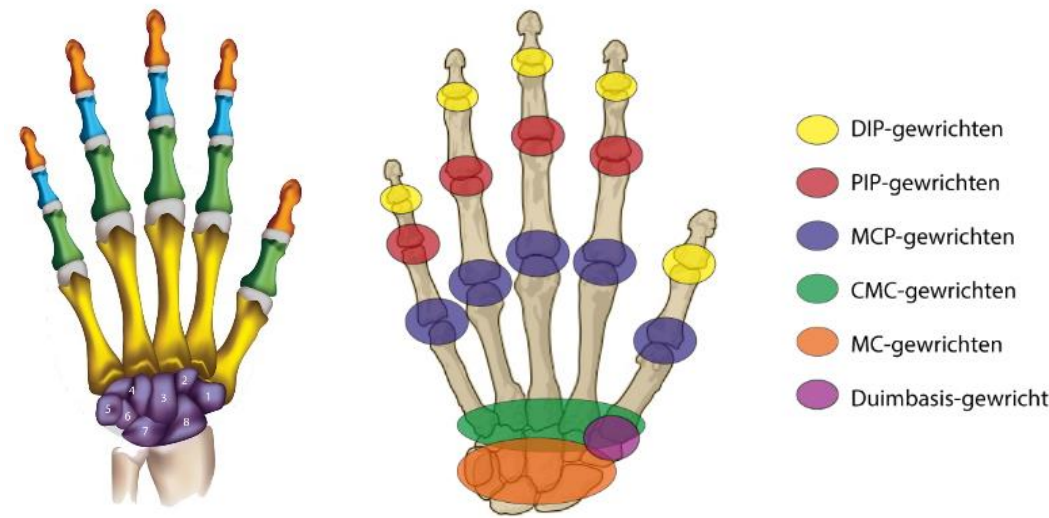


1.4.2. Ergonomie

Welke aspecten van het menselijk lichaam hebben invloed op het ontwerp van de handvatten?

1. Anatomie

De te ontwikkelen handvatten kunnen beschreven worden als een orthese voor de pols en hand, met connectie naar de handbike. De basisfunctionaliteit van het handvat is het inklemmen van de handwortel, zichtbaar in figuur 8 als de paars gemarkeerde botten. Door de handwortel in te klemmen is het mogelijk te handbiken zonder gripkracht, dit is aangetoond in voorgaande projecten met prototypen.



Figuur 8 Botten in de hand (kolossos, 2007) Figuur 9 Gewrichten in de hand (De gewrichten in de hand, z.d.)

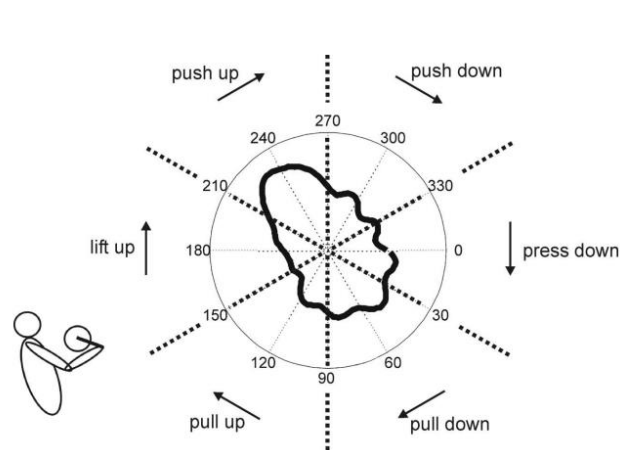
Conclusie

Het goed inklemmen van de hand wordt gedaan door het handvat naar de pasvorm van de handbikers hand te vormen. Dit wordt beschreven als de **gepersonaliseerde pasvorm** binnen het ontwerp. De anatomie speelt een grote rol bij de pasvorm van de hand, maar ook het spier- en vetvolume zijn bepalend.

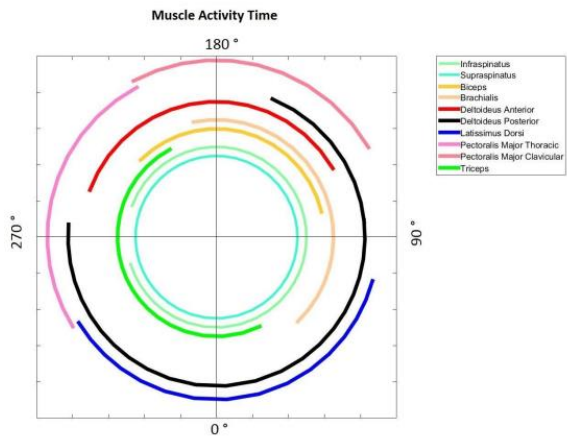
2. Spieren

Tijdens het handbike spelen veel verschillende spieren een rol om het vermogen te kunnen leveren om de handbike aan te drijven, zie figuur 10 en 11. De triceps, infraspinatus en de brachialis spieren leveren de grootste krachten tijdens het handbiken. De triceps maken het mogelijk om de elleboog te strekken en de brachialis zorgt voor het buigen, terwijl de infraspinatus ervoor zorgt dat de bovenarmen naar buiten gedraaid worden door de schouders.

De studie waarop onderstaande ‘Muscle Activity Time’ diagram gebaseerd is, is gedaan met één persoon. Verschillen tussen lichaam, techniek en ervaring met handbiken zijn dus niet meegenomen, wat mogelijk grote invloed kan hebben op spiergebruik. (Ahlers & Jakobsen, 2016) (“Anatomie - Spieren en functies van de elleboog en bovenarm”, z.d.) (“Infraspinatus Spier Oefeningen En Behandeling”, 2021) (Krämer, Schneider, I, Böhm & Senner, 2009



Figuur 10 Krachten tijdens het handbiken (Krämer, Schneider, Böhm, Klöpfer-Krämer & Senner, 2009)



Figuur 11 Actieve spieren tijdens het handbiken (Ahlers & Jakobsen, 2016)

Conclusie

Wanneer de elleboogfunctionaliteit niet meer aanwezig is, zijn bovenstaande spieren in de schouders, net als de extensie en flexie van de pols, nodig om de handbike te kunnen aandrijven). De te ontwerpen handvatten moeten dit ondersteunen.

3. Functionele customisatie

De hand en pols bestaan uit verschillende gewrichten, elk met hun eigen bewegingsmogelijkheden. De individuele aandoening van handbikers bepaalt welke bewegingsvrijheden zij nog wel (gecontroleerd) kunnen aansturen. De bewegingsvrijheden van de arm, pols en hand tijdens het handbiken zijn geanalyseerd. Er is bepaald welke ondersteuning er voor verschillende handbikers nodig is, wat de functionele customisatie van de handvatten zal zijn.

Een handbikecyclus, éénmaal de handvatten ronddraaien, kan opgedeeld worden in 4 segmenten.

De basisfunctie van de handvatten is het kunnen handbiken zonder gripkracht door de handwortel in te klemmen. Mensen met een spierziekte of een dwarslaesie op of boven T1 ervaren problemen met het strekken en sluiten van de handen. Door het CMC-, MC- en duimbasisgewricht van de duim te immobiliseren kan de handwortel goed ingeklemd worden. Dit heeft invloed op de radiale abductie/adductie en de palmaire abductie/adductie van de duim, wat betekent dat de duim minder goed om het handvat gesloten kan worden.

Handbikers met een dwarslaesie op of boven C6 ervaren problemen met het strekken en buigen van de pols. Door deze te immobiliseren of te ondersteunen in de wenselijk bewegingen kunnen zij comfortabel handbiken.

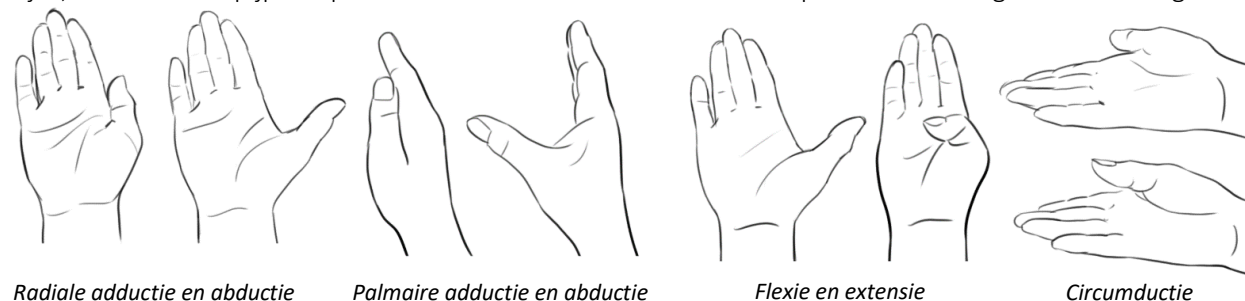
Wanneer de pols volledig geïmmobiliseerd wordt ontstaan er drukpunten op de plaatsen waar weinig spier- of vetmassa over de botten zitten. Ook ontstaan er knelpunten rondom de randen van de handvatten. Dit komt omdat de handbiker zijn pols tijdens het handbiken niet volledig recht en stilhoudt waardoor de hand beweegt in het handvat. De flexie en extensie van de pols en de radiale en ulnaire rotatie moeten dus tot op zekere hoogte te bewegen zijn. Door een dwarslaesie op of boven C7 kunnen handbikers ook een verminderde functie van de biceps en triceps hebben. Deze spieren zijn nodig om de handvatten naar jezelf toe te trekken (segment 2 en 3 van de handbikecyclus). In mindere mate speelt dit bij het wegduwen van de handvatten (segment 1 en 4), omdat hiervoor ook het gewicht van de romp gebruikt kan worden. Om dit te kunnen doen worden de ellebogen en polsen naar buiten gedraaid. De handvatten moeten daarom voor sommige handbikers de flexie van de pols ondersteunen. De ulnaire en radiale rotatie van de pols geeft de handbiker de mogelijkheid om een beetje extra kracht uit te oefenen tijdens het handbiken.

Omdat zowel de flexie en extensie van de pols, als de radiale en ulnaire abductie van de pols een rol spelen tijdens het handbiken zijn de rotatiepunten van geanalyseerd.

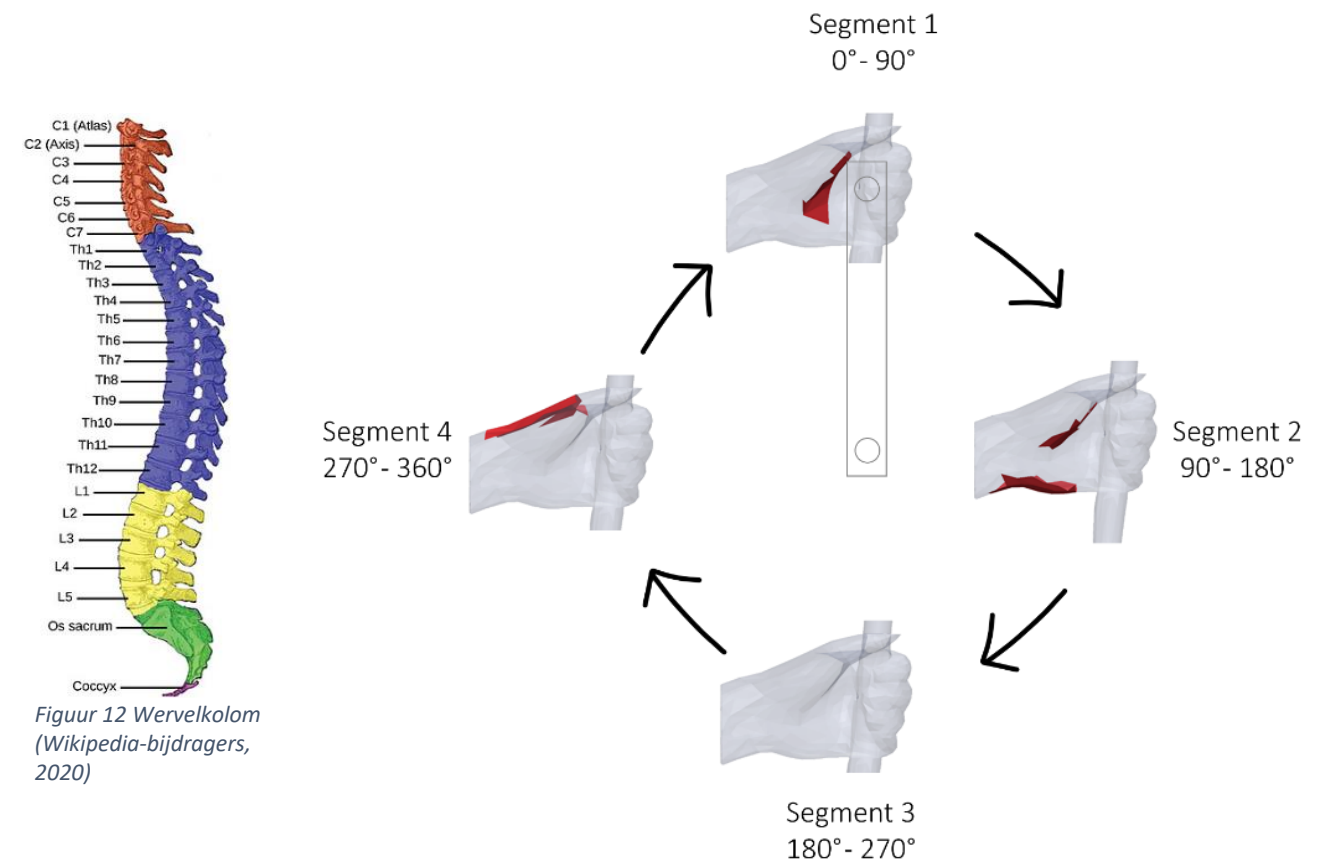
Zoals beschreven wordt in een onderzoek naar een pols rehabilitatie robot (Omarkulov, Telegenov, Zeinullin, Tursynbek & Shintemirov, 2016) kunnen de draaipunten van de flexie en extensie, en de radiale en ulnaire abductie van de pols niet op één punt samen gebracht worden. Beide rotaties vinden plaats rond één vast punt of gewricht, maar er is ook een verplaatsingen van verschillende botten in de pols en handwortel. Het draaipunt zal daarom tussen handbikers verschillen, maar wel altijd rond hetzelfde punt draaien.

De as van de rotatie voor de flexie en extensie van de pols moet door de afstand tussen de MC-gewrichten en ellepijp en spaakbeen heen. Deze staat deze as niet loodrecht op de onderarm, waardoor er drukpunten op de onderarm en pols ontstaan tijdens het dragen van de ingemeten handvatten.

Het draaipunt van de radiale en ulnaire rotatie is het capitatum handwortelbotje. Rondom dit punt draaien/schuiven de handbotjes, maar de ellepijp en spaakbeen niet. Daarom is er rondom de pols ruimte nodig voor de bewegende botten.



Figuur 15 Bewegingen van de hand en pols



Figuur 12 Wervelkolom (Wikipedia-bijdragers, 2020)

Figuur 13 Krachtoverdracht binnen handbike segmenten



4. Antropometrie

De te ontwerpen handvatten zullen gemaakt worden voor een brede groep gebruikers, elk met unieke handen welke een unieke pasvorm nodig heeft. Wanneer gekeken wordt naar het standaardiseren van het ontwerp en/of productieproces moeten een aantal variabelen in kaart gebracht worden. Door te kijken naar verschillen in afmetingen in en tussen groepen kunnen er keuzes gemaakt worden voor de standaardisatie.

Er dient rekening gehouden te worden met:

- Mannelijke P1 tot P95 gebruikers
- Vrouwelijke P1 tot P95 gebruikers
- Mensen met tetraplegie
- Mensen met paraplegie
- Mensen met verminderde of geen arm- en handfunctionaliteiten door een andere oorzaak dan een dwarslaesie

Mensen met paraplegie hebben nog functionaliteit van de armen en handen, omdat de beschadiging van de ruggenmerg onder de halswervels is. Mensen met paraplegie hebben geen verlamming van de armen. Toch komt het vaak voor dat er wel beperkingen aan de handen en armen zijn voor hen. Mogelijke beperkingen zijn het sneller vermoeid raken van spieren of spiergroepen, verminderde motorische vaardigheden en verandering in sensorische ervaringen.

Bij tetraplegie zijn zowel de armen als de benen verlamd, doordat de beschadiging zich in de nek bevindt. Mogelijke beperkingen zijn het niet kunnen strekken, buigen en/of roteren van de pols, geen kracht met de duim kunnen leveren en de duim niet kunnen strekken. Ook kunnen vaak de vingers niet gestrekt worden.

Onderzocht is hoe de antropometrie van de handen van mensen met paraplegie, tetraplegie en personen zonder beperking zich tot elkaar verhouden. Om dit te kunnen doen is er gebruik gemaakt van de antropometrisch database DINED van de Technische Universiteit Delft voor mensen zonder beperkingen. Wanneer er gezocht wordt naar antropometrische gegevens over de handen van mensen met paraplegie en tetraplegie is het niet gelukt om antropometrische data van Europese volwassenen met para- of tetraplegie te vinden. De gevonden studies over mensen met paraplegie met andere nationaliteiten en kinderen met tetraplegie zijn daarom samengevoegd met onderzoeken naar spier- en botafname bij mensen met paraplegie en tetraplegie, zie tabel 2. ("DINED", z.d.).

Als gevolg van het niet gebruiken van de handen bij een volledige dwarsleasie worden zowel de botten als de spiermassa aangetast en nemen deze in volume af. Na een dwarslasie worden spieren dunner en kan er minder kracht uitgeoefend worden, dit wordt ook wel spier atrofie genoemd. Oorzaken hiervan zijn ten eerste de dwarslasie, maar ook de daaropvolgende inactiviteit van de spieren. Dit heeft ook gevolgen voor de botten, welke door onderbelasting te maken krijgen met botafbraak door botontkalking. (Frotzler et al., 2008) (Klein, Liu, Zhao & Yang, 2021b) (Eser et al., 2004) (Frotzler et al., 2008b).

In hoofdstuk 5 wordt ingegaan op aanbevelingen over de gegevens waarop het ontwerp gebaseerd is.

Conclusie

- Op basis van deze gegeven zijn afmetingen voor het handvat vastgesteld. Bepaald is:
- Wat de hoek van de pols en de knokkels zal zijn wanneer het handvat vastgegrepen wordt.
 - Wat de grootste en kleinste afmetingen van de handen zijn.
 - Hoe bepaalde punten van het hand zich tot elkaar verhouden tussen gebruikers.
 - Waar ruimte nodig is voor personalisatie binnen het handvat ontwerp.

Zie bijlage 3. Antropometrisch onderzoek voor het volledige overzicht van tabel 2 en de uitgebreide conclusie.

	Nederlandse volwassenen												Paraplegie												Tetraplegie													Bron
	P1	M	F	P5	M	F	P50	M	F	P95	M	F	P5	M	V	P50	M	V	P95	M	V	P5	M	V	P5	M	V											
Handlengte	158	171	160	166	178	166	186	194	179	206	210	192	125			200			230										mm	1								
Palmengte					10.1	9.2		11	10		12	11																	mm	8								
Dikte knokkels	12	22	15	16	24	19	26	29	27	36	34	35	19			31			51										mm	1								
Breedte bij knokkel	70	82	72	74	84	74	86	91	81	98	98	88	59		87	90			123										mm	1								
-																86.5			89										mm	6								
omtrek halverwegen arm (9cm van origin)	160			167			192			211																												
Omtrek origin	145			146			172			200																												
Pols omtrek dikte bot	125			132			155			176																												
Pols omtrek					16.2	14		17.4	15.1		18.8	16.3																	cm	8								
Breedte rond pols as	43			46			52.9			62																			mm	3								
Dikte pols	33			37			39.4			45																			mm	3								
Voorarm omtrek					27.5	23		30.2	25.2		33.7	28				26											tot 12.5% minder	23	mm	8, 10, 11								
Greep diameter (TU dined 20-30 jaar)	39	105	101	108	114	107	129	135	122	150	156	137																	mm	2								
Middel as tot rotatie flexie					6.25	5.9		7	6.6		7.8	7.5																	cm	8								
Duimbasis dikte							53																						mm	9								
Duim dikte (nagel aanzicht)	18	20	19	20	22	19	23	25	21	26	28																		mm	1								
Duim Omtrek DIP-gewicht		6.6	5.6		6.7	5.9		7.2	6.3		7.8	6.8																	cm	8								
Duim omtrek duimbasis rond binnenkant duim							100																						mm	9								
Afstand MCP duim naar draaipunt palm					7.1	6.5		8.1		7.5	9.5	8.8																	cm	8								
Afstand DIP - MCP					1.6	1.5		2.1	1.9		2.6	2.4																	cm	8								
afstand mcp - knokkels	16			17			20			25																												
Afstand duimbasis - binnenkant duim					6.9	6.2		7.7	6.9		8.5	7.8																	cm	8								
Duim (FDI) x	-30			-36			-46			-54																			mm	3								
Duim (FDI) y	34			33			41			35																			mm	3								
Duim (FDI) z	6.5			2.3			1.1			3.4																			mm	3								
Origin - as (DIST)	27.4			13			22			43																			mm	3								
Origin - knokkel middelvinger (DIST)	52			57.6			70			61																			mm	3								
origin - mcp gewicht (x)	-39			-44			-55			-66																			mm	3								
origin - mcp gewicht (y)	17			14			20.3			19																			mm	3								
Breedte knokkel -x	-26			-26			-31			-40																			mm									
Breedte knokkel -y	34			38			43			43																			mm									
Hoek 1	81			83			82.5			89																			Graden	3								
Hoek 2	73			74			71.2			72																			Graden	3								
Hoek 3	72			74			79.5			78																			Graden	3								
Dikte APB							7.5									4													mm	7								
Dikte OP							12									9													mm	7								
Dikte FPB							14.5									9.5													mm	7								
Dikte ADM							11									7.5													mm	7								
Dikte FDI							14									10													mm	7								
Gripstrength left													137	56			314	235		503	263								N	6								
Gripstrength right													106	88			333	235		486	262								N	6								
Left push right													39	24			75	49		173	77								N	6								
Right push left													39	27			79	46		149	90								N	6								

Tabel 2 Antropometrische data van handen

Bron

- 1 TU DINED Dutch adults, dined2004 m+f 31-60
- 2 TU DINED Dutch adults, dined2004 m+f 20-30
- 3 TU DINED 3D modellen p1, p5, p50, p95
- 4 (Akinyemi, Adeyemi, Giwa & Adeboje, 2015)
- 5 (Paquet & Feathers, 2004)
- 6 (YOOK et al., 2021)
- 7 (Klein, Liu, Zhao & Yang, 2021)
- 8 (Greiner, 1991)
- 9 (Ulcay et al., 2020)
- 10 (Tsuzuku, Ikegami & Yabe, 1999)
- 11 (Fang, Morse, Nguyen, Tsantes & Troy, 2017)



Figuur 16 Analyse van P1, P5, P50 en P96 gebruiker

1.4.3 De optimale handpositie

Wat is de optimale handpositie en benodigde immobilisatie om efficiënt maar comfortabel te handbiken?

Op basis van de analysefase en het analyseren van bestaande spalk ontwerpen zijn er verschillende posities bepaald en getest om de optimale handpositie te bepalen. Onderstaande spalken zijn nagemaakt van de door Silversplints ontworpen ortheses. In de door hen ontworpen spalken wordt er met zo min mogelijk materiaal zoveel mogelijk functionaliteit en comfort geboden. Door het zelf dragen van de spalken zijn conclusies getrokken over het comfort en de steun/immobilisatie die door de te ontwerpen handvatten geboden wordt.

Splint 1.

Deze splint biedt voornamelijk stabiliteit en minder immobiliteit. Daarbij kan de duim niet volledig gestrekt worden, maar ook dit is niet de benodigde functionaliteit van de te ontwerpen handvatten.

Splint 2.

De vorm rondom het MCP-gewicht werkt erg goed om de duim gestrekt te houden. De grootste functie van de splint op de handpalm voelt als het opvangen van de bewegingen in het MCP- en duimbasisgewricht te zijn, niet het MC-gewricht; dit mist het ontwerp nog.

Splint 3.

Met minimale ondersteuning wordt de duim zeer effectief beperkt in de abductie en extensie (het DIP gewricht uitgezonderd). Doordat de duim basis een relatief grote omtrek heeft in vergelijking met de vingerkootjes is het eenvoudig om de duim te positioneren.

Splint 4.

Doordat het MCP-gewricht van de wijsvinger volledig vrij is om te bewegen en de ruimte tussen het MCP-gewicht van de duim en de wijsvinger door de druppelvorm ondersteunt wordt is de duim volledige ontspannen, maar wel geïmmobiliseerd.

Conclusie optimale handpositie

De verschillende splints immobiliseren verschillende gewrichten in verschillende houdingen. Op basis van eerder gevoerde interviews met gebruikers, de daarop gebaseerde concepten en op het onderzoek naar verschillende bestaande splints is geconcludeerd dat een neutrale polsstand met 30 graden supinatie, waarbij de vingers in een losse vuist positie staan, de meest comfortabele en functionele positie is. Zie onderstaande illustratie voor een impressie van deze positie.



Figuur 18 optimale handpositie

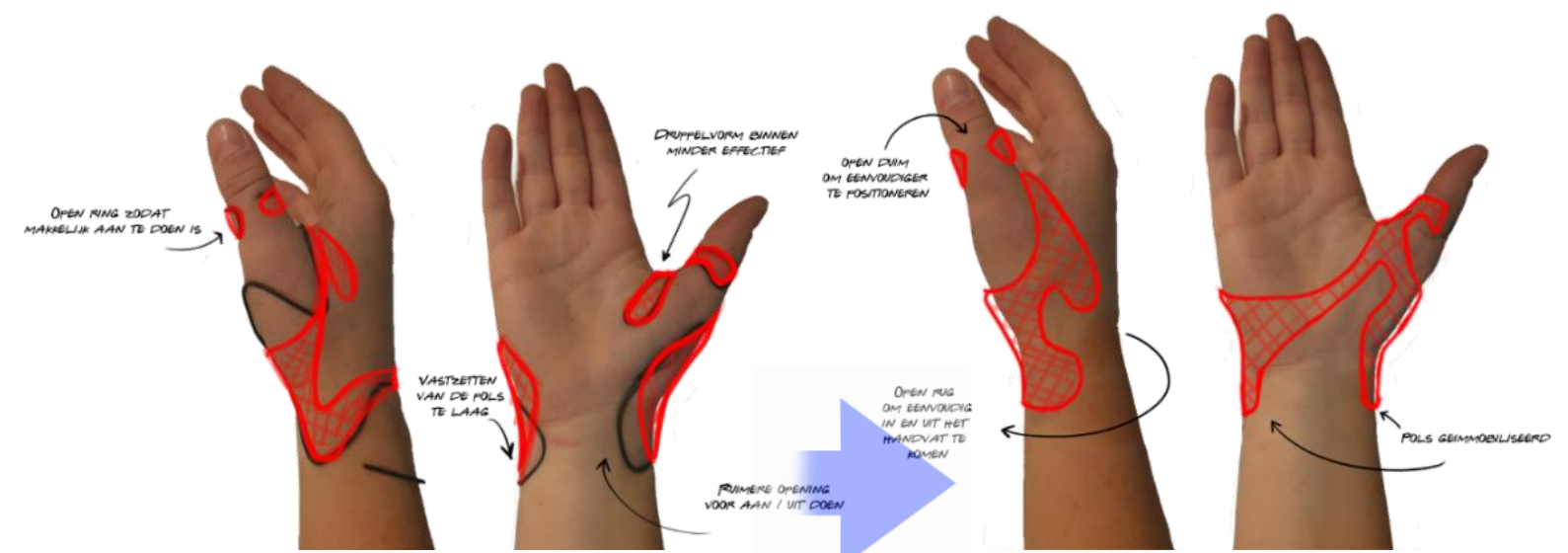


Figuur 17 Splint prototypes

Conclusie immobilisatie

Gebaseerd op de prototypes is er een eigen ontwerp gemaakt waarin de bewegingsmogelijkheden beperkt worden, maar op een zo'n minimaal mogelijke manier. In figuur 19 zijn 2 ideeën hiervan te zien, zij zullen als basis dienen voor het ontwerpen van de handvatten.

De hypothese is dat de geschetste ondersteuning zal helpen bij (het behouden van) de gripkracht tijdens het handbiken, doordat zowel de duimbasis als het MCP-gewricht geïmmobiliseerd zijn.



Figuur 19 Ontwerpen van benodigde immobilisatie5

1.4.4 Inmeetmethode en productietechniek analyse

Welke inmeetmethode en productiemethoden kunnen toegepast worden?

De inmeetmethode van de handvatten is van grote invloed op zowel de productietechniek als de ontwerpkeuzes. Er kan onderscheid gemaakt worden tussen een digitale en fysieke inmeetmethode. In dit project wordt de inmeetmethode voor de handvatten niet ontwikkeld. Deze ontwikkeling loopt wel gelijktijdig en parallel binnen Wings Technology door Werktuigbouwkunde afstudeerstudent Bram Hillenaar. Er is samenwerking geweest over eisen aan zowel de productiemethode als de inmeetmethode om tot een produceerbaar eindresultaat te komen.

Inmeetmethode

De combinatie van een kleine seriegrootte en lage investeringskosten met een ontwerp dat veel customisatie nodig heeft betekent dat de productiekeuze grote invloed heeft op de te ontwerpen handvatten. De ontwerpkeuzes hebben ook grote invloed op de productiekeuze. Om dit verband inzichtelijk te maken is er eerst een analyse van mogelijk geschikte productietechnieken van de mal gemaakt, zie bijlage 4. Productietechnieken inmeetmethode. Er is gekeken naar fysiek en digitale inmeetmethodes.

Een fysieke inmeetmethode heeft voor- en nadelen wanneer dit vergeleken wordt met de bestaande digitale inmeetmethode. Het is een langdurig proces waarbij er minder controle is over de handpositie doordat de hand niet zichtbaar is tijdens het inmeetproces. Wanneer een digitale inmeetmethode gebruikt wordt zal (een deel van de) productie in een modelleerprogramma gedaan worden. De voorkeur van de opdrachtgever is om zo min mogelijk te hoeven modelleren.

Productiemethode

Er is een productietechniek analyse uitgevoerd, zie bijlage 5. Productietechnieken handbike handvatten. Hierbij zijn technieken bekeken met lage investeringskosten die geschikt zijn voor een kleine seriegrootte. Andere aspecten die meegenomen zijn, zijn de materialen en ontwerpoverwegingen die bij de productietechniek horen.

Veelbelovende combinaties van inmeetmethode en productiemethode zijn in het blauw gearceerd in tabel 3.

Mogelijke combinaties inmeetmethode en productietechnieken					
	Gegoten gipsen mal	Geen mal	Ingescande 3D-geprinte positieve mal	Ingescande 3D-geprinte negatieve mal	Opmerking
Lamineren	x		x		
Gieten	X		x	X	
Vacuümvormen	x		x	x	Het gebruik maken van vacuüm vormen biedt dezelfde ontwerpmogelijkheden als thermovormen, enkel met hogere investeringskosten.
Dipmolding	x		x	x	Dipmolding is een arbeidsintensieve productiemethode (inmeten, mal modelleren, handvatten produceren) waarbij veel ervaring nodig is om de benodigde controle over het eindresultaat te behouden.
Thermovormen	x		x	x	
SLA		x	x	x	
FDM		x	x	x	
SLS		x	x	x	
CNC-Frezen		x	x	x	Door de ingewikkelde (organische) vormen van de handvatten zal de benodigde CNC-machine hoge investeringskosten met zich meebrengen.
Rotatiegieten				x	Rotatiegieten betekent dat er hoge investeringskosten zijn door de mallen.

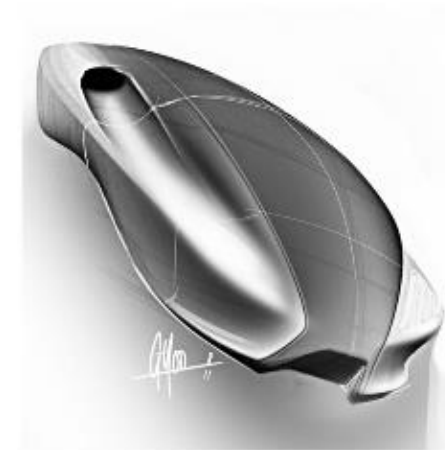
Tabel 3 Mogelijke combinaties inmeetmethode en productietechnieken

H1.5 Visie

De ingemeten handbike handvatten ogen professioneel en zijn comfortabel. Daar waar mogelijk is het ontwerp en de onderdelen gestandaardiseerd zodat de kosten zo laag mogelijk zijn. De handvatten zorgen ervoor dat iedereen, ook handbikers zonder arm- en handfunctionaliteit de meest optimale en plezierige handbike ervaring hebben. Het product straalt comfort en betrouwbaarheid uit, ook voor het met hoge gevoeligheid voor pijn en ongemakken door hun beperking.



Functie en gebruik duidelijk



Stoer en fier



Comfortabel



Ergonomisch



Organische vormen;
strak en sterk uiterlijk

Figuur 20 Moodboard

H1.6 Programma van Eisen

No.	Eis of wens	Onderdeel	Specificatie	Verificatie methode	Acceptatie waarde
Vervaardigen					
		Inmeten			
1,2	wens		Het volledige productieproces van de handvatten (van inmeten tot opleveren) wordt gedaan met zo min mogelijk belasting (zoals reizen, tijd en inspanning) voor de gebruiker en producent Wings Technology.		
		Produceren			
1,3			Productie van de handvatten kan uitbesteed worden of kan met de aanwezige machines/aan te schaffen machines binnen de investeringskosten geproduceerd worden.	Een overzicht van alle productiestappen met de benodigde machines en materialen is opgesteld. Investeringskosten of uitbestede productie is meegenomen in de kostprijsberekening.	Alle productiestappen zijn uitvoerbaar met de aanwezige machines bij Wings Technology. Investeringskosten of uitbestede productie passen binnen de maximale kostprijs.
1,4	Wens		Productie van de handvatten kan gedaan worden zonder specifieke vakkennis, of kan eenvoudig gevolgd/geleerd worden aan de hand van een handleiding.		
1,5	Wens		Er wordt zoveel mogelijk aspecten van het ontwerp gestandaardiseerd, zodat met zo min mogelijk aanpassingen en bewerkingen voor de P1 tot P95 handbiker tot eindproduct kan komen.		
1,6	Wens		Er is in heel het productieproces, ook na productie, zoveel mogelijk aan te passen naar de voorkeuren van de handbiker.		
		Montage			
2,1			Montage van de flens t.b.v. de connectie met de as is mogelijk op het handvat.	De flens wordt op het handvat gemonteerd. Een vergelijking zal gemaakt worden tussen het gemodelleerde ontwerp en het geproduceerde product.	Het onderdeel sluit volledig aan op het gethermovormde oppervlakte waarbij er geen kieren zichtbaar zijn.
2,2			Het is mogelijk om de as op de flens te monteren met steeksleutel 17.	Met behulp van een testmodel wordt de as in de flens vastgezet met behulp van steeksleutel 17.	De flens en de as zijn bereikbaar met steeksleutel 17 en het is mogelijk om in ieder geval een halve slag per keer met de steeksleutel te maken.
2,3	Wens		Versnellingsschakelaars en rem zijn te monteren en aanpasbaar terwijl de klant de handvatten draagt en zijn ook op een later moment aan te passen		
Aan- en uitdoen					
3,1			De handvatten zijn zelfstandig aan- en uit te doen, ook met beperkte arm- en handfunctionaliteit.	Gebruikerstest met een handbiker met een dwarslaesie niveau C5 of hoger die het handvat driemaal achter elkaar aan- en uitdoet.	Handbiker is in staat om zonder hulp de handvatten aan- en uit te trekken.
3,2			De handvatten zijn in 10 seconden uit te doen.	Gebruikerstest met een handbiker met een dwarslaesie niveau C5 of hoger die het handvat driemaal achter elkaar aan- en uitdoet.	Handbiker is in staat om zonder hulp in 10 seconden de handvatten aan- en uit te trekken.
Handbiken					
		Handbiken			
4,1			De handvatten maken het aandrijven van de handbike mogelijk zonder dat hiervoor gripkracht nodig is.	Test uitvoeren met vermogensmeter aangesloten waarbij consistent 50 Watt geleverd wordt , 1 maal met vingers gesloten en 1 maal met volledig gestrekte vingers.	Het is mogelijk om in beide testen op comfortabele wijze 50 Watt te handbiken.

		Functionele customisatie			
4,2			De handvatten zijn aan te passen zodat deze bruikbaar zijn voor zowel mensen met volledige arm- en handfunctionaliteit, als voor mensen met weinig/zonder functionaliteit vanaf de ellebogen.	Aanwezigheid van ondersteuning van ulanaire en radiale rotatie, extensie van de pols is mogelijk of de volledige pols wordt gemobiliseerd.	Opties zijn aanwezig en functioneren in het ondersteunen.
		Remmen en schakelen			
4,3			Het is voor handbikers met vingerfunctionaliteit mogelijk de versnellingschakelaars en de rem te bedienen.	De vingerlengte van P1 gebruiker wordt vergeleken met de afstand (omtrek) tot de versnellingschakelaars en de remhendel.	De vingerlengte van P1 is even lang als, of langer dan, de afstand in het product.
Ergonomie					
5,2			Er ontstaan geen drukpunten op de huid tijdens het handbiken voor langere periodes.	Gebruikerstest met handbiker voor 30 minuten 80 Watt leveren.	Handbiker ervaart geen discomfort en er zijn visueel geen knelpunten of verminderde doorbloeding op de handen zichtbaar.
5,3			Het dragen van de handvatten zorgt niet voor een verhoogd risico's op blessures aan gewrichten zoals de schouders en ellebogen	Beoordeling van de stand van de gewrichten, (im)mobilisatie van gewrichten en algeheel gebruik tijdens het handbiken.	Er wordt geen verhoogd risico verwacht bij beoogd gebruik en normale handbike techniek.
5,4			De handvatten kunnen een tolerantie tussen de hand en het handvat hebben.	Aantoonbaar in productieproces, CAD model, of fysiekmodel dat een tolerantie van minimaal 2 mm toegevoegd is.	Meer dan 2 mm tolerantie.
5,5	Wens		Met zo minimaal mogelijke beperkingen van de gewrichten en pasvorm kunnen alle handbikers comfortabel handbiken.		
5,6	Wens		De gebruiker wordt gestimuleerd/krijgt de mogelijkheid om de aanwezige functionerende hand- en spierfuncties zoveel mogelijk te gebruiken.		
Onderhoud					
6,1			Het product is schoon te maken	Vocht opnemende materialen zijn uitneembaar en kunnen met de hand in heet (tot 80 graden) gewassen worden. Andere materialen zijn afneembaar met een vochtige doek.	Vocht opnemende onderdelen zijn uitneembaar en weer te monteren. Het materiaal heeft na het wassen of afnemen dezelfde uitstraling en werkt naar behoren.
Repareren					
7,1	Wens		Zoveel mogelijk onderdelen zijn te demonteerbaar en te vervangen.		
Constructie					
8,1			De handvatten kunnen de kracht die wordt uitgeoefend tijdens het leveren van het piekvermogen van 1600W aan.	Berekeningen uitvoeren van kritieke punten waarop 800 N wordt uitgeoefend.	De optredende spanningen overschrijden niet de toelaatbare spanning van het materiaal bij een veiligheidsfactor van 1,5.
8,2			De handvatten kunnen de maximale knijpkracht tijdens het remmen aan.	Berekeningen uitvoeren waarbij 570 N uitgeoefend wordt op het uiteinde van de remhendel.	De optredende buigspanning mag de maximale toelaatbare spanning van het materiaal niet overschrijden (veiligheidsfactor 1,5).
			De handvatten kunnen de krachten opvangen die ontstaan tijdens het roteren van de pols.	Een berekening wordt uitgevoerd waarbij er 45 N trek/duwkracht uitgeoefend wordt in de uiterste stand.	De maximale rekgrens van het materiaal bij een veiligheidsfactor 1,5 wordt niet overschreden.
Vormgeving					
9,1	Wens		De handvatten zijn in uitstraling (kleur, details) zoveel mogelijk te personaliseren.		
Materiaal					
10,1			Het materiaal kan langdurige blootstelling aan de zon doorstaan doordat het materiaal een goede UV-resistentie heeft.	Het materiaal heeft geen UV-stabilisator of beschermende laag.	Het materiaal heeft geen UV-stabilisator of beschermende laag.

10,2			Het materiaal kan belasting in zowel koude (-5 graden Celsius) als hoge (35 graden Celsius) temperaturen doorstaan.	De temperatuurbestendigheid van het materiaal wordt met datasheets gecontroleerd of deze binnen -5 graden Celsius en 35 graden Celsius ligt.	Temperatuurbestendigheid van het materiaal valt binnen -5 graden Celsius en 35 graden Celsius.
10,3	Wens		Het materiaal is zo flexibel mogelijk om het aan- en uitdoen van de handvatten te vereenvoudigen.		
10,4	Wens		Het materiaal is zo licht mogelijk.		
Kosten					
		Verkoopprijs			
11,1			De verkoopprijs zal niet hoger zijn dan 500 euro per paar handvatten.	Op basis van de kosten, een overheadfactor en winstmarge van 10% en 9% btw zal de verkoopprijs berekend worden.	De verkoopprijs is niet hoger dan 500 euro.
		Investeringskosten			
11,2	wens		Investeringskosten zijn niet hoger dan 3000 euro.		

Tabel 4 Programma van Eisen en Wensen

H2.

Ideefase

H2.1 Introductie

De ontwikkelde concepten en prototypes uit voorgaande projecten zijn voor één persoon met specifieke beperkingen ontworpen. In de gewenste situatie zal het mogelijk zijn om handvatten aan te passen naar de benodigde functionaliteiten en de pasvorm per handbiker. Hierdoor kan de productie opgeschaald worden naar 25 stuks per jaar en wordt er een betaalbaar, betrouwbaar en comfortabel handvat ontwikkeld.

De functionele customisatie en pasvorm personalisatie speelt een grote rol, wanneer gekeken wordt naar het opschalen van het gehele proces. Iedere handbiker heeft een unieke pasvorm. Om de handvatten hiernaar te vormen wordt er een goedkope en eenvoudige oplossing gezocht. Wings Technology beschikt echter niet over een groot machinepark en het product leent zich niet vanzelfsprekend voor het uitbesteden van de productie. De lage seriegrootte en hoge mate van personalisatie van het product belemmeren dit.

- Hoe kan er met de gekozen productiemethoden, 3D-printen, thermovormen en lamineren een product ontwikkeld worden dat aanpasbaar is naar de handbikers pasvorm?

Met de gemaakte testmodellen kan geconcludeerd worden dat drukpunten ervaren worden:

- op plekken waar weinig vet of spieren tussen het handvat en de botten zitten;
- rondom de randen van het handvat;
- wanneer het handvat te strak zit.

Een balans moet gevonden worden tussen de benodigde inklemming van de hand om zonder gripkracht te kunnen handbiken, en het verminderen van de drukpunten.

- Hoe kunnen de afschuifkrachten en drukpunten op de huid verminderd worden? Hierbij rekening houdend met het opzwellen van de hand tijdens het sporten.

Bekent is dat door het inklemmingsprincipe van de handwortel het aandoen met de betreffende hand gedaan moet worden. Dit omdat het aandoen of vastzetten van de tweede hand ook zonder hulp van de andere hand gedaan moet worden. Onderzocht is wat gebruiker nog wel en niet kan met zijn/haar handen. Dit verschilt per persoon, maar de lastigste situatie is wanneer de gebruiker niet in staat is de pols te draaien en de vingers aan te sturen. Ook voor hen moet het mogelijk zijn de handvatten zelfstandig, comfortabel en snel aan- en uit te doen.

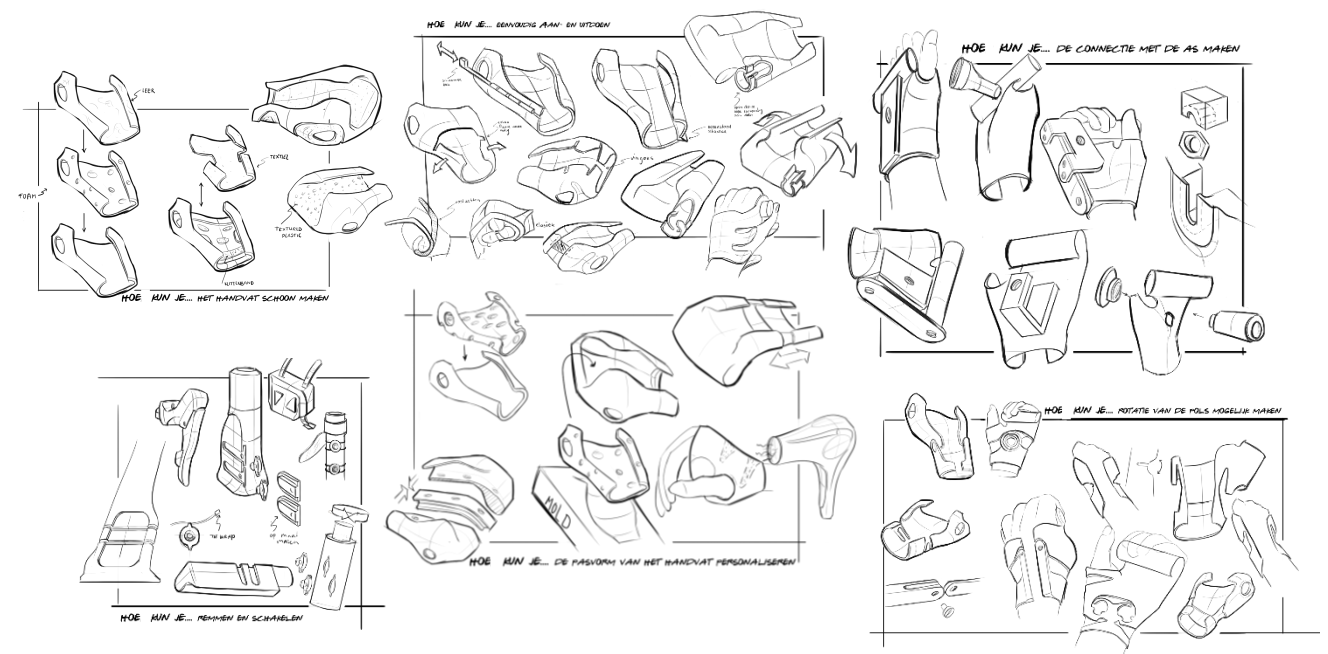
- Hoe kunnen de handvatten zelfstandig aan- en uitdoen gedaan worden, in combinatie met de optimale handpositie?

Snel uit de handvatten kunnen komen is belangrijk voor de veiligheid van de handbiker, bijvoorbeeld tijdens of na een val. Ook het remmen en schakelen is van groot belang. Het voornaamste probleem dat hierbij ervaren wordt is het niet kunnen bereiken van de remhendel (dit door beperkingen in vingercoördinatie). Het remmen zelf lijkt voor de mensen die bij de remhendel kunnen komen niet het probleem te zijn: de kracht die hier voor nodig is, is bij iedereen aanwezig. Dit geldt ook voor het schakelen; hierbij zal gekeken moeten worden naar verschillende soorten en posities. De oplossing hoeft niet voor mensen zonder vingerfunctionaliteit geschikt te zijn, voor hen zal een externe rem gebruikt worden, los van het handvat, zoals een kin- of elleboog rem.

- Hoe kun je het remmen en schakelen voor alle gebruikers tijdens het handbiken mogelijk maken?

De functionele customisatie is van belang om een bruikbaar product voor de handbiker te maken. Met name de immobilisatie van de pols is belangrijk, specifiek de radiale en ulnaire abductie en de flexie en extensie van de pols. Flexie van de pols maakt het mogelijk om te kunnen handbiken wanneer er verminderde spierfuncties is in de onder- en bovenarm. Dit heeft namelijk als gevolg dat de handvatten niet omhoog getrokken kunnen worden in het 3^e segment van de cyclus. De radiale en ulnaire abductie biedt extra comfort en maakt het mogelijk om extra kracht over te brengen tijdens het handbiken.

- Hoe kun je de rotatie van de pols mogelijk maken?



H2.2 Ideeschetsen

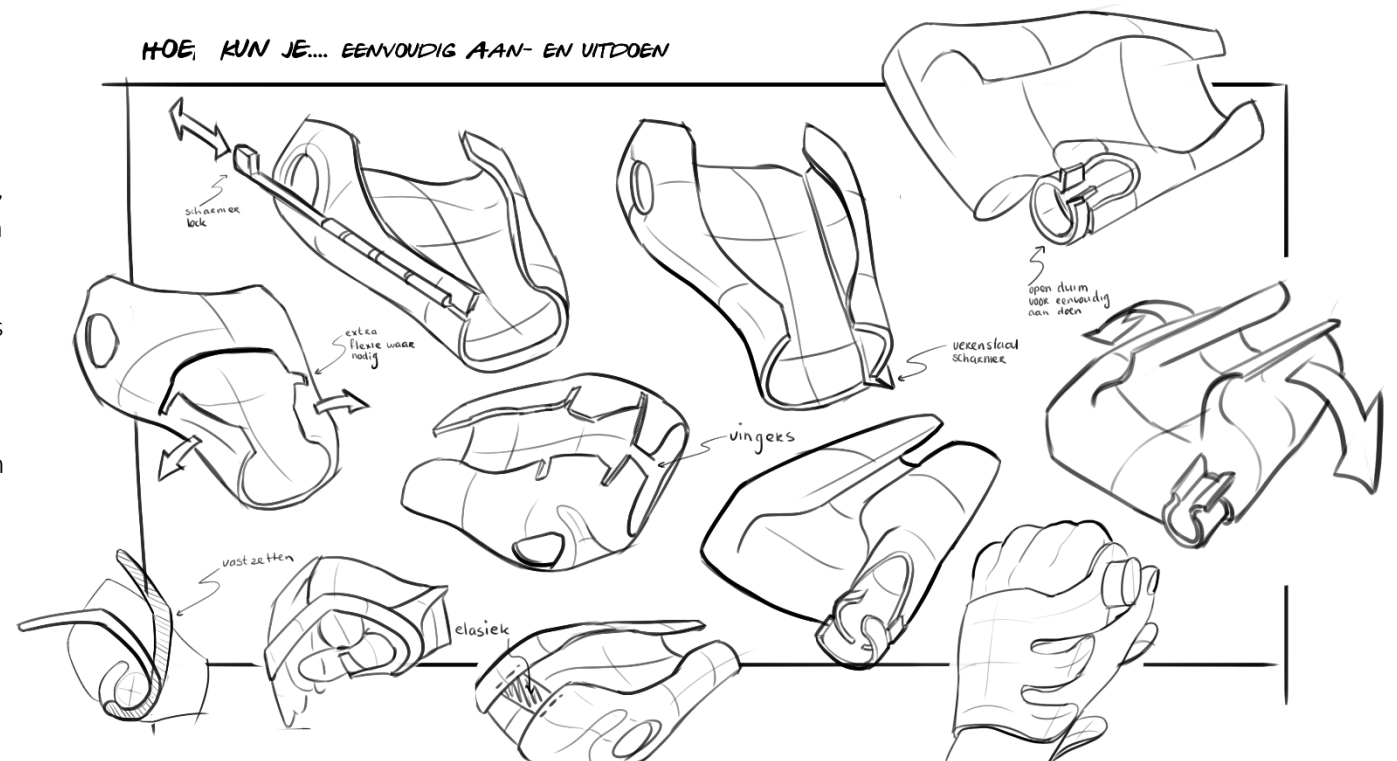
Op basis van de opgestelde Hoe Kun Je – vragen is er geschetst naar oplossingen. Een selectie van deze oplossingen zijn in dit hoofdstuk toegelicht.

Zelfstandig aan- en uitdoen

Het vereenvoudigen van het zelfstandig aan- en uitdoen kan gedaan worden door de ingang flexibele te maken, bijvoorbeeld door het toevoegen van gekrulde uiteindes in de vorm van een trechter, of door het toevoegen van scharnieren zodat het ontwerp open buigt.

De duim is lastig in het handvat te positioneren wanneer de handbiker hier geen coördinatie over heeft. Dit proces zou versimpelt kunnen worden door bijvoorbeeld het toepassen van:

- een handvat dat de duim niet volledig omsluit;
- een compliant mechanisme om de ondersteuning automatisch te kunnen sluiten/openen bij het aan- en uitdoen;
- een elastieken band dat automatisch straktrekt wanneer de hand volledig vast zit.



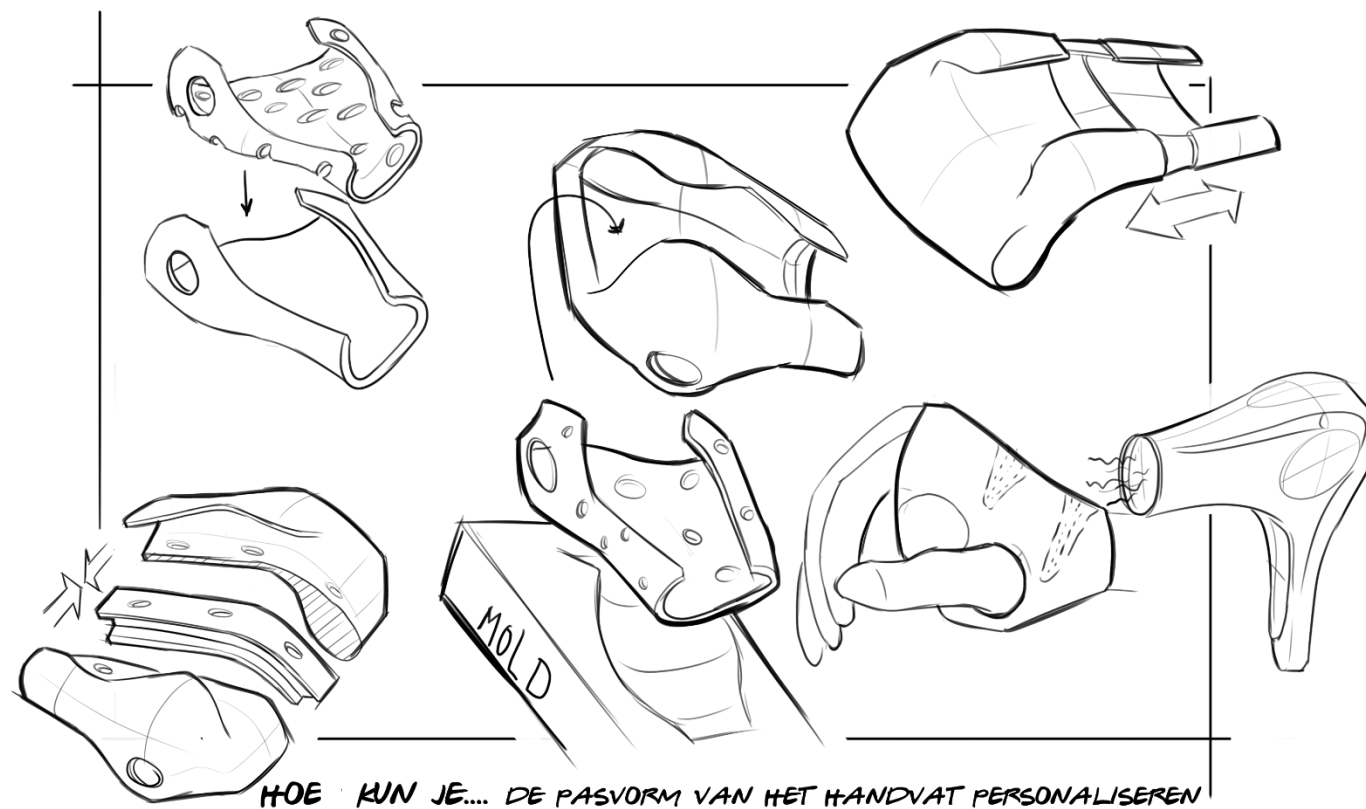
Figuur 21 Ideeschetsen zelfstandig aan- en uitdoen

Pasvorm

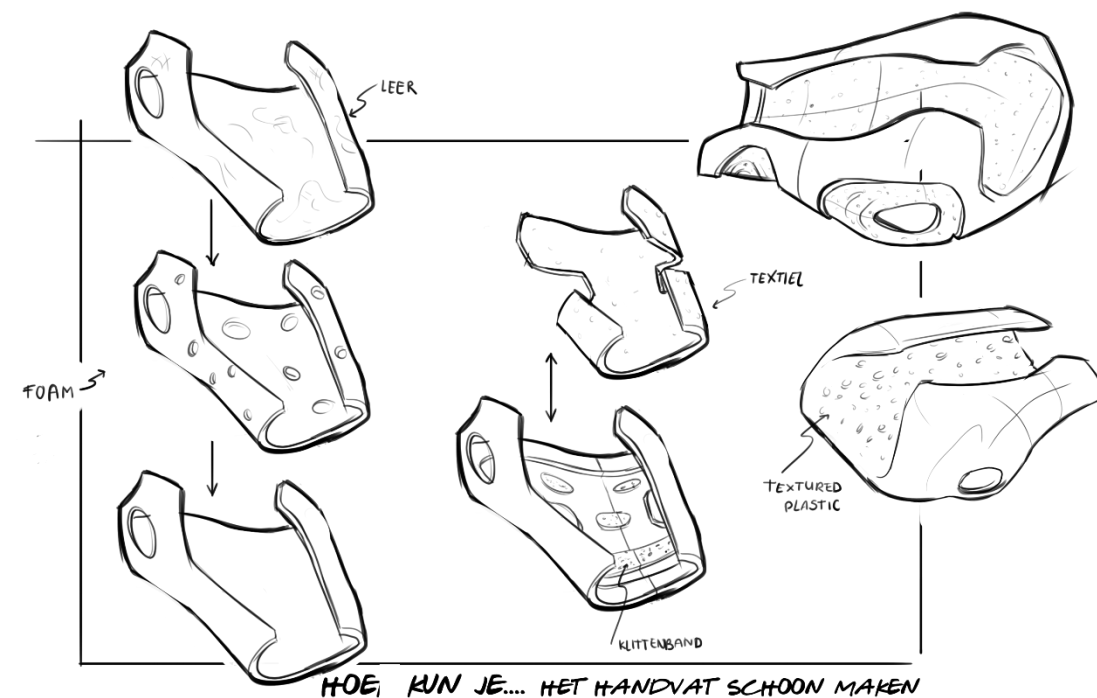
Het aanpassen naar de pasvorm van de handbiker kan op verschillende manieren gedaan worden welke in de basis neerkomen op de volgende twee opties:

1. Door zoveel mogelijk te standaardiseren en enkele aanpassingen te maken, zoals een standaard te 3D-printen model waaruit de pasvorm 'gesneden' wordt.
2. Door een mal van de handen te maken en hier omheen het handvat te maken (digitaal door te 3D-printen of fysiek met behulp van lamineren) en hierin standaard onderdelen te verwerken, zoals de connectie met de as of eventuele scharnierpunten.

Andere geschetste oplossingen zijn het gebruik maken van een standaard handvat waarbinnen een gepersonaliseerd onderdeel gelegd wordt met hierin de pasvorm. Een andere optie is het gebruik maken van thermovormen om zo het standaard 2- of 3D-onderdeel in de juiste vorm te maken.



Figuur 22 Ideeschetsen pasvorm



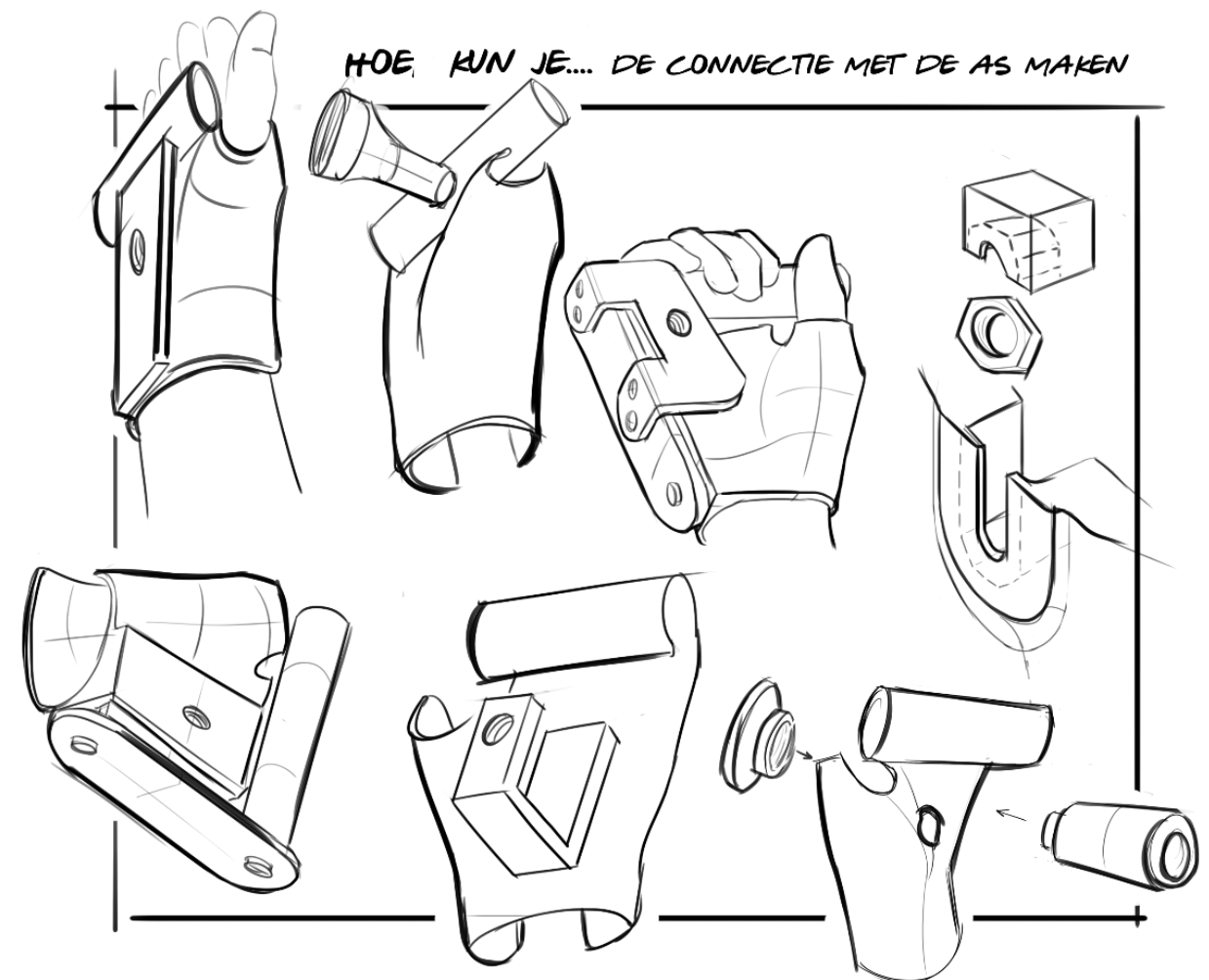
Figuur 23 Ideeschetsen hygiëne

Hygiëne

Het handvat omsluit een groot deel van de handen en dus zal deze vies worden tijdens het sporten. Het eenvoudig schoonmaken van het handvat kan gedaan worden door enkel kunststof te gebruiken dat eenvoudig af te nemen is. Wanneer er wel schuim in het ontwerp wordt verwerkt voor comfort kan dit beschermd worden met bijvoorbeeld leer dat geen vocht opneemt. Een andere keuze is om een schuim- of textiel laag met klittenband op het handvat vast te zetten. Op deze manier wordt het zweet tijdens het handbiken opgenomen, maar is het materiaal wel te wassen.

Connectie met de as

De verbinding met de as die de handvatten verbindt met de cranks, wordt vastgezet met schroefdraad. De geselecteerde productiemethoden brengen enkele ontwerpoverwegingen met zich mee. Wanneer er ge-3D-print wordt is het redelijk eenvoudig om bijvoorbeeld een flens met schroefdraad van binnenuit te verlijmen. Dit geeft een strak uiterlijk. Ook het maken van een verbinding door gebruik te maken van een verborgen moer zou mogelijk zijn. Echter wanneer er gelamineerd of gethermovormed wordt is het bijna onmogelijk de connectie gecontroleerd en nauwkeurig te positioneren. De minst tijdsintensieve en meest haalbare oplossing zal zijn om een recht vlak te creëren, dit kan van buitenaf door extra laagjes op elkaar te lamineren of door een onderdeel tussen de lagen te lamineren. Hierop kan dan bijvoorbeeld een plaat, een profiel of een flens met schroefdraad verlijmt worden.



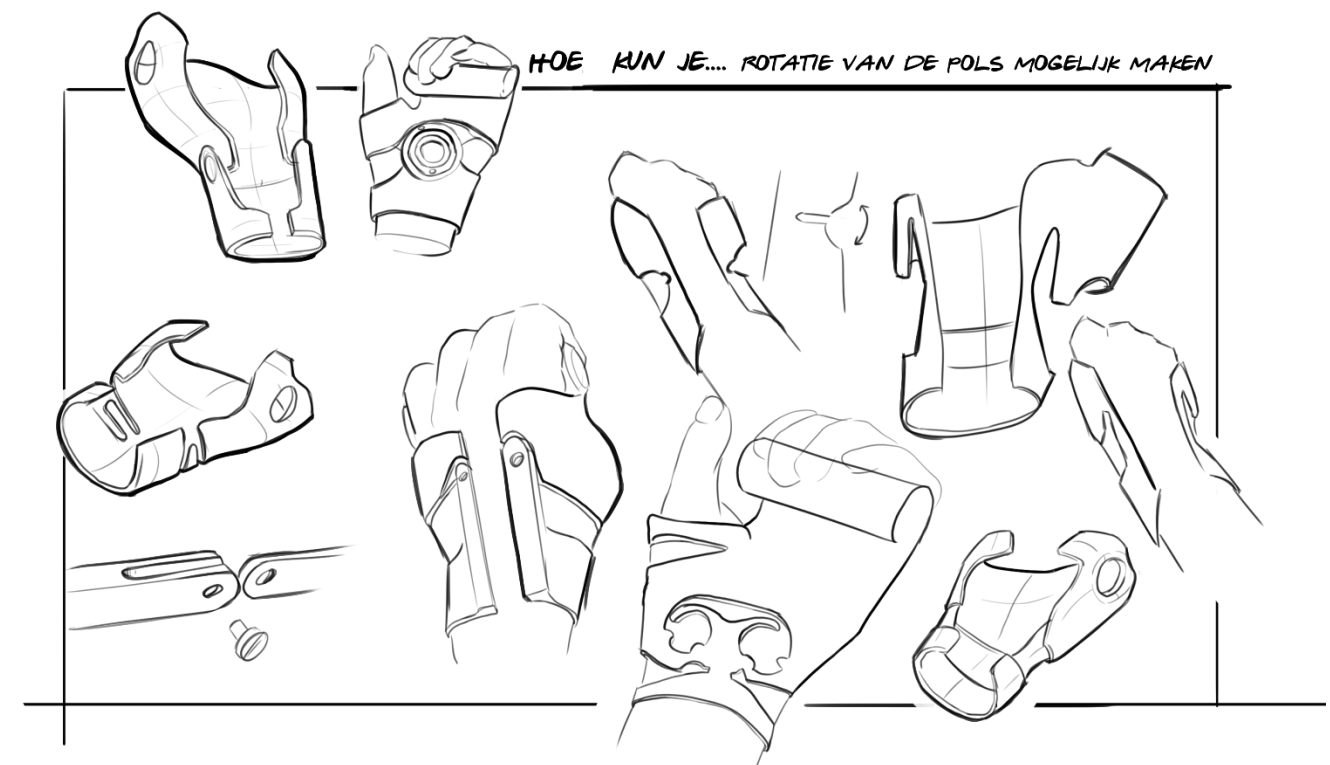
Figuur 24 Ideeschetsen connectie met de as

Functionele customisatie

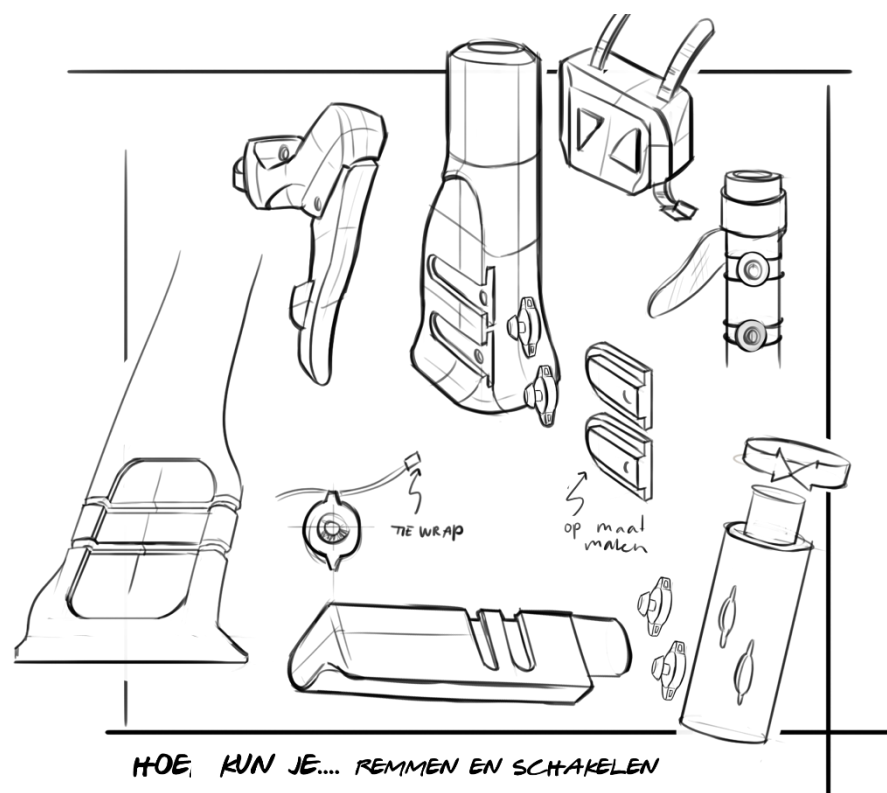
Een idee is om gebruik te maken van rotatie zonder scharnierpunten in de handvatten. Bijvoorbeeld door het toepassen van siliconen dat kan buigen en rekken. Dit kan gecombineerd worden met de oplossing om de pasvorm te creëren in de siliconen laag.

Bij het toepassen van scharnierende onderdelen wordt er aangenomen dat het draaipunt van de beweging voor alle gebruikers relatief gezien op dezelfde plek zitten, of eenvoudig te bepalen zijn. Om rotatie met behulp van scharnieren mogelijk te maken kan de pols niet volledig omsloten zijn omdat de twee onderdelen dan elkaar in de weg zitten. Daarbij is er ook gezocht oplossingen voor het voorkomen van knellingen en harde randen in de pols tijdens het handbiken.

Bij toepassen van een compliant mechanisme als scharnierpunt wordt er gebruik gemaakt van de (elastische) vervorming van het materiaal waardoor iets kan buigen. Hierdoor kunnen het aantal onderdelen sterk verminderd worden, maar zal het van groot belang zijn om een sterk en stijf model te maken. Een andere optie is het gebruik maken van kerf bending, het uitsnijden van lijnen waardoor plaatmateriaal gebogen wordt. Getest zal moeten worden of dit ook toepasbaar is wanneer de oppervlakte 3-dimensionaal gevormd is, doordat de huidige toepassing voornamelijk plaatsvindt binnen de bewerking van plaatmateriaal.



Figuur 25 Ideeschetsen functionele customisatie



Figuur 26 Ideeschetsen remmen en schakelen

Remmen en schakelen

Er is gezocht naar oplossingen waarbij bedieningselementen van de rem en het schakelen te positioneren en monteren zijn na de productie van de handvatten.

In een eerste sessie met de handbiker worden de handen ingemeten om zo de pasvorm van de handen in de handvatten te maken. Het inklemmen van de handen beïnvloedt mogelijk de reikwijdte en vingercoördinatie om te remmen en schakelen.

Er zijn oplossingen bedacht om in een tweede sessie op locatie van de handbiker of bij Wings Technologie onderdelen te monteren. Hierdoor kan de handbiker de handvatten dragen en terugkoppelen of het bedienen van de remmen en schakeling mogelijk is.

Het monteren van de onderdelen kan gedaan worden op de buis, of de onderdelen kunnen volledig geïntegreerd worden in het ontwerp. Oplossingen hiervoor zijn bijvoorbeeld het verwerken van de onderdelen op vlakke oppervlaktes, het kunnen inkorten en draaien van onderdelen en afwerkingsmogelijkheden met tape en schuim voor comfort. Het toepassen van de elektrische versnellingsschakelaars zorgt voor een hoge mate van personalisatie doordat deze compact zijn en op verschillende manieren te monteren zijn.

H2.3 Integrale ideeën

Na de analysefase en het bedenken van de eerste ideeën is er een Quality Function Deployment (QFD) uitgevoerd om de belangrijkste aspecten voor klant en stakeholders in kaart gebracht, hierop zijn de keuzecriteria gebaseerd. Voor de volledige matrix, zie bijlage 6. Quality Function Deployment.

Om tot integrale ideeën te komen zijn de belangrijkste knelpunten behandeld.

Handwortel inklemmen vs. zelfstandig aan- en uitdoen

Een optie is de flexibiliteit van het ontwerp; wanneer deze meebeweegt zal dit minder drukpunten veroorzaken. Het moet echter wel stijf genoeg zijn om de handwortel in te klemmen, ook tijdens piekbelasting.

Aanpasbaar vs. goedkoop en snel gemaakt

Wanneer de handvatten gestandaardiseerd zijn zullen de productiekosten lager zijn en kunnen de handvatten sneller gemaakt worden. Daarbij zal de productie waarschijnlijk nauwkeuriger zijn, waardoor de sterkte van het model beter in te schatten is en minder verschilt. Dit staat tegenover de wens om zoveel mogelijk naar de gebruiker aan te kunnen passen. Bijvoorbeeld de uitlijning en montage van de scharnieren, dit kost extra tijd wat verrekend wordt in de kostprijs.

Handwortel inklemmen vs. remmen en schakelen

Om te kunnen remmen en schakelen is het nodig de vingers in een andere positie te brengen dan waarin deze zijn ingemeten. Dit kan voor drukpunten zorgen of het onmogelijk maken om te remmen of schakelen.

Comfort vs. aan- en uitdoen ingang

Door scharnieren voor de rotatie van de pols ontstaan er minder drukpunten en kunnen handbikers met een hoge dwarslaesie toch handbiken. Het is echter ook van belang dat de handvatten zelfstandig aan- en uit te doen zijn. Door de scharnieren kan het onderste deel weg draaien, waardoor dit moeilijker is. Eventuele oplossingen voor het vereenvoudigen van het aan- en uitdoen worden beperkt door de montage van de scharnieren.



Figuur 27 Integrale ideeën

H2.4 Ideekeuze

Idee 1 maakt gebruik van siliconen in plaats van een scharnierpunt. Hierdoor zijn er minder onderdelen. De as wordt met een metalen blokje in het handvat verbonden. Het ontwerp biedt unieke mogelijkheden voor standaardisatie en dit is onder andere de reden dat dit idee gekozen is om verder uit te werken.

Idee 2 is een 3D-geprint handvat met hard kunststof aan de buitenkant en een zachte binnenkant waarin de pasvorm is mee geprint en de verende scharnieren.

Idee 3 is een gestandaardiseerd ontwerp dat naar de hand van de handbiker gevormd wordt door gebruik te maken van kerfbending.

Idee 4 is door de opening aan de bovenkant ideaal voor mensen zonder vingerfunctionaliteiten. Het model is opgebouwd uit veel standaard onderdelen waardoor deze goedkoop en betrouwbaar is. Dit zijn dan ook redenen dat dit idee hoog scoorde op de criteria en daarom gekozen is om verder uit te werken.

Idee 5 is een gethermovormde 2D uitslag die naar de hand gevormd wordt waardoor dit gestandaardiseerd kan worden.

Idee 6 maakt gebruik van standaard scharnierpunten die mee ge-3Dprint worden. Dit idee is gekozen om verder uit te werken omdat 3D-printen mogelijkheden biedt om zowel de vormgeving als personalisatie te standaardiseren door gebruik te maken van standaard maten.

Idee	1	2	3	4	5	6
Zelfstandig aan- en uitdoen	4	3	3	4	3	4
Inklemmen	4	4	4	3	5	4
Comfort	5	4	3	4	3	4
Goedkoop	4	2	2	5	3	4
Sterk ontwerp	4	2	3	4	3	4
Gestandaardiseerd	5	1	1	3	3	3
Kostprijs	3	4	4	3	3	3
Haalbaarheid ontwerp	2	3	4	3	2	2
Personalisatie	4	5	5	2	2	3
	45	28	29	31	27	31

Tabel 5

H3

• Conceptfase

H3.1 Introductie

In de conceptfase zijn 3 concepten uitgewerkt. Veel aandacht is uitgegaan naar het standaardiseren van het ontwerp en de haalbaarheid van het productieproces. De opbouw van de verschillende onderdelen is geanalyseerd en met een aantal berekeningen is er gekeken of de concepten haalbaar zijn. Er is gekeken naar het comfort tijdens het aan- en uitdoen van de handvatten, maar ook naar de ervaring tijdens het handbiken. De conceptkeuze is gedaan met behulp van een Pugh Matrix op basis van het eerder uitgevoerde QFD.



H3.2 Concept 1

Concept 1 is een volledig 3D-geprint ontwerp. De dimensionering van het ontwerp is gebaseerd op de gegevens uit de analysefase, zie paragraaf [Antropometrie](#). Het uitgangspunt van dit concept is het zoveel mogelijk standaardiseren van de handvatten. Hiervoor zijn 3 maten handvatten ontworpen: S, M en L. De gebruikers, P1-P95, passen op deze manier goed in de handvatten, dit doordat de gemaakte 3D-scan van de handen uit het ontwerp gesneden wordt.

De handvatten worden ge-3dprint. Rekening houdend met de materialen die hiervoor geschikt zijn is een minimale wanddikte van 10 mm nodig om de krachten tijdens het handbiken op te kunnen vangen, zie bijlage 7. Berekeningen Concept 1. De handvatten zijn hierdoor behoorlijk grof. Wel zijn er mogelijkheden met betrekking tot de vormgeving, omdat de buitenkant niet per handbiker gemodelleerd hoeft te worden.

Het zelfstandig aan- en uit kunnen doen van de handvatten wordt vergemakkelijkt door de scharnier aan de pinkzijde van de hand. Deze kan geopend worden tijdens het aan- en uitdoen, maar door de torsieveren sluiten deze daarna en wordt de hand(wortel) ingeklemd. Doordat de doorgang voor de duim volledig open is, zichtbaar in figuur 29, en de rem aan de pinkzijde gemonteerd wordt, is het aan- en uitdoen eenvoudig. Met een testmodel, (figuur 30), is vastgesteld dat de handwortel, na het toevoegen van extra padding, voldoende ingeklemd wordt wanneer de duim niet volledig omsloten wordt. Het testmodel is verder toegelicht in bijlage 8. Testmodellen – test 5. De elektrische versnellingschakelaars liggen verdiept in het oppervlakte waardoor deze eenvoudig te monteren en bedienen zijn. Voor extra comfort kan er padding in het model gevoegd worden wat drukpunten vermindert en zweet opneemt. Door de padding met klittenband vast te zetten kan de handbiker deze wassen wanneer dit nodig is.

Om voor eventuele verschillen in anatomie en houding te kunnen compenseren zijn er translatievlakken in het ontwerp meegenomen. Een gedeeltelijke selectie, de gekleurde delen in figuur 28, van het model kan op de x-, y- of z-as verschoven of geroteerd worden, waarbij de overgangen van omliggende vlakken nog steeds mooi in elkaar doorlopen zonder dat deze per handvat gemodelleerd hoeft te worden.

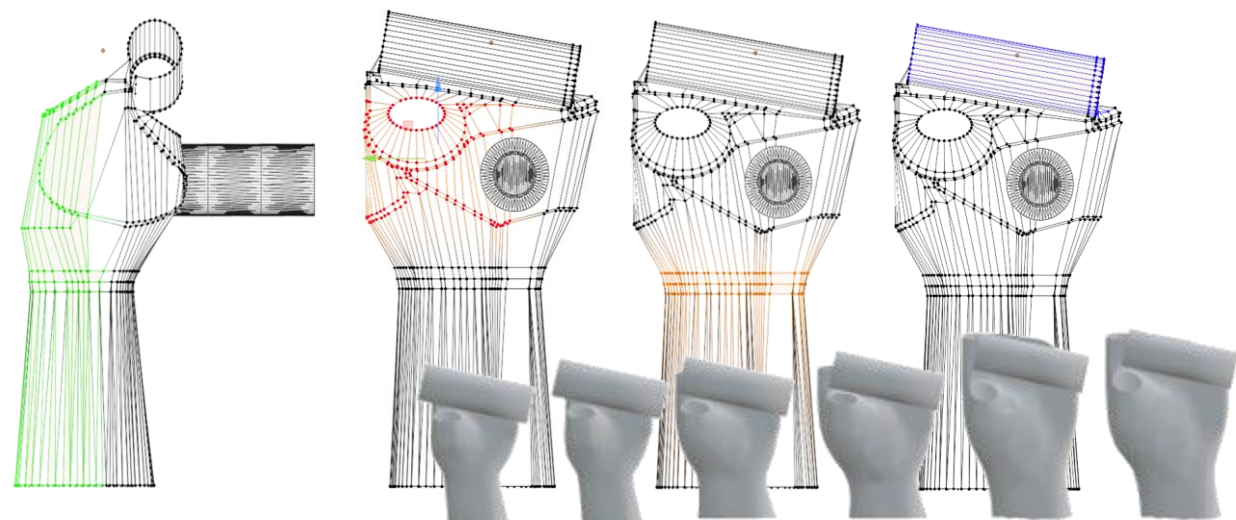
Aanpassingen die altijd gedaan moeten worden zijn:

- Het uitsnijden van de pasvormen
- Het maken van de doorgang voor de duimen
- Het maken van de ingang van de handvatten
- De hoogte van de scharnierpunten aanpassen.

Mogelijke aanpassingen zijn:

- Positie van de duimen (rood)
- Dikte en breedte van de hand en pols (groen)
- Hoogte en rotatie van de buis/greep (blauw)
- Positie (oranje)
- Hoek t.o.v. de remhendel (blauw)

De kostprijs wordt met een grove berekening, zie bijlage 9. kostprijsberekening concepten, geschat op € 280,-.



Figuur 28 Basisafmetingen ontworpen handvatten (P1, P5, P50 en P95) en bewerkbaarheid



Figuur 29 Exploded view

Figuur 30 Testmodel

Figuur 31 Concept 1

Figuur 32
Impressie
vormgevings-
mogelijkheden

H3.3 Concept 2

Concept 2 is te produceren met zo min mogelijk bewerkingstijd op de computer. In een eerste sessie met de handbiker zal een 3D-scan van de handen gemaakt worden, welke verwerkt worden tot mallen met een offset door deze te 3D-printen. Hieromheen worden 2D uitslagen gethermovormd door het materiaal in heet water te verwarmen. Het is hierdoor mogelijk om met enkele modelleer stappen de pasvorm van de handbiker te creëren.

Er zijn tests uitgevoerd om de 2D uitslag te vertalen naar een gethermovormde basis voor het handvat. Hierbij is het van belang dat de juiste punten geïmmobiliseerd worden en mooi aan sluiten om comfortabel te zijn. De conclusies uit deze testen zijn beschreven in bijlage 8. Testmodellen – test 4.

Het gethermovormde onderdeel zal vervolgens gelamineerd worden met carbonvezels en epoxy om de gewenste sterkte van het materiaal te krijgen. Hierdoor is het mogelijk om zonder hoge investeringskosten, bijvoorbeeld voor een vacuümvorm machine of voor dure mallen, de pasvorm van de handbiker te maken.

De binnenzijde van de handvatten worden met een rubberachtig materiaal bekleed. Dit biedt de gebruiker naast comfort ook de mogelijkheid om de pols te roteren, zie figuur 33.

De combinatie van thermovormen en lamineren levert een enigszins flexibel handvat, zoals is gebleken met het testmodel. Hierdoor is het aan- en uitdoen comfortabel, maar wordt de hand(wortel) minder goed ingeklemd. De elastieke banden zijn daarom toegevoegd en oefenen een constante sluitkracht uit oefenen wanneer de hand in het handvat zit. Door deze met klitteband te verbinden kunnen deze strakker en losser gezet worden, of eventueel geheel verwijderd worden.

In de tweede sessie worden de positie van de rem en de versnellingschakelaars op locatie met de handbiker afgestemd. De kostprijs wordt met een grove berekening geschat op € 330,-, het verschil met concept 1 komt voornamelijk voort uit de hogere bewerkingstijd van het ontwerp, zie bijlage 9. kostprijsberekening concepten.



Figuur 35 Testmodellen concept 2



Figuur 33 Rotatie van het model



Figuur 34 Overzicht concept 2

H3.4 Concept 3

Het is eenvoudig het handvat aan te doen voor handbikers die geen vingercoördinatie hebben, doordat de gesloten vuist over de buis geschoven kan worden. Door een scharnier van verenstaal is het handvat flexibel genoeg om vervolgens de hand en pols in het handvat te draaien, getest met een testmodel; bijlage 7. Testmodellen – test 6.

In de ideefasae is geopperd de hand vanaf de bovenzijde het handvat aan- en uit te laten doen. Echter is dit niet mogelijk doordat er tijdens het handbiken een opwaartse kracht geleverd moet worden op deze vakken.

De handvatten zullen ge-3D-print worden en vervolgens gelamineerd. In het modelleerprogramma Blender wordt een standaard al ontworpen onderdeel aan de 3D-scan van de handen verbonden. Ook het rechte vlak waarop het scharnierpunt gemonteerd wordt is eenvoudig te modelleren per handbiker. De uitstraling van dit ontwerp is door de verschillende onderdelen wat industriëler en minder verfijnt.

Montage van de buis wordt gedaan op een metalen plaat door een bout en star nut verbinding. Hierdoor is het mogelijk de rotatie en locatie van de buis aan te passen per handbiker. De rotatie van de pols wordt ondersteund door een scharnierpunt vanuit deze metalen plaat.

De maximale trek- en stuikkrachten op het plaatmateriaal en de as zijn berekend, zie bijlage 10. Berekeningen Concept 3. Door gebruik te maken van een m6 bout, sterkteklasse 4.6 en aluminiumplaat van 2mm dik worden alle krachten goed opgevangen.

Op drukpunten binnen in het handvat zal een rubberachtig materiaal, zoals TPE, ingelegd worden. De kostprijs wordt ongeveer 370,-.



Figuur 36 Exploded view concept 3



Figuur 36 Aanpasbaarheid buis hoek

Figuur 37 Overzicht concept 3



Figuur 38 Testmodel concept 3

H3.5 Conceptkeuze

De conceptkeuze is gemaakt met behulp van een Pugh Matrix. Hierin worden de concepten met elkaar vergeleken op verschillende criteria met verschillende wegingsfactoren, opgesteld op basis van een eerder uitgevoerde Quality Function Deployment (QFD) model. Concept 1 wordt als basis gebruikt waartegen de andere concepten worden vergeleken.

Concept 1 scoort hoog op de snelheid van de productie doordat erg veel gestandaardiseerd is. Aandachtspunten zijn de betrouwbaarheid en sterkte van het ontwerp en materiaal. Doordat dit enkel 3d-geprint wordt is de grote wanddikte qua uitstraling ook een nadeel.

Concept 2 scoort het hoogste en is gekozen om verder uit te werken in de materialisatiefase. Doordat er veel controle is over het productieproces. Zijn de kosten laag en is het uiteindelijk comfort en gebruiksgemak van de handvatten hoog. Verbeterpunten binnen het concept zijn het vereenvoudigen van het aan- en uitdoen en het comfort aan de binnenzijde wanneer de handbiker gaat zweten.

Concept 3 scoort laag op produceerbaarheid en aanpasbaarheid naar de pasvorm en benodigde functionaliteiten. Wel is het concept eenvoudig aan- en uit te doen en is het een sterk en betrouwbaar ontwerp.

		1	2	3
	<i>Factor</i>			
Connectie met de as is snel te maken	3	s	1	-1
Handwortel inklemmen tot voor geschreven handrug	5	s	1	-1
Pols bewegingsvrijheden worden ondersteunt	3	s	1	-1
Aanpasbaar naar pasvorm, niet te strak en niet te los	5	s	s	-1
Geen scherpe randen bij rotatie	2	s	2	-1
Zweet wordt opgenomen of kan opdrogen en kan schoon gemaakt worden	1	s	-1	1
Remmen en schakelen op handvat	3	s	1	1
Flexibiliteit van het product	2	s	2	1
Aan- en uitdoen kan gedaan worden zonder vinger coördinatie	2	s	-1	2
Zoveel mogelijk gestandaardiseerde onderdelen	2	s	-1	1
Gepersonaliseerde pasvorm is snel te maken	2	s	1	1
Productie is snel en goedkoop	2	s	-1	-1
Onderdelen zijn demontabel	2	s	s	2
Sterkte van het product	2	s	1	2
Totaal +		0	17	10
Totaal -		0	3	10
Totaal		0	14	0
gewogen +		0	24	18
Gewogen -		0	7	20
gewogen totaal		0	17	-2

Tabel 6 Conceptkeuze matrix

H4.

● Materialisatiefase

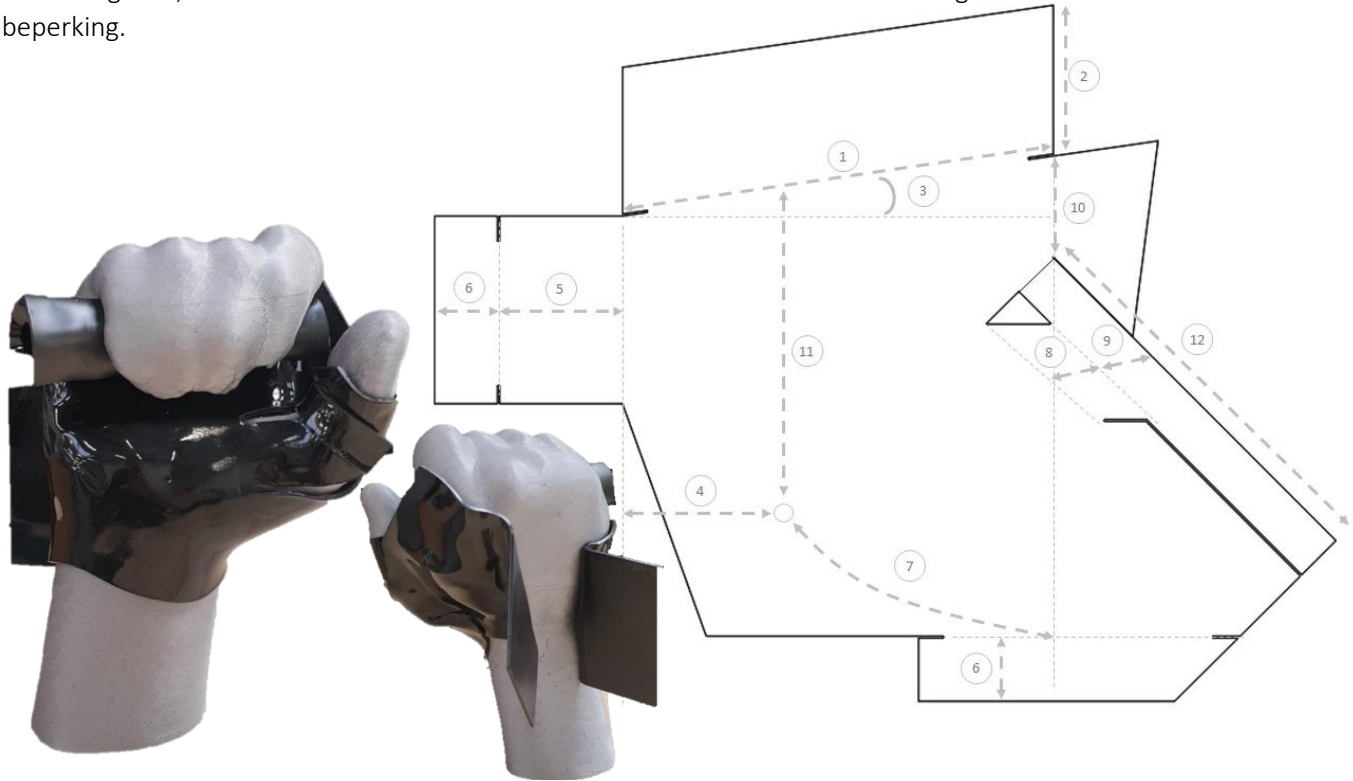
H4.1 Introductie

Het gekozen concept is verder uitgewerkt in de materialisatiefase. Er zijn verschillende testmodellen gemaakt waarin materiaal, ontwerp en comfort centraal stonden. Door verbeteringen te maken aan bestaande oplossingen en processen is het ontwerp eenvoudiger te produceren en fijner in gebruik. Het ontwerp is getoetst aan het Programma van Eisen en Wensen om aanbevelingen te doen voor de toekomst.



H4.2 Ontwerp optimalisatie

In de materialisatie fase is de 2D uitslag verder getest om tot een beter eindresultaat te komen. De opbouw van deze uitslag is gebaseerd op afmetingen van de hand en is eenvoudig aan te passen naar de afmetingen van de handbiker. In het hoofdstuk 5 wordt verder ingegaan op de mogelijkheid om het ontwerp te standaardiseren naar uitvoeringen S, M en L door het creëren van een database van handafmetingen van mensen zonder en met beperking.



Figuur 36 Thermovormen van het eindmodel

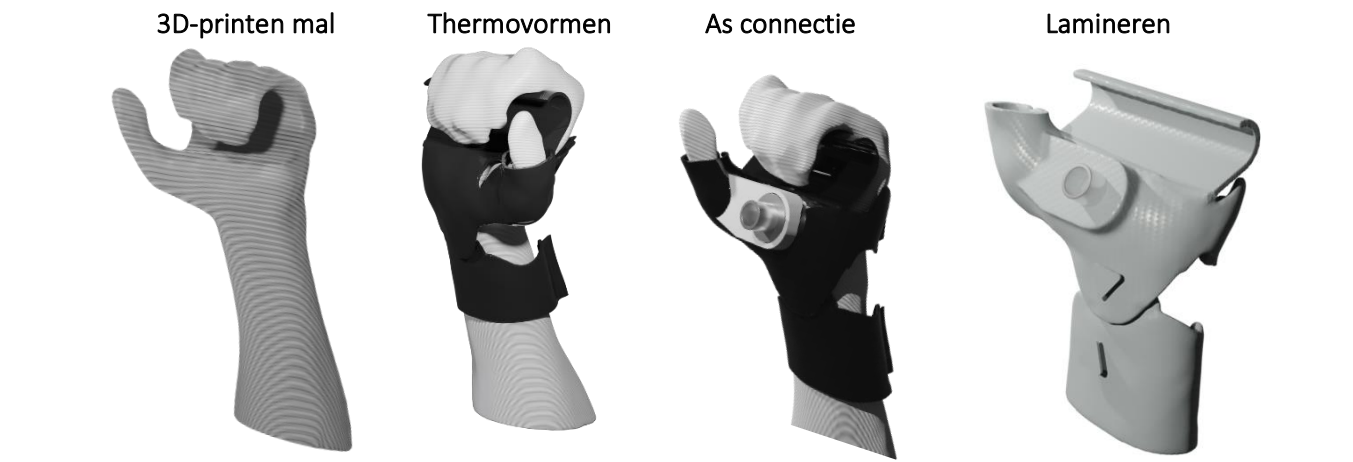
1	Breedte van de knokkels	7	Omtrek van radiaal en ulnair draaipunt tot inklemming handrug
2	Greepdiameter	8	Afstand duimbasis gewricht tot MCP-gewricht
3	Hoek van de greep t.o.v. de onderarm	9	Afstand MCP-gewricht tot Dipgewricht
4	Afstand pinkzijde tot radiaal en ulnair draaipunt	10	Afstand tussen MCP-gewricht van de wijsvinger en de duim
5	Dikte van de handpalm + lengte van inklemming op de handrug	11	Palmlengte
6	Lengte van trechtervormige ingang	12	Omtrek van de duim tussen het MCP- en DIP-gewricht

Tabel 7 Opbouw van de 2D uitslag

Handvat basis - De 2D uitslag van polystyreen wordt uit 2mm plaatmateriaal laser gesneden door een extern bedrijf. De nieuwe 2D uitslag maakt efficiënter gebruik van het materiaal en is, wanneer gestandaardiseerd, hierdoor goedkoop. Doordat polystyreen een vrij bros materiaal is kan het na het inkerven van de 2D uitslag met een Stanley mes ook met de hand uit het plaatmateriaal gescheurd worden. Dit biedt een oplossing totdat de uitslagen gestandaardiseerd worden en dus per handbiker aangepast moeten worden.

De 2D uitslag kan gethermovormd worden tot een handvat basis met zo min mogelijk gaten in het oppervlakte. Hierdoor is het lamineren eenvoudiger en worden de uiteindelijke handvatten stijver en sterker. Polystyreen is goed vormbaar naar de vorm van de mal wanneer deze met een heteluchtpistool verhit wordt; bij te hoge temperaturen kan het materiaal kneedbaar tot vloeibaar worden. Dit kan voorkomen worden door gebruik te maken van een op temperatuur instelbare heteluchtpistool.

As connectie - Tijdens het modelleren van de mallen wordt de vorm van de handpalm verwerkt in het standaard onderdeel voor het monteren van flens. Door dit onderdeel is er controle over de hoek waarop de flens t.o.v. de handpalm gelamineerd wordt.

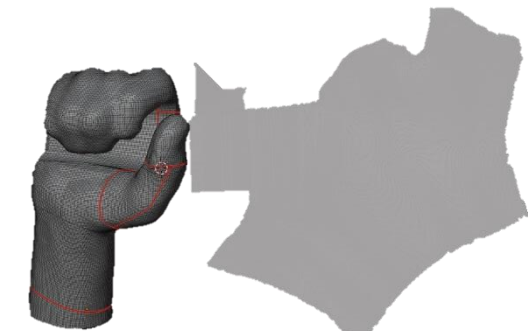


Figuur 37 Productie proces

Lamineren - Na het uitvoeren van verschillende testen is gebleken dat het lamineren van de binnen- en buitenzijde in losse sessies het oppervlaktekwaliteit, zowel in sterkte als in afwerking, ten goede komt. Tijdens het lamineren wordt er over de randen van het polystyreen gelamineerd, maar worden de vezels niet omgevouwen om spanningen en bobbels in het model te voorkomen. Nabewerking kost hierdoor aanzienlijk minder tijd en bestaat uit het wegslijpen van de ruwe randen, het aanbrengen van een egale laag epoxy en het spuiten van het oppervlakte in de gewenste kleur.

Aan- en uitdoen - Het aan- en uitdoen van de handvatten kan zelfstandig gedaan worden doordat de trechtervormige ingang de hand geleidt en zo scherpe randen vermijdt. De handwortel wordt comfortabel in het handvat geklemd zodat gehandbiked kan worden zonder gripkracht. De handvatten zijn zo ontworpen dat er geen materiaal is rond punten waar vaak weinig vet en/of spiermassa tussen het handvat en de hand is. Een laag neopreen zorgt voor padding en voorkomt drukpunten binnen het handvat. Een laag kunstleer beschermt het foam tegen slijtage van het aan- en uitdoen van de handvatten en zweet tijdens het handbiken. Kunstleer rafelt niet waardoor er geen zomen genaaid hoeven worden die tijdsintensief zijn om te maken en drukpunten op de huid veroorzaken.

Het neopreen en kunstleer is eenvoudig en strak voor ieder handvat te maken door middel van de UV-unwrap functie binnen Blender. Hiermee worden er 2D-uitslagen gemaakt van het oppervlakte van het handvat.



Figuur 38 2D uitslag van de padding



Figuur 39 Padding aan de binnenzijde

Buis - De remmen en de elektrische versnellingschakelaars worden gemonteerd op de buis. Het dragen van de handvatten beïnvloedt de (in sommige gevallen al beperkte) vingerfunctionaliteit van de handbiker. Het is daarom mogelijk om de schakelaars tijdens het opleveren van de handvatten te positioneren en eenvoudig te monteren door het profiel op maat te zagen en vast te schroeven in de rampamoeren. Eventuele aanpassingen kunnen gedaan worden doordat de onderdelen demontabel zijn. Inwendig is ruimte voor de draden van de schakelaars, zodat deze niet beschadigen en netjes weggeleid worden naar de draden van de rem. De onderdelen zijn zo ontworpen dat supports voor het 3D-printen op plekken komen die goed toegankelijk zijn en waar nauwkeurigheid niet kritisch is voor het functioneren. Zie bijlage 12. voor de technische tekeningen van deze onderdelen.



Figuur 39 Opbouw van de buis

Scharnieren - De rotatie van de pols tijdens het handbiken is mogelijk door het elastische onderdeel aan de buitenzijde. In de conceptfase werd een rubberen 'kraag' tussen het bovenste en onderste gedeelte gelijmd. Uit testmodellen, zie bijlage 8. Testmodellen – test 9 werd duidelijk dat dit lastig te lijmen is door het type materiaal en de organische vorm. Ook is het oncomfortabel wanneer het materiaal aan één zijde van de buiging in elkaar vouwt. In het huidige ontwerp wordt het onderdeel over 'pinne' geschoven aan de buitenzijde. Aan de binnenzijde wordt dit door een bout gedaan om drukpunten te voorkomen maar het elastische onderdeel wel vast te kunnen zetten.

De onderdelen zijn demonteerbaar en de handbiker heeft hierdoor de keuze om het onderste deel wel of niet te dragen. In het linker model van figuur 40 is enkel de flexie van de pols geïmmobiliseerd. In het rechter model wordt ook de radiale en ulnaire abductie beperkt zodat er minder coördinatie van de pols nodig is om te handbiken.



Figuur 40 Rotatie

Inklemming met elastiek - Wanneer de handbiker zweet kan het voorkomen dat de handen opzwellen. Het is mogelijk de inklemmingskracht van het handvat in te stellen door het elastiek aan de binnenzijde. In het concept wordt dit aan de buitenzijde van het handvat gedaan om drukpunten op de huid te voorkomen. In de materialisatiefase is dit verder uitgewerkt naar een systeem dat strak, compact en functioneel is.

Om slijtage van het elastiek en het composiet te voorkomen wordt het elastiek niet door een gat in het handvat geleidt, maar door een 3D-geprinte huls. Door een knoop te leggen in het elastiek blijft deze hangen in de huls. Om het elastiek strakker te zetten kunnen de uiteindes met klittenband verplaatst worden.



Figuur 41 Elastiek voor verbeterde inklemming

Figuur 42 Inklemmingskracht instellen

Testmodel - In figuur 43 is een testmodel zichtbaar met eerder genoemde onderdelen en opbouw. Zie bijlage 8. Testmodellen – test 10 voor verdere toelichting. Op basis van dit model zijn er aanbevelingen geschreven voor toekomstige ontwikkelingen van het product.



Figuur 43 Eind testmodel

H4.3 Materiaalkeuze

Handvat basis | **Polystyreen**

In eerdere modellen zijn 3D-geprinte 2D uitslagen gemaakt van het bioplastic PLA, welke vervolgens verhit werden om te kunnen thermovormen rond een mal. PLA is een materiaal met een lage glasovergangstemperatuur (50 – 80 graden °C) waardoor heet water genoeg was om het materiaal te kunnen thermovormen.

Om de productie op te kunnen schalen is het efficiënter de 2D uitslag te lasersnijden uit plaatmateriaal. PLA als plaatmateriaal is echter slecht verkrijgbaar. Polystyreen heeft soortgelijke materiaaleigenschappen, kan laser gesneden worden zonder dat er giftige gassen ontstaan en is verkrijgbaar. Doordat de glasovergangstemperatuur van PS hoger is zal het niet voldoende zijn om het materiaal in water te verhitten. Dit zal gedaan worden met een heteluchtpistool.

	Eenheid	PLA	PS
E-modulus	Mpa	2300	1900-2900
Treksterkte	MPa	36	32-44
Glasovergangstemperatuur	°C	57-63	100

Tabel 8 Materiaalkeuze handvat basis

Mal | **Polycarbonaat**

Door de mal te 3D-printen van een materiaal met een hogere glasovergangstemperatuur kan voorkomen worden dat de mal ook vormbaar wordt door de hitte van het heteluchtpistool. Zowel acryl-styreen-acrylonitril (ASA) als polycarbonaat (PS) hebben een hogere glasovergangstemperatuur dan PS. Voor het maken van een mal zal ongeveer zo’n 350 gram filament nodig zijn, wanneer de mal 20% infill heeft.

Door voor PC als materiaal te kiezen zullen de materiaalkosten niet €14 voor ASA filament zijn, maar €21 zijn. Dit is een klein percentage wanneer gekeken wordt naar de kostprijs van €500 voor het gehele product en de nauwkeurigere productie die mogelijk is door gebruik te maken van PC.

	Eenheid	PLA	ASA	PC
Glasovergangstemperatuur	°C	57-63	112	147
Kosten/kg	€	40	25	60

Tabel 9 Materiaalkeuze mal

Padding| **Neopreen (CR) en kunstleer**

Open cell foams zijn zachter en comfortabeler voor het handvat. Een nadeel van deze open cellen is dat er veel vochtopname is. Er is gekozen voor neopreen padding op basis van de materiaaleigenschappen. Ook wordt neopreen al veel gebruikt in de handbike wereld waardoor er ervaring met het materiaal is. Om vochtopname tegen te gaan wordt de laag beschermd met kunstleer.

	EVA	PA12	NBR	CR	Silicone
Price eur/kg	1,25	5,94	2,08	3,29	3,36
youngs modulus GPa	0,007	0,35	1110	1230	0,005
compressive strength MPa	12-20	48	18-30	14,4-28,8	8,4-13,8
elastic stored energy kJ/m^3	5230-6840	617-834	18200-49300	42100-142000	787-8230
tear strength			30-50	35-44	10-40
Shore A			65-75	40-46	30-75

Tabel 10 Materiaalkeuze padding

Handvat lamineren | **Non-crimp fabric en unidirectioneel E-glas** (alumino-borosilicate) |

Huidige testen zijn gedaan met carbonvezels wat goede resultaten leverde op gebied van sterkte. Om het ontwerp te optimaliseren is gezocht naar een vezel en hars combinatie dat minder bundels vezels loslaat tijdens het lamineren. Dit zorgt voor veel nabewerkingstijd en maakt het tot een glad oppervlakte afwerken bijna onmogelijk. Andere eigenschappen die het materiaal moet hebben is een goede drapeerbaarheid, zodat het weefsel spanningsloos op en rond de organische vormen van de handvatten gelegd kan worden zonder dat dit loskomt.

Vezeltype

Veel gebruikte vezels met een hoge E-modulus zijn koolstofvezels, glasvezels, basaltvezels en aramidevezels. Glasvezels hebben over het algemeen een treksterkte en elasticiteitsmodulus die overeenkomen met carbonvezels. Daarbij zijn glasvezels beter te draperen, heeft het een lagere CO²footprint en is de prijs per kilogram lager.

Weefsel of non-crimp fabric

Bundels van vezels kunnen in verschillende patronen gewoven worden, wat invloed heeft op bijvoorbeeld de krimp (de bochten en draaien in de lengte van de vezel) en de drapeerbaarheid. Veel voorkomende weefpatronen zijn de plain weave, basket weave, twill weave en de satin weave. Hoe losser het weefpatroon (bijvoorbeeld satin en keeper) hoe beter het materiaal te draperen is. Vezelbundels kunnen ook parallel aan elkaar liggen en niet door het weefpatroon maar door stiksel aan elkaar verbonden worden. Deze non-crimp fabric heeft een betere drapeerbaarheid dan de gewoven vezels. (Rodgers et al., 2018)

Unidirectioneel of meer-assig laminaat

Laminaat wordt opgebouwd uit lagen, ook wel lamellen genoemd. Wanneer er een lamel voornamelijk opgebouwd is uit vezelbundels in één richting, wordt dit materiaal een unidirectioneel laminaat genoemd. Hierdoor is de e-modulus loodrecht op deze vezels veel sterker is in vergelijking met meer-assig laminaat dat in verschillende richtingen redelijk sterk is. Meer-assig laminaat is daarentegen wel beter te draperen. (“Unidirectional Carbon Fibre Reinforcements - Easy Composites”, z.d.) (Nijssen, 2013)

De materiaalkeuze op basis van deze gegevens en verschillende materiaaleigenschappen van vezels is Non-crimp fabric en unidirectioneel E-glas geworden.

Er zijn berekeningen gedaan om te controleren welk type glasvezel en in welke laagdikte sterk genoeg is om de maximale belasting van 800 N op te kunnen vangen. Wanneer er gebruik gemaakt wordt van 1mm dik glasvezellagen (type E) op 2 mm dik PS zal er een maximale spanning optreden van 240 N/mm². De maximaal toelaatbare spanning van dit materiaal, bij een veiligheidsfactor van 1.5, is 300 N/mm².

$$Ma - (F * r) = 0 \, N$$

$$\begin{aligned} \sum M &= 0 \\ \sum M &= Ma - (800 * 15) \\ Ma &= 12000 \, Nmm \end{aligned}$$

$$Wb = \frac{\frac{1}{6} * b * h^2}{e}$$

$$Wb = \frac{\frac{1}{6} * 50 * 3^2}{1,5}$$

$$Wb = 50 \, mm^3$$

$$\sigma b = Ma / Wb$$

$$\sigma b = 12000 / 50$$

$$\sigma b = 240 \, mm^2$$

Hierin zijn:

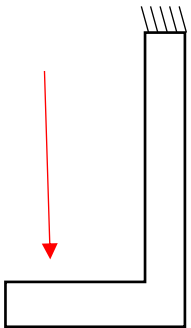
$$F = 800 \, N$$

$$r = 15 \, mm$$

$$b = 50 \, mm$$

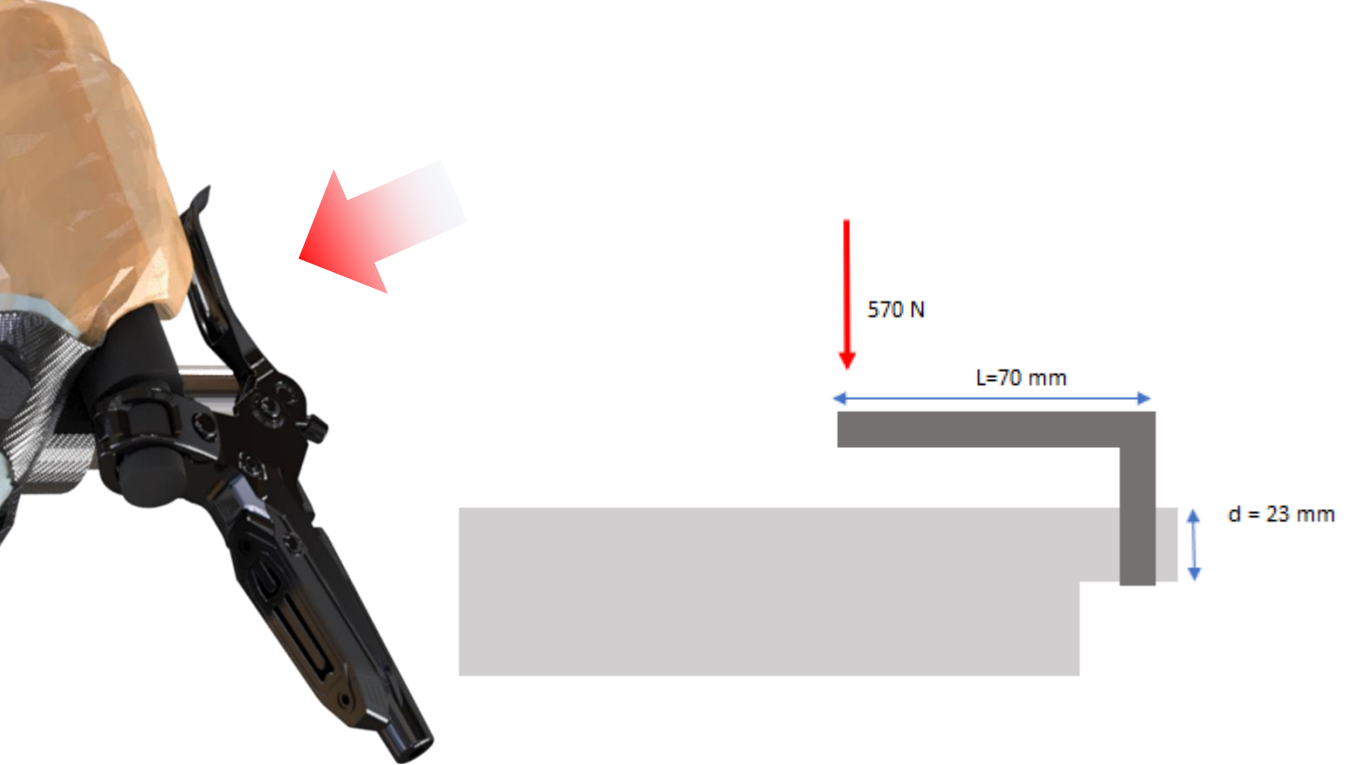
$$h = 3 \, mm$$

$$e = 1,5 \, mm$$



Buis | CF PLA

De rem wordt op het handvat gemonteerd en het is van belang dat deze niet breekt tijdens maximaal remmen. De maximale knijpkracht van p95 gebruiker is ongeveer 570 N (Hanten et al., 1999). Er ontstaat een moment van 25,6 GPa, wat een spanning van 36 MPa oplevert. De buis wordt met Carbon Fiber PLA geprint, wat een treksterkte van 57,9 N/mm² heeft. De maximaal toelaatbare spanning met een veiligheidsfactor van 1.5 is 38 N/mm² en wordt dus niet overschreden.



Figuur 44 Krachten op de remhendel en buis

Scharnieren | Ethyleen Propyleen Dleen Monomeer (EPDM)

Het elastische onderdeel voor de scharnieren wordt met name op trek belast. Uit een onderzoek naar de aanvaardbare krachten bij het herhaaldelijk draaien van de pols (Snook et al., 1997) is het gemiddelde moment omgerekend naar de P95 gebruiker. Dit is gebruikt om de maximale kracht die door de pols uitgeoefend kan worden te berekenen, wat neerkomt op 45 N. Dit betekend dat wanneer er gekozen wordt voor 2 mm dik EPDM de tear strength tussen de 40 en 60 N ligt en dus toereikend is.

	NBR+PVC	TPO	TPU	Siliconen	EPDM
Price eur/kg	2,36	1,87	4,34	3,36	1,6
youngs modulus GPa	0.0021	0.7	0.01	0.005	0.002
Yield strength MPa	6.9-17	18,6-24	15.6-16.4	7-11.5	1,5-2,5
compressive strength MPa	8,28-20	22,3-28,8	61.1-71.2	8.4-13.8	1,8-3
elastic stored energy kJ/m^3	6850-38000	236-389	5210-7000	787-8230	951-3110
tear strength N/mm	25-42	95,9-115	117-123	10-40	25-30
Shore A	45-70	95-100	92-97	30-75	20-40
Elongation at yield %	350-570	451-732	19-20	270-600	500-700

Tabel 11 Materiaalkeuze scharnieren

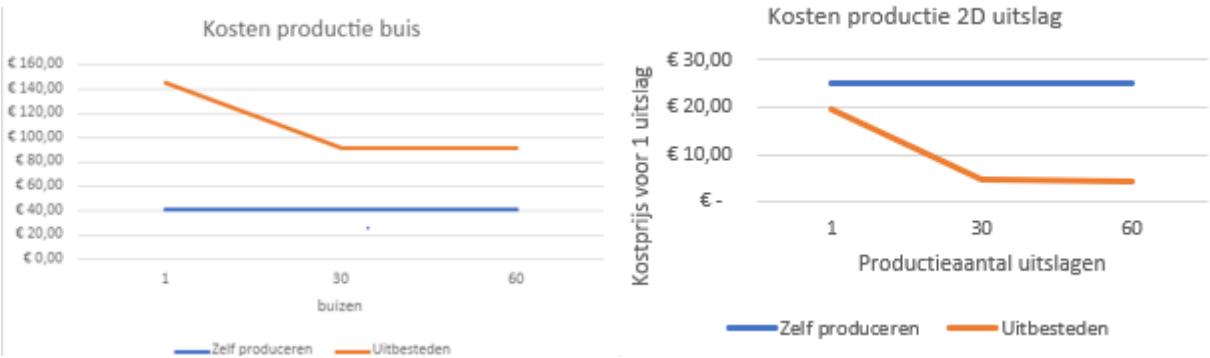
Oppervlakte afwerking | Epoxy spuitverf

Het gelamineerde oppervlakte wordt geschuurd en eventuele gaten of fouten worden met epoxy weggewerkt. Hierna wordt het oppervlakte met gekleurde epoxy spuitverf in de gewenste kleur gespoten. Epoxy spuitverf is geschikt om langdurig aan de elementen blootgesteld te worden en is resistent tegen schoonmaakmiddelen en zouten.

H4.4 Kostprijs

De verkoopprijs van de ingemeten handvatten moet onder de 500 euro zijn. In tabel 12 zijn de kosten weergegeven en is zichtbaar dat dit behaald is.

Er is gekeken naar het uitbesteden van de productie van de 2D uitslagen (lasersnijden) en de verschillende onderdelen van de buis (3D printen). Wanneer er in de toekomst 2D uitslagen voor de maten S, M en L zijn, wordt het snel voordeliger de uitslagen te laten lasersnijden in plaats van zelf ontwerpen en 3D printen. Dit is niet het geval voor de kosten die gemaakt worden bij het uitbesteden van het 3D-printen. Deze blijven hoger dan wanneer de onderdelen zelf 3D-geprint worden. Daarom wordt de productie hiervan niet uitbesteed.



Figuur 45 Productiekosten buis en 2D uitslag

Fase	Handeling	Materiaal-kosten	Tijd	Arbeids-kosten	Machine/gereedschap	Investerings-kosten*	Totale kosten
3D-scan maken							
	Scannen van de hand	€ 2,00	0,50	€ 25,00	Ipad	€ 600,00	
					Structure scanner	€ 1.000,00	
							€ 27,12
Mal maken							
	Scan mesh aanpassen		0,4	€ 20,00	Blender		
	Offsets maken		0,2	€ 10,00	Blender		
	Connectie flens modelleren		0,2	€ 10,00	Blender		
	Mal printen	€ 4,00	0,6	€ 30,00	3D-printer		
							€ 74,00
Handvat maken							
	2D-uitslag maken*	€ 4,38	0	€ -	Lasersnijden		
	Thermovormen		0,6	€ 30,00	Heteluchtpistool		
	Lamineren	€ 25,00	0,6	€ 30,00			
	Schuren en lakken	€ 4,00	1,5	€ 75,00			
	Padding invoegen	€ 7,00	0,5	€ 25,00			
	Zeilring en elastiek	€ 5,00	0,3	€ 15,00			
							€ 220,38
Buis maken							
	Buis 3D-printen	€ 2,00	0,1	€ 5,00	3D-printen		
	Positionering van de shifters en remhendel		,5	€ 25,00			
	Afwerken buis		0,4	€ 20,00			
							€ 52,00
Totale kostprijs							€ 373,50
*	In 2 jaar terug verdienen (60 stuks)						
**	In de situatie waarbij er een gestandaardiseerd ontwerp is wat gelasersneden kan worden, 60 stuks besteld						
					Overheadfactor	10,00%	€ 410,85
					Winstfactor	10%	€ 451,93
					BTW	9%	€ 492,60

Tabel 12 Kostprijsberekening

H4.5 Advies eisen inmeetmethode

Het ontwerp van de ingemeten handbike handvatten stelt bepaalde eisen aan de inmeetmethode. Het doel is om zo veel mogelijk afmetingen en houdingen te standaardiseren/vast te zetten tijdens het inmeten. Dit zorgt ervoor dat het productieproces meer gestandaardiseerd kan worden. Door variabelen instelbaar te maken kan er op gecontroleerde wijze de meest optimale individuele handpositie van de handbiker gevonden worden. Door deze positie 'vast te zetten' tijdens het inmeten worden fouten in de scan voorkomen.

Het kunnen instellen en vastzetten van de inmeetinstallatie maakt het mogelijk om de meest comfortabele positie vast te leggen zonder dat de positie verandert tijdens het inmeten en hiermee de nauwkeurigheid van de scan verlaagt.

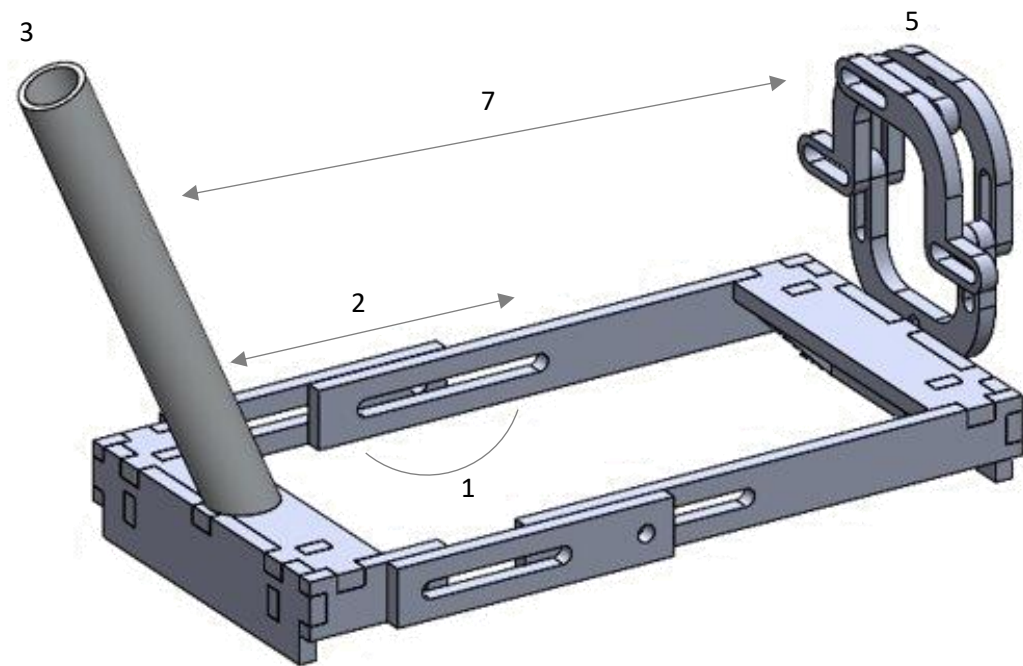
(1) De buis in de handpalm bepaald de hoek tussen de handpalm en de onderarm, er wordt verwacht dat dit in de optimale-neutrale positie gemiddelde rond de 10-20 graden zal zijn. Deze hoek moet echter wel instelbaar zijn om eventuele afwijkingen op te kunnen vangen. Het draaipunt hiervan ligt op het capitate bot (verlengde van de middelvinger). **(2)** Naast de hoek dient dus ook de afstand tussen het draaipunt en de buis instelbaar zijn. **(3)** Daarbij moet de buis te verwisselen zijn, zodat er voor elke gebruiker een evenwicht gezocht kan worden tussen een comfortabele grip en **(4)** zoveel mogelijk van het handpalm oppervlakte kunnen scannen.

(5) De positie van de vingers en duim moet voor iedereen enigszins gelijk zijn, waarbij het uitgangspunt de eerder bepaalde optimale handpositie is. Bekeken moet worden hoe en of dit beïnvloed moet en kan worden, bijvoorbeeld door het toepassen van eerder gedane test met open duim, waarbij de duim automatisch gepositioneerd wordt.

Het bepalen van de draaipunten van de pols biedt informatie die later in het productieproces van belang is. **(6)** Wat van belang is, is dat voor elk draaipunt van de pols de 2 uiterste punten aangegeven worden in de scan (links – rechts voor de flexie en extensie en voor en achter in het geval van ulnaire rotatie).

(7) Een groot deel van de onderarm moet ingemeten zijn, met als richtlijn minimaal de helft van de totale lengte.

In figuur 46 is een schematische weergave van hoe de inmeetinstallatie gemaakt zou kunnen worden.



Figuur 46 Voorstel inmeetinstallatie

H4.6 Toetsing aan het Programma van Eisen en Wensen

Het ontwerp van de ingemeten handbike handvatten voldoet aan veel van de opgestelde eisen.

Vervaardigen

Er wordt voldaan aan bijna alle inmeet en productie eisen door een slimme opbouw van aanpasbare onderdelen. De productiemethodes die gebruikt worden zijn toegankelijk en hebben lage investeringskosten. Alleen de huidige oplossing voor de montage van de flens in het handvat voldoet nog niet volledig.

- *Montage van de flens t.b.v. de connectie met de as is mogelijk op het handvat. Er is controle over de positie en hoek van de flens.*

Dit komt doordat het PS gethermovormed wordt over de mal, maar niet 100% dezelfde vorm aanneemt. Hierdoor sluit het 3D-geprinte onderdeel niet volledig aan.

Er zijn ook een aantal eisen die niet volledig getest zijn, of waar nog verbetering voor nodig is om te kunnen voldoen. Er is nog geen test uitgevoerd door een handbiker met een hoge dwarslaesie waardoor niet zeker kan zijn dat aan de volgende eis is voldaan.

- *De handbiker ervaart geen discomfort en er zijn geen knelpunten of verminderde doorbloeding op de handen zichtbaar tijdens en na het handbiken voor 30 minuten.*

In de periode tussen het inleveren van het eindverslag en de presentatie zal er een test gedaan worden met een handbiker met een hoge dwarslaesie. Er zijn een aantal conclusies die al getrokken kunnen worden op basis van het testmodel in bijlage 8. Testmodellen – test 9 en 10.

Aan- en uitdoen

- *De handvatten zijn zelfstandig aan- en uit te doen, ook met beperkte arm- en handfunctionaliteit.*
- *De handvatten zijn in 10 seconden uit te doen door een handbiker met een hoge dwarslaesie.*

Tijdens het produceren van gemaakte testmodellen tot nu toe is de ingang van de handvatten te klein gemaakt waardoor er niet aan deze eisen voldaan wordt. Een ander verbeterpunt is het wegdraaien van het onderste deel tijdens het aandoen, waardoor dit niet zelfstandig gedaan kan worden.

Handbiken

- *De handvatten zijn aan te passen zodat deze bruikbaar zijn voor zowel mensen met volledige arm- en handfunctionaliteit, als voor mensen met weinig/zonder functionaliteit vanaf de ellebogen.*

De huidige oplossing van het scharnier maakt het mogelijk om te handbiken met verminderde arm- en handfunctionaliteit. Er is echter ruimte voor verbetering, doordat er nog te veel ruimte voor bewegingen van de pols. Hierdoor wordt de handbiker niet ondersteunt in de bewegingen en wordt er ook maar weinig kracht van boven de pols overgebracht naar de as.

- *Het is voor handbikers die vingerfunctionaliteit hebben mogelijk de versnellingschakelaars en de rem te bedienen tijdens het handbiken.*

De P1 gebruiker heeft een vingerlengte van 70 mm, maar de huidige omtrek van de buis is 120 mm. Dit betekent dat de buis verder in de handpalm komt te liggen. Dan is de bediening van de schakelaars wel mogelijk is, maar wordt de hand minder goed ingeklemd en dit is niet optimaal. Gezocht moet worden naar een manier om de omtrek van de buis te verkleinen.

Zie bijlage 10. Toetsing Programma van Eisen en Wensen voor de volledige toetsing van het product.

H5.

Evaluatie

H5.1 Introductie

In dit hoofdstuk worden ontwerpaanbevelingen gegeven op het huidige ontwerp en wordt er gereflecteerd op het afstuderen en de leerervaringen.

H5.2 Ontwerpaanbevelingen

2D uitslag

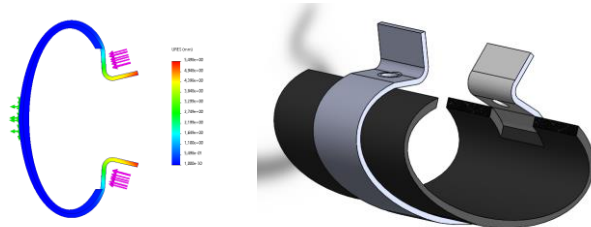
In dit afstudeerproject is er een gestandaardiseerd productieproces en product ontwikkeld voor het maken van ingemeten handbike handvatten met aanpasbare functionaliteiten. De basis van dit ontwerp zijn 2D uitslagen die gethermovormed worden. Het ontwerp van deze uitslag is gebaseerd op antropometrische afmetingen van de hand. Er is op het moment weinig tot geen bruikbare breed onderzochte data gevonden over de handen van mensen met paraplegie of tetraplegie.

In de komende jaren is het voor Wings Technology interessant om de klanten voor ingemeten handvatten te helpen door deze 2D uitslag per gebruiker aan te passen. Het overzicht in tabel 7 geeft aan welke variabelen gemeten moeten worden en waar de nodige aanpassingen gemaakt kunnen worden. Deze 2D uitslag kan dan ge-3D-print worden. Op langere termijn zal de verzameling van deze gegevens de basis vormen van gestandaardiseerde 2D uitslagen (maat S, M en L) welke in grotere aantallen bij een extern bedrijf gelasersneden kunnen worden.

Inklemming met elastiek

In het huidige model wordt de inklemming van de hand ondersteund door een elastiek. De opbouw van het gelamineerde handvat is echter te stijf om met comfortabele kracht (70 N) genoeg flexie in het materiaal te brengen dat deze voor extra inklemming zorgt.

Twee functies binnen het handvat botsen met elkaar; het ontwerp moet sterk genoeg zijn om de piekkracht op te kunnen vangen, maar het moet flexibel genoeg zijn om het aan- en uitdoen wat makkelijker en meer comfortabel te maken. Door deze functies van elkaar te scheiden ontstaan er nieuwe mogelijkheden, die in de toekomst verder uitgewerkt kunnen worden.



Figuur 47 Optimalisatie van inklemming met elastiek

Lamineren

Uit het materiaalonderzoek kwam naar voren dat de eigenschappen van glasvezel, unidirectioneel en NCF eenvoudiger te lamineren zou moeten zijn en daarbij een flexibeler eindresultaat zou leveren. Na het testen van verschillende glasvezel types is geconcludeerd dat deze te dik zijn om met de hand te lamineren. Aangeraden wordt om glasvezel als materiaal wel verder te testen, maar een type vezel met een lagere gewicht per meter.

Andere aspecten waar nog verbetering mogelijk zijn:

- Hoe kan dit proces versnelt worden zodat er minder nabewerking van vezels is
- Hoe kan dit proces versnelt worden zodat vezels minder loskomen van het weefsel,
- Hoe zorgen dat weefsels niet loskomen van de handvat basis tijdens het lamineren en drogen?
 - o Bijvoorbeeld door het ontwikkelen van een opblaasbare mal om druk te kunnen geven op het oppervlakte zonder mallen te hoeven maken

Buis

Op het gelamineerde handvat wordt de buis gemonteerd. Zoals beschreven is de huidige omtrek van de buis te groot, waardoor de handbikers met kortere vingers de versnellingschakellaars niet kan bedienen. Gezocht moet worden naar een oplossing, bijvoorbeeld door de behuizing van de huidige schakellaars te verkleinen, andere schakellaars te kiezen of door een andere manier van monteren te gebruiken.

H6. Bronnenlijst

- Aankoppelbike verkeersregels. (z.d.). Geraadpleegd van <https://www.scouters.nl/hulpmiddel-keuze/elektrische-aankoppelbike-voor-rolstoelen-beste-aankoppelbikes-voor-jou/>
- Aerodynamische wielbasis. (2019). Geraadpleegd van <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.sunrisemedical.nl%2Fblog%2Fwelke-handbike-past-bij-jou&psig=AOvVaw13vvGsovhvhsFf5gunCm5d&ust=1671158021020000&source=images&cd=vfe&ved=0CBAQjRxqFwoTCLikyPTK-vsCFQAAAAAdAAAAABAD>
- Ahlers, F. H., & Jakobsen, L. (2016). *Muscle Activity Time*. Geraadpleegd van http://www.anybodytech.com/wp-content/uploads/publication_files/Jakobsenb_2016_Biomechanical%20analysis%20of%20hand%20cycling%20propulsion%20movement.pdf
- Akinyemi, O., Adeyemi, H., Giwa, S., & Adeboje, T. (2015). Development of Anthropometric Database for Paraplegics in Nigeria. *British Journal of Applied Science & Technology*, 10(1), 1–10. <https://doi.org/10.9734/bjast/2015/17602>
- Anatomie - Spieren en functies van de elleboog en bovenarm. (z.d.). Geraadpleegd van <https://wetenschap.infonu.nl/anatomie/89039-anatomie-spiere-en-functies-van-de-elleboog-en-bovenarm.html>
- Bike-On. (2020, 23 juli). *Community Grip Package*. Geraadpleegd op 27 september 2022, van <https://bike-on.com/product/bike-on-community-grip-package/>
- Biomechanica van het spier-skeletstelsel. (z.d.). Geraadpleegd van https://link.springer.com/book/10.1007/978-90-368-1937-4?error=cookies_not_supported&code=08b8203a-9a2b-4687-a0ac-360615ae6ba4
- Cycling, B. (2022, 20 september). *How to: Heat mold Bont Cycling shoes*. Geraadpleegd op 27 september 2022, van <https://help.bontcycling.com/article/25-heat-molding>
- De gewrichten in de hand. (z.d.). Geraadpleegd van <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fnl.pinterest.com%2Fpin%2F430656783098525199%2F&psig=AOvVaw1H22NKDe6nkE0a5YxelynC&ust=1671159475045000&source=images&cd=vfe&ved=2ahUKEwjxv6Co0Pr7AhVKKewKHTZoB6YQjRx6BAGAEAo>
- DINED. (z.d.). Geraadpleegd van <https://dined.io.tudelft.nl/en/database/introduction>
- Duim Ortheses. (2021, 20 januari). Geraadpleegd van <https://www.silversplints.com/duim-ortheses/>
- EHF-EHC Classification. (z.d.). Geraadpleegd van <http://www.ehf-ehc.eu/UCI/Classification/index.php>
- Eser, P., Frotzler, A., Zehnder, Y., Wick, L., Knecht, H., Denoth, J., & Schiessl, H. (2004). Relationship between the duration of paralysis and bone structure: a pQCT study of spinal cord injured individuals. *Bone*, 34(5), 869–880. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2004.01.001>
- Fang, Y., Morse, L., Nguyen, N., Tsantes, N., & Troy, K. (2017). Anthropometric and biomechanical characteristics of body segments in persons with spinal cord injury. *Journal of Biomechanics*, 55, 11–17. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2017.01.036>
- Fess, E. E., Gettle, K., Philips, C., & Janson, R. (2004). *Hand and Upper Extremity Splinting: Principles and Methods* (3de editie). Mosby.
- Frotzler, A., Coupaud, S., Perret, C., Kakebeeke, T. H., Hunt, K. J., Donaldson, N. D. N., & Eser, P. (2008a). High-volume FES-cycling partially reverses bone loss in people with chronic spinal cord injury. *Bone*, 43(1), 169–176. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2008.03.004>
- Frotzler, A., Coupaud, S., Perret, C., Kakebeeke, T. H., Hunt, K. J., Donaldson, N. D. N., & Eser, P. (2008b). High-volume FES-cycling partially reverses bone loss in people with chronic spinal cord injury. *Bone*, 43(1), 169–176. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2008.03.004>
- Greiner, T. M. (1991). *Hand Anthropometry of U.S. Army Personnel*. PN.
- Griffin, M. (2019, 3 juli). *3D Printed Molds: How to Get Started*. Geraadpleegd op 27 september 2022, van <https://all3dp.com/2/3d-printed-molds-all-you-need-to-know-to-diy/>
- Hanten, W. P., Chen, W., Austin, A. A., Brooks, R. A., Carter, H. E., Law, C. A., . . . Vanderslice, A. L. (1999). Maximum grip strength in normal subjects from 20 to 64 years of age. *Journal of Hand Therapy*, 12(3), 193–200. [https://doi.org/10.1016/s0894-1130\(99\)80046-5](https://doi.org/10.1016/s0894-1130(99)80046-5)
- Heesakkers, R. (2019). *Hulpmiddel scannen*.
- Inclusive Inc. (z.d.). *Quadgips voor handcycle*. Geraadpleegd op 27 september 2022, van <https://inclusiveinc.org/nl-eu/products/quadgrips>
- Jules Dock Shaping. (2020, 16 oktober). *Laat al uw schuimen frezen en snijden*. Geraadpleegd op 27 september 2022, van <https://shaping.julesdock.nl/schuim-frezen-snijden/>
- Klein, C. S., Liu, H., Zhao, C. N., & Yang, X. (2021a). Quantitative ultrasound imaging of intrinsic hand muscles after traumatic cervical spinal cord injury. *Spinal Cord*, 60(3), 199–209. <https://doi.org/10.1038/s41393-021-00653-1>
- Klein, C. S., Liu, H., Zhao, C. N., & Yang, X. (2021b). Quantitative ultrasound imaging of intrinsic hand muscles after traumatic cervical spinal cord injury. *Spinal Cord*, 60(3), 199–209. <https://doi.org/10.1038/s41393-021-00653-1>
- kolossos. (2007). *Main division on the human hand*. Geraadpleegd van https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4f/Menselijke_hand_%28anatomie%29.svg
- Krämer, C., Schneider, G., Böhm, H., Klöpfer-Krämer, I., & Senner, V. (2009). Effect of different handgrip angles on work distribution during hand cycling at submaximal power levels. *Ergonomics*, 52(10), 1276–1286. <https://doi.org/10.1080/00140130902971916>
- Kütük, M. E., Dülger, L. C., & Daş, M. T. (2019). Design of a robot-assisted exoskeleton for passive wrist and forearm rehabilitation. *Mechanical Sciences*, 10(1), 107–118. <https://doi.org/10.5194/ms-10-107-2019>
- NeoFiber® by Stora Enso. (z.d.). Geraadpleegd op 27 september 2022, van <https://www.storaenso.com/en/products/bio-based-materials/neofiber>
- Nijssen, R. P. L. (2013). *Composieten: basiskennis* [PDF]. Hogeschool Inholland. Geraadpleegd van <https://compositesnl.nl/wp-content/uploads/2020/03/Composieten-Basiskennis-3e-druk-NL-CNL.pdf>
- Nijssen, R. P. L. (2014). *Composieten basiskennis*.
- OIM Orthopedie. (2018, 17 september). *Het productieproces van een orthese*. Geraadpleegd op 27 september 2022, van <https://www.youtube.com/watch?v=ZkzEcLOl5gY&t=54s>
- OIM Orthopedie maakt van 3D-scannen een speerpunt. (2021, 9 juni). Geraadpleegd op 27 september 2022, van <https://www.orthoshapes.nl/post/oim-orthopedie-maakt-van-3d-scannen-een-speerpunt>
- Omarkulov, N., Telegenov, K., Zeinullin, M., Tursynbek, I., & Shintemirov, A. (2016). Preliminary mechanical design of NU-Wrist: A 3-DOF self-aligning Wrist rehabilitation robot. *2016 6th IEEE International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob)*. <https://doi.org/10.1109/biorob.2016.7523753>
- Paquet, V., & Feathers, D. (2004). An anthropometric study of manual and powered wheelchair users. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 33(3), 191–204. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2003.10.003>
- Pluijmen, M. (2021, 6 mei). *3-assige tot 12-assige: mogelijkheden voor CNC-freesmachines vergeleken*. Geraadpleegd op 27 september 2022, van <https://www.batchforce.com/nl/3-assige-tot-12-assige-mogelijkheden-voor-cnc-freesmachines-vergeleken/>
- Post. (z.d.). Geraadpleegd op 27 september 2022, van <https://www.orthoshapes.nl/post/frezen-in-de-orthopedietechniek?lang=en>
- QUICKIE Shark RT HANDBIKE. (z.d.). Geraadpleegd van <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.sunrisemedical.nl%2Fquickie%2Fhandbikes-en-aankoppelfietsen&psig=AOvVaw2O2OU0VUJVDCPyYL2hss4V&ust=1671157060876000&source=images&cd=vfe&ved=0CBAQjRxqFwoTCNjQnKnH-vsCFQAAAAAdAAAAABAE>
- Reuters pictures. (2020). *Alex Zanardi*. Geraadpleegd van https://static.dw.com/image/19553519_604.jpg
- Rocket7 Custom Cycling Shoes. (2016, 25 februari). *Rocket7 Custom Cycling Shoes Molding Video*. Geraadpleegd op 27 september 2022, van <https://www.youtube.com/watch?v=ARRe8mQ3wiA>
- Rocket7 Custom Cycling Shoes. (2019, 22 januari). *Rocket7 is molding for Custom Cycling Shoes in Phoenix, AZ January 27, 28 - 2019*. Geraadpleegd op 27 september 2022, van <https://www.youtube.com/watch?v=gFSIBfJaDd4>

Rodgers, W. H., Pasupuleti, P., Zhao, S., Dereims, A., Doroudian, M., & Aitharaju, V. (2018). Draping Behavior of Non-Crimp Fabrics. *Proceedings of the American Society for Composites — Thirty-third Technical Conference*. <https://doi.org/10.12783/asc33/25976>

Scanner | Manometric. (z.d.). Geraadpleegd op 27 september 2022, van <https://manometric.nl/scanner/?lang=en+https://www.thehandclinic.nl/perfect-zittende-braces-en-splints/>

Sigma Sports. (2015, 2 maart). *Heat Molding Bont Cycling Shoes | Sigma Sports*. Geraadpleegd op 27 september 2022, van <https://www.youtube.com/watch?v=BdiqBbBsg7Y>

Snook, S. H., Vaillancourt, D. R., Ciriello, V. M., & Webster, B. S. (1997). Maximum Acceptable Forces for Repetitive Ulnar Deviation of the Wrist. *American Industrial Hygiene Association journal*, 58(7), 509–517. <https://doi.org/10.1080/15428119791012603>

STONE, B., MASON, B. S., WARNER, M. B., & GOOSEY-TOLFREY, V. L. (2019). Horizontal Crank Position Affects Economy and Upper Limb Kinematics of Recumbent Handcyclists. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 51(11), 2265–2273. <https://doi.org/10.1249/mss.0000000000002062>

Thermovormen. (z.d.). Geraadpleegd op 27 september 2022, van <https://www.vinkkunststoffen.nl/toepassingen/verpakking-labels/thermovormen>

Top End Handcycle Tri-Pin Quad Handpedals. (z.d.). Geraadpleegd op 20 september 2022, van <https://handcyclecity.com/products/top-end-handcycle-tri-pin-quad-handpedals>

Tri-Tech 3D. (2022, 5 augustus). *Digital ABS 3D Print Material*. Geraadpleegd op 27 september 2022, van <https://www.tritech3d.co.uk/materials/digital-abs/#:%7E:text=Digital%20ABS%20is%20designed%20to,Electrical%20parts%20and%20casings>

Tsuzuku, S., Ikegami, Y., & Yabe, K. (1999). Bone mineral density differences between paraplegic and quadriplegic patients: a cross-sectional study. *Spinal Cord*, 37(5), 358–361. <https://doi.org/10.1038/sj.sc.3100835>

Ulcay, T., KAMAŞAK, B., Kaya, Kara, Uzun, A., & Konar, N. (2020). The Effect of Hand Anthropometric Variables on Grip Strength in Grip Elite Athletes and Non-Athletes. *Turkish Journal of Sport and Exercise*, 23, 102–110. <https://doi.org/10.15314/tsed.899707>

Unidirectional Carbon Fibre Reinforcements - Easy Composites. (z.d.). Geraadpleegd van <https://www.easycomposites.co.uk/unidirectional-carbon-fibre>

Vacuumvormen met een zelfbouw VacuForm. (2022, 31 januari). Geraadpleegd op 27 september 2022, van <https://www.nproject.org/nl/modelspoor-scenery/vacuumvormen-met-een-zelfbouw-vacuform/>

Vacuümvormen (Techniek) + Bereken zelf de matrijskosten. (2021, 22 oktober). Geraadpleegd op 27 september 2022, van <https://www.batelaan.nl/technieken/vacuumvormen/>

vanacker, A. (2021, 21 november). *Vergelijking tussen 3D-printtechnieken SLA, FDM en SLS*. Geraadpleegd op 27 september 2022, van [https://www.ptindustrieelmanagement.nl/vergelijking-tussen-3d-printtechnieken-sla-fdm-en-sls/#:%7E:text=De%20drie%20meest%20gebruikte%203D,selective%20laser%20sintering%20\(SLS\).&text=Er%20be staan%20verschillende%20andere%20technieken,een%20van%20de%20drie](https://www.ptindustrieelmanagement.nl/vergelijking-tussen-3d-printtechnieken-sla-fdm-en-sls/#:%7E:text=De%20drie%20meest%20gebruikte%203D,selective%20laser%20sintering%20(SLS).&text=Er%20be staan%20verschillende%20andere%20technieken,een%20van%20de%20drie)

Vooren, A. (2018). *Handbikebattle 2018 Kaunertal*. Geraadpleegd van <https://i.ytimg.com/vi/6m07OgfkC4Y/maxresdefault.jpg>

Wikipedia-bijdragers. (2020, 27 augustus). *Kyfose*. Geraadpleegd van <https://nl.wikipedia.org/wiki/Kyfose>

Wikipedia-bijdragers. (2022, 6 februari). *Handbiken*. Geraadpleegd van <https://nl.wikipedia.org/wiki/Handbiken>

YOOK, J., PARK, Y., YOO, S. Y., PARK, S., KIM, H. J., CHOI, J. K., . . . SON, B. C. (2021). A STUDY ON ANTHROPOMETRY, RANGE OF MOTION, AND MUSCLE STRENGTH MEASUREMENTS OF KOREANS WITH PARAPLEGIA. *Journal of Mechanics in Medicine and Biology*, 21(09), 2140039. <https://doi.org/10.1142/s021951942140039x>