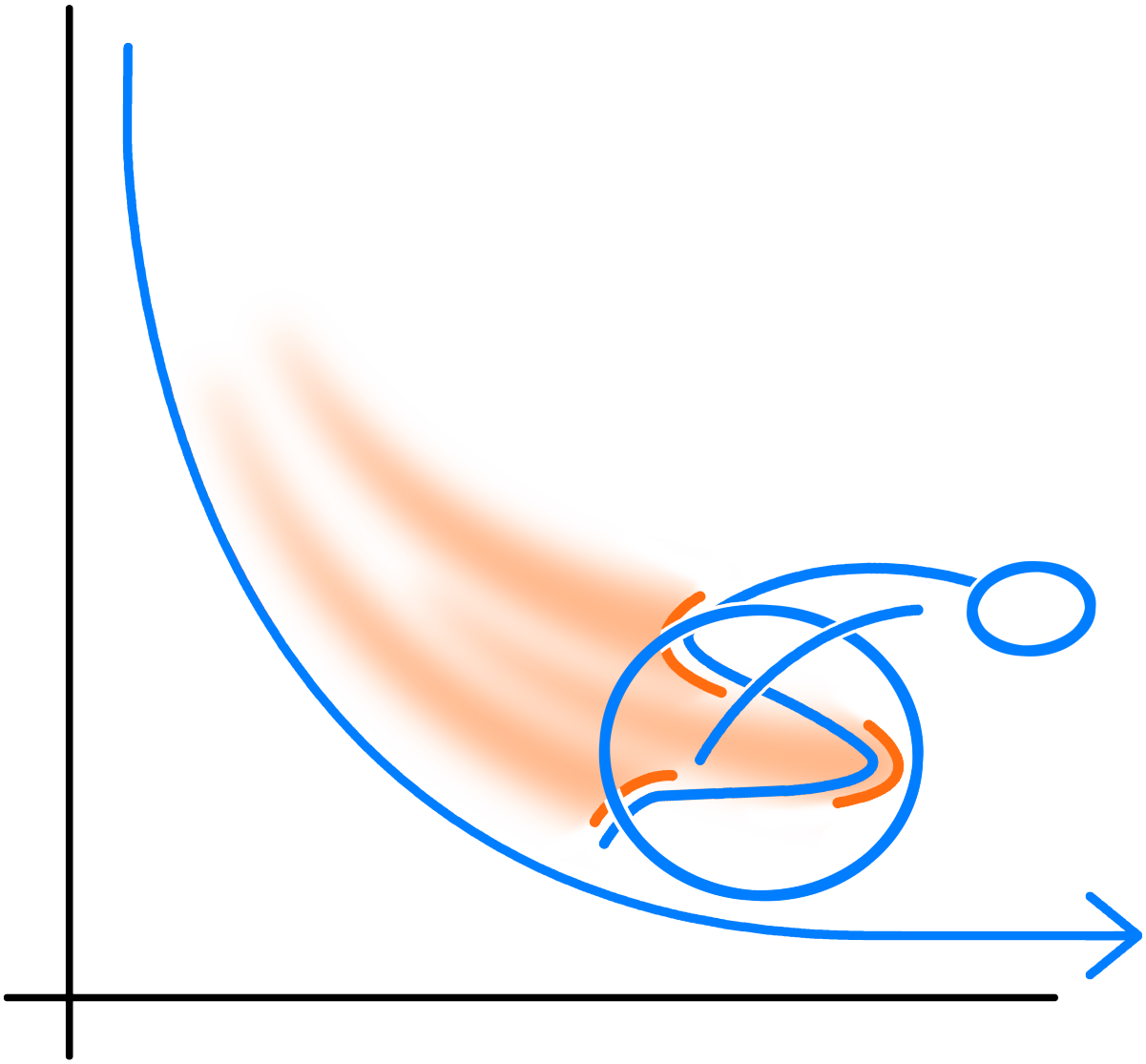
Fixatie op prestatie

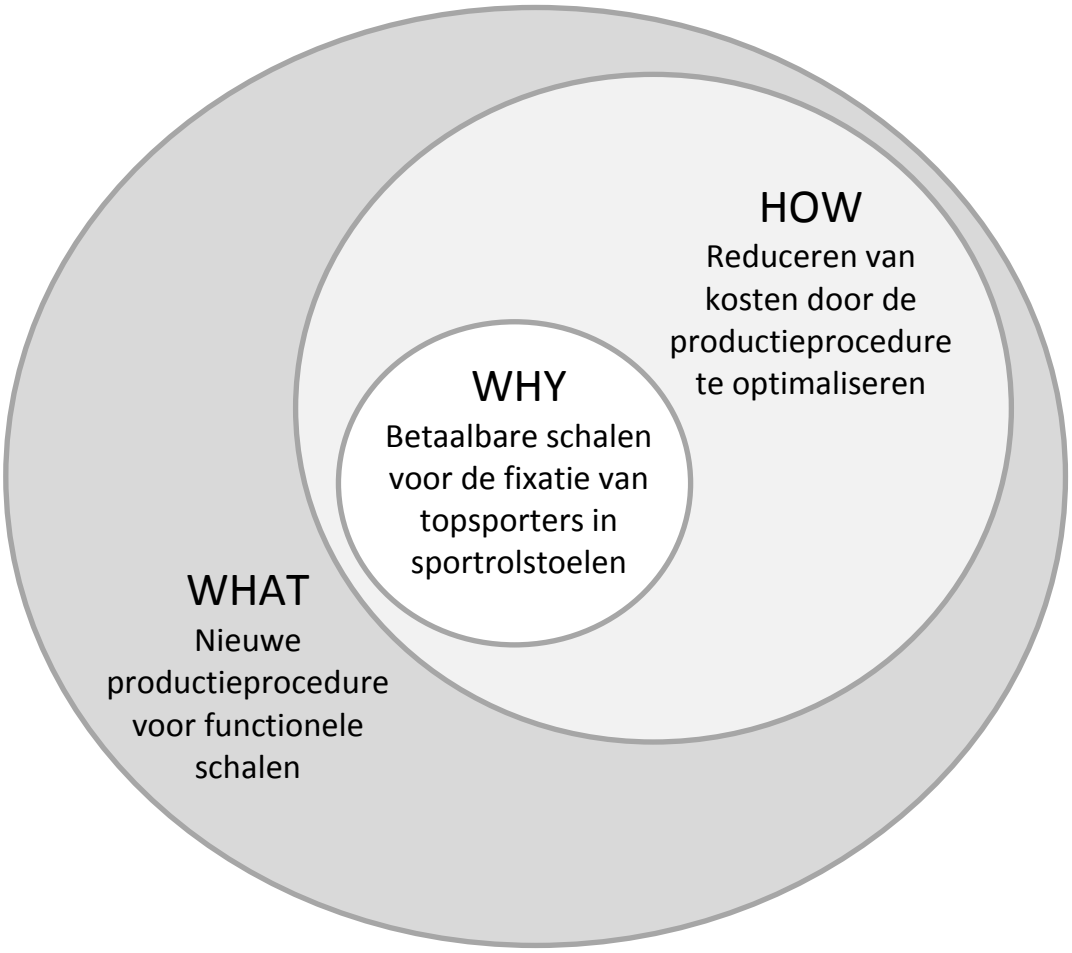
Optimalisatie van de productieprocedure van schalen voor de fixatie van topsporters in sportrolstoelen



Roel van der Hooft – Opleiding Bewegingstechnologie, De Haagse Hogeschool – Juni 2015

Fixatie op prestatie

Optimalisatie van de productieprocedure van schalen voor de fixatie van topsporters in sportrolstoelen



Bachelor of Engineering scriptie Bewegingstechnologie
Student: Roel van der Hooft
10069429

De Haagse Hogeschool: Faculteit Gezondheid, Voeding en Sport
Studie: Bewegingstechnologie
1e begeleider: Martijn van der Ent
2de begeleider: Rienk van der Slikke
College jaar: 2014 - 2015

Externe opdracht
Opdrachtgever: Motion Matters
Begeleider: Coen Vuijk

Uitgifte: Juni 2015

Inhoudsopgave

Inleiding 1

Leeswijzer 2

Samenvatting 3

Woordenlijst 4

Deel I: Oriëntatie 5

1.1 Aanleiding 5

1.2 Verwacht eindproduct 5

1.3 Probleemstelling 6

1.4 Onderzoek 6

1.5 Ontwerp 6

Deel II: Analyse 7

2.1 Doelgroep 7

2.2 Schaal 7

2.2.1 Schaal versus zitting 7

2.2.2 Fixatie 8

2.2.3 Schaal in een frame 9

2.3 Productieprocedure 10

2.3.1 Analyse 10

2.3.2 Aanmeten 10

2.3.3 Vervaardigen 10

2.4 Kostenanalyse 11

2.4.1 Huidige productiekosten 11

2.4.2 Productiekostenreductie 11

2.5 Programma van eisen en wensen 15

2.5.1 Ontstaan 15

2.5.2 Verspreiden 15

2.5.3 Gebruik 15

2.5.4 Verdwijnen 16

Deel III: Ontwerpen 17

3.1 Ideeën 17

3.2 Concepten creëren 19

3.3 Concepten uitwerken 21

3.3.1 Maatwerk concepten (Groen en Oranje) 21

3.3.2 Serieproductie concepten (Rood, Blauw en Paars) 24
3.4 Conceptkeus 28
3.5 Verdiepen 30
3.5.1 3D scannen 30
3.5.2 3D scan hulpmiddel 31
3.5.3 Composiet 32
3.6 Testen 33
3.6.1 Test 3D scannen 33
3.6.2 Evaluatie 3D scannen 34
Deel IV: Terugblik 35
4.1 Conclusie 35
4.2 Discussie 36
4.3 Aanbevelingen 37
Deel V: Toevoeging 38
Bronnen 38
Bijlage I: Onderzoek Esther Vergeer 41
Bijlage II: Schalen 43
Bijlage III: Productiekostenoverzicht 45
Bijlage IV: Log 46
Bijlage V: Contactenlijst 62
Bijlage VI: Biografie – Esther Vergeer 64
Bijlage VII: Projectplan 66

Inleiding

Dit is de scriptie van het afstudeerproject die de afronding vormt van mijn opleiding Bewegingstechnologie. Alle kennis, vaardigheden en ervaringen die ik heb opgedaan tijdens de opleiding en projecten zijn gebruikt om tot dit resultaat te komen. Mijn “Fixatie op prestatie” tijdens het afstudeerproject is een van de interpretaties van de titel.

Op de kaft staat een afbeelding van een denkbeeldige grafiek, waar een rolstoelsporter van hoog, veel kosten, naar laag, weinig kosten, zoeft. Naast het reduceren van kosten staat het voor de hogere snelheid en prestatie die de schaal, door middel van de drie te fixeren delen (oranje geaccentueerd in de afbeelding) mogelijk maakt. Als laatste staat het voor de route van veel nieuwe ideeën naar het advies van een nieuwe productieprocedure, zoals voor de schalen gedocumenteerd in deze scriptie. Op de titelpagina staat een ingevulde ‘Golden Circle’, naar het idee van Simon Sinek (Start with why), om inzicht te geven in het project. De Golden Circle geeft, in volgorde van belang, antwoord op de vragen Why (wat is het doel?), How (hoe wordt dit gerealiseerd?) en What (wat is het resultaat?).

In de topsport streeft iedereen naar het hoogst haalbare, de sporter zijn “Fixatie op prestatie”. De vraag, of het nog beter kan, wordt niet alleen aan het lichaam gesteld, maar ook aan het materiaal. In de toprolstoelsport wordt daarom gezocht naar de optimale interface tussen de atleet en de rolstoel. De belangrijkste punten hiervoor zijn, de overdracht van kracht en het gevoel met de rolstoel. In een zitting (afbeelding 1, links) zijn deze punten verre van optimaal. Een oplossing is de schaal (afbeelding 1, rechts), een geëvolueerde versie van een zitting. Een schaal biedt meer mogelijkheden om de onderste extremiteit te fixeren en de mate waar en hoeveel fixatie is vrij te kiezen. De fixatie van de onderste extremiteit genereert een directe overdracht van krachten en energie, het lichaam vormt één geheel met de rolstoel. Het effect is een optimalere prestatie, de essentie “Fixatie op prestatie”.

Dit project is uitgevoerd in samenwerking met Motion Matters, het bedrijf van Coen Vuijk, expert in de rolstoelsport en de zithouding. Sporters, coaches en trainers worden ondersteund in de zoektocht naar optimale prestaties. De houding wordt geanalyseerd en verbeterpunten worden besproken, om vervolgens praktische oplossingen te vinden op het gebied van rolstoelprestaties. Eén van de grote projecten rond de optimalisatie van de rolstoelprestatie is de schaal.

Het doel is het bereikbaar maken van schalen voor meer rolstoelsporters, door een nieuwe productieprocedure te ontwerpen die kosten reduceert. Meer rolstoelsporters kunnen hierdoor op een hoger niveau presteren en zullen eerder een succeservaring beleven. Dit ligt geheel in de lijn met de visie van Motion Matters, een optimale interface tussen gebruiker en product te creëren.

Ik wens u veel plezier met lezen!

Afbeelding 1 - Links de zitting van Aniek van Koot, rechts de schaal van Jiske Griffioen

Leeswijzer

De samenvatting volgt na deze leeswijzer, de verkorte versie van het verslag; een uitkomst bij te weinig tijd om het gehele verslag door te lezen.
De woordenlijst volgt hierop, met een overzicht van gebruikte vaktermen en complexe woorden.
Daarna begint het ontwerpverslag, opgedeeld in vijf delen, te weten:

Deel I: Oriëntatie is de basis van het verslag met achtereenvolgend:

- De aanleiding van het project
- Het verwachte eindproduct
- De probleemstelling
- De methode van onderzoek
- Het proces van ontwerpen
- Een visuele weergave van de aanpak

Deel II: Analyse omsluit de theoretische kennis, vereist voor het ontwerpen van een nieuwe productieprocedure. Het is een uiteenzetting van de doelgroep, functie, huidige productieprocedure en mogelijke manieren om kosten van schalen te reduceren. Alles komt samen in een overzicht van alle eisen en wensen met een ontwerpvisie.

Deel III: Ontwerpen bevat het gehele ontwerpproces, van ideeën, via concepten, naar de aanbeveling van de nieuwe productieprocedure, in de conceptkeus. Daarop volgt een verdieping in de nieuwe productieprocedure, plus een test van een methode en een evaluatie hiervan.

Deel IV: Terugblik omvat de conclusie, discussie, aanbevelingen en reflectie. In de conclusie staat wat uit het project is voortgekomen. In de discussie wordt met een kritische blik teruggekeken. De terugblik sluit met de aanbevelingen, aspecten waar nog naar gekeken kan worden.

Deel V: Toevoeging herbergt de bronnen en de bijlagen.

Het dankwoord bevindt zich op het achterblad.

Samenvatting

Topsporters zijn altijd op zoek naar mogelijkheden om beter te presteren, daaronder valt het materiaal. Belangrijk in de rolstoelsport is de overdracht van kracht en het gevoel met de rolstoel. Een schaal, de geëvolueerde versie van een zitting, biedt de mogelijkheid vrij te kiezen waar en hoeveel de onderste extremiteit te fixeren. Dit genereert een directe overdracht van krachten en energie, het lichaam vormt één geheel met de rolstoel, met een optimalere prestatie als effect. Schalen zijn voor veel sporters onbetaalbaar, omdat de productiekosten hoog zijn (€ 3.560). De kosten zijn hoog doordat de productie veel tijd, materiaal en kennis vereist. Het doel is het reduceren van deze kosten, door een nieuwe productieprocedure te ontwerpen, met als resultaat goedkopere functionele schalen. Meer rolstoelsporters kunnen hierdoor op een hoger niveau presteren en zullen eerder een succeservaring beleven. Samengevat luidt de vraag: “Met welke productieprocedure kunnen functionele schalen worden geproduceerd tegenover gereduceerde productiekosten?”

Voor dit onderzoek is expliciet de productieprocedure geoptimaliseerd, het ontwerp van de schaal valt erbuiten. Belangrijke aspecten zijn vooraf geanalyseerd zoals de doelgroep, de functie, de fases, de huidige productieprocedure en de mogelijke verbeteringen. Hieruit komen richtlijnen voort, zoals: de functie is het grondbeginsel voor de productieprocedure, een productie omvat 20 tot 100 schalen per jaar en een kostengrens van maximaal € 2.000 per schaal.
De productieprocedure is opgebouwd in de fases: analyse, aanmeten en vervaardigen. Voor de fases zijn alternatieve methoden gezocht, om concepten van nieuwe productieprocedures te ontwerpen. Als houvast dient het huidige ontwerp van de schaal, zoals bij Esther Vergeer en Jiske Griffioen. De concepten zijn vergeleken op verschillende aspecten van kosten en kwaliteit, waaronder de functie.

Uit de vergelijking blijkt concept “Groen” met maatwerk schalen van composiet de beste, voor zowel 20 als 100 schalen per jaar. De productieprocedure levert schalen, aangemeten met een 3D scanner en vervaardigt van carbon op een gefreesde schuimen mal. De productiekosten zijn bij 20 schalen per jaar € 1.433 per schaal en bij 100 per jaar € 1.353 per schaal, ruim onder de kostengrens van € 2.000. Het concept is niet de goedkoopste optie, doch levert wel schalen van de hoogste kwaliteit, die de onderste extremiteit optimaal fixeert. Hiernaast scoort het concept hoog door de lage investering van € 2.000 en het lage aantal werkuren van net geen 4 uur, 9 % van de huidige 44 werkuren. Het 3D scannen verhoogt de aanmeetkwaliteit en daarmee de passing om de onderste extremiteit, waardoor een proefschaal overbodig is. Het grondiger lamineren van carbon resulteert in zeer lichte en stijve schalen van ± 1,1 kg, een vermindering van bijna de helft aan gewicht, ± 2 kg.
In de verdieping blijken de kosten verder te kunnen reduceren, € 60 per schaal als de 3D scanner wordt gehuurd i.p.v. de dienst van Geopoints. En bij een verwachte productie van meer dan 40 schalen per jaar, de schalen te laten produceren bij Refitech i.p.v Tobias Design.
Met de test is aangetoond dat 3D scannen een geschikte aanmeetmethode is. Het werd duidelijk dat het 3D scan hulpmiddel, de tilmat, voor het ophangen en positioneren van de sporter tijdens het 3D scannen, verbeterd kan worden. De twee verbeterpunten zijn het positioneren en het stabiliseren van het lichaam. Het testen van de analyse, het maken van de mal en het vervaardigen van de carbon gelamineerde schaal was niet mogelijk, van het lamineren van carbon is tevens al ervaring aanwezig.

Geconcludeerd kan worden dat het ontwerpen van een nieuwe productieprocedure is geslaagd. Deze levert functionele schalen van hoge kwaliteit en de productiekosten zijn voldoende gereduceerd.
Een analysemethode moet gekozen en opgesteld worden, dit kan een formulier of een flowchart zijn. Om de tilmat te verbeteren op positioneren en stabiliteit zijn twee oplossingen bedacht. Een tilmat die de bovenbenen onafhankelijk van elkaar ophangt, voor elk been één beendoek, en ophangpunten heeft onder de tilmat om de onderbenen en voeten aan op te hangen.
Als test moet met de nieuwe productieprocedure een schaal voor een rolstoelsporter worden vervaardigd. In de praktijk zal blijken of alle aannames kloppen en voldoen.

Woordenlijst

In onderstaande woordenlijst staat de betekenis van vaktermen en complexe woorden.

Confectie	Serieproductie in een aantal standaardmaten, bijvoorbeeld S, M en L.
Economy of scale	De investering plus de productiekosten gedeeld door het aantal schalen, een exponentiële afname van de productiekosten.
Framing	Overtuigingstechniek waarbij de belangrijkste aspecten worden uitgelicht door middel van de juiste woorden en beelden.
Inserts	Inzetstukken ter opvulling van ruimten tussen het lichaam en de schaal.
Iteratie	Een proces waarbij een reeks activiteiten wordt herhaald totdat een bepaald resultaat is bereikt.
Mindmap	Ondersteuning voor creatieve processen door begrippen in een boomstructuur te ordenen en met elkaar te associëren rond een thema.
Modulair	Onderdeel dat uitwisselbaar is voor diverse modellen.
Monocoque	Constructietechniek met de buitenkant als dragende constructie, zonder inwendige versterking van een frame.
Productiekosten	Kosten in de productieprocedure van de schaal.
Schaal	Fixatiemiddel van de onderste extremiteit, met de keus waar en hoeveel fixatie.
Strapping	Vastbinden met externe fixatiemogelijkheid, zoals click-straps en klittenbanden.
Vervoerskosten	Optelsom van de transport-, voorrij- en reiskosten.

Deel I: Oriëntatie

1.1 Aanleiding

Coen Vuijk, eigenaar van Motion Matters, is al enkele jaren bezig met het ontwerpen van allerlei soorten sportrolstoelen. Hij heeft veel kennis opgedaan over de houding en prestatie van de sporters in een sportrolstoel. Zijn belangrijkste principe op het gebied van sportrolstoelen is: ***"Hoe meer de sporter één geheel vormt met de rolstoel, des te beter zal de sporter presteren. Een schaal is de vorm van een fixatie van de onderste extremiteit die deze belangrijke functie creëert."*** De schaal is net als een prothese een negatief van het lichaam en vormt een directe schakel tussen het lichaam en de rolstoel. Het vormt één geheel waardoor krachten en energie direct worden overgedragen. Bij het produceren kan precies worden gekozen waar en hoeveel fixatie nodig is voor het optimaal functioneren van de atleet. Dit kan in een zitting (afbeelding 1, links) niet. Welk deel van het lichaam ingesloten wordt, wordt gekozen aan de hand van de gewenste bewegingsmogelijkheden. De schaal (afbeelding 2) is een vrij nieuwe ontwikkeling, nog maar een paar topsporters rijden erin. Motion Matters heeft schalen ontwikkeld voor Esther Vergeer, Jiske Griffioen (beide rolstoeltennissters) en meerdere atleten in verschillende sporten (van handbiker tot wheeler). Coen Vuijk zegt dat atleten door de fixatiemogelijkheden van een schaal beter kunnen presteren. Een onderzoek bij Esther Vergeer (Bijlage I: Onderzoek Esther Vergeer) onderbouwt zijn bevindingen, op basis van een test in de oude sportrolstoel met zitting en de nieuwe sportrolstoel met schaal.
Een schaal is duur, bijna € 4.000. Dit is voor weinig sporters betaalbaar. De kosten van de huidige productieprocedure zijn hoog doordat de productie veel tijd, materiaal en kennis vereist. Het doel is het reduceren van deze kosten, door een nieuwe productieprocedure te ontwikkelen. De productieprocedure is opgebouwd in de fases analyse, aanmeten en vervaardigen. Voor deze fases worden alternatieve methoden gezocht om een nieuwe productieprocedure te ontwerpen die betaalbare schalen oplevert. De bewegingsanalyse gaat vooraf aan de analyse en valt buiten het project. Kort samengevat wordt in de analyse alle informatie vastgelegd voor de productie, met aantekeningen en schetsen. Bij het aanmeten wordt, met gipszwachtels, een negatief van de onderste extremiteit gemaakt. Van het negatief wordt, door gips te gieten, een positieve mal gemaakt. Met de mal wordt een proefschaal gemaakt om te testen en aan te passen tot alles naar wens is. De definitieve schaal wordt uiteindelijk vervaardigd van carbon en afgeleverd.

Afbeelding 2 - Esther Vergeer in haar schaal, de eerste die Motion Matters ontwikkelde

In de biografie van Esther Vergeer (stuk na te lezen in: Bijlage VI: Biografie – Esther Vergeer) wordt de ontwikkeling beschreven van haar nieuwe sportrolstoel met schaal voor de paralympische spelen van Londen 2012. Het proces is beschreven vanaf het moment dat Coen Vuijk zijn idee, van een schaal voor prestatieverbetering, voorlegt aan Esther Vergeer tot het moment dat zij zich, na een periode van gewenning, één voelt met de nieuwe sportrolstoel. Het stuk geeft een beeld van de belevingen van een sporter.

1.2 Verwacht eindproduct

Het verwachte eindproduct van dit ontwerptraject is een advies aan Motion Matters. Het advies is een nieuwe productieprocedure, waarmee kosten worden gereduceerd ten opzichte van de huidige productieprocedure (eis 1). De fases analyse, aanmeten en vervaardigen, van de productieprocedure worden geoptimaliseerd, door nieuwe methoden te ontwerpen (eis 2). Het gehele ontwerptraject geeft daardoor inzicht in alternatieve methoden.

1.3 Probleemstelling

Het doel van een optimalere productieprocedure is het betaalbaar maken van schalen voor meer topsporters. Hierdoor kunnen meer topsporters op een hoger niveau presteren. De probleemstelling luidt als volgt:

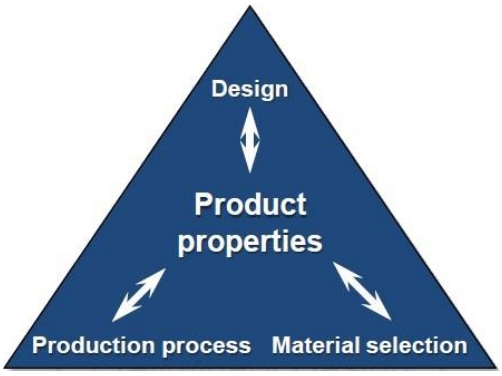
"Met welke productieprocedure kunnen functionele schalen worden geproduceerd tegenover gereduceerde productiekosten?"

1.4 Onderzoek

Om inzicht te krijgen in alternatieve productieprocedures wordt onderzocht hoe kosten te besparen zijn en welke methoden toegepast kunnen worden. Eerst wordt geanalyseerd waaraan de productieprocedure moet voldoen, wat de kosten zijn en hoe deze gereduceerd kunnen worden. De eisen en wensen komen genummerd naar voren in de analyse en zijn geheel samengevat in het programma van eisen en wensen, deze dient als leidraad tijdens het ontwerpen. Onderzoek is door het ontwerpen gevlochten. Voor het divergeren van ideeën worden bevindingen opgedaan in boeken, op internet, beurzen en door gesprekken. Verder in het ontwerpproces moet onderzocht worden hoeveel een methode kost, m.a.w. offertes worden opgevraagd. En uiteindelijk is onderzoek nodig om de nieuwe productieprocedure te testen.

1.5 Ontwerp

Het ontwerpen van een product is een dynamisch proces, met de functie als kern. Het ontwerp, de materiaalkeus en de productieprocedure hebben een dynamische relatie rond de producteigenschappen, de functie (afbeelding 3). Een verandering heeft een aanpassing in een ander gebied tot gevolg. Dit is de basis van DPM (Design, Production, Materials) (Baran & Warnet, 2014). Voor dit project wordt expliciet de huidige productieprocedure geoptimaliseerd met het reduceren van kosten als doel. De functie is het grondbeginsel voor de productieprocedure (eis 3). De nieuwe productieprocedure kan het opnieuw moeten ontwerpen van de schaal teweegbrengen. Een nieuw schaalontwerp valt echter buiten de oplevering. Omdat het gaat om het reduceren van kosten van de huidige productieprocedure is voor deze aanpak gekozen.
Alternatieve methoden worden onderzocht om de huidige productieprocedure te optimaliseren. Een nieuwe productieprocedure wordt ontworpen via de methodisch ontwerpen route van divergeren en convergeren. Het huidige ontwerp, zoals de schalen van Esther Vergeer en Jiske Griffioen, dient als houvast bij het inventariseren van nieuwe productieprocedures (eis 12).

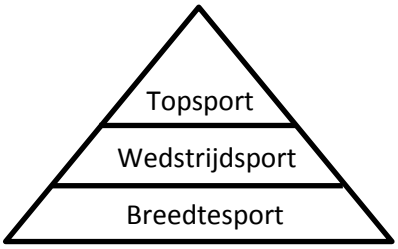


Afbeelding 3 – Dynamisch ontwerpproces weergegeven in de Design, Production, Materials driehoek

Deel II: Analyse

2.1 Doelgroep

De doelgroep voor de nieuwe productieprocedure van schalen zijn toprolstoelsporters. Dit zijn sporters die fulltime en beroepsmatig als atleet functioneren. De schalen zijn functioneel voor veel rolstoelsporten, van basketballen tot en met wheelen. Voor alle rolstoelsporters van verschillende niveaus (afbeelding 4) stelt Coen Vuijk dat zij tot een hogere prestatie kunnen komen als zij één geheel vormen met de rolstoel. Voor de topsporter moet de schaal aan andere eisen voldoen dan voor lagere niveaus (Bijlage VII: Projectplan - Eisen en wensen per sportniveau), opgesteld als praktische voorwaarden door Motion Matters. Een topsporter verlangt een hele stijve insluiting van de onderste extremiteit, om direct te sturen en voelen wat hij doet. Wedstrijd- en breedtesporter willen juist meer comfort. Een schaal kan het in- en uitstappen hinderen, een coach of trainer kan de sporter assisteren (wens 15). De schaal mag geen pijnklachten of afknellingen veroorzaken, binnen de duur van een training en wedstrijd (eis 16), dit is bij basketbal en atletiek 2 uur en bij tennis 3 uur. En de lichaamstemperatuur en transpiratie moeten gereguleerd kunnen worden (wens 16), voor de nieuwe productieprocedure is thermokleding een afdoende oplossing.



Afbeelding 4 - Sportniveau's

De productieprocedure wordt ontwikkeld voor een schaal voor de topsporters. De focus ligt op prestatiegerichte schalen, zonder concessies om voor meer sportniveaus geschikt te zijn.
In de toekomst kan de productieprocedure verder ontwikkeld worden om toepasbaar te maken voor de lagere sportniveaus. Van het aantal rolstoelsporters in Nederland zijn geen cijfers bekend (Bijlage IV: Log – NOC*NSF). Een uitspraak over het aantal schalen staat in *"Kostenanalyse – aantal".*

2.2 Schaal

Het doel is dat de sporter door de schaal op een hoger niveau kan presteren (afbeelding 5). Een optimale situatie is dat de rolstoel niet meer de beperking is voor de sporter, maar de sporter tegen zijn eigen grenzen aanloopt. De schaal kan de sporter tot deze hogere prestatie brengen, door de onderste extremiteit te fixeren. Vorm volgt functie (Lidwel, Holeden, & Butler, 2009, pp. 90–91) is het uitgangspunt. De functie is het grondbeginsel voor de productieprocedure (eis 3). De functie van de schaal wordt hieronder verder uitgewerkt door te kijken naar het verschil ten opzichte van een zitting. Hierna volgt het effect voor de sporter bij fixatie van verschillende delen van de onderste extremiteit.

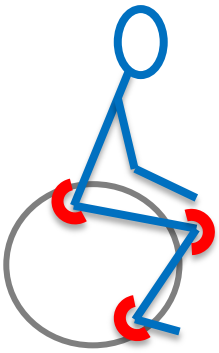
Afbeelding 5 - Jiske Griffioen in een schaal

2.2.1 Schaal versus zitting

Een schaal vormt een cocon om de onderste extremiteit van de sporter (Bijlage II: Schalen). Het effect van de fixatie is dat de krachten van en op de sporter direct worden overgedragen zonder vertraging en energieverlies. De sporter voelt zich één geheel met de sportrolstoel. Doordat een schaal de onderste extremiteit direct inklemt is er een vergrote kans op pijnklachten/afknellingen. Dit vermindert niet alleen de prestatie, maar is gevaarlijk bij gehandicapten die geen gevoel hebben in de onderste extremiteit. De schaal moeten daarom fixeren, zonder pijnklachten en afknellingen binnen de duur van een training of wedstrijd (eis 16), daarom is de pasvorm belangrijk. In een zitting heeft de sporter veel bewegingsvrijheid, het bekken kan in alle richtingen over het zitvlak glijden, de bovenbenen kunnen op alle manieren bewegen en ga zo maar door. Met strapping, zoals click-straps en klittenbanden, (Breukelen, 2014, pp. 78–79) wordt geprobeerd de bewegingsvrijheden te beperken. Echter blijft altijd enige beweging over. De vrije keus van waar en hoeveel de schaal fixeert kan niet in een zitting en maakt veel strapping overbodig. In de schalen bevindt zich alleen een bekken strapping, dit is nodig om in te kunnen stappen en deze bewegingsrichting vast te zetten. Strapping valt onder het ontwerp van de schaal en daarom buiten de productieprocedure (eis 18).

2.2.2 Fixatie

Het fixeren van de verschillende delen van de onderste extremiteit en in welke mate dit gebeurt, heeft andere gevolgen voor de sporter. In overleg met de sporter wordt, na de bewegingsanalyse, een analyse gemaakt waarin wordt bepaald welke fixatie de sporter vereist. In de productieprocedure kan precies zó veel fixatie worden gegeven voor een optimaal functioneren van de atleet. Dit kan in een traditionele zitting niet. Welk deel van de onderste extremiteit ingesloten wordt, hangt af van de gewenste bewegingsmogelijkheden. De drie belangrijkste benige delen bij het fixeren zijn: het bekken, de knieën en de hakken (afbeelding 6). Het fixeren van deze delen en combinaties kunnen de bewegingsvrijheid beperken. De fixaties die de reglementen toestaan worden toegelicht.



Afbeelding 6 - Drie fixatie delen

2.2.2.1 Bekken-schaal

Het voordeel van een bekken-schaal (afbeelding 7) is dat het al een stuk beter om het bekken sluit dan een zitting. Zijdelings, over de transversale as, verschuiven op het zitvlak is niet meer mogelijk en er is een directe steun op de tuber ischiadicum. Het nadeel van een bekken-schaal is dat de lichaamsdelen caudaal van het bekken (licht) alle bewegingen kunnen maken. Zoals ab- en adductie, endo- en exorotatie en ante- en retroflexie van het bovenbeen. Het bekken kan om de longitudinale as van de romp roteren, de knieën zijn niet gefixeerd waardoor de bovenbenen onderling kunnen verschuiven. Door de bewegingsvrijheden gaan krachten verloren van de boven- en onderbenen.

Afbeelding 7 - Bekken-schaal, Sabine Ellerbrock

2.2.2.2 Bekken-knieën-schaal

Een bekken-knieën-schaal (afbeelding 8) heeft als grote verbetering dat het bekken niet meer om de longitudinale as van de romp kan roteren, doordat de knieën zijn ingesloten. Ook worden de ab- en adductie en ante- en retroflexie krachten van de bovenbenen opgenomen. De onderbenen kunnen nog licht bewegen, voeten rusten op een voetsteun. De bekken-knieën-schaal is onder andere gemaakt voor Esther Vergeer en Jiske Griffioen, rolstoeltennissers.

Afbeelding 8 - Bekken-knieën-schaal, Jiske Griffioen

2.2.2.3 Bekken-knieën-hakken-schaal

Een bekken-knieën-hakken-schaal (afbeelding 9) fixeert de gehele onderste extremiteit. Dit zorgt voor maximale krachtoverdracht en gevoel met de rolstoel. Het fixeren van de hakken voorkomt bewegingen in de onderbenen, deze extra fixatie is vooral van toepassing bij het hard aanzetten en schrap zetten. Dit type schalen wordt momenteel toegepast bij Jetze Plat (handbiker en paratriatleet) en Stefan Rusch (wheeler).

Afbeelding 9 - Hak fixatie, Stefan Rusch

Dit zijn in grote lijnen de schalen, verschillen zijn er op niveau van handicap en persoon (Bijlage II: Schalen). Het ontwerp van een schaal ligt daarom niet vast. Voor nu dient het huidige ontwerp van een bekken-knieën-schaal, zoals de schalen van Esther Vergeer en Jiske Griffioen, als houvast bij het inventariseren van nieuwe productieprocedures (eis 12). Alle delen van de onderste extremiteit moeten gefixeerd kunnen worden, met de keus waar en hoeveel fixatie (eis 14).

NOTE: Een hak-onderbeen-schaal is niet toegestaan, een sporter met bovenbeenfunctie kan d.m.v. kniestrekking zijn romp van de zitting tillen en omhoog komen. Dit zou voordelig zijn bij meerdere sporten waaronder basketbal.

2.2.3 Schaal in een frame

Schalen kunnen op verschillende manieren worden ontworpen en verbonden aan het frame van de sportrolstoel. In de kosten maakt het uit of het om maatwerk gaat of om serieproducten. Dit is van belang voor de te kiezen productieprocedure. De verschillende mogelijkheden zijn hieronder uitgewerkt.

2.2.3.1 Maatwerk schaal en maatwerk frame

In de huidige situatie worden de schaal en het sportrolstoelframe beide op de maat van de sporter gemaakt.
De sportrolstoel van Jiske Griffioen is hier een goed voorbeeld van (afbeelding 10). Dit resulteert in een hoogwaardige maar relatief dure sportrolstoel.

Afbeelding 10 – Volledig maatwerk

2.2.3.2 Maatwerk schaal en modulair frame

Om kosten te reduceren kan gekozen worden een maatwerk schaal op een modulair frame te monteren. Door de maatwerk schaal blijft de fixatiekwaliteit hoog.
Een voorbeeld zijn zitorthesen, dit zijn zittingen die vaak met behulp van een vacuümzak worden aangemeten. De definitieve zitting wordt vervolgens in een standaard rolstoel gemonteerd.
Een ander voorbeeld zijn de schalen ontwikkeld voor een aantal atleten van het paralympische basketbalteam van Groot-Brittannië (afbeelding 11). De afdruk van het lichaam in een vacuümzak is 3D gescand en vervolgens is de schaal 3D geprint. De schalen kunnen op modulaire frames gemonteerd worden.

Afbeelding 11 - Schaal 3D geprint

2.2.3.3 Serieproductie schaal en modulair frame

Een serieproductie schaal wordt in meerdere confectiematen gemaakt, bijvoorbeeld S, M, L en XL. Hieruit kan gekozen worden welke het beste aansluit bij het lichaam van de sporter. De schaal is vervolgens op een modulair frame te monteren.
De combinatie wordt toegepast bij zitski's zoals van Tessier en Praschberger (afbeelding 12). Schalen en voetbakken zijn in verschillende maten te koop. Doordat de schaal en het frame standaard zijn kunnen deze relatief goedkoper worden geproduceerd dan de twee hierboven genoemde combinaties.

Afbeelding 12 - Praschberger zitski-schaal

2.2.3.4 Monocoque

De monocoque techniek is relatief het duurst echter, deze dient wel genoemd te worden omdat het nieuw is en de ontwikkelingen hard gaan. Monocoque is een constructietechniek waarbij de schaal en het frame één geheel vormen. De buitenhuid vormt de dragende constructie waarin de schaal is geïntegreerd. Met composieten is een lichtgewicht en stijf product te vervaardigen.
Een voorbeeld van de toegepaste monocoque techniek in de paralympische sportwereld is de handbike van Alessandro Zanardi (afbeelding 13), ontwikkeld door raceautofabrikant Dallara Automobili.

Afbeelding 13 - Monocoque schaal, Allesandro Zanardi

De getoonde schalen vormen een deel van alle schalen (Bijlage II: Schalen). Bij het ontwerpen van de productieprocedure moet blijken of een maatwerk of serieproductie schaal voordeliger is. Het frame en de montage van de schaal vallen buiten het project (eis 13). Hier zijn altijd oplossingen voor te vinden en vallen onder het ontwerp van de schaal. In de toekomst zou een modulair frame mooi zijn.

2.3 Productieprocedure

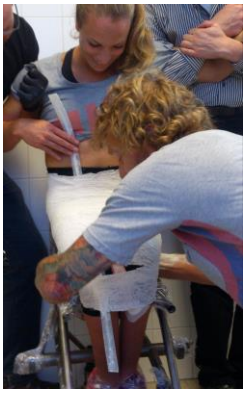
De productieprocedure van schalen is ingedeeld in drie hoofdfases: analyse, aanmeten en vervaardigen. In dit hoofdstuk worden de fases uitgelegd.

2.3.1 Analyse

In de analyse is het van belang om alle informatie te noteren die nodig is voor het aanmeten en vervaardigen van de schaal. Dit wordt gedaan aan de hand van de bewegingsanalyse, waarin bepaald wordt waar het lichaam van de sporter gefixeerd en ondersteund moet worden door de schaal. De bewegingsanalyse richt zich op hoe de gehele prestatie van de sporter geoptimaliseerd kan worden. De analyse vormt gericht de leidraad voor de productie van de schaal. Momenteel wordt al deze informatie genoteerd door het maken van schetsen en aantekeningen. Later in het traject is het echter moeilijk te achterhalen waarom keuzes zijn gemaakt. Het invullen van een vast protocol, een betere documentatie en herhaalbaarheid moeten tijdsbesparing opleveren. Hiernaast kan het werk beter worden overgedragen aan een ander persoon; een vereiste in een multidisciplinair team. Het is belangrijk dat de analysemethode alle informatie en keuzemomenten vastlegt (wens 6). Zo kan altijd worden teruggekeken waarom een keuze is gemaakt.

2.3.2 Aanmeten

Het aanmeten van een schaal is het verkrijgen van een afdruk van de onderste extremiteit in de juiste houding, ook negatief genoemd. Aan de hand van de analyse wordt een negatief gemaakt van de lichaamsdelen die gefixeerd en ondersteund moeten worden. Het aanmeten ging bij Esther Vergeer met een vacuümzak waarmee de lichaamsvorm wordt overgenomen. Bij Jiske Griffioen, Jetze Plat en Stefan Rusch is de schaal aangemeten met gipszwachtels, door Frank Jol (afbeelding 14), bekend als prothesemaker van paralympische sporters. Het belangrijkste verschil is dat de vacuümzak een betere afdruk maakt van het zitvlak. Het lichaam kan gepositioneerd worden en lichaamsweefsel wordt door de zwaartekracht ingedrukt, net als in de werkelijke situatie. Bij beide methoden kunnen tijdens het aanmeten correcties of markeringspunten worden gemaakt door indrukken van weefsel. De volgende vier aspecten zijn van belang voor de keus van een aanmeetmethode. Een relatief nauwkeurig negatief van het lichaam (wens 8). Het lichaamsweefsel moet tijdens het aanmeten op een vergelijkbare manier als in de werkelijke situatie worden belast door de zwaartekracht (wens 9). Tijdens of na het aanmeten zijn correcties te maken om dikte te reduceren of toe te voegen (wens 10). Het op locatie kunnen aanmeten (wens 5).



Afbeelding 14 – Aanmeten schaal met gipszwachtels, Jiske Griffioen

2.3.3 Vervaardigen

Met het negatief van het lichaam wordt de schaal gemaakt. Een positieve mal wordt gemaakt door het negatief van gipszwachtels (afbeelding 15) te vullen met gips. Als deze hard is wordt het negatief verwijderd en het positief bewerkt. Het nadeel is dat dit gipsblok erg zwaar is en de handelingen bewerkelijk zijn (Bijlage IV: Log – Frank Jol). Om het positief wordt een proefschaal gemaakt in PetG (thermoplastisch kunststof). De proefschaal (afbeelding 16) wordt provisorisch in het rolstoelframe gemonteerd en uitvoerig getest. De proefschaal wordt gecorrigeerd door verwarmen en buigen, indien nodig met carbon verstevigd. Als de proefschaal naar wens is wordt deze volgegoten met gips. Met de nieuwe positieve mal kan de definitieve schaal worden vervaardigd. Om deze mal wordt carbon gelamineerd. De definitieve schaal wordt na bewerkt en afgewerkt met een laklaag. Alles bij elkaar is dit een zeer tijdrovend proces. Voor de schaal geldt dat deze de onderste extremiteit insluit en fixeert, zonder pijnklachten en zonder de sporter te beperken in zijn prestatie (eis 15 en eis 16).

Afbeelding 15 - Negatief bijwerken

Afbeelding 16 - Proefschaal PetG

2.4 Kostenanalyse

Om de kosten van de productieprocedure te reduceren is het nodig om de verschillende factoren die hierop van invloed zijn te doorgronden. Een overzicht van de huidige productiekosten maakt het mogelijk in te zien welke onderdelen in de productieprocedure kansen voor reductie geven. Vervolgens wordt gekeken op welke fronten kosten te reduceren zijn op andere factoren, zoals werkuren.

2.4.1 Huidige productiekosten

Het is noodzakelijk zo nauwkeurig mogelijk te weten wat de kosten, uren en materialen, per fase, van de huidige productieprocedure zijn. Een productiekostenoverzicht is gemaakt aan de hand van een beschrijving van Coen Vuijk (Bijlage III: Productiekostenoverzicht), een vereenvoudiging hiervan staat hieronder (tabel 1). Weergegeven zijn de werkuur- en materiaalkosten en de totale productiekosten, à € 3.560 per schaal. De marketingkosten zoals de winstmarge, de verhouding tussen omzet en winst, staan altijd los van de productiekosten en worden daarom niet bekeken. Alle kosten zijn berekend exclusief BTW, dit geldt tevens voor alle kosten die worden getoond. Voor het uurtarief is € 65 berekend, dit is een geschat gemiddelde van wat Coen Vuijk, Frank Jol en zijn werknemers kosten. Met dit bedrag wordt ook gerekend in de te ontwerpen productieprocedures (eis 10). In het productiekostenoverzicht zijn geen investeringen meegenomen. De investeringen heeft Frank Jol Orthopedie al gedaan en deze zijn/worden eruit gehaald doordat de apparatuur voornamelijk wordt gebruikt bij het maken van protheses en andere orthopedische hulpmiddelen. Met het productiekostenoverzicht wordt in de productiekostenreductie geanalyseerd op welke vlakken winst te behalen is.

Tabel 1 – Kostenoverzicht

Factor	Aantal	Kosten
Werkuren	44	€ 2.860
Materiaal		€ 700
Totaal		€ 3.560

2.4.2 Productiekostenreductie

Om de productiekosten te reduceren zullen nieuwe methoden voor de productieprocedure moeten worden ontworpen. Hiervoor moet niet alleen naar bestaande orthopedische methoden worden gekeken, maar dient tevens gezocht te worden in andere vakgebieden en disciplines (eis 5). Meerdere factoren zijn van invloed op de kosten van een productieprocedure. In willekeurige volgorde zijn de kernfactoren: werkuren, productieaantal, investering en kwaliteit. De kwaliteit is onder te verdelen in productie, materiaal en insluiting. Deze factoren zijn bepalend in de keus van methoden om productiekosten te reduceren (wens 1). De kleinere factoren, zoals vervoerskosten (excl. reiskosten van diensten) en levertijd worden niet meegerekend, dit wordt nog toegelicht.
Het zoeken naar nieuwe methoden om de kosten te reduceren roept ook de vraag op of serieproductie voordeliger kan zijn dan maatwerk. Serieproductie wordt per schaal goedkoper wanneer het aantal toeneemt, daar staat tegenover dat vaak een hogere investering nodig is. Bij een bepaald aantal zal serieproductie goedkoper zijn dan maatwerk. Voor de productiekosten van schalen geldt een kostengrens van € 2.000, dit is 56 % van de huidige € 3.560 (eis 9).
In dit hoofdstuk worden de genoemde factoren die van invloed zijn op de productiekosten geëxpliciteerd.

2.4.2.1 Werkuren

De productiekosten bestaan voor een groot deel uit werkuren, 44 uur, 80% van de totale productiekosten. Voor het verminderen van deze kosten zijn meerdere opties: snellere methoden, schrappen van handelingen en de complexiteit verlagen. In de zoektocht naar nieuwe methoden moet blijken of andere methoden sneller en eenvoudiger zijn.
Het verminderen van handelingen door het toepassen van nieuwe methoden kan veel kosten besparen. Het schrappen van een proefschaal (afbeelding 17) kan bijvoorbeeld door een aanmeetmethode die een beter negatief maakt van het lichaam, waardoor direct een goed sluitende definitieve schaal kan worden gemaakt. Dit zou ongeveer 18 uur schelen, van proefschaal vervaardigen tot en

Afbeelding 17 - Proefschaal passing Jiske Griffioen

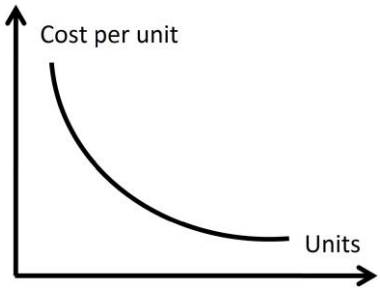
met testen, komt dat neer op een besparing van € 1.170. De proefschaal is volgens Frank Jol niet te schrappen uit de productieprocedure vanwege de correctie mogelijkheden. Daar staat tegenover dat de aanmeetmethode met gipszwachtels bewerkelijk is en verre van optimaal (Bijlage IV: Log – Frank Jol).
Om te innoveren wordt gezocht naar nieuwe aanmeetmethoden die een proefschaal overbodig maken. Voor de nieuwe productieprocedure geldt daarom dat geen proefschaal nodig is (wens 11). Nog een optie is het verlagen van de complexiteit, een werknemer met een lager uurtarief kan daardoor de handeling uitvoeren. Complexiteit verlagen gaat volgens Frank Jol niet, wel blijft het goed om te kijken of het eenvoudiger kan, dit kan de tijd verkorten die nodig is voor een handeling.

2.4.2.2 Aantal

Het aantal schalen dat geproduceerd wordt is bepalend voor de kosten per schaal. Met de huidige productieprocedure worden 2 tot 4 schalen per jaar geproduceerd.
"het productieaantal is met deze methode maximaal vijf tot tien schalen per jaar, dit komt door de tijd die het kost." (Bijlage IV: Log – Frank Jol)
Met een andere methode kunnen mogelijk meer schalen per jaar worden gemaakt, zoals serieproductie. Serieproductie kan goedkoop zijn bij 200 schalen maar niet bij 50. Dit is het schaaleffect: *"Dit is de misvatting om te veronderstellen dat als een systeem op een bepaalde schaal werkt, dat ook op een kleinere of een grote schaal het geval zal zijn."* (Lidwel et al., 2009, pp. 174–175).Voor de keuze van een productieprocedure is het dus van belang om de onder- en bovengrens van het aantal schalen per jaar te weten. Deze grenzen zijn in overleg vastgelegd:
"Twintig schalen is de ondergrens, hieronder is het niet interessant genoeg. De bovengrens hangt af van hoe goed de productieprocedure is, honderd per jaar is een mooi streven en zou een groot succes zijn." (Coen Vuijk, 2015) (eis 6)
Het aantal te produceren schalen per jaar is van belang om te beoordelen of een productieprocedure uitvoerbaar is voor het aantal geplande schalen per jaar. Daarnaast is het aantal doorslaggevend voor de investeringskeuze.

2.4.2.3 Investering

Voor sommige productiemethoden is een investering nodig. Bij een serieproductie zijn bijvoorbeeld matrijzen nodig, of voor een maatwerkproduct is een bepaald gereedschap vereist. Zo kan een serieproductie voor duizend schalen per jaar een goedkopere schaal opleveren dan een maatwerk schaal van 30 per jaar. De investeringskosten voor de serieproductie zijn echter zo hoog dat kleine aantallen als 30 per jaar resulteren in een onbetaalbare schaal. Om te zien of de investering realistisch is kunnen de investering plus de productiekosten worden gedeeld door het aantal schalen, deze relatie heet de "economy of scale". Als de "economy of scale" in een grafiek wordt weergegeven is, mits sprake is van een investering, een exponentiële afname te zien (afbeelding 18). Verschillende productieprocedures hebben een ander verloop van de lijn, lijnen zullen elkaar snijden en zo wordt visueel gemaakt welke goedkoper is. Zo kan worden bewezen aan de opdrachtgever dat een investering acceptabel is in verhouding met het aantal schalen. Hoe groot het bedrag is dat Motion Matters kan investeren is voor Coen Vuijk gissen. Dit zal inderdaad moeten blijken uit hoe acceptabel een investering is, zoals hiervoor genoemd. Hierin moet per productieprocedure inzicht worden gegeven (wens 4).



Afbeelding 18 - Economy of scale, grotere eenheid verlagen kosten

Hiernaast is het handig om te weten of de investering ook voor andere projecten en doeleinden te gebruiken is. En/of een gezamenlijke aanschaf met bijvoorbeeld Frank Jol een uitkomst biedt.
Een andere mogelijkheid is het uitbesteden/samenwerken met een bedrijf dat gespecialiseerd is in de methode. Dit bedrijf kan met hun kennis meedenken in oplossingen en heeft de mogelijkheden om in nieuwe machines te investeren.

2.4.2.4 Kwaliteit

Kwaliteit is naast een belangrijke factor voor de productiekostenreductie dé factor die direct van invloed is op de sporters. De kwaliteit, waaronder de functie, beslist of een sporter beter presteert en belangrijker nog, in het stadium ervoor, of hij sowieso een schaal wil aanschaffen. Daarom geldt voor alle nieuwe methoden, dat de functie het grondbeginsel is voor de productieprocedure (eis 3).
De kwaliteit kan globaal door de volgende oorzaken voor te hoge productiekosten zorgen:

- *Te hoge specificatie, meer leveren dan de klant/markt vraagt of nodig heeft;*
- *Te weinig afstemming met bestaande artikelen en te veel varianten;*
- *Te veel en te duur materiaal;*
- *Te veel bewerkt oppervlak;*
- *Te zware verbindingen door over dimensioneren met arbitraire veiligheidsfactoren;*
- *Te nauwkeurige toleranties en te fijne afwerking;*
- *Te dure machines en gereedschappen;*
- *Enzovoort.* (Delhoofen, 2010, pp. 127–128)

"Een overstap van zitting naar een schaal is een grotere verbetering dan de sporter kan voelen. Het is als de overstap bij skiën van een leren schoen naar een wedstrijdschoen. De tussenstap van de toerschoen is overgeslagen terwijl de sporter het verschil niet kan voelen tussen een toerschoen en een wedstrijdschoen" (Coen Vuijk, 2015)

De kwaliteit (nauwkeurigheid, gewicht en stijfheid) van de schalen is momenteel hoger dan de sporter nodig heeft. Ook Frank Jol geeft aan dat de kwaliteit in balans moet zijn met de sporter zijn of haar capaciteit (Bijlage IV: Log – Frank Jol).
Door schalen te maken van een kwaliteit die in balans is met de sporter worden kosten gereduceerd. Voor nieuwe methoden moet wel worden onderzocht of een hogere kwaliteit mogelijk is tegenover lagere kosten om het proces eenvoudiger en sneller te maken (wens 3).
Zoals naar voren komt is de factor kwaliteit opgebouwd uit veel componenten, onder te verdelen in drie categorieën: productie, materiaal en insluiting. De categorieën worden hieronder toegelicht.

2.4.2.4.1 Productie

De kwaliteit van de productie wordt bepaald door de nauwkeurigheid van de methoden die worden toegepast. De kwaliteit van een methode hangt af van hoe goed de documentatie, tolerantie, oppervlakteruwheid, afwerking enzovoort, is. Dit bepaalt bijvoorbeeld of na het aanmeten direct een schaal kan worden vervaardigd en of deze vervolgens nog bewerkt moet worden. Hoe beter de kwaliteit tijdens de productie is, hoe minder kosten achteraf nodig zijn.

2.4.2.4.2 Materialen

Momenteel zijn materialen ongeveer 20% van de totale productiekosten. Materialen worden in de huidige productieprocedure gebruikt tijdens het aanmeten en vervaardigen van een proef- en definitieve schaal. Een andere aanmeetmethode zou materiaal kunnen besparen of zelfs volledig vervangen met een digitaal bestand. Een voordeel van een digitaal bestand is hiernaast ook dat het reproduceerbaar en eenvoudig te archiveren is. Deze aspecten zijn in de ogen van Coen Vuijk en Frank Jol ook belangrijk (wens 7). Een betere aanmeetmethode kan ook veel materiaal besparen door een proefschaal overbodig te maken, zoals eerder besproken (wens 11 en wens 17).
Bij besparen op materiaal voor de vervaardiging van een schaal moeten drie aspecten tegen elkaar afgewogen worden, de schaal moet aan zijn functie blijven voldoen. De drie aspecten voor een materiaal zijn: gewicht, stijfheid en kosten. Het zou kunnen dat momenteel een te duur materiaal wordt gebruikt en dat een kunststof ook zou volstaan. Echter, een kunststof zal over het algemeen van een dikkere wanddikte moeten worden gemaakt dan een composiet, om dezelfde stijfheid te krijgen. Dit betekent dat een schaal van "goedkoop" kunststof zwaarder is dan het "dure" maar lichte composiet. Het bijkomende voordeel van een composiet als carbon is dat de vezelrichting gekozen kan worden om precies in de gewenste richting stijf te zijn.

De carbon schaal van Jiske Griffioen is een grote verbetering ten opzichte van de glasvezel schaal van Esther Vergeer, deze laatste is aanzienlijk zwaarder. De kwaliteit van het carbon kan echter nog beter. Door de vezelrichting te berekenen en andere hars en technieken toe te passen kan de carbon schaal nog lichter worden gemaakt.
"De carbon schaal van Jiske weegt ongeveer 2 kg, wat relatief zwaar is en zeker lichter zou kunnen." (Bijlage IV: Log – Tobias Vermeulen)
Voor nu is een schaal van 2 kg het streefgewicht (wens 13), in de vorm van een bekken-knieën-schaal zoals die van Jiske Griffioen. Over de stijfheid van de schalen is momenteel niks te zeggen, deze wordt, in de huidige productieprocedure, geschat. Wel is op gevoel te zeggen of een materiaal stijf genoeg is voor de functie van een schaal. De stijfheid van de schalen moet dus voldoende zijn voor de functie, dit gaat op ervaring (wens 14). Het materiaal mag niet vervormen bij hoge temperaturen door invloeden van het lichaam en van buitenaf zoals de zon of in een hete auto staan (eis 17).

2.4.2.4.3 Fixatie

Hoe stijver de schaal is, hoe beter deze de onderste extremiteit fixeert. De overdracht van krachten is direct en het lichaam vormt één geheel met de rolstoel, de functie van de schaal. Voor de schaal geldt dat deze de onderste extremiteit insluit en fixeert, zonder pijnklachten en afknellingen, en zonder de sporter te beperken in zijn prestatie (eis 15 en eis 16). Het verschil tussen maatwerk en een serieproduct is het aanmeten van de schaal, de keus waar en hoeveel gefixeerd moet worden. Bij maatwerk vindt in de productieprocedure het aanmeten plaats vóór de vervaardiging. Bij een serieproductie wordt eerst een schaal gemaakt en achteraf moet een aanmeetmethode het lichaam correct insluiten. Het probleem dat ontstaat, is de grote normaal verdeling tussen mensen. Een oplossing hiervoor is het maken van meerdere maten, een confectieproduct. Aan de hand van normale verdelingen van antropometrie, zoals de DINED tabel van de TU Delft, kunnen deze maten in een later stadium worden ontworpen. Voor nu geldt dat de productieprocedures op basis van serieproductie berekend moeten worden op drie confectiematen, S, M en L (eis 7).

2.4.2.5 Vervoerskosten

Vervoerskosten worden niet meegerekend, uitgezonderd reiskosten van een externe dienstverlener, omdat dit onderzoek zich volledig richt op de productieprocedure. Eigen reiskosten worden niet gerekend, ervan uitgaand dat bij alle productieprocedures evenveel gereisd dient te worden. Bij de externe dienstverlener moet gedacht worden aan een gespecialiseerd bedrijf dat op locatie komt. Deze locatie is vastgesteld op Sportcentrum Papendal (eis 11). Alleen met bedrijven die in Nederland zijn gevestigd wordt samengewerkt (eis 8), mogelijke transportkosten zullen daardoor niet noemenswaardig hoog dan wel gelijk zijn. Als een bedrijf internationaal vestiging heeft en een product daardoor intern in het buitenland laat maken, vallen transportkosten onder de noemer van productiekosten. Bedrijven uit lagelonenlanden zoals het Oostblok of Azië worden niet benaderd. Aan het directe contact en de communicatie wordt veel waarde gehecht. Daarnaast is het noodzakelijk om naar die fabrieken te reizen voor afspraken, controles en dergelijke. De kosten van deze reizen en de hogere transportkosten doen zeer waarschijnlijk teniet aan de lage productiekosten, zeker in deze lage productieaantallen. Een fabrikant in Nederland is toegankelijker en sneller te bereiken in geval van een overleg of probleem of een aanpassing in de productie. Alle productietechnieken zijn tevens in Nederland aanwezig. Hiernaast stimuleert het in Nederland zaken doen, de kennismaatschappij en binnenlandse economie.

2.4.2.5 Levertijd

De levertijd van bedrijven wordt niet meegewogen in de beoordeling van de productieprocedure. Het is alleen belangrijk dat de productietechniek toepasbaar is. De levertijd is de tijd van aanvraag tot en met het afleveren van het product aan Motion Matters. Dit is dus niet de werktijd die het kost in uren, dit valt onder de kosten van de methode.

2.5 Programma van eisen en wensen

Op basis van de analyse zijn eisen en wensen opgesteld waarmee de volgende ontwerpvisie is geformuleerd:

"Een productieprocedure ontwerpen om de kosten te reduceren, waardoor meer topsporters beter presteren"

Het programma van eisen en wensen is geordend op de levensloop van het product in vier fases: ontstaan, verspreiden, gebruiken, verdwijnen (Timmers & van der Waals, 2009, pp. 58–59). Vermeld staat of het om een eis of wens gaat, met beide een eigen nummering.

2.5.1 Ontstaan

Eis 1. Het eindproduct is een advies aan Motion Matters, op basis van een nieuwe productieprocedure waarmee de kosten worden gereduceerd;

Eis 2. De fases analyse, aanmeten en vervaardigen, van de productieprocedure zijn geoptimaliseerd;

Eis 3. De functie is het grondbeginsel voor de productieprocedure;

Eis 4. De methode is ondergeschikt aan de houding van het lichaam in de schaal;

Eis 5. De bestaande orthopedische technieken en apparatuur moeten geen beperking vormen, er dient breed gezocht te worden in diverse vakgebieden;

Wens 1. De factoren werkuren, aantal (kosten per stuk), investering en kwaliteit (verdeeld in productie, materiaal en fixatie) zijn bepalend in de keuze van de productieprocedure;

Eis 6. Met de productieprocedure kunnen tussen de 20 en 100 schalen per jaar geproduceerd worden;

Eis 7. Productieprocedures op basis van serieproductie zijn berekend op drie confectiematen, S, M en L;

Eis 8. Uitsluitend samenwerking met bedrijven in Nederland;

Wens 2. Mits er tijd, ruimte en mogelijkheden zijn zal de nieuwe productieprocedure werkelijk worden uitgevoerd;

2.5.2 Verspreiden

Eis 9. De productiekosten van schalen mag maximaal € 2.000 zijn, 56 % van de huidige € 3.560;

Wens 3. Een hogere kwaliteit tegenover lagere kosten;

Wens 4. De investering in een productieprocedure moet acceptabel zijn, hiervoor moet inzicht in de kosten worden gegeven waarmee Motion Matters de keuze kan maken;

Eis 10. Het uurtarief van berekende werkuren is € 65;

Wens 5. Aanmeten kan op locatie;

Eis 11. De locatie voor aanmeten is vastgesteld op Sportcentrum Papendal;

2.5.3 Gebruik

2.5.3.1 Productieprocedure

Wens 6. In de analysemethode is alle informatie vast te leggen, als basis voor de verdere productie;

Wens 7. De productieprocedure is reproduceerbaar;

Wens 8. De aanmeetmethode levert, zowel bij digitale als fysieke methoden, een nauwkeurig negatief van de onderste extremiteit;

Wens 9. Het lichaamsweefsel wordt tijdens het aanmeten op waarheidsgetrouwe manier belast door de zwaartekracht;

Wens 10. Tijdens en/of na het aanmeten zijn correcties te maken;

Wens 11. In de productieprocedure is geen proefschaal nodig;

Eis 12. Het huidige ontwerp dient als houvast bij het inventariseren van nieuwe productieprocedures;

Eis 13. Het sportrolstoelframe en de montage van de schaal horen bij het ontwerp van de schaal en vallen daarom buiten de productieprocedure;

2.5.3.2 Schaal

Wens 12. De schaal is een exact negatief van de onderste extremiteit waarmee de topsporter wordt gefixeerd;

Eis 14. Alle delen van de onderste extremiteit moeten gefixeerd kunnen worden, met de keus waar en hoeveel fixatie;

Eis 15. De schaal mag de sporter niet beperken in zijn prestatie;

Eis 16. De schaal mag geen pijnklachten of afknellingen veroorzaken, binnen de duur van een training en wedstrijd;

Wens 13. Lichtgewicht, een streefgewicht van 2 kg (schaal Jiske Griffioen);

Wens 14. De stijfheid van de schalen is voldoende voor de functie, dit gaat op ervaring;

Eis 17. De schaal vervormt niet bij hoge temperaturen door invloeden van het lichaam en van buitenaf zoals de zon of in een hete auto staan;

Eis 18. Strapping valt onder het ontwerp van de schaal en buiten de productieprocedure;

Wens 15. De transfer en instappen zijn ondergeschikt aan de prestatie, coach/trainer kan assisteren;

Wens 16. Lichaamstemperatuur en zweet worden gereguleerd;

2.5.4 Verdwijnen

Wens 17. Weinig restafval;

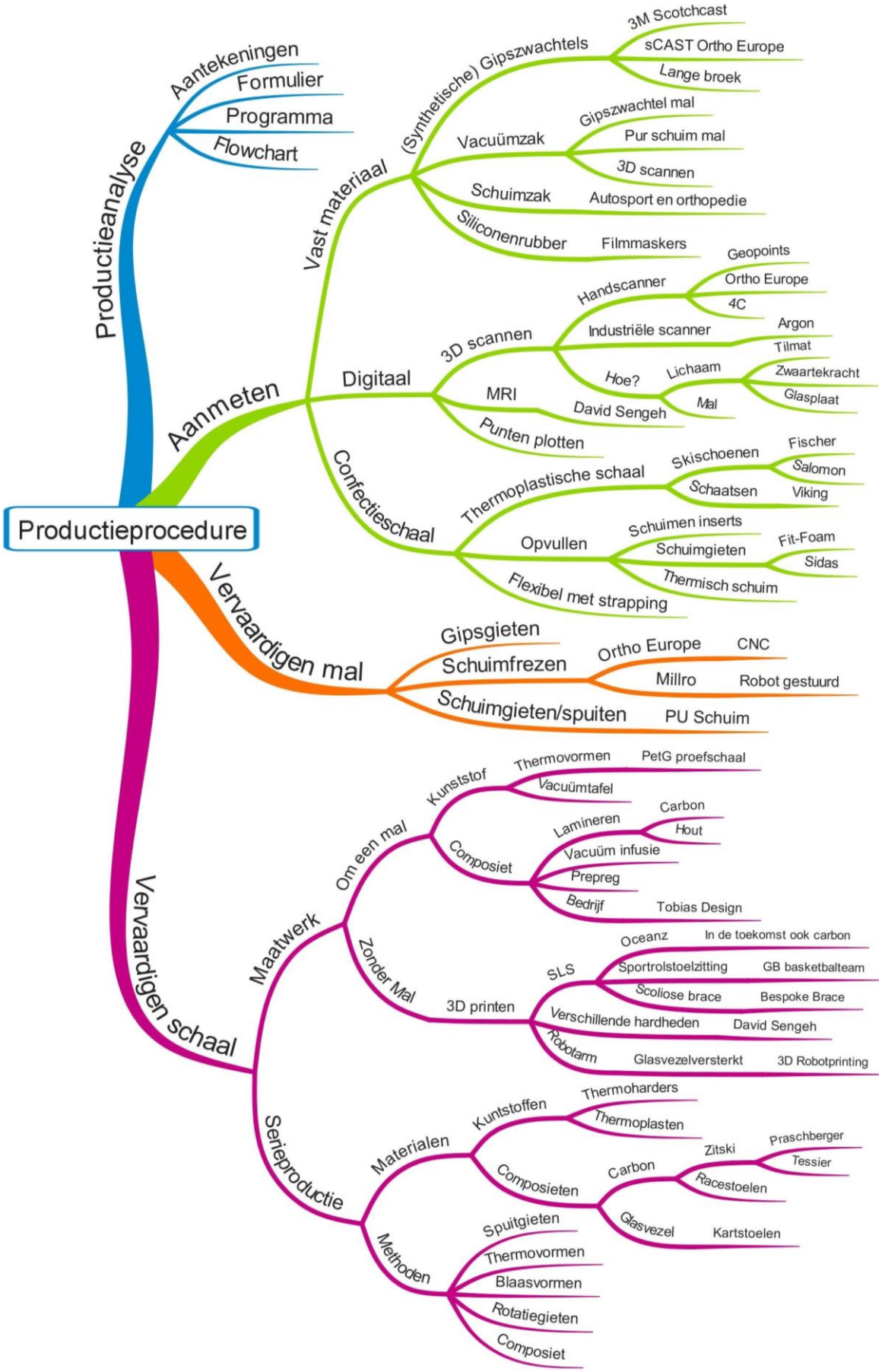
Wens 18. Recyclebare grondstoffen.

Deel III: Ontwerpen

3.1 Ideeën

Voor het ontwerpen van een nieuwe productieprocedure is eerst gedivergeerd door veel ideeën op te zoeken voor nieuwe methoden en materialen. Ideeën zijn opgedaan op beurzen (ISPO München 2015, RapidPro 2015 en Materials 2015), uit gesprekken (met Coen Vuijk, Frank Jol en diverse bedrijven), door te bladeren in boeken en op internet te surfen. Om de verzamelde ideeën te documenteren en te visualiseren is een mindmap (afbeelding 19) opgesteld. De mindmap vormt een boomstructuur van gestructureerde ideeën in de fases van de productieprocedure: analyse, aanmeten en vervaardigen.
Van de personen en bedrijven waarmee contact is geweest is een contactenlijst gemaakt (Bijlage V: Contactenlijst). Alle gesprekken die zijn gevoerd op de beurzen, tijdens bezoeken aan bedrijven, telefonisch en via de e-mail zijn bijgehouden in de log (Bijlage IV: Log), als een logboek.

NOTE: Voor alle bedrijven die voorkomen in *"Deel III: Ontwerpen"* wordt verwezen naar de bijlage (Bijlage IV: Log). De gesprekken met de bedrijven zijn gesorteerd op methode en te vinden onder de bedrijfsnaam.



Afbeelding 19 – Morfologische kaart, van productieprocedure naar verschillende ideeën

3.2 Concepten creëren

"Een morfologische kaart is een overzicht van oplossingen voor deelproblemen"(Timmers & van der Waals, 2009, p. 83). Om inzicht te geven in ideeën, methoden met elkaar te associëren en uiteindelijk concepten te creëren is een morfologische kaart gebruikt. De morfologische kaart (afbeelding 20) op de volgende pagina is opgebouwd uit verschillende delen. In de eerste kolom staan de verschillende fases van de productieprocedure. Voor de fases zijn verschillende HKJ - hoe kun je …? (Timmers & van der Waals, 2009, p. 83) vragen opgesteld. HKJ is een creativiteitstechniek om te brainstormen over nieuwe technieken en in dit geval methoden. De methoden zijn gekozen op basis van de meest potentiële ideeën. Hoe meer de methode naar rechts staat hoe innovatiever deze is. De ideeën zijn voorafgaand besproken met bedrijven op beurzen, bezoeken, telefonisch en via de email. Alle gesprekken en informatie zijn samengevat in de log, als een logboek (Bijlage IV: Log).

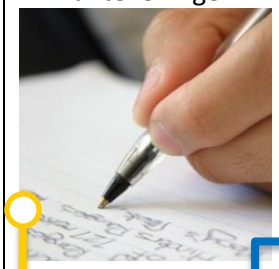
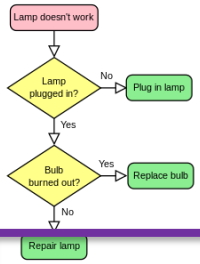
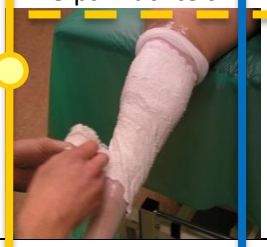
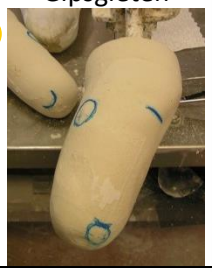
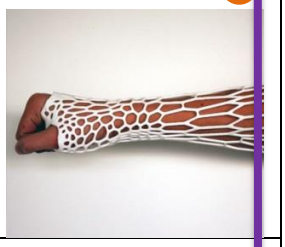
Met de lijnen die door de morfologische kaart lopen zijn concepten (van productieprocedures) ontworpen, door verschillende methoden met elkaar te associëren (verbinden met een lijn). De ontworpen concepten worden in het volgende hoofdstuk, *"Concepten uitwerken"*, behandeld. De volgorde van methoden die door de conceptlijnen worden verbonden is niet per definitie van boven naar beneden. De concepten starten bij de methode met een niet opgevulde bol (◯) en daarna volgen de methoden in volgorde elkaar op langs de gekleurde lijn.
De gele lijn is geen concept maar de huidige en, met stippellijn naar vacuümzak, oude productieprocedure.
De conceptproductieprocedures bestaan uit twee maatwerk en drie serieproductie schalen.

Maatwerk:

- Groen "Composiet maatwerk"
- Oranje "3D printen"

Serieproductie:

- Rood "Rotatiegieten"
- Blauw "Thermovormen"
- Paars "Composiet serieproductie"

Fase	Hoe kun je …	Methode		
Productie-analyse	… de informatie noteren?	Aantekeningen 	Formulier	Flowchart 
Aanmeten	… een negatief van het lichaam maken?	(Synthetische) Gipszwachtels 	Vacuümzak	3D scannen
	… het lichaam in een serieproductie schaal sluiten?	Thermoplastisch vervormen	Schuimen inserts	Schuimgieten
Vervaardigen	… een positieve mal maken?	Gipsgieten 	Schuimgieten	Schuimfrezen
	… een maatwerk schaal maken?	Thermovormen	Composiet	3D printen 
	… een serieproductie schaal maken?	Rotatiegieten	Thermovormen	Composiet

Afbeelding 20 – Morfologische kaart. Gele lijn is de huidige en, met stippellijn naar vacuümzak, oude productieprocedure. Concepten maatwerk: Groen "Composiet maatwerk" en Oranje "3D printen" en serieproductie: Rood "Rotatiegieten", Blauw "Thermovormen" en Paars "Composiet serieproductie"

3.3 Concepten uitwerken

In het voorgaande hoofdstuk zijn vijf concepten van productieprocedures ontworpen. In dit hoofdstuk worden de concepten uitgewerkt. Kostengrafieken zijn gemaakt met de informatie en offertes die zijn opgevraagd bij bedrijven (Bijlage IV: Log). Uit meerdere bedrijven die dezelfde techniek toepassen en een kostenoverzicht hebben gestuurd is een keuze gemaakt op basis van kosten, inhoudelijke informatie en samenwerking.

Om de concepten te beoordelen en vervolgens te vergelijken zijn van alle concepten grafieken en radarplots opgesteld. De grafieken visualiseren per concept de "economy of scale", het verloop van kostprijs per schaal tegenover het aantal. In de grafieken is het verloop te zien inclusief investering (doorgetrokken lijn met markeringspunten) en exclusief investering (stippellijn), om te tonen welk deel van de kostprijs investering is. Tevens staat de kostengrens van € 2.000 euro (doorgetrokken zwarte lijn) in de grafiek. De radarplots tonen de totaalscore van een concept op de factoren: kostprijs per schaal bij 20 en bij 100 schalen, investering, werkuren en kwaliteit verdeeld in productie (nauwkeurigheid), materiaal (gewicht) en fixatie (stijfheid). Hoe hoger de score, hoe beter. De te behalen score per factor is in tien punten verdeeld (tabel 2). Van elk concept worden de scores weergegeven in een scoretabel.
In het hierop volgende hoofdstuk *"Conceptkeus"* zal de beslissende keus worden gemaakt.

Tabel 2 – Overzicht te behalen scores

Score	Kostprijs (20)	Kostprijs (100)	Investering	Uren	Nauwkeurigheid	Gewicht	Stijfheid
10	€ 0	€ 0	€ 0	0	Zeer hoog	0 kg	Zeer hoog
8	€ 400	€ 400	€ 4.000	8,8	Hoog	1 kg	Hoog
6	€ 800	€ 800	€ 8.000	17,6	> gem.	2 kg	> gem.
4	€ 1.200	€ 1.200	€ 12.000	26,4	< gem.	3 kg	< gem.
2	€ 1.600	€ 1.600	€ 16.000	35,2	Laag	4 kg	Laag
0	> € 2.000	> € 2.000	> € 20.000	> 44	Zeer laag	5 kg	Zeer laag

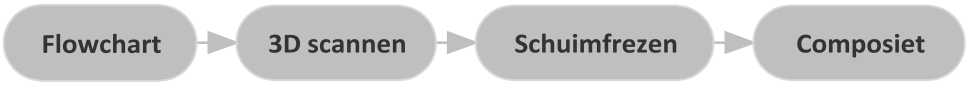
NOTE: De methoden in de analyse dienen van enige uitleg te worden voorzien voorafgaand aan de uitwerking van de concepten. Nieuwe methoden voor het noteren van informatie in de analyse zijn een formulier en een flowchart. Beide worden nog niet ontworpen in de conceptfase, dit gebeurt, mits voldoende tijd beschikbaar is, tijdens het ontwerpen van de nieuwe productieprocedure. Het formulier is vergelijkbaar met de formulieren van rolstoelfabrikanten om rolstoelen aan te meten. Een flowchart is een stroomdiagram waarin stap voor stap de oplossing wordt gekozen die nodig is. Van beide methoden wordt aangenomen dat zij de werkuren voor deze fase reduceren van twee uur naar één uur. De analysemethode wordt wel genoemd en meegerekend in de concepten.

3.3.1 Maatwerk concepten (Groen en Oranje)

Maatwerk productieprocedures leveren een schaal die een negatief is van het lichaam. Twee maatwerk conceptproductieprocedures zijn ontworpen op basis van de relatief nieuwe aanmeetmethode: 3D scannen. 3D scannen maakt een proefschaal overbodig. Het voordeel is dat een directe afdruk van het lichaam kan worden gemaakt zonder tussenstap met gipszwachtels of een vacuümzak. Een oplossing dient ontworpen te worden om het lichaam te ondersteunen tijdens het scannen. Het idee is om de sporter in een tilmat te hangen, de zwaartekracht drukt het zitvlak in en er is geen belemmering voor het scannen. Op de computer kan de scan digitaal worden bewerkt, van gladstrijken tot en met plaatselijk corrigeren. Originele en bewerkte bestanden kunnen digitaal worden gearchiveerd, hierdoor is de productie reproduceerbaar. 3D scanners kunnen worden gekocht of worden gehuurd (in- of exclusief dienstverlener). Concept Groen is op basis van de dienstverlening en voor concept Oranje wordt een 3D scanner aangeschaft.

3.3.1.1 Concept Groen "Composiet maatwerk"

In concept Groen is de productieprocedure (afbeelding 21) als volgt opgebouwd. Eerst wordt de analyse vastgelegd op een flowchart. In samenwerking met een extern bedrijf wordt van de sporter een 3D scan gemaakt. De 3D scan wordt digitaal gecorrigeerd en op basis hiervan wordt een schuimen mal uitgefreesd. De schaal wordt vervaardigd van gelamineerd carbon op schuimen mal.



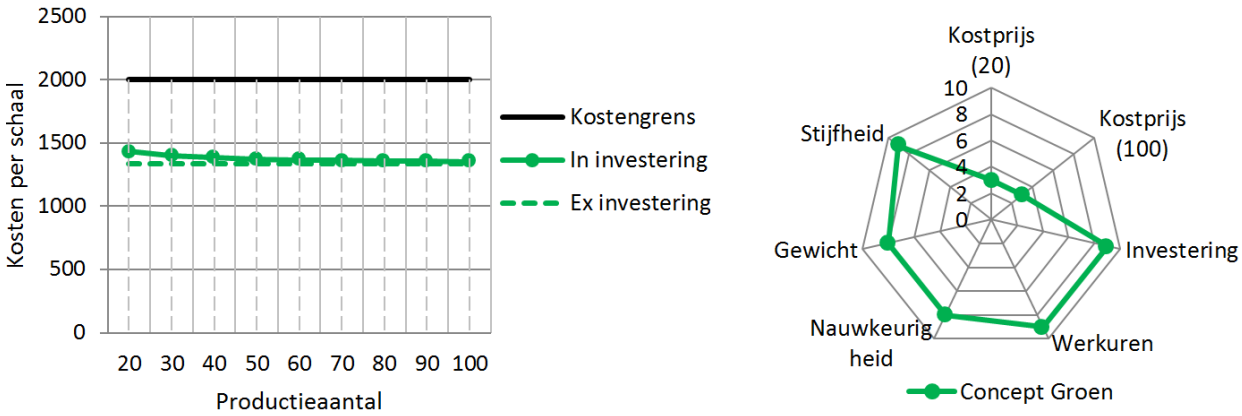
Afbeelding 21 – Productieprocedure concept Groen

De scores van dit concept zijn per factor samengevat in een scoretabel (tabel 3); de totstandkoming is hieronder beschreven.

Tabel 3 – Scoretabel concept Groen

Factor	Waarde	Score
Kostprijs (20)	€ 1.433	3
Kostprijs (100)	€ 1.353	3
Investering	€ 2.000	9
Werkuren	3¾	9
Nauwkeurigheid	Hoog	8
Gewicht	1,1 kg	8
Stijfheid	> Hoog	9

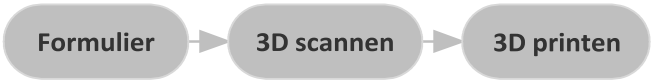
In dit concept is gekozen voor een samenwerking met het dienstverlenende 3D scan bedrijf Geopoints. Het voordeel hiervan is dat de apparatuur niet aangeschaft hoeft te worden en het bedrijf expertise heeft. Om kosten te besparen wordt een scansessie georganiseerd op Sportcentrum Papendal. In een dagdeel van 4 uur kunnen 8 sporters gescand worden. De scansessie kost voor 8 sporters totaal € 795, hier komen 6 eigen werkuren bij, inclusief voorbereiden en opruimen. Per sporter komt het scannen neer op € 100 plus 45 werkminuten.
De 3D scans moeten achteraf nog bewerkt worden door Motion Matters en daar is speciale software voor nodig. De software die door meerdere bedrijven wordt aangeraden is Leios, te koop bij Geoscan. Leios Surface Base + Registration is het geschikte pakket voor een lage prijs. Het voordeel is de meshing tool Leios Mesh, deze trekt over alle losse surfaces of een rommelige puntenwolk een soort zak, hierdoor ontstaat een totaal strakke scan. De kosten van de software, tevens de hele investering, is € 2.000. Het bewerken van een scan komt neer op één uur.
Millro B.V. freest vervolgens, robot gestuurd, in schuim de mal voor het vervaardigen van de schaal. Als schuim is gekozen voor het materiaal PIR 120, dit is hard en heeft een goede oppervlaktekwaliteit na het verspanen. Het frezen van een schuimen mal komt neer op € 260.
Tobias Design vervaardigt de schalen door carbon te lamineren op basis van de schuimen mal, voor € 730 per schaal. De toegepaste carbonvezel, hars en techniek zijn van hoge kwaliteit. Het materiaal geeft zeer stijve en lichtgewicht, 1,1 kg, schalen met een hoge nauwkeurigheid. Hierdoor fixeren de schalen die concept Groen levert het lichaam optimaal. Inclusief aflevering van de schaal komen de werkuren totaal op 3¾ uur. Bij 20 schalen per jaar komen de kosten op € 1.433 per schaal en bij 100 schalen per jaar op € 1.353 per schaal.
Alle gegevens van concept Groen geven de volgende grafiek en radarplot (afbeelding 22):



Afbeelding 22 – Grafiek en radarplot concept Groen

3.3.1.2 Concept Oranje "3D printen"

Voor concept Oranje (afbeelding 23) wordt eerst de informatie verwerkt op een formulier, daarna wordt een scan gemaakt van de onderste extremiteit van de sporter. Hiervoor wordt een 3D scanner aangeschaft, met het voordeel dat de scanner op elk moment beschikbaar is.
Het concept is opgenomen ondanks dat deze niet voldoet aan de eisen, maar omdat het 3D printen in de toekomst een mogelijkheid kan worden door snelle ontwikkelen op dit gebied.



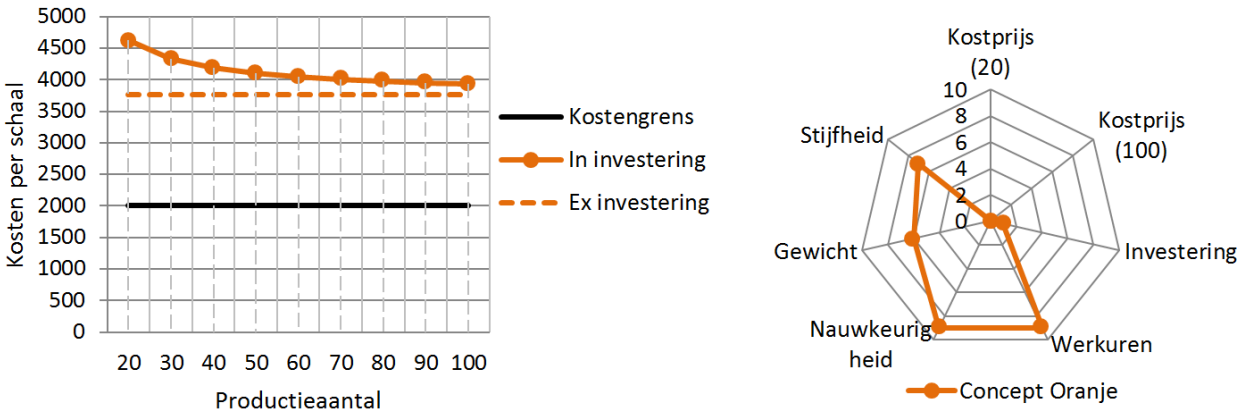
Afbeelding 23 – Productieprocedure concept Oranje

De scores van dit concept zijn per factor samengevat in een scoretabel (tabel 4); de totstandkoming is hieronder beschreven.

Tabel 4 – Scoretabel concept Oranje

Factor	Waarde	Score
Kostprijs (20)	€ 4.620	0
Kostprijs (100)	€ 3.932	0
Investering	€ 17.200	1
Werkuren	4	9
Nauwkeurigheid	> Hoog	9
Gewicht	2,2 kg	6
Stijfheid	< Hoog	7

De 3D scanner Artec EVA wordt bij 4C aangeschaft voor € 15.200, inclusief software en training op locatie. De Artec EVA is een 3D kleurenscanner, het voordeel is dat met een stift punten op het lichaam gemarkeerd kunnen worden. De bijgeleverde software is niet sterk, daarom is Leios nodig à € 2.000, zelfde als bij Concept Groen. De totale investering is hoog, € 17.200. Inclusief voorbereiden, opruimen en bewerken zal het scannen totaal twee uur kosten.
Oceanz kan schalen SLS (selective laser sintering) 3D printen van een Nylon. De kosten zijn hoog, € 3.500 - € 4.000 zonder afwerken (met € 3.500 wordt gerekend). Het proces verloopt grotendeels digitaal, hierdoor gaat geen informatie verloren en is de nauwkeurigheid hoog. Geen mallen zijn nodig en het restmateriaal is minimaal en kan gerecycled worden. De schaal moet geschuurd en gelakt worden, omdat het materiaal licht poreus is. Voor een stijfheid/gewicht balans van dit materiaal is 5 mm wanddikte gekozen, het gewicht komt op ± 2,2 kg. De stijfheid is minder hoog dan carbon. Bij 20 schalen per jaar komen de kosten op € 4.620 per schaal en bij 100 per jaar op € 3.932 per schaal. Inclusief aflevering komen de werkuren totaal op 4 uur.
Alle gegevens van concept Oranje geven de volgende grafiek en radarplot (afbeelding 24):



Afbeelding 24 – Grafiek en radarplot concept Oranje

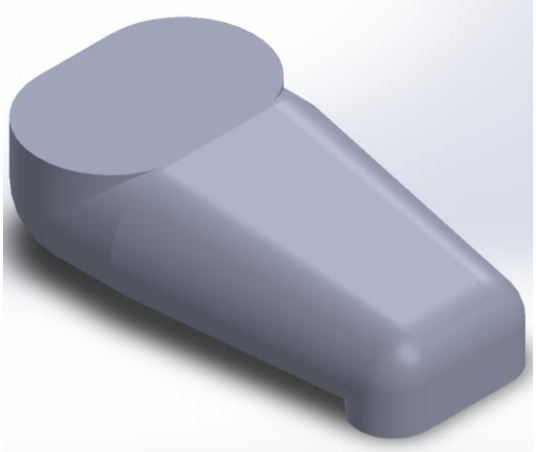
Bovenstaande gaat uit van een dichte 3D geprinte schaal. Het is ook mogelijk om een netstructuur te printen (afbeelding 25). Voor de kosten maakt dit weinig uit; de grootte is bepalend. Een netstructuur verlaagt het gewicht en kan het comfort voor de sporter verhogen, door de ventilatie. Dit zou een idee voor de toekomst kunnen zijn.

Afbeelding 25 – SLS geprinte pols orthese met netstructuur (Evill Design Cortex)

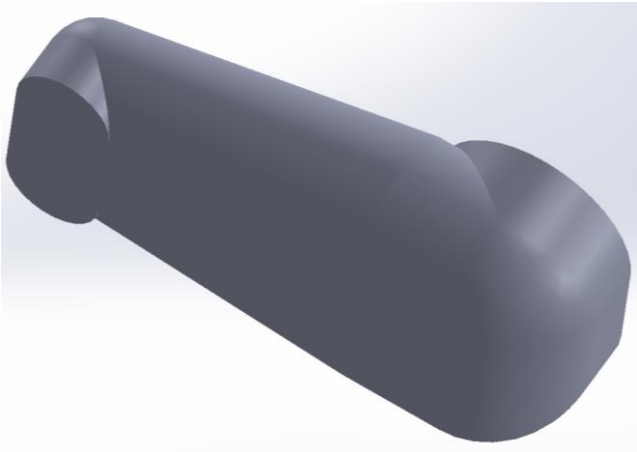
3D Robotprinting kan schalen printen voor € 600 - € 700, het materiaal is echter te flexibel.

3.3.2 Serieproductie concepten (Rood, Blauw en Paars)

Voor serieproductie zijn vele productiemethoden mogelijk. Echter gaat de serieproductie van schalen niet over grote aantallen, 100 stuks maximaal. Daar komt bovenop dat de honderd schalen gedeeld moeten worden door 3 confectiematen (*2.4.2.4.3 Fixatie*), dit resulteert in ongeveer 33 schalen maximaal per maat. Hierdoor kunnen veel methoden worden weggestreept, omdat de investeringskosten te hoog zullen zijn. Met de drie overgebleven methoden zijn concept productieprocedures opgesteld om deze verder te onderzoeken.
De offertes voor serieproductie zijn gebaseerd op drie confectiematen, S (450x250x200mm), M (550x325x200mm) en L (650x400x200mm), deze maten zijn geschat. Van maat M is een concept schaalmal in SolidWorks ontworpen (afbeelding 26 en 27). Naast alle informatie zijn de mal en foto's van de schaal toegevoegd voor de aanvraag van de offertes.
Omdat de schalen in totaal in 3 maten te krijgen zijn, zal de schaal vaak achteraf op het lichaam worden gevormd. Om de onderste extremiteit goed te fixeren zullen de ruimtes tussen de schaal en het lichaam vervormd moeten worden door thermoplastisch materiaal toe te passen of de schaal moet opgevuld worden.



Afbeelding 26 – Bovenkant concept schaalmal



Afbeelding 27 – Onderkant concept schaalmal

3.3.2.1 Concept Rood "Rotatiegieten"

Concept Rood (afbeelding 28) is gebaseerd op rotatiegieten. Rotatiegieten is een productiemethode waarbij een negatieve matrijs wordt gevuld met thermoplastisch kunststofpoeder. Onder verhitting wordt de matrijs geroteerd in meerdere richtingen waardoor tegen de wanden van de matrijs een laag kunststof wordt gevormd. Na koelen kan het spanningsvrije product uit de mal worden gehaald.

Afbeelding 28 – Productieprocedure concept Rood

De scores van dit concept zijn per factor samengevat in een scoretabel (tabel 5); de totstandkoming is hieronder beschreven.

Tabel 5 – Scoretabel concept Rood

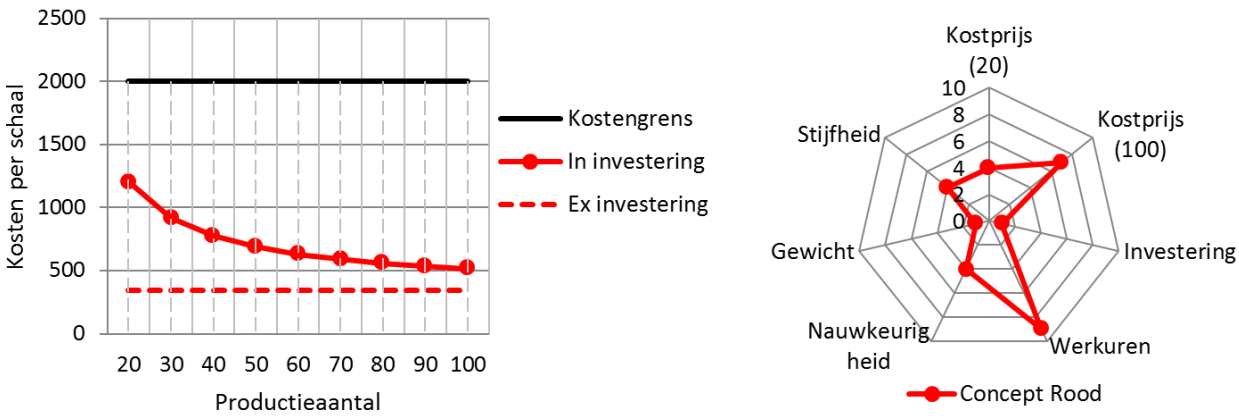
Factor	Waarde	Score
Kostprijs (20)	€ 1.205	4
Kostprijs (100)	€ 515	7
Investering	€ 17.250	1
Werkuren	4	9
Nauwkeurigheid	< Gem.	4
Gewicht	4,5 kg	1
Stijfheid	< Gem.	4

Dragon Plastics Rotomoulding is gespecialiseerd in rotatiegieten. Het materiaal dat wordt gebruikt is een polyethyleen, thermoharder, hiervan is de vorm niet te veranderen na de productie. De productie levert direct een eindproduct en wordt achteraf op het lichaam aangemeten. De matrijskosten voor maten schalen zijn € 17.250, dit is de gehele investering. Het maximale bedrag voor de schalen per stuk is € 55 (S), € 60 (M) en € 75 (L). In het concept zijn de maten schalen verdeeld in 30% S, 40% M, 30% L. Maat M zal vaker verkocht worden dan S en L. Het gewicht van de schaal hangt af van de maat en de wanddikte, de grootste zal ± 4,5 kg wegen en de kleinste ± 3,5 kg.

Met het ingevulde formulier wordt de juiste schaalmaat gekozen. De schaal wordt vervolgens op het lichaam gevormd met schuimen inserts, ook wel padding (Breukelen, 2014, p. 79) genoemd, dit zijn opvulstukken voor de ruimte tussen het lichaam en de schaal.

Schuim wordt besteld bij Uxfoam, onderdeel van UXEM Flexible Foams B.V.. De schuimplaten hebben een afmeting van 2.000 x 1.000 mm en diktes van 5 tot 50 mm. Het is aan te raden van 5, 10 en 25 mm een plaat aan te schaffen. Inclusief soms foutief en opnieuw snijden, is per 10 schalen één plaat per maat voldoende. De kosten voor schuim per schaal komen op € 6, naar boven afgerond. Inclusief lijm, snijgereedschap, etc., wordt gerekend met een bedrag van €20. Voor het aanmeten van de schuimen inserts wordt 3 uur gerekend, daarmee komen de totale werkuren op 4 uur. Bij 20 schalen per jaar komen de kosten op € 1.205 per schaal en bij 100 per jaar op € 515 per schaal. De nauwkeurigheid is onder gemiddeld, na het rotatiegieten is het oppervlak aan de binnenkant grof en voor het maken van de schuimen inserts is vakmanschap vereist. Door de schuimen inserts is de stijfheid onder gemiddeld. Het schuim voegt licht gewicht toe, de middelste maat zal in totaal 4,5 kg wegen.

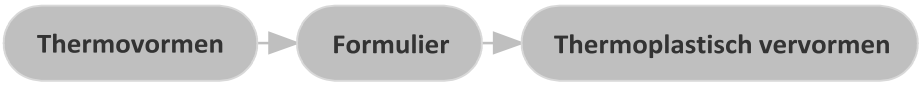
Alle gegevens van concept Rood geven de volgende grafiek en radarplot (afbeelding 29):



Afbeelding 29 – Grafiek en radarplot concept Rood

3.3.2.2 Concept Blauw "Thermovormen"

Voor concept Blauw (afbeelding 30) is thermovormen gekozen, een methode waarbij een verwarmde kunststofplaat onder vacuüm over een mal wordt getrokken. Net als rotatiegieten zijn de matrijskosten relatief laag. Het materiaal moet een thermoplastische kunststof zijn, daardoor is de schaal na verwarmen te vormen om de onderste extremiteit.



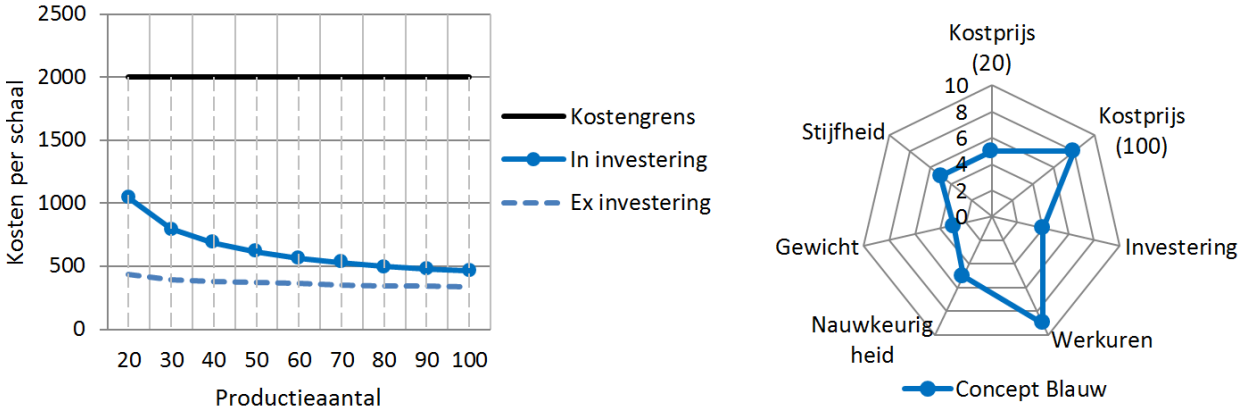
Afbeelding 30 – Productieprocedure concept Blauw

De scores van dit concept zijn per factor samengevat in een scoretabel (tabel 6); de totstandkoming is hieronder beschreven.

Tabel 6 – Scoretabel concept Blauw

Factor	Waarde	Score
Kostprijs (20)	€ 1.044	5
Kostprijs (100)	€ 462	8
Investering	€ 12.180	4
Werkuren	4	9
Nauwkeurigheid	Gem.	5
Gewicht	3,5 kg	3
Stijfheid	Gem.	5

Een aantal bedrijven raden thermovormen af omdat de mal niet lossend is, de schaal kan na het thermovormen niet van de mal worden gehaald. Voor dit probleem zijn twee oplossingen, de schaal uit twee delen maken met twee lossende mallen of een bouwpakket als mal, die in delen eruit te halen is. Plastica raadt twee lossende mallen aan, dit is goedkoper dan een bouwpakket (€ 5.000 per mal). De mallen worden gemaakt van PU en hebben door slijtage een levensduur van ca. 100 stuks. De kosten voor drie maten per set mallen komt op € 11.400. Het thermoplastische PetG (zelfde als proefschalen) van 4 mm dik wordt aangeraden. Omdat de PU mallen CNC gefreesd worden, zal de structuur van de mal na het thermovormen zichtbaar zijn in de schaal. Door het uitrekken zal de wanddikte niet op alle plaatsen even dik zijn. De twee helften worden uiteindelijk op elkaar gelijmd of gelast.
Plastica rekent een prijs per staffel voor het productieaantal. Per aantal schalen lopen de kosten af van, 15 stuks € 199, 30 stuks € 130,50, 75 stuks € 90 naar voor 150 stuks € 75. Hiernaast worden instelkosten van € 65 gerekend. Deze kosten dienen minimaal 12 keer gerekend te worden voor drie maten schalen, totaal € 780. De instelkosten worden bij de investering gerekend, totaal € 12.180.
Het idee was de schalen om het lichaam te vervormen als de thermoplastische skischoenen van Fischer en de schaatsschoenen van Viking. Na verwarming wordt de schoen onder vacuüm of druk om de voet gevormd. Na overleg blijkt een schaal van thermoplastische composieten teveel te gaan kosten. PetG heeft meer warmte nodig en is daardoor te heet voor het vormen om het lichaam. PetG zal stukje voor stukje verhit en vervormd moeten worden. Deze aanmeetmethode zal geschat 3 uur in beslag nemen. De totale werkuren komen op 4 uur. Voor 20 schalen per jaar komen de kosten op € 1.044 per schaal en voor 100 per jaar op € 462. De schalen zullen uiteindelijk, afhankelijk van de maat, ± 3,5 kg wegen. De nauwkeurigheid en stijfheid zijn beide gemiddeld.
Alle gegevens van concept Blauw geven de volgende grafiek en radarplot (afbeelding 31):



Afbeelding 31 – Grafiek en radarplot concept Blauw

3.3.2.3 Concept Paars "Composiet serieproductie"

Concept Paars (afbeelding 32) is hetzelfde idee als serieproductie zitski schalen van carbon, zoals Praschberger en Tessier (Bijlage II: Schalen) leveren. De toevoeging hierop is het aanmeten door PU schuim te gieten in een laag tussen de binnenkant van de schaal en de onderste extremiteit. Dit is afgekeken van Fit-Foam en Sidas, injected liner, die deze methode toepassen in skischoenen (afbeelding 33) (Bronnen – Video's – Sidas injected liner process).

Afbeelding 33 – Sidas PU schuim injectie

Afbeelding 32 – Productieprocedure concept Paars

De scores van dit concept zijn per factor samengevat in een scoretabel (tabel 7); de totstandkoming is hieronder beschreven.

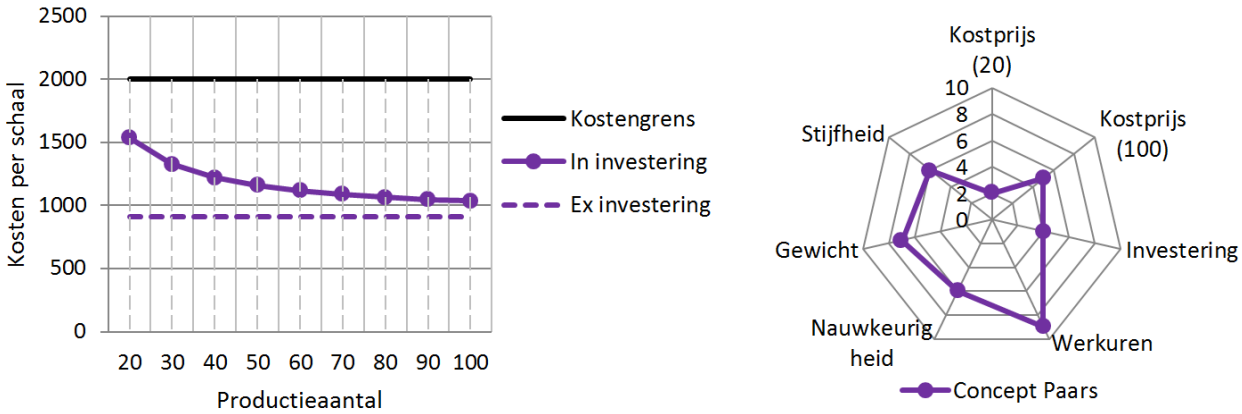
Tabel 7 – Scoretabel concept Paars

Factor	Waarde	Score
Kostprijs (20)	€ 1.535	2
Kostprijs (100)	€ 1.035	5
Investering	€ 12.500	4
Werkuren	4	9
Nauwkeurigheid	> Gem.	6
Gewicht	1,5 kg	7
Stijfheid	> Gem.	6

Refitech B.V. kan drie maten carbon schalen in serieproductie maken. Voordat schalen geproduceerd kunnen worden, wordt een prototype ontwikkeld, de ontwikkelingskosten bedragen ± € 5.000. De matrijskosten voor de drie confectiematen komt op € 7.500. De investering kost totaal € 12.500. De schalen zullen maximaal € 400 – € 600 per stuk kosten, met € 600 wordt verder gerekend. Het gewicht van de schaal, zonder schuim, komt tussen de 1 en 1,5 kg uit bij 1 – 1,2 mm materiaal dikte. Op basis van de ingevulde flowchart kan worden bepaald welke schaalmaat nodig is en waar schuim gegoten moet worden.

Om de schaal op het lichaam aan te sluiten wordt de ruimte tussen de onderste extremiteit en de schaal met schuim vol gegoten. Bij FormX wordt FlexFoam-iT III PU schuim gekocht, 1,25 kg set voor € 29,95. Het is een zacht PU schuim met een densiteit van 48 kg/m³. Met één set kan omgerekend ongeveer 26 liter schuim worden gemaakt, dit is mogelijk genoeg voor meerdere schalen. Voor nu is berekend dat twee schalen aangemeten worden met één set schuim. Een zak dient ontwikkeld te worden om het schuim in te gieten, tussen de schaal en de onderste extremiteit. Voor het hele pakket inclusief schuim, zak, mengflessen, slangen etc. wordt € 50 gerekend. Voor het schuimgieten inclusief voorbereiding en opruimen wordt 3 uur uitgetrokken, hiermee komen de werkuren totaal op 4 uur. De carbon/schuim combinatie zorgt voor een laag gewicht, van ± 1,5 kg. De stijfheid van de schaal is bovengemiddeld, het carbon is stijf, de insluiting is nauwkeurig, alleen het schuim kan iets veren (afhankelijk van de densiteit). 20 schalen per jaar kosten € 1.535 per schaal en bij 100 € 1.035 per schaal.

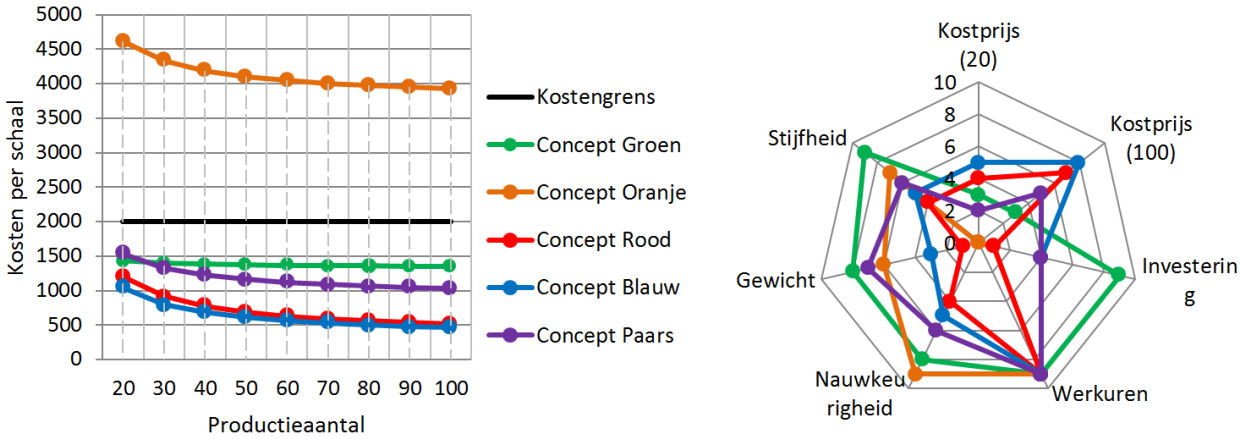
Alle gegevens van concept Paars geven de volgende grafiek en radarplot (afbeelding 34):



Afbeelding 34 - Grafiek en radarplot concept Paars

3.4 Conceptkeus

De concepten worden vergeleken door alle gegevens met elkaar te vergelijken. Alle grafieken en radarplots zijn ineen gevoegd (afbeelding 35). Zoals bij de concepten visualiseert de grafiek de "economy of scale" van de concepten, het verloop van kostprijs per schaal tegenover het aantal. De radarplots tonen de factoren: kostprijs per schaal bij 20 en 100 schalen, investering, werkuren en kwaliteit, verdeeld in nauwkeurigheid (productie), gewicht (materiaal) en stijfheid (fixatie).



Afbeelding 35 - Grafieken en radarplots conceptkeus

Om een keuze te maken welke productieprocedure bij 20 schalen per jaar en welke bij 100 schalen per jaar, zijn aparte keuzematrixen opgesteld (tabel 8 en tabel 9).
De factor werkuren is uit de keuzematrixen geschrapt, omdat de scores van alle concepten gelijk zijn. De weegfactor is toegevoegd, om te onderscheiden welke factor van groot belang is en welke van minder belang. Hoe hoger de waarde van de weegfactor hoe belangrijker. De score wordt vermenigvuldigd met de weegfactor. De weegfactor maakt het ook mogelijk de concepten voor 20 schalen anders te beoordelen dan voor 100 schalen. Door middel van de factor een andere weegfactor toe te kennen. Voor nu is het enige verschil dat de benodigde investering voor 20 schalen hoger (2x) wordt meegewogen dan voor 100 schalen (1x). De kostprijs, gewicht en stijfheid wegen even zwaar (2x) en hoger dan de nauwkeurigheid van de productie (1x). De nauwkeurigheid maakt minder uit voor de prestatie. En de betaalbaarheid is van belang om een schaal aan te schaffen.

Tabel 8 – Keuzematrix voor 20 schalen per jaar

Factor	Weeg-factor	Groen	Oranje	Rood	Blauw	Paars
Kostprijs	2x	6	0	8	10	4
Investering	2x	18	2	2	8	8
Nauwkeurigheid	1x	8	9	4	5	6
Gewicht	2x	16	12	2	6	14
Stijfheid	2x	18	14	8	10	12
Totaal		**66**	**37**	**24**	**39**	**44**

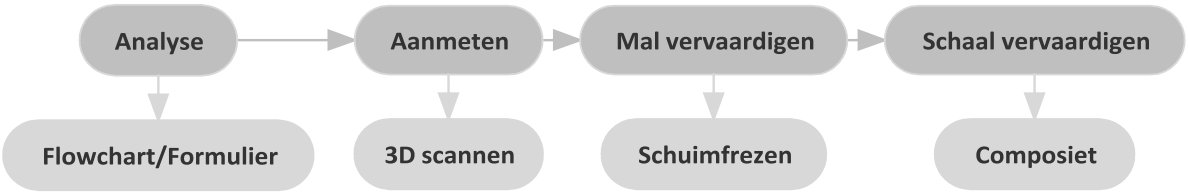
Tabel 9 – Keuzematrix voor 100 schalen per jaar

Factor	Weeg-factor	Groen	Oranje	Rood	Blauw	Paars
Kostprijs	2x	6	0	14	16	10
Investering	1x	9	1	1	4	4
Nauwkeurigheid	1x	8	9	4	5	6
Gewicht	2x	16	12	2	6	14
Stijfheid	2x	18	14	8	10	12
Totaal		**57**	**36**	**29**	**41**	**46**

Uit zowel de keuzematrix voor 20 schalen (tabel 8) als voor 100 schalen (tabel 9) per jaar komt concept Groen "Composiet maatwerk" ruim als beste naar voren (omkaderd met een dikkere rand). De schalen van concept Groen scoren kwalitatief zeer hoog en concept Groen vereist een kleine investering. Concept Groen, maatwerk composieten schalen, is het advies als nieuwe productieprocedure.
De schalen van concept Oranje "3D printen" zijn kwalitatief bovengemiddeld, de kosten overschrijden echter dubbel de kostengrens. Concept Rood "Rotatiegieten" levert kwalitatief de minst gunstige schalen, tegenover een lage kostprijs bij 100 schalen. Concept Blauw "Thermovormen" levert kwalitatief gemiddelde schalen tegenover een lage kostprijs. In beide keuzematrixen eindigt concept Paars "Composiet serieproductie" als tweede. Het zijn kwalitatief bovengemiddelde schalen en bij 100 schalen per jaar is de kostprijs de helft van de kostengrens.

3.5 Verdiepen

In de verdieping wordt de nieuwe productieprocedure (afbeelding 36), maatwerk carbon schalen volgens Concept Groen "Composiet maatwerk", functioneel uitgewerkt en praktisch mogelijk gemaakt om te testen.
Voor de analyse zou, mits voldoende tijd beschikbaar is, een formulier of flowchart worden gekozen op functionaliteit en vervolgens worden opgesteld (*3.2 Concepten uitwerken*). In overleg met Motion Matters is gekozen dit niet verder uit te werken, omdat het voor nu niet van belang is.
Voor het aanmeten met een 3D scanner wordt onderzocht bij welk aantal schalen investeren mogelijk is of voordeliger dan huren (incl. of excl. dienstverlener).
Vervolgens wordt een 3D scan hulpmiddel ontwikkeld om testen praktisch mogelijk te maken.
Voor het frezen van schuimen mallen zijn geen betere alternatieven gevonden, daarom blijft de productie door Millro het advies.
Net als bij het 3D scannen wordt voor het maken van composieten schalen onderzocht welk bedrijf bij welk aantal schalen voordeliger carbon kan lamineren.

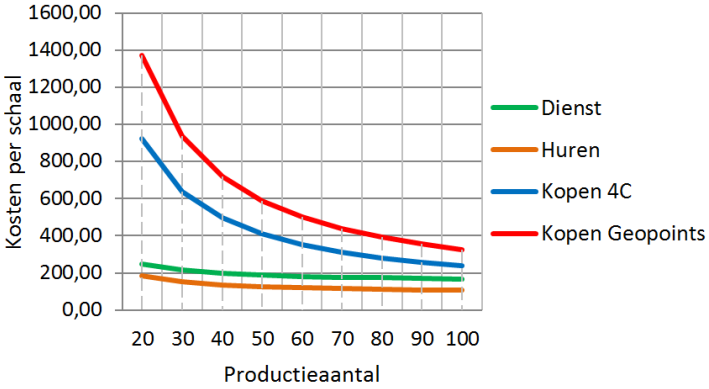


Afbeelding 36 – De nieuwe productieprocedure

3.5.1 3D scannen

Een 3D scanner kan worden gehuurd inclusief en exclusief dienstverlener of er kan geïnvesteerd worden in de aanschaf. In concept Groen "Composiet Maatwerk" wordt de scanner inclusief de dienstverlener gehuurd en in scansessies gescand. Om inzichtelijk te maken of een andere optie voordeliger is, zoals de aanschaf van een 3D scanner, worden de verschillende opties in een "economy of scale" grafiek (afbeelding 37) vergeleken. Uitsluitend de 3D scankosten zijn berekend, de overige kosten van de productieprocedure zijn geëlimineerd. In alle gevallen moet de Leios software bij Geoscan worden gekocht, zoals eerder beschreven een investering van € 2.000.
De eerste optie is de dienst van Geopoints, zoals in concept Groen "Composiet Maatwerk". In een scansessie van 4 uur worden 8 sporters gescand. Bij 20 schalen per jaar komen de scankosten op € 248 per schaal en bij 100 schalen per jaar op € 168,03 (groene lijn, afbeelding 37). Het voordeel is de expertise van Geopoints in het scannen.
De tweede optie is alleen de 3D scanner huren bij Geopoints. Een zelfde scansessie wordt toegepast. De kosten van het huren zijn € 300 voor een dagdeel van 4 uur. Inclusief de 6 eigen werkuren komen de scankosten bij 20 schalen per jaar op € 186 per schaal en bij 100 schalen per jaar op € 106 (oranje lijn, afbeelding 37). Een nadeel is dat de scanner opgehaald en teruggebracht moet worden, deze tijd en reiskosten worden niet meegewogen.
De derde en vierde optie is het investeren in een 3D scanner. De aanschaf kan bij meerdere bedrijven die verschillende 3D scanners verkopen. Om te adviseren welke scanner aangeschaft dient te worden, is meer onderzoek nodig. Wel kan worden getoond wat het verschil is in kosten.
4C adviseert de Artec EVA, dezelfde als in concept Oranje "3D printen". De 3D scanner kost € 15.200. De Artec EVA is een 3D kleurenscanner, het voordeel is het eenvoudig markeren. Bij 20 schalen per jaar komen de scankosten op € 925 per schaal en bij 100 schalen per jaar op € 237 per schaal (blauwe lijn, afbeelding 37).
Geopoints adviseert de Creaform Go!SCAN 50, komt nu op de markt. In vergelijking met de Artec EVA zou de Go!SCAN 50 krachtiger zijn en minder werk kosten, echter, deze is aanzienlijk duurder. De kosten van een Creaform Go!SCAN 50 met kleurenmogelijkheid zijn € 23.150. Een training van één gehele dag à € 950 wordt geadviseerd en meegerekend. Bij 20 schalen per jaar komen de scankosten op € 1370 per schaal en bij 100 schalen per jaar op € 326 per schaal(rode lijn, afbeelding 37).

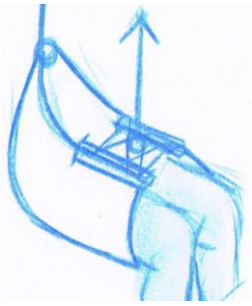
Het advies is door te gaan met de scansessies zoals de eerste optie en het originele concept Groen, inclusief de dienst van Geopoints. Mocht na verloop van tijd ervaring en een vertrouwd gevoel met het scannen zijn ontstaan dan is huren bij Geopoints, de tweede optie, aan te raden. Zo wordt ongeveer € 60 per schaal bespaard.
Voor nu is de aanschaf van een 3D scanner af te raden, door het lage aantal schalen zijn de kosten zeer hoog. Als gekozen wordt een 3D scanner aan te schaffen, dan moeten de investeringskosten rationeel worden afwogen tegen hoeveel schalen per jaar op dat moment verwacht worden. Het grote voordeel is dat de scanner bij de hand is, zonder afhankelijk te zijn. De investeringskosten zullen over meerdere jaren verspreid terugverdiend moeten worden. Een andere mogelijkheid is te zoeken naar andere gebieden waar de 3D scanner ook ingezet kan worden en/of samen met bijvoorbeeld Frank Jol een 3D scanner aan te schaffen.



Afbeelding 37 – Kostenvergelijking 3D scan opties, dienst (groen) huren (oranje) kopen (blauw en rood)

3.5.2 3D scan hulpmiddel

Tijdens het 3D scannen moet een hulpmiddel het lichaam ondersteunen en de onderste extremiteit in de juiste houding positioneren. Het is van belang dat het lichaamsweefsel op een gesimuleerde manier wordt belast door de zwaartekracht, zoals tijdens het zitten in de definitieve schaal. Hiervoor zijn meerdere ideeën waaronder een doorzichtige plaat en een tilmat. Het nadeel van een doorzichtige plaat is, dat het weefsel van het zitvlak op de vlakke plaat wordt platgedrukt. In de tilmat wordt het weefsel van de bovenbenen in meerdere richtingen gecomprimeerd door de zwaartekracht. Ook zou het lichaam in meerdere standen gepositioneerd moeten kunnen worden. Zonder belemmering is tevens onder het zitvlak te scannen.
Om te testen of het praktisch mogelijk is de onderste extremiteit 3D te scannen is een prototype tilmat ontworpen (afbeelding 38) en vervaardigd (afbeelding 39). De tilmat is vervaardigd van een rekbare katoenen stof, met het grote voordeel dat de druk wordt verdeeld zonder vouwen in dit laken. De stof is mat wit, dit bevordert de kwaliteit en het gemak van het scannen. Om deze reden zal ook een witte legging worden gedragen tijdens het testen. De vorm van de tilmat is bedacht om de beste drukverdeling onder het zitvlak en de bovenbenen te creëren. De tilmat kan aan één ophangpunt, aan het plafond, worden bevestigd en gaat over in twee ophangpunten voor de tilmat. Het eerste ophangpunt is voor de bovenbenen, daar is het laken aan twee houten latten bevestigd (afbeelding 40). De latten zorgen ervoor dat de druk onder de bovenbenen wordt verdeeld. Het tweede ophangpunt is voor het zitvlak en bevindt zich achter de rug (afbeelding 41). Het laken is zo naar het ophangpunt getrokken dat de drukverdeling optimaal is en zonder stofvouwen onder het zitvlak.


Afbeelding 38 – Prototype schets

Afbeelding 39 – Ontwikkelen van de tilmat

Afbeelding 40 – Ophangpunt bovenbenen

Afbeelding 41 – Ophangpunt achter de rug voor het zitvlak

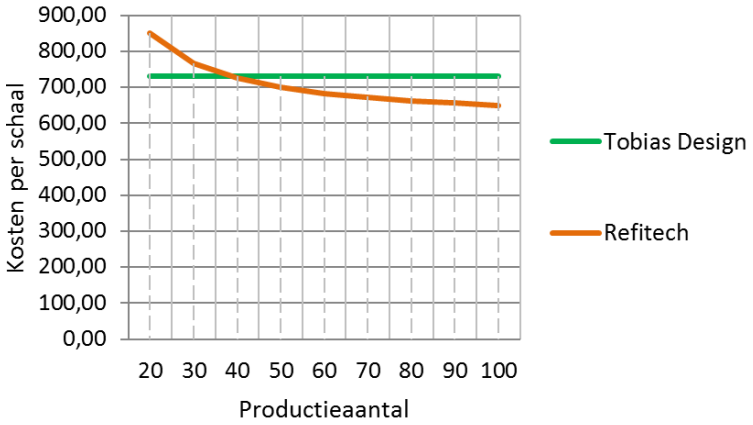
3.5.3 Composiet

Voor het maken van composieten schalen wordt ook onderzocht welk bedrijf bij welk aantal schalen voordeliger carbon kan lamineren, op basis van de uit schuim gefreesde mallen. Twee opties worden hiervoor vergeleken in een “economy of scale” grafiek (afbeelding 42), van uitsluitend de composietkosten.

Tobias Design, zoals in het oorspronkelijke concept Groen “Composiet maatwerk”, is de eerste optie. Tobias Design lamineert schalen van carbon voor € 730 per schaal (groene lijn, afbeelding 42). De definitieve schaal is zeer lichtgewicht, geschat 1,1 kg.

De tweede optie is Refitech, bekend van concept Paars “Composiet serieproductie”. Na overleg kunnen zij ook op basis van de schuimen mal maatwerk schalen produceren. De productieprijs is hetzelfde als bij serieproductie, € 400 - € 600; met € 600 wordt verder gerekend. De ontwikkelingskosten tot aan een eerste prototype blijven nodig en zijn rond de € 5.000. Bij 20 schalen per jaar komen de composietkosten op € 850 per schaal en bij 100 schalen per jaar op € 650 per schaal (oranje lijn, afbeelding 42). Het gewicht van een schaal is geschat ongeveer 1 – 1,5 kg.

Bij ongeveer 40 schalen per jaar kruisen de lijnen en wordt Refitech goedkoper. Over het verschil in kwaliteit tussen de bedrijven is weinig te zeggen, naast dat Refitech gespecialiseerder is in het produceren van grotere aantallen.



Afbeelding 42 – Kostenvergelijking composietbedrijven

3.6 Testen

Het testen van het prototype wordt gedaan om te controleren of de methoden in werkelijkheid functioneren en voldoen. Alleen het 3D scannen is getest, omdat dit de innovatiefste methode is van de productieprocedures en er nog geen ervaringen mee zijn. Het frezen van een schuimen mal en het lamineren van carbon worden niet getest, vanwege de kosten en de ervaring en expertise die al aanwezig zijn op het gebied van composieten. Van deze methoden wordt daarom aangenomen dat ze naar behoren zullen verlopen.

3.6.1 Test 3D scannen

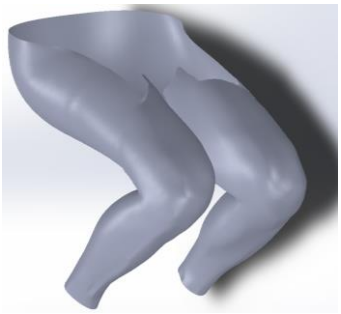
Het 3D scannen van de onderste extremiteit is getest in samenwerking met Nico Velzel van Geopoints. Na het ophangen van de tilmat en omkleden (de witte stof van een legging bevordert het scannen) is plaatsgenomen in de tilmat (afbeelding 43). Twee 3D scans zijn gemaakt in een verschillende houding, deze zijn gekozen om te zien wat er mogelijk is. De eerste houding is met de benen tegen elkaar, bovenbenen horizontaal en onderbenen verticaal (afbeelding 44). Het scannen van de onderste extremiteit in deze houding kostte Nico Velzel 3½ minuut (Bronnen – Video's – Compilatie 3D Scan Test).
De tweede houding is met de benen uit elkaar (met behulp van een klos) daarbij liggen de bovenbenen naar beneden en zijn de knieën verder gebogen, in een hoek van 50 graden (afbeelding 45). Tijdens het scannen werd duidelijk dat deze positie minder stabiel is, bij bewegingen werd dubbel de oppervlakten bij de hakken en onderbenen gescand. Door de hoek van de knieën is het lastig om goed de knieholten te scannen. Ook heeft Coen Vuijk een deel gescand, toen bleek dat enige oefening in het scannen helpt om de scan-tijd te verkorten.
De scans van de twee houdingen zijn op een later moment bewerkt door Nico Velzel (afbeeldingen 46 t/m 49). Met de computer zijn lege plekken in de scans opgevuld en zijn de scans omgezet in een ander bestandstype.

Afbeelding 43 – De tilmat aantrekken

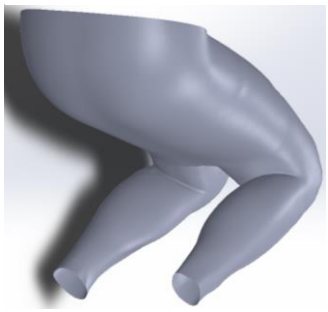
Afbeelding 44 – Scannen van de eerste houding, met bovenbenen horizontaal

Afbeelding 46 – Scan eerste houding, aanzicht van schuin links voor

Afbeelding 47 - Scan eerste houding, aanzicht van schuin links achter / onder



Afbeelding 48 – Scan tweede houding, aanzicht van rechts voor

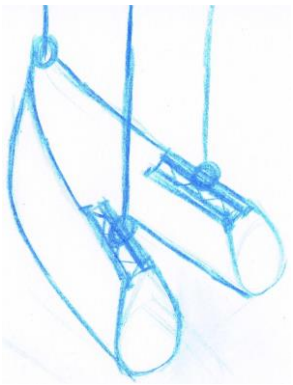


Afbeelding 49 – Scan tweede houding, aanzicht van links achter

Afbeelding 45 – Scannen tweede houding, knieën ± 50 graden gebogen

3.6.2 Evaluatie 3D scannen

De test van het 3D scannen heeft inzicht gegeven, ervaring is opgedaan en heeft een aantal punten ter verbetering aan het licht gebracht. In deze evaluatie van de test wordt alles besproken.
Tijdens het scannen van een gedeelte door Coen Vuijk zelf, bleek enige oefening gebaad voor de snelheid van het scannen. Na enige oefening en met enige kennis is het scannen van de onderste extremiteit in 5 minuten te voltooien. De berekende tijd die nodig is voor het maken van een scan kan daarom gereduceerd worden. In een scansessie kunnen meerdere sporters worden gescand. De eenvoudigheid van het 3D scannen betekent ook dat zonder dienstverlenend bedrijf de 3D scan zelf te maken is. De 3D scanner huren of kopen en zelf scannen is dus zeker realistisch.
Tijdens het scannen is een Creaform scanner zonder kleurenmogelijkheid gebruikt (de voorloper van de Go!SCAN 50). Met de nieuwe Creaform Go!SCAN 50 met kleurenmogelijkheid (beschreven in *3.5 Verdiepen – 3D scannen*) kunnen met een stift of een potlood die uit te wassen is, op de onderste extremiteit en tilmat geschetste markeringspunten of lijnen worden gescand. Dit heeft als voordeel dat er geen dure markeringsstickers nodig zijn en precies kan worden geschetst wat er nodig is. Daarnaast is een voordeel van de kleuren dat deze een extra referentie zijn voor de scanner, waardoor het maken van een 3D scan wordt bevorderd.
De test gaf inzicht om het prototype van de tilmat te verbeteren, op de volgende vier punten.
Het instappen in de tilmat kan voor sommige gehandicapte sporters lastig zijn. Een oplossing moet worden bedacht om de doeken te openen en strak te sluiten, zoals klittenband i.p.v. het touw.
In de eerste houding met de bovenbenen horizontaal en onderbenen verticaal werkte de tilmat goed en duurde het scannen 3½minuut. De tweede houding gaf twee verbeterpunten weer, de benen moesten uit elkaar gehouden worden en het lichaam bleek niet stil en stabiel te hangen.
Het uit elkaar houden van de benen kan worden verbeterd met een tilmat die beide benen onafhankelijk van elkaar ondersteunt, in één doek per been (afbeelding 50). Op deze manier kunnen de benen uit elkaar worden gehangen en met drie ophangpunten kunnen de benen onafhankelijk op een andere hoogte worden gehangen.
Het stil hangen en de stabiliteit kan worden verbeterd met ophangpunten onder de tilmat om de onderbenen en voeten op te hangen om zo te stabiliseren (afbeelding 51). Het voordeel hiervan is dat de onderbenen, onafhankelijk van elkaar, in de gewenste hoek zijn te hangen. De banden van de ophanging kunnen achteraf in de software verwijderd worden.
Het laatste punt van aandacht is de voorste rand van het doek, deze moet aansluiten in de knieholte voor het correct verdelen van de druk, in de tweede houding is hier niet goed op gelet.
De knieholte is een plek die moeilijk gescand kon worden in de tweede positie. Doordat de scanner werkt met twee lenzen die in een hoek ten opzichte van elkaar staan, is het moeilijk in ruimtes met een scherpere hoek te scannen. De ruimte in de knieholte en sommige plekken tussen de benen, in de eerste positie met de benen tegen elkaar, bleven leeg in de scan. Alle lege plekken konden achteraf met software netjes worden opgevuld.



Afbeelding 50 – Schets van een tilmat, met twee losse been ondersteuningen

Afbeelding 51 – Schets van een tilmat, met aan de onderkant een ophangpunt voor de onderbenen en voeten

Deel IV: Terugblik

4.1 Conclusie

In de scriptie is een nieuw ontworpen productieprocedure beschreven van schalen voor de fixatie van topsporters in sportrolstoelen. Het doel is het reduceren van de productiekosten om schalen betaalbaar te maken voor meer topsporters. De ontworpen productieprocedure reduceert de productiekosten en levert functionele schalen van hoge kwaliteit, die de onderste extremiteit optimaal fixeert. Het zijn maatwerk schalen, aangemeten met een 3D scanner en vervaardigd uit gelamineerd carbon op een mal van gefreesd schuim. De onderstaande punten zijn te concluderen voor de nieuwe productieprocedure.

- De productiekosten van schalen is gereduceerd naar € 1.433 per schaal bij 20 schalen per jaar en € 1.353 per schaal bij 100 schalen per jaar. Ruim onder de kostengrens van € 2.000 per schaal en ± 40 % van de huidige productiekosten, te weten € 3.560 per schaal.
- Een kleine investering is nodig voor het softwarepakket van Leios á € 2.000, om de 3D scans te bewerken.
- De eigen werkuren zijn verlaagd naar < 4 uur, 9 % van de huidige 44 werkuren.
- 3D scannen verhoogt de nauwkeurigheid van het aanmeten en daarmee de passing om de onderste extremiteit. Aangenomen wordt dat een proefschaal overbodig is, dit zal in de praktijk moeten blijken.
- Het grondiger lamineren van het carbon resulteert in een zeer lichte en stijve schaal van ± 1,1 kg, een vermindering van bijna de helft aan gewicht, ± 2 kg.

Naar aanleiding van de verdieping kunnen op twee punten de kosten verder gereduceerd worden en één punt over investeren wordt duidelijk.

- De kosten kunnen met € 60 per schaal verder gereduceerd worden, als de 3D scanner wordt gehuurd bij Geopoints in plaats van de dienst van Geopoints inhuren. De 3D scanner moet wel opgehaald en teruggebracht worden.
- De investering in een 3D scanner is voor nu af te raden; door het lage aantal schalen zijn de kosten zeer hoog. Het grote voordeel van een eigen scanner is dat de scanner bij de hand is, zonder afhankelijk te zijn van een ander bedrijf. Mocht toch de keus worden gemaakt om tot aanschaf van een eigen 3D scanner over te gaan, dan moeten de investeringskosten over meerdere jaren gespreid worden. Daarnaast valt te overwegen samen met bijvoorbeeld Frank Jol te investeren, dan wel te zoeken naar andere gebieden waarop de scanner ingezet kan worden.
- Bij een verwachting van meer dan 40 schalen per jaar kunnen de kosten gereduceerd worden door de schalen te laten produceren bij Refitech in plaats van bij Tobias Design.

Uit de test en evaluatie van het 3D scannen zijn meerdere punten te concluderen.

- 3D scannen is nauwkeurig en geschikt om te gebruiken als aanmeetmethode.
- Een 3D scanner met kleurenmogelijkheid kan het gemak, de snelheid en kwaliteit verhogen.
- Het 3D scan hulpmiddel, de tilmat voor het ophangen en positioneren van de sporter tijdens het 3D scannen, functioneert nog niet volledig naar wens.
- In een scansessie zijn meer sporters te scannen, doordat de tijd van het scannen korter is dan verwacht.

Het testen van de volgende fases van de nieuwe productieprocedure was niet mogelijk: analyse met behulp van een formulier of flowchart, een mal frezen uit schuim en de schaal vervaardigen van gelamineerd carbon.

4.2 Discussie

De onderstaande probleemstelling is herhaald om te beoordelen of de doelstellingen zijn behaald.
"Met welke productieprocedure kunnen functionele schalen worden geproduceerd tegenover gereduceerde productiekosten?"
Het korte antwoord hierop is dat de doelstellingen zijn behaald, echter, zal hieronder kritisch worden onderbouwd in welke mate.

Ontwerp

De ontworpen productieprocedure reduceert de productiekosten en levert functionele schalen van hoge kwaliteit. De vraag moet daarom gesteld worden of de kwaliteit niet te hoog is?
Daar staat tegenover dat de productiekosten ruim onder de kostengrens van € 2.000 per schaal zijn. De vraag is of de berekende kosten veel verschillen met de praktijk, veroorzaakt doordat de werkuren mogelijk hoger uitkomen dan van te voren bedacht. In de praktijk mogen de kosten bij 20 schalen per jaar € 567 per schaal en bij 100 schalen per jaar € 647 per schaal duurder uitkomen om nog te voldoen aan de kostengrens.

Voor het vervaardigen van schalen zijn voor de verschillende methoden meerdere bedrijven benaderd. Voor composiet serieproductie zijn vijf bedrijven benaderd, hiervan heeft maar één bedrijf, Refitech, na contact, een offerte opgesteld. Hierdoor ontbrak vergelijkingsmateriaal. Mogelijk is het idee niet interessant genoeg. Voor composiet maatwerk werkten Tobias Design en tevens Refitech mee.

In deze scriptie ligt de focus op het reduceren van de productiekosten, waarbij het huidige ontwerp houvast bood. Dit is echter één van de aspecten van het ontwerpproces. Het is daarom interessant om te kijken of een ander aspect, het ontwerp van de schaal, geoptimaliseerd kan worden.

Verdiepen

In de verdieping is voor de analyse uit de productieprocedure geen formulier of flowchart ontwikkeld. Hierdoor is niet aangetoond dat de tijdsduur van een analyse werkelijk van 2 werkuren naar 1 te reduceren is. Voor nu was het voor Motion Matters niet van belang.

Welke 3D scanner aangeschaft zou moeten worden als gekozen wordt voor de investering is niet onderzocht. Het vergelijken van twee scanners tijdens het verdiepen heeft wel inzichtelijk gemaakt hoe de kosten afnemen tegenover het aantal schalen. Mocht een 3D scanner aangeschaft worden dan is een kwaliteitsonderzoek nodig. Het contact is al gelegd en uit de test is een 3D scanner met kleurenmogelijkheid geadviseerd.

In het verdiepen is uitgegaan van de eerste offertes, zonder te onderhandelen over een lagere prijs.

Testen

Naast dat de analyse niet getest is, zijn het frezen van een schuimen mal en vervaardigen van de carbon gelamineerde schaal niet uitgevoerd. Naar verwachting zullen deze fases geen complicaties ondervinden. In de praktijk zal de nieuwe productieprocedure van een schaal in zijn geheel in één keer doorlopen moeten worden om alle fases te testen. Iteratie (Lidwel et al., 2009, p. 118) is uiteindelijk nodig om de productie steeds verder te optimaliseren.

3D scannen blijkt een nauwkeurige aanmeetmethode, waarvan aangenomen wordt dat een proefschaal overbodig is. Zoals hierboven beschreven dient dit in de praktijk aangetoond te worden. De tilmat, het 3D scan hulpmiddel, moet worden geoptimaliseerd voor meer stabiliteit en gebruikersvriendelijkheid en het beter positioneren en vasthouden van de zithouding.

4.3 Aanbevelingen

Aan de productieprocedure is veel te ontwikkelen. Om ervaring op te doen en de doorslag te geven voor de keus van de nieuwe productieprocedure moet werkelijk een schaal voor een rolstoelsporter worden vervaardigd. Hieruit zal blijken of de productiekosten in de praktijk verschillen en wat dit veroorzaakt. Het wordt duidelijk of werkelijk een proefschaal overbodig is met 3D scannen als aanmeetmethode. En de vervaardigde schaal maakt het testen van de kwaliteit en de functionaliteit mogelijk. Iteratie is noodzakelijk voor het steeds verder optimaliseren van de productieprocedure.

Ontwerp

Voor de analyse moet een methode worden gekozen en opgesteld voor het beter vastleggen van alle informatie, als basis voor de verdere productie. Als nieuwe methoden zijn een formulier en een flowchart bedacht. Het formulier is vergelijkbaar met de formulieren van rolstoelfabrikanten om rolstoelen aan te meten. Een flowchart is een stroomdiagram waarin stap voor stap de oplossing wordt gekozen die nodig is. Met een test moet aangetoond worden dat de 2 werkuren naar 1 te reduceren zijn.

Van de eerste offertes is ook na het verdiepen uitgegaan, zonder te onderhandelen over een lagere prijs. Het is aan te bevelen met de bedrijven te bespreken of en waar de kosten aan te scherpen zijn.

Om te onderzoeken of de kosten van een schaal verder te reduceren zijn dient ook naar andere gebieden van het dynamische ontwerpproces gekeken te worden. Nu lag de focus op de productieprocedure met het huidige ontwerp van de schaal als houvast. Het is aan te bevelen naar het ontwerp van de schaal te kijken voor een verdere optimalisatie.

Vanuit verschillende bedrijven en op beurzen begonnen mensen te spreken over sponsoring. Of hier al aan gedacht was en of dat dit een mooi project is voor een bedrijf om zich te profileren. Het is dan ook te adviseren om sponsoring met de samenwerkende bedrijven te bespreken. Hierdoor kunnen kosten gereduceerd worden. Afspraken moeten gemaakt worden over de vorm en de mate van sponsoring. In het achterhoofd moet gehouden worden dat stickers van logo's en dergelijke op sommige grote toernooien, niet zichtbaar mogen zijn dan wel slechts binnen bepaalde afmetingen.

Functioneren

De tilmat moet geoptimaliseerd worden voor meer gebruiksvriendelijkheid en om de stabiliteit en het positioneren van het lichaam te verbeteren. De gebruiksvriendelijkheid kan worden verbeterd door klittenband toe te passen i.p.v. touw, voor het openen en strak sluiten van de doeken. Uit de test is naar voren gekomen dat het noodzakelijk is om de benen onafhankelijk van elkaar op te hangen. Hiervoor moet een tilmat worden ontwikkeld met twee beendoeken, voor elk been één. Hiernaast is het ook een idee ophangpunten onder de tilmat te maken, onder de bovenbenen. De onderbenen en voeten kunnen hieraan opgehangen worden om te stabiliseren. Een bijkomend voordeel is dat de onderbenen, onafhankelijk van elkaar, in de gewenste hoek met het bovenbeen zijn te positioneren. Eenmaal plaatsgenomen in de tilmat moet erop gelet worden dat de voorste rand van het doek van de tilmat aansluit op de knieholte, voor het correct verdelen van de druk.

Deel V: Toevoeging

Bronnen

Zonder bronnen in de breedste zin van het woord was het project onmogelijk. Naast de informatie van personen en bedrijven (Bijlage IV: Log) zijn de nodige materiële bronnen gebruikt. Als eerste is de literatuurlijst met alle verwijzingen die in het verslag te vinden zijn, in APA stijl. Vervolgens volgt een opsomming van bronnen die hielpen, richting gaven en inspireerden, geordend in: boeken, video's en websites.

Literatuurlijst

Baran, I., & Warnet, L. (2014). Design, Production and Materials. Enschede.

Breukelen, K. (2014). *Rolstoel Performance*. Gouda: Double Performance.

Delhoofen, P. (2010). *Integraal ontwerpen*. Groningen/Houten: Noordhoff Uitgevers.

Lidwel, W., Holeden, K., & Butler, J. (2009). *Universele ontwerpprincipes*. Amsterdam: BIS Publishers.

Timmers, J., & van der Waals, M. (2009). *Het ontwerpproces in de praktijk*. Amsterdam: Pearson Education.

Veerman, E. (2013). *Esther Vergeer Kracht & Kwetsbaarheid*. Nieuwegein: Arko Sports Media.

Boeken

Rolstoel Performance	Kees van Breukelen
Revalideren is leren	Inge Vuijk
Esther Vergeer	Eddy Veerman
Start with why	Simon Sinek
Denk niet aan een roze olifant	Sarah Gagestein
Sobotta (Deel 1 en 2)	R. Putz en R. Pabst
Geïllustreerd anatomisch zakwoordenboek	Heinz Feneis
Het ontwerpproces in de praktijk	Jop Timmers en Mirjam van der Waals
Integraal ontwerpen	Delhoofen
Universele ontwerpprincipes	William Lidwell, Kritina Holden en Jill Butler
Making it	Chris Lefteri
Manufacturing Processes for design professionals	Rob Thompson
Industrie of nature	Élodie Ternaux

Video's

Objectified DVD 2009 Gary Hustwit

Murderball DVD 2005 Dana Adam Shapiro en Henry Alex Rubin

Nieuwe Sportrolstoel Esther Vergeer
www.youtube.com/watch?v=VkGvjcyINws

The sore problem of prosthetic limbs David Sengeh
www.ted.com/talks/david_sengeh_the_sore_problem_of_prosthetic_limbs

Beautiful artificial limbs Scott Summit
www.ted.com/talks/scott_summit_beautiful_artificial_limbs

Changing education paradigms Ken Robinson
www.ted.com/talks/ken_robinson_changing_education_paradigms

How great leaders inspire action Simon Sinek
www.ted.com/talks/simon_sinek_how_great_leaders_inspire_action

Sidas injected liner process Sidas
www.vimeo.com/45064500

Compilatie 3D Scan Test Roel van der Hooft
Complilatie_3D_Scan_Test.mp4

Websites

3D geprinte schalen van het British Wheelchair Basketball Team *www.press.bmwgroup.com/united-kingdom/pressDetail.html?title=sport-and-science-fuse-in-development-of-revolutionary-wheelchair-seats-ahead-of-summer-of-sport&outputChannelId=8&id=T0130825EN_GB&left_menu_item=node__806#avMedia*
www.3ders.org/articles/20120904-world-first-3d-printed-sports-wheelchair-seat-used-by-paralympics-games.html

Nieuwe tennisrolstoel van Stéphane Houdet
www.wat.tv/video/handisport-fauteuil-roulant-7avxd_2i0u7_.html

Glasvezel schaal van Mel Clarke door Tillett Racing Seats
www.tillett.co.uk/shop/shopblogs.asp?type=Tillett%20Racing%20Seats%20helps%20Mel%20Clarke%20win%20a%20silver%20medal%20for%20Team%20GB%20at%20the%20Olympics

Zitski serieproductie schalen
www.praschberger.com
www.dualski.com

Alessandro Zanardi monocoque handbike door raceautofabrikant Dallara Automobili
www.dallara.it/wps/portal/en/racing-vehicles/Z-bike#.VUoAr5M72q8

3D geprinte skischoen van carbon
www.compositestoday.com/2015/02/inventor-wins-award-for-his-3d-printed-carbon-fibre-ski-boots/

De Vereniging Kunststof Composieten Nederland (VKCN)
www.vkcn.nl

Creaform 3D scanners
www.creaform3d.com

Artec 3D scanners
www.artec3d.com

Leios 3D software packet
www.egsolutions.com

Liquid SunMate Foam-in-Place Seating
www.sunmatecushions.com/pages/liquid-sunmate-foam-in-place-seating

Fischer Vacuum Fit
www.fischersports.com/en/Alpine/VACUUM/VACUUM-FIT/VACUUM-FIT
www.youtube.com/watch?v=QOT7F-5ReJc

Sidas PU Injected Liner
www.sidassport.com/nos-savoir-faire/nos-technologies/injection-52-2.html
www.skishop.nl/skischoenen/sidas-skischoen/

3D geprinte pols orthese
www.evilldesign.com/cortex

TED Talks
www.ted.com

Wikipedia
www.wikipedia.org

Synoniemen
www.synoniemen.net

Bijlage I: Onderzoek Esther Vergeer

Uitslagen rolstoel vergelijkingstest
Datum: 22 maart 2012
Locatie: Tenniscentrum Amsterdam, Ijsdoornweg
Door: Esther Vergeer (speelster), Marijn Zaal (Fysiek Trainer) en Coen Vuijk (Motion Matters)

Test opzet

- 12 tests gericht op mobiliteit in de stoel
- 5 meter sprint
- 10 meter sprint
- Illinoytest (li. + re.)
- 6 x 8 vorm
- 90gr bocht (li. + re.)
- 180gr bocht (li. + re.)
- 270gr bocht (li. + re.)
- 5 meter vliegend
- 1 test gericht op "racketefficiëntie"
- Services van beide kanten (voordeelkant + deucekant), geplaatst in vooraf bepaald vak (formaat 1/3 van het servicevak), balsnelheid wordt gemeten en aantal keer goed of fout geserveerd wordt bijgehouden.

Iedere test wordt meerdere malen uitgevoerd in zowel de Quickie matchpoint als in de nieuwe Quickie/Welzorg/Motion Matters stoel. De gemiddelden per test worden in deze resultaatbespreking met elkaar vergeleken.

Uitkomsten
Racketefficiëntie

- De balsnelheid is ongeveer 4% hoger in de nieuwe concept stoel, bij een gelijkblijvende accuratesse.

Mobiliteit

- Uit de mobiliteitstests kunnen we concluderen dat de wendbaarheid is toegenomen in de nieuwe stoel.
- De maximale snelheid is toegenomen.
- De startsnelheid is zeer minimaal afgenomen.
- De uitslag van de 270graden draaitest (zowel links als rechts) laten een klein beetje snellere tijd zien bij de Quickie Matchpoint. Op de videobeelden van de tests is heel duidelijk zichtbaar dat Esther nog niet in staat is om bij die draai, de wielen van haar nieuwe stoel op de grond te houden, waardoor ze meer tijd nodig heeft.

Opvallend hierbij is, dat de tests die langer duren, structureel een grotere uitslag ten positieve van de nieuwe stoel laten zien. Hij lijkt dus vrijwel overal een klein beetje effectiever.

Verwachte effecten tijdens wedstrijden
De uitkomsten van de mobiliteitstest laten een zeer gering verschil zien, positief voor de nieuwe stoel. Een groot verschil wordt zichtbaar als we de beelden analyseren wanneer Esther tennist. Veel minder en vooral kleinere balansverstoringen, een directer contact tussen haar bewegingen en die van haar stoel, maken dat we verwachten dat het eindresultaat op de baan veel grotere uitslagen zal laten zien ten positieve van de nieuwe stoel.

De lagere startsnelheid die we hebben gemeten zal geen gevolgen hebben tijdens wedstrijden. Er wordt vrijwel nooit maximaal vanuit stilstand gestart tijdens wedstrijden en de gemeten verschillen zijn zeer minimaal.

De test die het meest complete beeld geeft van mobiliteit tijdens het tennissen (Illinoy-test), laat het grootste verschil zien ten faveure van de nieuwe stoel (zo'n 4% in snelheid).

Vervolgen

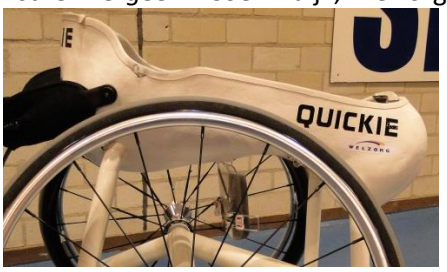
Naast de resultaten uit de 270gr draaitest, blijkt ook uit videoanalyse van de tennistrainingen van Esther dat ze in de nieuwe stoel moeite heeft om bij hele grote richtingsveranderingen druk op beide achterwielen te houden. Dit valt te verklaren uit een grotere rotatiesnelheid icm. met een meer starre fixatie van het bekken in de zitkuip. Compenseren door te verschuiven is nu niet mogelijk.

In de komende periode zullen we nog kleine technische veranderingen toepassen die dit "negatieve" effect verminderen zonder alle "positieve" effecten weg te nemen.

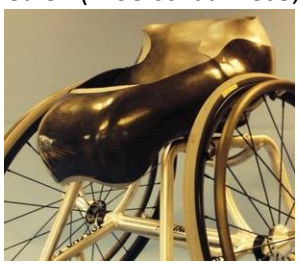
Zie ook de video "Nieuwe Sportrolstoel" van Esther Vergeer (Bijlage V: Bronnen – Video's)

Bijlage II: Schalen

Esther Vergeer – Coen Vuijk, Welzorg en Sunrise Medical (Glasvezel)

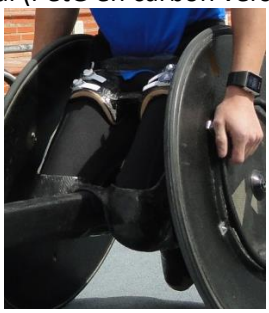


Jiske Griffioen – Coen Vuijk, Frank Jol en Tobias Vermeulen (Proefschaal PetG, definitief Carbon)



Jetze Plat – Coen Vuijk, Frank Jol (Carbon)

Stefan Rusch – Coen Vuijk, Frank Jol en Arno Mul (PetG en carbon versterkte proefschaal)



Marc van de Kuilen – Medux Groep (Carbon)

Sabine Ellerbrock (DE) – Coen Vuijk, Pro Activ en Frank Jol (Carbon)

Stéphane Houdet (FR) – Coen Vuijk heeft meegedacht (Carbon)

Oude schaal en sportrolstoel

Nieuwe schaal (houding en prothesekoker)

Mel Clarke (GB) - Tillett Racing Seats (Glasvezel)

Alessandro Zanardi (IT) – Raceautofabrikant Dallara Automobili (Monocoque, Carbon)

Sommige spelers British Wheelchair Basketball Team, waaronder Ade Orogbemi (GB) - Loughborough University Sports Technology Institute, British Wheelchair Basketball, BMW, Contour886, RGK en BAE Systems. (3D geprint, SLS)

Praschberger (oranje) en Tessier (zwarte) – Deze zitski merken hebben serieproductie schalen in meerdere confectiematen. (Glasvezel en carbon)

Bijlage III: Productiekostenoverzicht

Handeling	**Werkuren**	**Kosten**
Analyse	2	€ 130,00
Aanmeten gipsafdruk	2	€ 130,00
Proefschaal vervaardigen	10	€ 650,00
Passing	1	€ 65,00
Montage op frame	2	€ 130,00
Testen	5	€ 325,00
Definitief vervaardigen	16	€ 1.040,00
Montage	3	€ 195,00
Aflevering/passing	3	€ 195,00
Subtotaal uren	**44**	**€ 2.860,00**
Materiaal		
Klein materiaal		€ 50,00
Verbruiksmateriaal		€ 100,00
Proefschaal + definitief		€ 500,00
Bekleding		€ 50,00
Subtotaal materiaal		**€ 700,00**
Totaal*		**€ 3.560,00**
*Excl. reiskosten		

Bijlage IV: Log

In de log zijn alle gesprekken met bedrijven en personen op beurzen, bezoeken, telefonisch en via de email samengevat als in een logboek.

Algemeen

Frank Jol
Internet: www.frankjol.nl
Bezocht op: 17-3-2015
Frank Jol is een expert op het gebied van protheses en daarmee het insluiten en fixeren van lichaamsdelen. Naast dat Frank de huidige schalen maakt is hij bezocht om over nieuwe methoden te brainstormen. In nieuwe technieken zoals 3D scannen, 3D printen en robot gestuurd schuim frezen ziet hij heel veel mogelijkheden. Met 3D scans kunnen lichaamsdelen worden gescand en vervolgens op de computer bewerkt. Bij het bewerken op de computer kan plaatselijk weefsel worden gereduceerd of toegevoegd, daardoor worden gipsen mallen overbodig. Hiernaast is een 3D bestand reproduceerbaar en het archiveren is eenvoudiger, kost minder ruimte en gaat langer mee dan een gipsen mal. Ook is gipsen volgens Frank Jol bewerkelijk, smerig en niet reproduceerbaar. Met het bewerkte 3D ontwerp kan een schuimblok robot gestuurd worden gefreesd. Over deze mal kan een PetG proefkoker worden gevormd of direct het eindproduct. Een bedrijf dat zich richt op 3D scanners tot en met robot gestuurd frezen is Ohio WillowWood, de Nederlandse leverancier is Ortho Europe. Frank raadt aan om hen, i.c. Mark Verheul, te benaderen. Voor het 3D scannen zou een bok of een contrastoel moeten worden ontwikkeld met opties om punten te markeren en meer druk te genereren. De kosten kunnen volgens hem nog niet worden gereduceerd met nieuwe technieken, *"De nieuwe technieken gaan nu nog niet goedkoper, maar op den duur wel"*. Complexiteit verlagen was volgens hem niet nodig, *"Je hebt een architect nodig die kennis heeft"*. Over nog twee van mijn ideeën was Frank Jol heel uitgesproken die in zijn ogen niet zouden kunnen. *"Direct een eindproduct vervaardigen kan niet als je maatwerk wilt leveren. Een proefschaal blijft nodig omdat hieraan nog veel aanpassingen gemaakt worden"*. De proefschaal is volgens Frank niet te schrappen uit de productieprocedure. De correctie mogelijkheden met de PetG proefschaal zijn belangrijk, hierover zegt Frank: *"Je wilt verschil maken tussen goed en heel goed"*. (Achteraf denk ik dat de proefschaal nodig is omdat de aanmeetmethode met gipszwachtels niet voldoet. Dit betekent dat wanneer de aanmeetmethode is verbeterd, een proefschaal overbodig is. Daarnaast wil Frank een hele hoge kwaliteit leveren die voor de rolstoelsporters nog niet eens nodig is. Op deze manier kunnen handelingen worden geschrapt om kosten te reduceren.) Direct een schaal 3D printen is mogelijk ook pas iets voor de toekomst en de schaal zou gelamineerd moeten worden met composiet ter versterking. Zijn tweede punt was: *"Een serieproductie van confectie schalen is niet mogelijk"*, dit heeft dezelfde basis als zijn argumenten die hierboven zijn genoemd. Frank gaf ook aan dat de kwaliteit van de schaal gelijk moet zijn aan de sporter *"het moet in balans zijn, een coureur kan een sportwagen met 600pk besturen terwijl 100pk voor een onervaren rijder al het maximum is"*. En *"het product moet niet de beperking zijn voor de sporter, maar de sporter moet zijn eigen beperking zijn"*. Een breedtesporter heeft dus minder kwaliteit nodig, waar een topsporter een zeer stijve schaal nodig heeft, *"verschil tussen sport en topsport is meer kracht en hogere snelheid"*

Composiet maatwerk

Tobias Design
Internet: www.tobias-eyewear.nl
Contactpersoon: Tobias Vermeulen
Tobias Vermeulen heeft zich gespecialiseerd in het vervaardigen van composieten producten. Voor Coen Vuijk en Frank Jol heeft hij al een aantal opdrachten uitgevoerd op het gebied van sportprotheses en sportrolstoelen. Voor dit project geeft hij advies en heeft hij een offerte gemaakt van de kosten voor het maken van maatwerk carbon schalen. Met hem is gesproken over de schaal die Jiske Griffioen gebruikt, de huidige productieprocedure en nieuwe productieprocedures.

Als eerste is de schaal van Jiske besproken. *"De carbon schaal van Jiske weegt ongeveer 2 kg wat relatief zwaar is en zeker lichter zou kunnen. Frank Jol gokt nu bij het maken van de schalen hoeveel lagen carbon en in welke vezelrichting dit gelegd moet worden. Ook werkt hij met siegelhars, dit is van lage kwaliteit en wordt vooral in de orthopedie toegepast. In de schaal is rond de randen siliconen aangebracht om snijden in de huid te voorkomen."*
De schaal als serieproduct zou van een thermohard en thermoplastisch carbon/hars gemaakt kunnen worden. Thermoplastisch is moeilijk vanwege de 180 graden grens waarbij duurdere apparatuur gebruikt moet worden. Het mooie van een thermoplastisch carbon is wel dat het net als ski- en schaatsschoenen met behulp van verhitten en vacuümzuigen op het lichaam kan worden aangemeten. Echter, het is mogelijk niet verstandig om de hele benen vacuüm te zuigen, misschien komen er dan belletjes in het bloed. Dan kan beter de opblaas luchtdruktechniek worden toegepast die Fischer (skimerk) gebruikt bij het aanmeten van skischoenen. Deze techniek maakt gebruik van een soort grote "ballon-overschoen" (Het merk verkoopt het als "Vacuüm Fit", dit klopt in de praktijk dus niet). Bedrijven die composieten producten maken zijn vaak aangesloten en te vinden bij de vereniging kunststof composieten Nederland, www.vkcn.nl. Refitech en Ceemo zijn dergelijke bedrijven voor serieproductie. Deze bedrijven zijn volgens Tobias waarschijnlijk wel duur.
Een andere methode is het maken van een carbon maatwerk schaal zoals nu ook wordt gemaakt, maar dan op basis van een gefreesde schuimen mal in plaats van gips. De schuimen mal wordt ingepakt in (krimp)folie. Vervolgens worden de carbon lagen gelamineerd en met hars geïnjecteerd of nat lamineren en vervolgens vacuüm getrokken. Injecteren is het mooist maar misschien niet haalbaar als het wikkelfolie niet afsluit. Dan zuigt de schuimvorm zich vol met hars. In dat geval moet je nat lamineren en vacuüm trekken met een zuigvlies. Hierover kunnen pas conclusies worden getrokken na een prototype. Aan de hand van deze manieren is een offerte/schatting gemaakt voor één maatwerk schaal. Investeringen hoeven niet gedaan te worden, omdat het om een schuimen mal gaat en alle apparatuur al aanwezig is. In de offerte is vrijwel geen winst meegerekend. Een groot bedrijf heeft meer overheadkosten, maar kan wel scherper inkopen. Deze inschatting moet worden meegenomen in de offerte. De offerte is op basis van een aangeleverde schuimkern en de voorafgaande afspraken. Siliconen voering, montage hardware, straps, afstelling, montage en fitten van het onderdeel is niet inbegrepen in de offerte (dit geldt voor alle offertes). De offerte komt neer op een bedrag van € 730,00 excl. BTW, € 883,30 incl. BTW. Als ruim gerekend wordt gaat 1.400 gram materiaal in de schaal, daar wordt uiteindelijk nog iets vanaf getrimd. Dan komt de schaal als eindproduct op ongeveer 1.100 gram.

3D scannen

ARGON 3D Measurement Services
Internet: www.argon-ms.be
Contactpersoon:Jan de Bildt
Contact op: RapidPro 2015, bezocht op 19-3-2015
Argon 3D is een bedrijf dat van heel klein tot heel groot, zoals fabriekshallen, 3D kan scannen. Daarnaast leveren zij 3D scanners en software op maat. Veel scanners zijn op een (robot gestuurde) arm gemonteerd, door deze scanners kan een nauwkeurige 3D scan worden gemaakt. Door de gegevens van de arm weet de 3D scanner precies waar hij zich bevindt in de ruimte. Bewegingen van het lichaam kunnen op deze manier beter uit de scan worden gefilterd. Voor onze toepassing scheelt het tevens tijd, 10 minuten scannen tegenover ongeveer een halfuur met een handscanner. Voor de kwaliteit van een scan geldt, hoe beter de scan hoe minder nabewerking. Dit bedrijf heeft meerdere scanners zijn beschikking zoals van GOM, FARO en PolyWorks. De aanschaf van de apparatuur is waarschijnlijk te duur, vandaar dat gebruik kan worden gemaakt van hun dienst. Op een afspraak zouden bijvoorbeeld meerdere sporters gescand kunnen worden om de kosten te drukken. Voor het scannen geldt dat mat witte of grijze stof beter is dan zwart. Ook werd gezegd dat een deel sponsoring een mogelijkheid is, hiervan kan het bedrijf een user story maken voor op de website. Via mailcontact zal een offerte worden toegestuurd.
Mail contact op 16-4-2015

Hierbij stuur ik je een offerte waarin ik alle kosten heb gespecificeerd. Ik ben voor het gemak maar even uitgegaan van 1 volle dag van 8 uur. Als dit minder wordt gaat de prijs naar beneden natuurlijk. Ik denk ook dat het aantal uren afhankelijk zal zijn van hoe de opstelling zal zijn. Dus hoe de personen stil komen te zitten/hangen. Voor ons is het een kwestie van scanner er naast plaatsen, en snel een aantal scans maken. Mocht dit interessant zijn, dan zou het prettig zijn van te voren eens te bespreken hoe het gemeten gaat/moet worden, zodat we ons optimaal kunnen voorbereiden. Zou je zelf een GOM Scanner van dit type aan willen schaffen, inclusief toebehoren en software, reken dan op een prijs ergens tussen de € 100.000 en de € 140.000. Mocht je nog verdere vragen hebben, of mocht je wat voorbeeld bestanden willen om te kunnen testen, dan hoor ik dat graag van je.
Datum: 16/04/2015
Offerte: Inscannen meerdere Paralympische sporters
Offerte: OFF150299-1

Code Omschrijving	Aantal	Eenheid €	Totaal €
AD01 Planning & Administration	1,00 UNIT	122,00	122,00
TR01 Transport - Kilometervergoeding	232,00 KM	0,37	85,84
TR02 Transport - Verplaatsingskost medewerker	232,00 KM	0,70	162,40
Scannen			
EN01 Measurement Engineer	8,00 HOUR	105,00	840,00
ST01 Triple Scanner	8,00 HOUR	52,00	416,00
Nabewerking			
EN02 Metrology Expert - STL opschonen	2,00 HOUR	122,00	244,00
Totaal:			1.870,24

Te doen door klant: Zorgen dat er een manier is om niet te bewegen tijdens scannen
Scope/Activiteiten: Inscannen lichaamsdelen rond het achterwerk
Deliverables: STL files van scans
Timing: Nader te bepalen
Facturatie: Deze offerte is fixed price.
Inscannen meerdere Paralympische sporters
Totaal: € 1.870,24

4C
Internet: www.4cccc.nl
Contactpersoon: Edwin Rappard
Contact op: RapidPro 2015 en telefonisch contact op: 7-4-2015
4C is een leverancier van 3D scanners en software van Artec. Tijdens het contact is besproken om een keer zonder kosten op bijvoorbeeld Sportcentrum Papendal te komen scannen en daarmee een advies op maat te geven. Om te kunnen scannen ga ik eerst een tilmat of ander hulpmiddel maken. Eisen aan stof en kleding zijn dat wit of grijs geschikt zijn, zeker geen zwarte of glimmende stof. Ook is gesproken over het robot gestuurd frezen van een schuimen mal, hiervoor heeft 4C contact met Millro in Woerden. Later volgde mail contact waarin Edwin Rappard al een kostenoverzicht heeft gemaakt:
"Ik adviseer meestal de EVA met kleur. De kleur dient nl niet alleen voor het eindresultaat, maar de kleur wordt ook gebruikt voor het uitlijnen van de frames tijdens het scannen. Maar dat kunnen we bekijken tijdens de test op Sportcentrum Papendal. De kosten voor de Eva Lite zijn € 11.200 en voor de EVA € 15.200. Voor beide systemen geldt: de prijs zoals genoemd is inclusief software en training op locatie (dus een werkend systeem)"
Telefonisch contact op: 7-5-2015
Telefonisch navraag gedaan over de software die wordt geleverd bij de EVA, ZW3D. *"ZW3D software is niet krachtig genoeg om een meshing tool toe te passen voor grotere STL bestanden. De software kan alleen bij niet gecompileerde bestanden verwerken. Dan zou Geomagic DesignX aangeschaft moeten worden dit kost echter rond de € 14.000".* Daarom heb ik gevraagd naar Leios software (€ 2000, zie Geoscan). Hierover zegt hij, *"Ik heb wel eens met Leios gewerkt. Als ik eerlijk ben raad ik je*

inderdaad Leios aan, dit is kwalitatief zeer goede software voor een lage prijs. Je kan beter eerst Leios proberen dan geld uitgeven waarvan je een nieuwe auto kan kopen".

Geopoints
Internet: www.geopoints.nl
Contactpersoon: Nico Velzel
Contact op: RapidPro 2015 en telefonisch contact op: 16-4-2015
Geopoints 3D scant in opdracht en verhuurt 3D scanners. Op de RapidPro beurs is gesproken over het project en later raden Oceanz en Plastica Geopoints aan. Verhuur van een scanner kost € 75 per uur, liefst verhuren per dagdeel van 4 uur. Scannen door Nico Velzel kost € 115 per uur plus € 75 per uur 3D scanner en reiskosten van 30 cent per kilometer vanaf € 500, daaronder wordt een ander bedrag berekend. Ideaal is een situatie van een scansessie waarin zo veel mogelijk sporters in een keer gescand worden; georganiseerd op één locatie, Sportcentrum Papendal. In een dagdeel van 4 uur kunnen wel 8 sporters gescand worden. Het 3D scannen door Nico Velzel is € 190 per uur (inclusief 3D scanner) en reiskosten van 30 cent per kilometer. De scansessie kost € 760 en € 34,20 reiskosten, totaal € 794,20 voor 8 sporters. Per sporter komt het scannen neer op € 99,28.
Om te testen hoe een goede 3D scan van de onderste extremiteit gemaakt kan worden, is een afspraak gemaakt zonder kosten bij dit bedrijf in Houten. Het idee is een soort tilmat te gebruiken waardoor het zitvlak door middel van de zwaartekracht waarheidsgetrouw wordt ingedrukt. Een wit of licht grijze stof als kleding is het beste, zeker geen zwart.
Afspraak Houten test 3D scan op: 29-4-2015
Voor het 3D scannen heeft eerst een bespreking plaats gevonden, Coen Vuijk was hier ook bij aanwezig. De scanner die Nico Velzel adviseert is een Creaform; de Go!SCAN 50 komt nu op de markt (de scanner, Omega, die Ortho Europe verkoopt blijkt hier de oude versie van te zijn). Als markers kan gewerkt worden met speciale reflectorstickers. Een handigere manier van markeren op het lichaam kan met een kleurenscanner, dan kunnen lijnen en stippen met een stift worden getekend en gescand. In vergelijking met de Artec van 4C is de Creaform krachtiger en is minder werk, maar is wel duurder. De kosten van een Creaform Go!SCAN 50 zijn € 21.400 zonder kleur, met kleur kost het € 1.500 extra. Hier komen verscheepkosten van € 250 bovenop en een training van één gehele dag door Nico Velzel á € 950 wordt geadviseerd. Creaform levert ook software, VX Model, waarmee de 3D scan kan worden omgezet en bewerkt, de kosten zijn € 4000. Er is ook een pakket voor onderwijsinstellingen, bestaand uit twee scanners inclusief software, kosten € 38.000, voor de kleuren optie komt hier € 300 bij. Markers kunnen worden gekocht in een doosje met 50 stuks voor € 80, echter is met de kleuren optie een stift voldoende.
Als tips werd ook 'Vorum' meegegeven, dit bedrijf maakt scanners en software gericht op orthopedie en protheses.
Na deze bespreking is de tilmat aan het plafond gehangen en zijn twee 3D scans in een verschillende houding gemaakt. Het scannen van de onderste extremiteit kostte Nico in de eerste houding 3½ minuut. Coen probeerde de tweede scan, toen bleek dat enige oefening zeker helpt om de scantijd te verkorten. Van de test is een compilatie gemaakt (Bronnen – Video's – Compilatie 3D Scan Test).
De tilmat werkte goed maar kan verbeterd worden. Het zou mooi zijn om beide benen los op te hangen, hierdoor kunnen de benen uit elkaar indien nodig. En de tweede positie was minder stabiel, dit had ook invloed op de kwaliteit van de scan in de omgeving van voeten en onderbenen. Het zou mooi zijn als meer ondersteuning en stabiliteit wordt toegevoegd.
De scans zijn op een later moment door Nico bewerkt.

Joris van Dam
Docent HHS
Bezocht op: 12-3-2015
Met Joris van Dam is gesproken voor meer ideeën op het gebied van 3D scannen en printen. Joris van Dam richt zich voor de opleiding Bewegingstechnologie op het toepasbaar maken van deze technieken. Ook hij heeft contact met het bedrijf 4C, door mij gesproken op de RapidPro beurs, en raadt 4C aan. Handscanners zijn volgens Joris kwalitatief goed genoeg voor het scannen van het lichaam voor de toepassing. Zeker de scanners die 4C levert. Het voordeel van handscanners is dat zij compact zijn en meegenomen kunnen worden op locatie. De investering in een handscanner en software zijn redelijk hoog, daarom is Joris bezig aan een goedkopere optie. Software is hij aan het programmeren om de Kinect van de Playstation te kunnen gebruiken. Met de aanschaf van een Kinect zou relatief goedkoop de onderste extremiteit gescand kunnen worden. In de praktijk zal moeten blijken of dit werkt. Mocht er tijd over zijn en voor 3D printen zijn gekozen dan kan hiermee geëxperimenteerd worden.
Over 3D printen is kort gesproken. De enige uitkomst hiervan is dat SLS printen een goede techniek kan zijn. De afmetingen die vaak geprint kunnen worden zijn kleiner dan een schaal, daarom zou deze in meerdere delen moeten worden geprint.

3D scannen en frezen

Ortho Europe B.V.
Internet: www.ortho-europe.com
Contactpersoon: Mark Verheul
Bezocht op: 14-5-2015
Ortho Europe is een bedrijf dat voor vaak kleinere orthopedische bedrijven, die alleen aanmeten en geen werkplaats hebben, de protheses en ortheses maakt. Het nadeel hiervan is dat een gipsen mal naar hen opgestuurd moet worden, 3D scannen biedt hierin een uitkomst. Zo kan een 3D scan worden gemaakt van een negatief van de stomp, die is gemaakt met synthetisch gips. Het voordeel is ook dat deze digitaal kan worden bewerkt en gearchiveerd. Nadat deze is opgestuurd en bewerkt, maakt Ortho Europe hier een schuimen mal van met behulp van een CNC freesmachine. Om deze mal kan een prothese of orthese worden vervaardigd. Ortho Europe verkoopt 3D scanners en software van Ohio WillowWood. De OMEGA 3D scanner is een wit licht scanner met een nauwkeurigheid van 0,4 mm en geschikt voor onze toepassing, de kosten komen op € 21.000. De software kost € 3.250 per jaar, echter, deze is gericht op protheses en waarschijnlijk niet toepasbaar voor de schalen. Goedkopere software, Leios 2 (€ 2.000, zie Geoscan) wordt aangeraden, hiermee kan de scan worden gladgestreken, bewerkt en in het goede bestandstype opgeslagen. Er komt een goedkopere variant op de markt, de OMEGA Stucture Sensor voor € 500. Deze moet worden bevestigd op een Ipad. Als deze te koop is moet onderzocht worden of deze toepasbaar is, zo is de nauwkeurigheid niet hoog. Ortho Europe levert ook twee soorten synthetisch gips voor het aanmeten en daarna 3D scannen. Dit zijn de thermoplastische eCAST en de thermoharder met glasvezel versterkte sCAST, beide van 5cm tot 12.5cm breed en per rol 3,6 meter lang (€ 39 tot € 69 in een doos van 10 rollen). Nadat een 3D scan is gemaakt en het model is bewerkt kan Ortho Europe deze uit schuim frezen. Dit kan uit PUR of PIR schuim in verschillende hardheden, van 80 tot 120. PUR 80 is de goedkoopste en zal ook voldoen voor de toepassing als mal om composiet te lamineren. Bij Ortho Europe kan een blok van maximaal 850 x 650 x 650 mm worden gefreesd. Mocht de mal te groot zijn om hier te frezen dan zal deze bij hun vestiging in Bradford (Engeland) worden gefreesd. De kosten voor het maken van een mal (schaal als Esther en Jiske hebben) worden geschat op € 150 tot € 300. Het frezen gaat op 0,5mm (ongeveer 1 mm bij grote modellen) nauwkeurig; dit hangt ook af van de snelheid en kwaliteit van de frees instellingen. Mochten achteraf nog correcties worden gemaakt dan kan het schuim worden bewerkt en materiaal is toe te voegen. Voor honderd mallen per jaar is genoeg capaciteit. De tijd die het scannen en frezen in beslag nemen zal neerkomen op een uur scannen inclusief bewerken en daarna 2 dagen voor het frezen in Nederland dan wel 4-5 dagen in Engeland.

Schuim frezen

Millro B.V.
Internet: www.millro.nl
Contactpersoon: Merijn van Mourik
Mailcontact en telefonisch contact op: 17-4-2015
Millro kan robot gestuurd frezen in schuimen, kunststoffen, hout enzovoort. Als schuimen is keus uit PUR en PIR en meerdere hardheden 60, 80 en 120 (80 is waarschijnlijk voldoende), de prijs zal per hardheid een paar tientjes verschillen. Hiernaast kan ook EPS worden gebruikt, dit is goedkoper. Het nadeel hiervan kan zijn dat het oppervlakte ruwer is doordat de bolletjes loslaten. Na behandeling of een folie kan hier overheen worden gelamineerd met een composiet. Thermovormen gaat misschien nog net goed qua temperatuur. Anders is MDF een mogelijkheid, dit is temperatuur bestendiger. Dit heeft dezelfde materiaalkosten, echter duurt het verspanen langer waardoor het duurder is. Korting als staffelprijzen is mogelijk doordat het CNC template van het te bewerken blok hetzelfde kan zijn, ondanks dat de mal per stuk maatwerk is. Het 3D ontwerp is toegestuurd voor een kostenoverzicht.

Woerden: 28 april 2015
Uw referentie: Rolstoel schaal
Offertenummer: 15-O001
Hierbij ontvangt u de prijs voor het maken van een rolstoel schaal, volgens de door u aangeleverde informatie (afmeting ± 650x400x200). In deze prijs zijn we er van uitgegaan dat de juist digitale CAD file wordt aangeleverd. We maken de programma's, simuleren en bewerken de delen met de robot op een detail met bol 20mm, in gebieden waar het noodzakelijk is detailleren we tot maximaal bol 12mm.Voor het materiaal gaan we uit van een EPS200/PIR 120 of MDF. PUR 80 is € 150 per m^3 goedkoper dan de PIR120 maar is zeker duurder dan een EPS200. Meestal is de prijs van een PUR ongeveer het zelfde als een PIR. Als je voor een PUR/PIR 80 gaat moet ik deze wel speciaal voor jullie op voorraad gaan houden (op zich geen probleem) maar op de PIR120 krijgen wij redelijk wat korting i.v.m. de afname hoeveelheid in PIR/PUR 80.

	EPS200	PUR80	PIR120	MDF
Kosten voor 1e schaal deel zijn:	€ 390,-	€ 420,-	€ 430,-	€ 510,-
Kosten voor vervolg opdrachten zijn:				
Kosten per deel:	€ 250,-	€ 280,-	€ 290,-	€ 380,-
Kosten per deel: (bij 20-100 delen)	€ 220,-	€ 250,-	€ 260,-	€ 360,-

Leverdatum: nader overeen te komen
Levering: EXW, ex works
Facturatie: 100% bij levering
Betaling: binnen 14 dagen na factuurdatum.
Genoemde bedragen zijn exclusief BTW.
MILLRO zal haar werkzaamheden naar beste inzet tonen. Wij vertrouwen erop u hiermee een goede offerte te hebben gedaan en komen graag voor uw opdracht in aanmerking.

Nedcam B.V.
Internet: www.nedcam.com
Contactpersoon: Ernst Jan Termeulen
Telefonisch contact op: 8-5-2015
Project en idee besproken. Aanvraag via de mail verstuurd.
Telefonisch contact op: 11-5-2015
3D Nedcam is gespecialiseerd in het frezen van grote modellen, tot 20 meter lang, zoals boten.
Voor dit project kan Nedcam meerdere modellen tegelijk frezen, dit bespaart veel inspankosten. Het idee is mallen uit twee delen te maken, een linker- en rechterbeen. EPS, piepschuim, is een goedkoop schuim en tevens goed te bewerken met de frees. Het oppervlak wordt niet spiegelglad, maar dit lost het (krimp)folie op bij het lamineren. Of er moet een laag spuitplamuur overheen worden gespoten.
Op basis van 20 mallen per jaar wordt een offerte berekend.

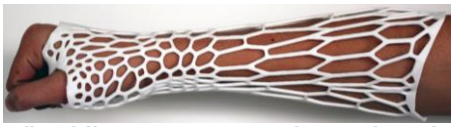
Offerte op: 2-6-2015
1. Kenmerken:
- 1x directmal voor sport rolstoel
- Afmetingen: 356 x 632 x 584mm (LxBxH)
- Materiaal: Kaal PUR 60 (PU60) zonder enige afwerking
- Kwaliteit: Gefreesd met bolfrees Ø25mm
- Zie figuur 1 voor impressie en maatvoering
2. Opmerkingen:
- Onderstaande prijs is inclusief transport naar Wapserveen ervan uitgaande dat de wachttijd van de chauffeur maximaal 1 uur is.
- Kosten zijn exclusief CAD werkzaamheden. Graag bij opdracht een definitieve file aanleveren van de gewenste vorm.
- Exclusief schuren of dergelijke werkzaamheden.
- De directmal wordt kaal opgeleverd met eventueel nog zichtbare en/of af te werken naden.
- Prijs op basis van afname van 20 tot 100 items per jaar.
3. Levertijd:
Levertijd bedraagt ongeveer 15 werkdagen na verkrijgen van de opdracht en werkbare (3D)tekeningen. Bij opdracht zal een definitieve opleverdatum bepaald worden.
4. Prijs:
*Prijs is inclusief materiaal-, voorbereidings-, productie- en transportkosten en bedraagt € 1.845,- * voor het leveren van één directmal.*

Software

Geoscan
Internet: www.geoscan.nl
Contactpersoon: Lucas van Rennes
Mailcontact en telefonisch contact op: 28-4-2015
Geoscan is distributeur van de Leios software (aangeraden door Ortho Europe) in Nederland.
De prijzen van de verschillende Leios softwarepakketten zijn als volgt:
1) Leios Base, € 800
2) Leios Registration, € 1.400
3) Leios Surface Base + Registration, € 2.000
4) Leios Surface base, € 1.400
5) Leios Polygon advanced, € 2.500
6) Leios Surface advanced, € 5.100
7) Leios Edge detection plugin, € 2.500
8) Leios Studio full, € 11.000
Prijzen zijn excl. BTW. Bijkomende kosten voor een dongle met flexibele licentie is € 125. Op een combinatiepakket (vanaf nr. 2 tot 8), wordt 5% korting gehanteerd. Voor 3D scannen adviseren zij de Leios Base + Registration en eventueel de Surface module. Deze kan een mesh omzetten naar een solid. Surface advanced geeft geavanceerde surfacing tools. Polygon advanced geeft polygonen modeling tools. Studio is het volledige pakket met alle tools. Geoscan gebruikt zelf vaak Leios Mesh voor de scanservice. Dit is een meshing tool die over alle losse surface of rommelige puntenwolk een soort zak trekt, waardoor een totale strakke surface ontstaat. Het heeft enkele specifieke functionaliteiten die GEOMAGIC (veel duurdere software) bijvoorbeeld niet heeft.
Na telefonisch contact is Leios Surface Base + Registration (nummer 3) het pakket dat geschikt is voor alles wat nodig is. De dongle is niet perse nodig, hiermee zou de software naar een desktop ook op een laptop kunnen draaien. De totale kosten voor de software die nodig is bij het zelf maken en bewerken van 3D scans komen op € 2.000.

3D printen

Oceanz
Internet: www.oceanz.eu
Contactpersoon: Robert Groeneveld
Contact op: RapidPro 2015 en bezocht op 16-3-2015
Oceanz is een onderbedrijf van 3D Worknet, echter houdt zich voornamelijk bezig met innovatieve projecten aan de hand van 3D printen. SLS (selective laser sintering) is de 3D printtechniek die zij leveren. Dit gebeurt voornamelijk in het materiaal PA 2200 (zelfde PA12), een Nylon, en ze zijn bezig om in de toekomst ook carbon te kunnen printen. De grootste machine heeft een maximale afmeting van 680 x 580 x 360 mm. Het zou hier net in gaan om een schaal uit één geheel te maken, echter kan het voordeliger zijn -qua indeling- om hem in twee delen te maken. Het maakt in de prijs niet uit hoeveel er per jaar gemaakt worden, het is steeds maatwerk. Het 3D printproces ziet er als volgt uit: in de bak worden in 24 uur de onderdelen geprint, vervolgens gaat de bak eruit en wordt gevuld met stikstof om tijdens de afkoelperiode van 24 uur niet te verkleuren, als laatste wordt met de kwast, lucht en stralen het product afgewerkt. De tolerantie is hoog, 0,1 mm. Het materiaal is poreus en neemt 1-2% vocht op, daarom kan het nodig zijn om de schaal te lakken. Deze producten zijn stijver, maar mogelijk ook zwaarder dan de hieronder beschreven 3D printmethode.
Ook valt te praten over sponsoring.
Voor een kostenopgave is een 3D scan nodig en het bestand dient aangeleverd te worden in .stl, hiervoor adviseren zij Geopoints.
Offerte aanvraag verstuurd op: 7-5-2015
Telefonisch contact op: 11-5-2015 (Offerte besproken)
Email contact op: 12-5-2015
"Voor zover als ik het intern heb kunnen opvragen en nagaan, kom ik tot de volgende gegevens;
Materiaal: PA2200 (zonder nabewerking)
Wanddikte: +/- 4 tot 5 mm
Gewicht: bij benadering 2,2 kg
Prijsindicatie: tussen de €3.500,- en €4.000,- ex.btw
Het lijkt haalbaar om ten aanzien van de traditionele werkwijze een rolstoelzitting te printen (scannen/printen). Destijds gaf jij aan dat de huidige productiemethode ongeveer €4.000, tot € 5.000,- kost. Bij benadering komt het scannen (€800 / €1.200) en het printen (€3.500 / €4.000) dus in de buurt van die prijsstelling.
V.w.b. het printen zijn er nog mogelijkheden om de prijs te verlagen (onder voorwaarde). Je moet dan denken aan verandering van de wanddikte, het aanpassen van het model (rugdeel lager, etc.), het zo effectief mogelijk plaatsen in onze printer (dus optimaal gevuld met andere modellen), flexibele levertijd en meerdere te printen zittingen. In hoeverre jij met Geopoints (Nico) hebt gesproken over de kosten van het scannen, weet ik niet. Misschien is daar ook iets mogelijk?
Mocht bovenstaande positief worden ontvangen, dan zou het verstandig zijn hier met alle partijen eens over te "brainstormen"!
Hoor graag van je of bovenstaande duidelijk is en wat het vervolg wordt van je onderzoek!"
Mail contact op: 13-5-2015 (Wat is het effect op de prijs bij een netstructuur? (afbeelding 52))


Afbeelding 52 – SLS geprinte pols orthese met netstructuur (Evill Design Cortex)

"Dat is een optie. Prijstechnisch (minder materiaal) maakt het wel iets uit, maar niet heel veel. De grootte van het model is meer prijsbepalend. Wat we destijds besproken hadden om het model in 2 delen te printen (kniedeel/zitdeel) zou meer opleveren. Als je een dergelijk netstructuur toepast heeft dat wel invloed op het gewicht natuurlijk en ook het comfort voor de sporter (minder zweet, meer ademend zeg maar)."

3D Robotprinting
Internet: www.3d-robotprinting.com
Contactpersoon: Jasper Menger
Contact op: RapidPro 2015 en bezocht op: 17-3-2015
Door de drukte en belangstelling voor zijn bedrijf heb ik besloten een afspraak met hem te maken om meer specificaties en ideeën te bespreken. 3D Robotprinting is een bedrijf dat met een robotarm FDM (fused depostion modelling) kan 3D printen, extrudeerd als een spuitgietmachine. Op deze manier kan met glasvezel versterkte PP kunststofkorrels in ongeveer 4 uur een product van 1 x 1 x 1 meter worden geprint. Door het glasvezel worden relatief sterke producten gemaakt. Het uurtarief komt neer op € 100 - € 120. Naar schatting zou een maatwerkschaal ongeveer € 400 - € 500 kosten. De minimale wanddikte is 3 mm en naar schatting zou de schaal 2-3 kg gaan wegen. Per uur verwerkt de machine 1,1 kg kunststof. De tolerantie is 1 mm op 1 meter, dit wordt veroorzaakt door de krimp bij het afkoelen. Het oppervlakte is heel ruw, daarom zou het achteraf geschuurd moeten worden. Buitengebruik en zweet zijn geen probleem, het materiaal is niet poreus. De vraag is echter of het op deze manier uit te printen is vanwege de overhangende delen die met deze techniek niet kunnen worden geprint, er is geen ondersteuningsmateriaal. Of deze methode gebruikt kan worden moet blijken uit de aanvraag aan de hand van een 3D scan. Ook is het materiaal mogelijk te flexibel, zeker tegenover een composiet.

Afbeelding 53 – 3D print robotarm van 3D robotprinting

Offerte aanvraag verstuurd op: 7-5-2015
Telefonisch contact op: 12-5-2015
In één deel printen gaat niet lukken vanwege de overhangende delen zoals bij de knieën. Gaan uitzoeken of hij uit tweedelen te printen is. De delen kunnen achteraf op elkaar gelast of spiegellast worden. De wanddikte wordt in plaats van 3 mm 4 mm dik.
Telefonisch contact op: 21-5-2015
Kosten zullen naar schatting uitkomen op € 600 - € 700.

Thermovormen

Jansen Thermoforming
Internet: www.thermoforming.nl
Contactpersoon: Mark Jansen
Mail contact op: 16-4-2015
De aantallen zijn laag en er zit veel anti lossing op. Advies, kijk eens naar (voor interieurbouwers) een vacuümtafel met verwarmingsplaat. Dan kun je om ieder model zelf een thermoplast maken.
www.habru.nl/uploads/vacuumfolder.pdf

Depla B.V.
Internet: www.depla.nl
Contactpersoon: Reinier van Denzel
Mail contact op: 16-4-2015
In principe is het mogelijk om de schalen uit een thermoplastisch materiaal te thermovormen. Wat het lastig maakt is de niet lossende vorm die je uiteindelijk wilt hebben. Hiervoor moet de matrijs waarover het materiaal wordt gevormd als een bouwpakket in en uit elkaar zijn te zetten. Dat kan, maar maakt de mal uiteraard wat kwetsbaarder en kostbaarder. Het materiaal wat Depla voor ogen heeft is goed slagvast en zal niet snel breken. Met warme lucht kun je de vorm dan plaatselijk nog iets induwen of uitrekken. Voor de malkosten per soort moet worden gedacht aan bedragen in de buurt van de € 5.000,-. Per schaaltype komen de kosten op € 185,- per stuk uitgaande van ca. 5 stuks per type. Bij 20 per type is dat meer richting de € 100,- per schaal. Malkosten staan los van de

producten en voor 35 stuks moet voorlopig even gerekend blijven worden met een prijs van ca. € 100,-. Het in te zetten materiaal is van zichzelf melkwit of transparant. De schaal zal afhankelijk van de afmeting ergens in de buurt van de 3,3 kg gaan wegen, dit is een ruwe schatting. Dit op basis van de plaatmaat, die als uitgangspositie is genomen en de verwachting wat aan restmateriaal in de plaat overblijft.

Polymess B.V.
Internet: www.polymess.nl
Contactpersoon: Ernan Grooters
Mail contact op: 15-4-2015
Helaas is de schaal in de huidige vorm niet te produceren middels vacuümvormen of thermovormen. Dit omdat het deel anti lossend is, bij vacuümvormen moet de matrijs rechtstandig uit het kunststof kunnen zakken. Helaas is dat bij de schaal in de huidige vorm niet mogelijk. Ik adviseer u dan ook contact te zoeken met een bedrijf dat rotatiegieten als productietechniek heeft. VMT Products in Heerde is zo'n bedrijf.

Plastica B.V.
Internet: www.plastica-thermoforming.nl
Contactpersoon: Rob Baas
Contact op: RapidPro 2015 en telefonisch contact op: 16-4-2015
Plastica vervaardigt kunststof producten door middel van thermovormen. Rob Baas kwam met het volgende voorstel. Op basis van PU mallen zal kunststof gevormd worden, aluminium is te duur voor deze kleine productie. De mallen worden intern gefreesd. Als kunststof kiezen voor PETG dit is een thermoplast en achteraf nog te vormen. Het zelfde materiaal als Frank Jol gebruikt voor de proefschalen. De mal voor de schalen is anti lossend, daarom moet deze in twee delen worden gemaakt, een boven- en een onderdeel. Het 3D ontwerp is als Step file aangeleverd voor een kosten overzicht. Daarnaast adviseerde hij Geopoints aan als ik iets met 3D scannen wil doen.
Offertenummer: 5745
Naar aanleiding van uw aanvraag kunnen wij u als volgt vrijblijvend offreren:

Pos	Omschrijving	Aantal	Eenheidsprijs	Bedrag
10	Schaaldeel Boven	50 stuks	€ 38,00	€ 1.900,00

ca. 575x300x80mm (LxBxH) uitgaande van vacuümvormbaar ontwerp gevacuümvormd uit 4mm uitgangsdikte PetG op een PU mal (opbouw PU mal is zichtbaar in vormdeel). Afgewerkt door middel van CNC frezen.
€ 99,50 per stuk bij 5 stuks
€ 65,25 per stuk bij 10 stuks
€ 45,00 per stuk bij 25 stuks

20	Instelkosten	2 stuks	€ 65,00	€ 130,00

per product per serie per machinebewerking, dit geldt ook voor proeven

30	Gereedschapskosten	1 stuks	€ 1.150,00	€ 1.150,00

Op basis van inschatting t.b.v. PU mal i.v.m. slijtage beperkte levensduur ca. 100 stuks afhankelijk van ontwerp CNC oplegmal

40	Schaaldeel Onder	50 stuks	€ 38,00	€ 1.900,00

ca. 575x300x80mm (LxBxH) uitgaande van vacuümvormbaar ontwerp gevacuümvormd uit 4mm uitgangsdikte PetG op een PU mal (opbouw PU mal is zichtbaar in vormdeel). Afgewerkt door middel van CNC frezen.
€ 99,50 per stuk bij 5 stuks
€ 65,25 per stuk bij 10 stuks
€ 45,00 per stuk bij 25 stuks

50	Instelkosten	2 stuks	€ 65,00	€ 130,00

per product per serie per machinebewerking, dit geldt ook voor proeven.

60	Gereedschapskosten	1 stuks	€ 1.150,00	€ 1.150,00

Op basis van inschatting t.b.v. PU mal i.v.m. slijtage beperkte levensduur ca. 100 stuks afhankelijk van Ontwerp CNC oplegmal

Totaal excl. BTW: € 6360,00

Betalingstermijnen tooling: 50% bij opdracht en 50% bij goedkeuring.
De schaal, afhankelijk van de maat, zal een gewicht van rond de 3 à 3,5 kg wegen

VDL Wientjes Roden B.V.
Internet: www.vdlwientjes.com
Contactpersoon: Martijn Bouwman
Telefonisch contact en mailcontact op: 17-4-2015
Met VDL zijn de volgende aspecten besproken voor het thermovormen van schalen. Zij werken met aluminium matrijzen, daardoor kunnen de kosten hoog zijn. Door het vacuümtrekken rekt de kunststofplaat, hierdoor wordt de wanddikte onderaan dunner. Met thermisch foam in de schaal zou hij op de maat van het lichaam gemaakt kunnen worden. Als versteviging kan carbon aan de buitenkant van de kunststof schaal worden gemaakt. Zij hebben dit zelf echter nog nooit toegepast. Bestanden en foto's zijn toegestuurd voor het maken van een kostenoverzicht. VDL beoordeelt waar de scheidingslijn moet komen om de schaal uit 2 delen te maken, omdat de matrijs niet lossend is.
In afwachting van de offerte, nog niet ontvagen.

VKF Renzel B.V.
Internet: www.vkf-renzel.nl
Contactpersoon: Leon Heijmink
Contact op: Materials 2015 en afspraak op 1-5-2015
VKF Renzel heeft als materiaal een HDPE geadviseerd, dit is een beetje flexibele thermoharder. Een andere mogelijkheid is PetG, met als voordeel dat deze harder en thermoplastisch is. Als matrijzen werd gedacht aan twee delen, met een splitsing van een linker- en rechterhelft. De schaal helften kunnen aan elkaar gelast of verlijmd worden. Voor de twee matrijsdelen dacht hij aan ongeveer € 5.000 en per schaal aan € 150. Het bedrijf kwam echter niet sterk over en rotatiegieten werd aangehaald, terwijl zij deze methode niet in huis hebben.

Rotatiegieten

PRM kunststoffen
Internet: www.prm-kunststoffen.nl
Contactpersoon: Edwin Bargeman
Mail contact op: 15-4-2015
Denk aan 8.000,- euro matrijskosten per maatvoering en dan per product ongeveer 75,- euro.

Dragon Plastics Rotomoulding B.V.
Internet: www.dragonplastics.nl
Contactpersoon: Elisca de Jonge
Telefonisch contact op: 17-4-2015 en mailcontact op: 20-4-2015
Dragon Plastics is een rotatiegietbedrijf. Het materiaal dat wordt gebruikt is een polyethyleen (thermoharder), hiervan is de vorm niet te veranderen na de productie. De productie levert direct een eindproduct en zal op een andere manier op het lichaam worden aangepast. Voor sommige producten wordt speciaal voor rotatiegieten gekozen omdat het spanningsvrije producten oplevert. In de mal kunnen inserts worden geplaatst, dit is een mogelijkheid om bevestigingen zoals draadeinden en moeren in de schaal te integreren. Ook zijn veel kleuren mogelijk, de pigmenten worden gemengd met het blanco polyethyleen materiaal. Hierdoor kan per schaal, ook al is het een serieproductie, de kleur worden gekozen. De productie van een schaal neemt ongeveer een uur in beslag, 20 minuten voorbereiden, 20 minuten verwarmen en 20 minuten koelen. Drie matrijzen doorlopen deze fases achter elkaar, als in een fabricagestraat. De matrijzen zijn de investering en worden door een externe modelbouwer gemaakt van aluminium. 20 tot 100 producten maakt niet

uit voor de kosten per schaal. Na alle mail en telefonische contacten zijn grove richtprijzen voor de schalen gemaakt:
Maat 650 x 400 x 200:
matrijsprijs € 6.500,00
productprijs € 70,00-75,00
Maat 550 x 325 x 200:
matrijsprijs € 5.750,00
productprijs € 55,00-60,00
Maat 450 x 250 x 200:
matrijsprijs € 5.000,00
productprijs € 50,00-55,00
Over details m.b.t. inserts (draaidelen), materiaal keuze etc. kunnen we spreken als deze richtprijzen grond zijn om verder door te gaan met dit project. Geschat weegt de grootste maat ± 4,5kg, de middelste 4 en de kleinste 3,5 kg. Maar dat hangt af van de wanddikte die later gekozen wordt.

Roto-Art B.V.
Internet: www.roto-art.nl
Contactpersoon: Cas Oerlemans
Mail contact op: 17-4-2015
Zoals door u aangegeven zijn wij voor deze offerte uitgegaan van het volgende;
Gestuurd plaatje en doorgegeven maten

Materiaal	: LLDPE
Kleur	: wit
Gewicht	: resp. 4.5, 3.4, 2.4 Kg bruto
Wanddikte	: 5 mm
Toleranties	: Volgens rotatiegieten
Inserts	: NVT
Afwerking	: Afgebraamd

Productkosten indicatie

De productprijs bedraagt voor 650x400x200	€ 49,54 per stuk
De productprijs bedraagt voor 550x325x200	€ 46,09 per stuk
De productprijs bedraagt voor 450x250x200	€ 42,94 per stuk

Stelkosten kleine series
Voor productie series kleiner dan 100 stuks hanteren wij stelkosten van € 75,- per serie. Dit bedrag aan stelkosten brengen wij niet in rekening bij de eerste proefserie. De minimale bestel hoeveelheid is een dagproductie (ongeveer 15 stuks).
Malkosten indicatie
Voor de malkosten zijn wij uitgegaan van een gegoten aluminium mal voorzien van frame en klemmen.

De prijs voor een mal bedraagt voor 650x400x200	€ 6.860,00
De prijs voor een mal bedraagt voor 550x325x200	€ 6.160,00
De prijs voor een mal bedraagt voor 450x250x200	€ 5.320,00

Tekenwerk
Voor het aanmaken van de matrijs is een 3-D tekening noodzakelijk. Indien gewenst kunnen wij dit tekenwerk voor u verzorgen à € 70,- per uur. (op basis van nacalculatie)
Voorwaarde:
Prijzen: Excl. BTW, af fabriek, excl. verpakking, gebaseerd op huidige grondstofprijzen
Seriegrootte: Prijzen zijn gebaseerd op een minimale serie van 100 stuks
Betaling: Producten: 14 dagen na levering
Mal: 45% direct bij opdracht 45% direct bij gereed komen mal 10% binnen 14 dagen na levering 1^{e} prototype
Geldig: Deze offerte is 30 dagen geldig

Levertijd: In overleg, mallen over het algemeen 6 weken, start productie 3 weken na goedkeuring monster.
Wanddikte dunner dan 5 mm kan ook, maar dan worden ze te slap. Met rotatiegieten is de dikte achteraf makkelijker aan te passen.

VMT-Products B.V.
Internet: www.vmt-products.nl
Contactpersoon: Aalt Hijmissen
Mail contact op: 22-4-2015
Datum: 23 april 2015
Betreft: Prijsindicatie Sportrolstoelschaal
Offertenr. : 2015054
Type 650x400x200
Model- en matrijskosten voor het maken van een rotatiegietmatrijs € 9.000,00
Product geroteerd in PE inclusief: verpakken, prijs per stuk € 65,00
Type 550x325x200
Model- en matrijskosten voor het maken van een rotatiegietmatrijs € 8.000,00
Product geroteerd in PE inclusief: verpakken, prijs per stuk € 50,00
Type 450x250x200
Model- en matrijskosten voor het maken van een rotatiegietmatrijs € 7.000,00
Product geroteerd in PE inclusief: verpakken, prijs per stuk € 35,00
Stelkosten per opdracht per matrijs € 110,00
Matrijsgarantie: 2.000 stuks producten per matrijs
Minimale opdracht per matrijs: 20 stuks producten
Alle prijzen zijn gebaseerd op informatie van dit moment, wijzigingen in design, productie parameters etc. kan aanleiding zijn tot het corrigeren van matrijs en productprijzen. Levertijd matrijzen in overleg, na schriftelijke opdracht en goedkeuring 3D files door beide partijen. Al onze offertes zijn geheel vrijblijvend.
Doorlooptijd matrijzen: Ca. 10 weken na opdracht.
Levertijd 1e proefserie: 1 week na gereedkomen matrijzen
Levertijd vervolgopdrachten: Ca. 6 weken na schriftelijke opdracht.
Levering: Af fabriek.
Prijzen: Exclusief BTW.
Betaling matrijzen: 50% bij opdracht, 50% bij gereedkomen matrijzen.
Betaling producten: 30 dagen netto.
Geldigheidsduur offerte: 30 dagen.
En de gewichten.

650x400x200	circa	4kg
550x325x200	,,	3kg
450x250x200	,,	2kg

Composiet serieproductie

Refitech B.V.
Internet: www.refitech.nl
Contactpersonen: Arthur Cooijmans en Bas Nijpels
Mail contact op: 15-4-2015 en telefonisch contact op: 16-4-2015
Contact op: Materials 2015
Het lijkt Refitech een goede gedachte om een dergelijk product te confectioneren. Zij hebben soortgelijke ervaringen in bijvoorbeeld orthese in meerdere maten en zijn vaker bezig geweest om dergelijke producten te confectioneren naar enkele maten. Zo hebben zij vele jaren de carbon zolen van de Viking schaatsen gemaakt. Met Bas Nijpels, de sales engineer is het contact vervolgd.

Voor een kostenoverzicht zijn de volgende punten telefonisch en via de mail besproken: Welke belasting komt erop, wat zijn de gebruikersomstandigheden, specificaties, bevestiging, welk soort carbon en hars. Het 3D model is opgestuurd. Op de Materials 2015 beurs kwamen wij elkaar tegen en daar is het gehele project nog nader besproken, de offerte was in de maak.
Mail contact op: 7-5-2015
"We kunnen uiteraard een proto voor jullie maken met prepreg epoxy materiaal. Eventueel op basis van een bestaande gips mal die jullie hebben. Daarmee bespaar je aanzienlijke kosten voor matrijzen en doe je wel kennis op. Om bijvoorbeeld 3 standaard maten te maken dien je in dure matrijzen te investeren die zomaar +/- € 2.500,- p.st kunnen kosten.
Een seriematige prijs kunnen we nu niet vaststellen omdat we te weinig details kennen over afwerking, inserts, montage straps en andere aanbouwdelen. Maar seriematig 50-100 stuks verdeeld over 3 maten kom je toch al snel in de richting van € 400 - € 600,- denken wij.
De kosten voor ontwikkeling tot aan een eerste proto komen +/- op € 5.000,-.
Dit is exclusief inserts, lakken etc..
Ik hoop dat je met deze indicatie aan de slag kunt gaan. Mocht je interesse hebben dan wil ik graag afspreken en daarbij een gips mal mee brengt. Op basis daarvan kunnen we een definitieve offerte versturen en aan de slag gaan."
Mail en telefonisch contact op: 8-5-2015
Aan Refitech is de vraag gesteld hoeveel het kost als Motion Matters schuimen mallen aanlevert. Deze mallen zijn uitgefreesd aan de hand van een 3D scan van de sporter. Op basis hiervan kan Refitech maatwerk carbon schalen produceren.
"De schuimsoort moet hard genoeg zijn, de PIR 120 zou hiervoor een geschikt materiaal zijn. De productieprijs is hetzelfde als serieproductie, € 400 - € 600. De kosten voor de ontwikkeling tot aan een eerste proto blijven nodig en komen +/- op € 5.000. Daarnaast hebben wij expertise in de orthese wereld, daar hebben wij in prepreg rubber verwerkt op drukpunten.
Als we uitgaan van +/- 1 – 1,2 mm materiaal dikte komt het gewicht ergens tussen de 1000 en 1500 gram uit."

Schuim/-gieten

Fit-Foam (DE)
Gezien op de ISPO München 2015
Fit-Foam stond op de ISPO München 2015 beurs in Duitsland. Grote skimerken maken hun betere skischoenen van thermoplastische materialen, waardoor het na verwarming op de voet is te vormen met vacuümtechniek. Fit-Foam, een heel klein bedrijf (onderdeel van een fitnessclub fit-sport in Ergoldsbach, kleine stand, website doet het niet, facebook paar foto's), biedt een andere oplossing om het lichaam goed in de skischoen te fixeren. De binnenschoen wordt tussen de harde buitenschoen en het lichaam gevuld met vloeibaar schuim. Het mengsel van polyol en isocynaat vormt polyurethaan (PUR) schuim. Fit-Foam heeft een mengbeker waarop een accuboormachine wordt aangesloten met een soort verfmenger om de 2 componenten snel te mixen, dit is een mooi idee (afbeelding 54). De mengset (foam-Gerät komplett kost € 290). Het schuim dat Fit-Foam verkoopt is ook in Nederland te koop. Deze kosten bij Fit-Foam: Polyol 5/10 kg is € 60/105 en Isocyanat 2,5/5 kg is € 32,50/60.

Afbeelding 54 – Fit-Foam opstelling

Sidas - (distributeur Benelux X-Function Benelux B.V.)
Internet: www.sidassport.com
Gezien op de ISPO München 2015
Telefonische contact met distributeur Benelux X-Function Benelux B.V. op: 4-5-2015
Sidas is een bedrijf gericht op sport voetkleding zoals sokken, protectie, (thermoplastische en verwarmde) zolen, (ski- en binnen-)sportschoenen en het aanmeten hiervan. De binnenschoenen,

innerboots, zijn thermoplastisch vormbaar of met PU schuim te vullen. Deze laatste “Sidas, PU Innerboots, Injected Liner”, zijn op dezelfde techniek van PU schuim injectie gebaseerd als Fit-Foam, echter professioneler. Zie afbeelding (afbeelding 55) en video van het proces (Bronnen – Video’s – Sidas injected liner process) . Sidas verkoopt de 2 componenten PU foam kit (€ 29,95) en een PU down-grading kit waardoor een zachter foam te maken is, *“a dropper for obtaining a smaller dose of Isoscyanate for a more flexible foam”.* Foam stickers kunnen voor het aanmeten worden aangebracht op mogelijke drukpunten, zoals de epicondylen en trochanter major van het femur. Het idee van Fit-Foam en Sidas kan ook worden toegepast bij het aanmeten van de schaal.

Afbeelding 55 – Sidas injected liner process 15

Poly-Service B.V.
Internetwinkel: www.polyservice.nl
Internet op: 4-5-2015
Hard PUschuim is bij Poly-Service in Amsterdam te koop.
Tweecomponenten polyurethaan hardschuim met gesloten celstructuur. Toe te passen voor het opvullen van holle ruimtes, dubbele bodems en thermische isolatie. Een andere toepassing is het maken van mallen en artistieke creaties. PU Schuim laat zich gemakkelijk snijden, schuren en modelleren, zodat de meest ingewikkelde vormen gemaakt kunnen worden.

Een mengsel van 1 liter vloeibaar schuim levert bij vrije uitschuiming een volume van ca 25 ltr op. Uitgeschuimd bedraagt het gewicht 35 tot 40 kg per m³.

De mengverhouding van de A en B component in volumedelen is 1 : 1.
De verwerkingstijd bij 20ºC is ca. 2 minuten.
De minimale verwerkingstemperatuur is 18ºC.
Leverbaar in sets van 400 ml, 2 ltr, 8 ltr en 40 ltr.
Prijs voor 400 ml set is € 9,20. Incl. BTW

FormX
Internetwinkel: www.formx.nl
Internet op: 4-5-2015
Zacht PU schuim, in verschillende hardheden, is te koop bij FormX in Amsterdam.
PU zachtschuimen bestaan uit twee vloeibare componenten die na menging snel uitschuimen tot vele malen hun oorspronkelijke volume. Deze uitschuimende massa zal in korte tijd de ruimte of de vorm opvullen waarin zij gegoten werd. Zo ontstaat een sterk maar flexibel schuimlichaam, gevormd naar de gietmal. Deze schuimen zijn samendrukbaar en flexibel zoals het matras waar u op slaapt. PU-zachtschuimen vindt u overal in de wereld om ons heen: onder de bekleding van uw auto, in meubels,

gereedschappen, speelgoed etc.
Deze schuimen komen in verschillende densiteit (hardheden) uitgedrukt in kg/m3 - hoe lager de densiteit - hoe zachter het schuim - hoe groter het volume uit geschuimde massa per liter vloeistof. FlexFoam-iT III is een zachte PU Schuim met een densiteit van 3 lb/ft³ = 48 kg/m³. Het is een dichte polyfoam die minimaal uitschuimt, 18x is de uitschuimingsfactor. Het heeft een gemakkelijke 1 op 1 (volume) mengverhouding. Set 1,25kg 29,95 EUR (Prijs exclusief 21% BTW)

UXEM Flexible Foams B.V.
Internetwinkel: www.uxfoam.nl
Contactpersoon: Thijs Volmer
UXPEC3402 Polyethyleen antraciet
Materiaal: Polyethyleenschuim crosslinked SG 34/m3 antraciet
Uitvoering: plaatwerk
Afmeting: 2000x1000x5 tot 50 mm
Tolerantie: ± 3mm (LxB), ± 2mm (H).
Product kan ''huid'' zijden bevatten.

Dikte	Prijs
5 mm	€ 11,71
10 mm	€ 17,71
25 mm	€ 28,71
50 mm	€ 49,71

Aantal rolstoelsporters

NOC*NSF
Internet: www.nocnsf.nl
Contactpersoon: Joep van Lankveld
Mail contact op: 13-5-2015
"Helaas hebben wij deze cijfers niet in beeld, iets wat we wel heel graag zouden hebben. Er is al veel onderzoek gedaan naar het aantal sporters met een handicap. Het "probleem" is dat een gemeente vanwege de privacywet niet mag zeggen hoeveel mensen met een beperking er woonachtig zijn."

Bijlage V: Contactenlijst

Deze lijst is een overzicht van alle bedrijven/personen die benaderd zijn voor deze afstudeeropdracht. Dit contact is bijvoorbeeld geweest via email, telefonisch of op beurzen. Deze contacten hebben informatie verstrekt en bijgedragen aan de ideevorming. In de lijst zijn ook de bedrijven vermeld die niet zinvol bleken, geen interesse toonden en niet reageerden (dit is erbij vermeld). Deze contactenlijst vormt naast een overzicht voor mij, ook een netwerk om te onthouden voor in de toekomst.

Algemeen

- Motion Matters – Coen Vuijk
- Frank Jol orthopedische dienstverlening – Frank Jol

Composiet maatwerk

- Tobias Design – Tobias Vermeulen

3D Scannen

- ARGON 3D Measurement Services – Jan de Bildt — RapidPro 2015
- 4C – Edwin Rappard — RapidPro 2015
- Ortho Europe B.V. – Mark Verheul — Via Frank Jol
- Geopoints – Nico Velzel — RapidPro 2015
- Capture 360 – Menno Fruijtier — RapidPro 2015
- 3D Works – John de Jong — Via Capture 360
- HHS Bewegingstechnologie – Joris van Dam

3D software

- Geoscan — Internet

3D printen

- Oceanz (3D Worknet) – Robert Groeneveld — RapidPro 2015
- 3D Robotprinting – Jasper Menger — RapidPro 2015
- Materialise — RapidPro 2015
- Tenco DDM – Rik Hegge (BE) — RapidPro 2015
- Layfa 3D Printing Service – Emil Garritsen — RapidPro 2015

3D schuimfrezen

- Ortho Europe B.V. – Mark Verheul — via Frank Jol
- Millro B.V. – Merijn van Mourik — via 4C
- Nedcam B.V. – Ernst Jan Termeulen — via Geopoints

Composiet serieproduct

- Refitech B.V. – Arthur Cooijmans en Bas Nijpels — Internet en Materials 2015
- Ceemo Engineering B.V. — Internet
- Polyglas kunststoffen — Internet
- KVE Composites Group – Auke Jongbloed — Materials 2015
- VDL Fibertech Industries B.V. – Frans van der Weijst — Materials 2015

Thermo/vacuümvorm serieproduct

- Polymess B.V. – Ernan Grooters — Internet
- Jansen Thermoforming B.V. – Mark Jansen — Internet
- Batelaan kunststoffen B.V. — Internet
- Plastica thermovorming – Rob Baas — RapidPro 2015
- VDL Wientjes Roden B.V. – Martijn Bouwman — Internet
- Depla B.V. – Reinier Denzel — Internet
- VKF Renzel B.V. – Leon Heijmink — Materials 2015

Rotatiegieten

- VMT-Products B.V. – Aalt Hijmissen — via Polymess B.V.
- Roto-Art B.V. – Cas Oerlemans — Internet

- Pentas Moulding B.V. — Internet
- PRM Kunststoffen – Edwin Bargeman — Internet
- Dragon Plastics Rotomoulding B.V. – Elisca de Jonge — Internet

Vacuümzak

- Welzorg Oldenzaal – Bert Faber — Via Coen Vuijk
    - geen interesse in meewerken
- Bert Stevens Orthesebouw – Bert Stevens — Via Coen Vuijk
    - geen interesse in meewerken

Schuimgieten

- Fit-Foam – (DE, Ergoldsbach) — ISPO München 2015
- Sidas – distributeur Benelux X-Function Benelux B.V. — ISPO München 2015
- Poly-Service B.V. — Eerdere projecten en internet
- FormX — Internet

Schuim

- UXEM Flexible Foams B.V. – Thijs Volmer — Eerdere projecten
- D3O — ISPO München 2015

Aantal rolstoelsporters

- NOC*NSF – Joep van Lankveld — Internet

Bijlage VI: Biografie – Esther Vergeer

Onderstaande tekst komt uit de biografie van Esther Vergeer (Veerman, 2013, pp. 21 – 26) en gaat over de weg vanaf het idee van een nieuwe sportrolstoel met een schaal in plaats van een zitting, tot aan het één worden met de nieuwe combinatie.

In 2009, een jaar na Peking, werden over die stoel al de eerste gesprekken gevoerd. Rolstoeldeskundige Coen Vuijk had mij een e-mail gestuurd met de suggestie om eens na te denken over een nieuwe stoel. Aanvankelijk stond mijn hoofd er niet naar. Op aanraden van mijn omgeving – onder meer Sven en Marijn – ben ik gaan nadenken hoe een nieuwe stoel me zou kunnen helpen mijn grootste tegenstander, Korie te kunnen blijven verslaan. We kwamen uiteindelijk bij een kuipje. Coen wilde me wel begeleiden. Het werd een langdurig proces, en regelmatig rees de vraag of we wel moesten doorgaan. Het fabriceren van zo'n stoel is erg duur. Het lag een tijdje stil, vanwege de zoektocht naar financiën. De lat lag hoog: het moest een echte noviteit worden, een primeur. Eerdere aanpassingen aan de stoel hadden veel minder impact gehad; een verandering van de zithoek of de strapping bij mijn heupen. Dat zijn dingen die je op de stoel kunt bevestigen en eraf kunt halen, als het je niet bevalt.

In een normale stoel zit je op een kussen, een kuipje is vrij hard. Maar dat was volgens Coen geen probleem. Een kussen zit ongemakkelijker dan een blok beton dat naar jouw billen is gevormd, zei hij. Bovenal: een kuipje mag dan weinig comfortabel zijn qua zachtheid, het scheelt wel ruim een kilo in gewicht.
Er werd een analyse gemaakt van mijn zithouding en van hoe ik reed. De stand van mijn heupen, schouders, ellebogen; alles werd geanalyseerd. Er werd gefilmd en specifiek gekeken waar ik in de oude stoel de meeste energie verloor. Dat bleek te gebeuren door bewegingen van mijn onderlichaam. Tijdens het maken van een tennisbeweging, bewogen mijn benen ongewild mee. Dat kon veranderd worden, luidde de conclusie.

Die theorie kon wetenschappelijk worden onderbouwd, en we benaderden NOC*NSF voor ondersteuning. De bobslee van het Nederlands team, de racefiets van baanrenner Theo Bos, dat soort technische projecten was immers ook mede door de sportkoepel gefinancierd. Maar we kregen nul op het rekest. Dus moest ik zelf op zoek naar financiers. Welzorg, een bedrijf dat is gespecialiseerd in hulpmiddelen voor mensen met een beperking, wilde garant staan voor de bouw van de kuip, en Sunrise Medical (al jarenlang mijn sponsor) bouwde de stoel. Daarnaast moest ik op zoek naar een financier voor de andere onkosten en de arbeidskosten van Coen. Ik besloot het risico te nemen en gaf Coen, Welzorg en Sunrise Medical in Duitsland groen licht, want het bedenken en bouwen kon niet langer wachten. Samen spraken we de wens uit dat de stoel een jaar voor de Spelen klaar zou zijn.

Mijn allereerste sportrolstoel was een sportstoel op de groei. Want je bent kind, groeit hard en de gemeente verstrekte maar één keer in de zoveel jaar een sportstoel. Ik paste met mijn lichaampje twee keer in die stoel. De rugleuning kwam tot boven mijn schouderbladen en ik schoof van links naar rechts op het zitvlak. Een groot contrast met de professionaliteit waarmee we in de gehandicaptensport omgaan met onze stoelen: op elke millimeter proberen we winst te halen. De fabrikanten zijn daarin meegegaan. Niemand hoeft nog een stoel op de groei te kopen. En het gewicht is met kilo's afgenomen: van aluminium naar titanium naar carbon. Zo min mogelijk schroefjes. De banden, de spaken; overal wordt naar gekeken.
Ik zou de eerste rolstoeltennisser zijn in zo'n soort kuipje. Het voelde als een grote stap, zo'n innovatieve stoel, maar bij de eerste kennismaking in Duitsland dacht ik: Is dit het nou? Ik voelde dat mijn onderrug naar voren werd geduwd. Het zat niet bepaald comfortabel. Ik reed niet lekker, de draai was moeilijk. Bijna alles was vervelend. Na twintig minuten in die stoel had ik pijn in mijn rug, kon ik niet meer zitten en voelde ik me ontzettend moe. Ik belde mijn vader en zie plompverloren dat

dit hem niet ging worden. De lijst van pluspunten was heel kort en die van de minpunten heel lang en gedetailleerd. Wat moest ik er mee?

Ik heb een gevoelige onderrug, dus ben ik beducht op elk pijntje dat ik daar voel. Ik was vooral bang dat het kuipje mijn rug dusdanig zou belasten dat er een blessure zou ontstaan. Terwijl er natuurlijk ook sprake kon zijn van normale spierpijn, die zou verdwijnen als ik wat vaker met de stoel had getraind.

Toen de stoel uiteindelijk goed was afgesteld, zag ik er de potentie van in. Ik kon de ballen preciezer plaatsen. En ik merkte dat ik geen onnodig energieverlies meer leed omdat ik uit balans was of omdat mijn knieën de andere kant op gingen. Ik was nog wel bang dat ik tijdens het rijden niet genoeg naar voren kon leunen. Maar dan ga je vlieguren maken – trainen, slaan, achtjes draaien, herstellen – en blijk je elke beweging te kunnen maken. Beter zelfs.
Inmiddels ben ik ervan overtuigd dat dergelijk maatwerk van groot belang is voor het verder professionaliseren van de gehandicaptensport. En ook dat deze ontwikkeling een belangrijke bijdrage kan leveren aan het dagelijkse gebruik van een rolstoel…

… Eerder dat jaar, bij de Pensacalore Open in Florida in april, had Aniek als eerste na Korie Homan, een set van me weten te pakken. Het was mijn eerste toernooi in de nieuwe rolstoel. Meteen bij aankomst in Florida was de stoel het gesprek van de dag. Er waren vragen van spelers, coaches en de organisatie. Waarom twee wieltjes aan de achterkant, waarom dikke framebuizen? Waarom de knieën bedekt en een dicht kuipje? Toen ik in de finale een set verloor, trokken de buitenstaanders meteen hun conclusie.

Met de nieuwe rolstoel speelde ik in Florida met minder overtuiging dan normaal. Trainen bleek toch anders dan een toernooi. Ik werd geconfronteerd met zon, wind en regen en tegenstanders die graag wilden winnen. Ik moest me instellen op telkens een andere speelstijl en de stoel reageerde op elke kleine correctie. Het hoorde bij het gewenningsproces, want ondanks alles had ik het gevoel dat ik over de baan danste en zweefde. Het was zo licht…

… Toch bracht het setverlies me uit mijn evenwicht. Vanuit Nederland kwamen uiteenlopende reacties. Was ik ziek of geblesseerd? Dan ga je zelf ook piekeren: Moest ik wel verder met de nieuwe stoel? Al snel ging het van kwaad tot erger, en twijfelde ik mezelf de put in. Op enig moment had ik er zelfs rekening mee gehouden dat ik ging verliezen op de daaropvolgende Florida Open. Bondscoach Marc Kalkman hielp me met een paar goede gesprekken weer op het rechte pad. Ik moest mijn zelfvertrouwen niet laten aantasten door zorgen om het materiaal, en blijven uitgaan van mijn eigen kracht. Toen werd alles weer logisch en vanzelfsprekend. Tijdens de Florida Open kwamen er natuurlijk ook vragen over de stoel, maar ik had mijn riedeltje al klaar. Dat ik er gewoon nog aan moest wennen. Punt. Ik ging ze niet vertellen waar ik nog meer aan dacht. Daarna won ik van Aniek, gewoon in twee sets. Twee weken later, in mei, speelde ik een testevent hier in Londen, op dezelfde venue als nu. Toen merkte ik dat ik vriendschap sloot met de nieuwe stoel.

Bijlage VII: Projectplan

Een schaalinsluiting van de onderste extremiteit voor toprolstoelsporters

De optimalisatie van de productieprocedure

Naam: Roel van der Hooft
Studentnummer: 10069429
E-mail: Roel_vd_hooft@hotmail.com
Behaalde studiepunten in de modules 9 t/m 12: 51 (Alles afgerond)
Datum: 30-1-15

1 Onderwerp

Werkveld:	Sport
Beroepsrol:	Ontwerper
Opdrachtgever:	Motion Matters
Contactpersoon:	Coen Vuijk, coen@motionmatters.nl
Opdrachtomschrijving:	Ontwerp van een adviesproductieprocedure

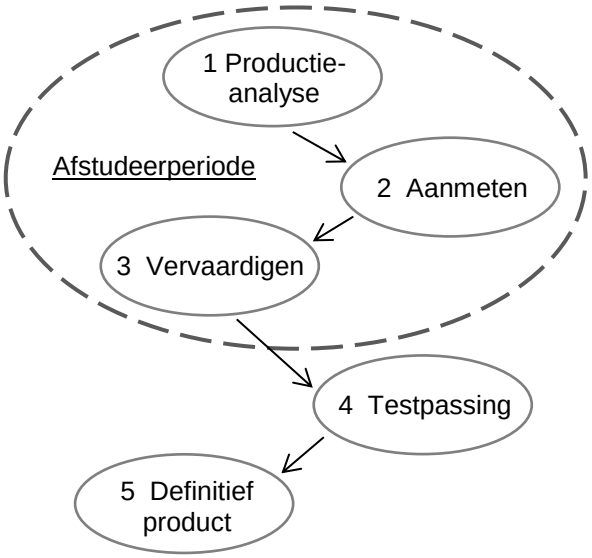
2 Probleemstelling

Afbeelding 1 - Esther Vergeer in een schaalinsluiting

Aanleiding:

Coen Vuijk is al enkele jaren bezig met het ontwerpen van allerlei soorten sportrolstoelen. Hij heeft veel kennis opgedaan over de houding en prestatie van de sporters in een sportrolstoel. Zijn belangrijkste principe op het gebied van sportrolstoelen is: hoe meer de sporter één geheel vormt met de rolstoel, des te beter zal hij presteren. Dit in de vorm van een fixatie van het lichaam in een schaalinsluiting van de onderste extremiteit, in plaats van strapping (Breukelen, n.d.), bijvoorbeeld met klittenband. Bij Ester Vergeer (afbeelding 1 (BNR Nieuwsradio, 2012)) en een aantal andere atleten is gebleken dat een schaalinsluiting tot hogere prestaties leidt. De schaalinsluiting is net als een prothese een negatief van het lichaam en vormt een directe schakel tussen het lichaam en de rolstoel. Het vormt één geheel waardoor krachten direct worden opgenomen. Bij het produceren kan precies zó veel ondersteuning worden geven voor een optimaal functioneren van de atleet. Dit kan in een traditionele zitting niet. Welk deel van het lichaam ingesloten wordt, wordt gekozen aan de hand van de gewenste bewegingsmogelijkheden. Zo kan bijvoorbeeld de gehele onderste extremiteit worden gefixeerd, waardoor pas vanaf de romp kan worden bewogen. Of gekozen wordt om tot de knieën te fixeren, waardoor een basketballer met bovenbeenfunctie d.m.v. kniestrekking zijn romp van de zitting tilt en omhoog komt. De schaalinsluiting is een vrij nieuwe ontwikkeling, nog maar een paar topsporters rijden erin rond. Het aanmeten en produceren van een schaalinsluiting is complex, kost veel tijd, materiaal en bij elkaar opgeteld relatief veel geld. Het doel van de afstudeeropdracht is het ontwerpen van efficiëntere methoden om deze kosten te reduceren. Door het ontwikkelen van goedkopere productiemethoden wordt de gehele productieprocedure, zie vooronderzoek, geoptimaliseerd. Voor het realiseren van

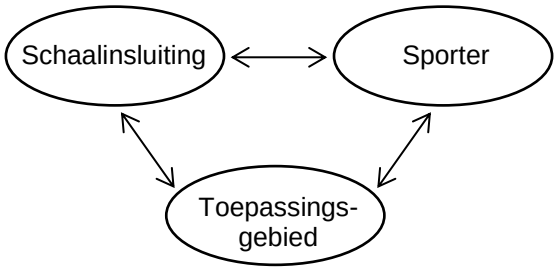
goedkopere methoden zijn creatieve oplossingen nodig. Uiteindelijk wordt een productieprocedure geoptimaliseerd (afbeelding 2). Deze productieprocedure zal als advies worden opgeleverd aan Motion Matters. De afstudeeropdracht richt zich op de eerste drie fases, deze zijn het belangrijkst om het doel te behalen. In de productieanalyse wordt aan de hand van de factoren schaalinsluiting, sporter en toepassingsgebied (afbeelding 3) bepaald welke delen en hoe de onderste extremiteit worden ingesloten. Bij het aanmeten wordt een afdruk van het lichaam gemaakt, bijvoorbeeld in de vorm van een vaste mal of digitaal door middel van een 3D-scanner. Met de afdruk van het lichaam wordt vervolgens de schaalinsluiting vervaardigd. De testpassing en het definitieve product vormen samen de afrondingsfase van de procedure, deze komen niet aan bod in deze afstudeeropdracht. Dit zou vanwege de tijd, afbreuk doen aan de eerste drie essentiële fases.



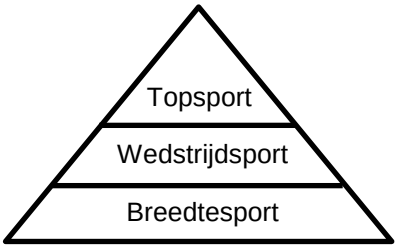
Afbeelding 2 - Gehele procedure en omcirkeld afbakening afstudeerperiode

Doelgroep: De topsporter

Het advies zal gericht zijn op topsporters. Dit zijn sporters die fulltime en beroepsmatig als atleet functioneren. Voor alle rolstoelsporters van verschillende niveaus (zie afbeelding 4) geldt dat zij tot een hogere prestatie kunnen komen als zij één geheel vormen met de rolstoel, door een schaalinsluiting. Voor de topsporter gelden echter andere eisen dan bij de andere niveaus. Eén verschil is dat een topsporter een hele directe en harde opsluiting verlangt, terwijl een wedstrijd- en breedtesporter meer comfort wil. Meer eisen en wensen per sportniveau zijn te vinden in bijlage 1. Aan de hand van deze eisen is besloten een productieprocedure van schaalinsluitingen voor topsporters te ontwikkelen. De focus zal hierdoor liggen op prestatiegerichte schaalinsluitingen, zonder concessies te hoeven doen om de schaalinsluiting voor meerdere sportniveaus geschikt te maken.
Het verschil tussen top- en wedstrijdsport is in Nederland minder dan tussen wedstrijd- en breedtesport. In de toekomst kan de procedure verder ontwikkeld worden om deze ook toepasbaar te maken voor deze twee sportniveaus.



Afbeelding 3 - Factoren



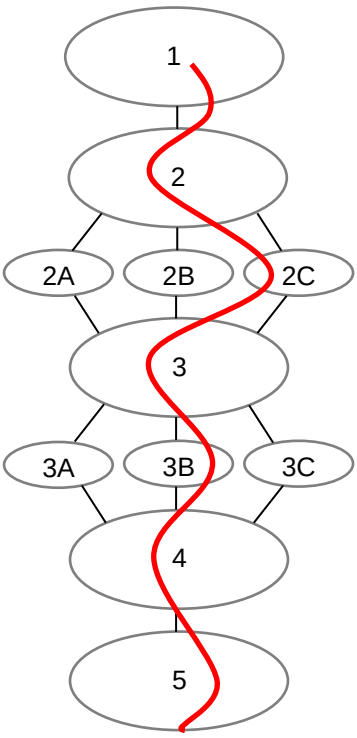
Afbeelding 4 - Sportniveaus

Doelstelling:

Een optimale productieprocedure voor de productie van een schaalinsluiting voor topsporters (afbeelding 2) realiseren om de kosten en complexiteit van productie te reduceren. De procedure wordt als advies opgeleverd aan Motion Matters. Per fase wordt de optimale methode gekozen op basis van de factoren: schaalinsluiting, sporter en toepassingsgebied (afbeelding 3). De optimale productieprocedure biedt meer topsporters een manier om in een schaalinsluiting te kunnen rolstoelsporten.

Methode:

Om het doel te bereiken zullen er per fase van de productieprocedure (afbeelding 5) meerdere methodes worden onderzocht op functionaliteit en kosten. Uit de methodes kan vervolgens één keuze worden gemaakt en als advies worden aangedragen. De procedure zal een beslisboom vormen, waarmee afhankelijk van de optimale methode per fase, een (advies)route (rode draad) wordt gekozen voor het produceren van schaalinsluitingen (afbeelding 5).



Afbeelding 5 - Beslisboom, een route voor het produceren

Randvoorwaarden en afbakening:

- Het eindproduct is een adviesproductieprocedure voor het produceren van een schaalinsluiting van de onderste extremiteit voor topsporters;
- Met de geoptimaliseerde adviesproductieprocedure moeten de totale kosten zijn gereduceerd ten opzichte van de traditionele procedure.
    - Door onder andere het verminderen van arbeidstijd, complexiteit en materiaal.
- Alle delen van de onderste extremiteit moeten gefixeerd kunnen worden, afhankelijk van wat in de situatie nodig is;
    - De mate van insluiting en ondersteuning is hierdoor te kiezen.
- De fases: productieanalyse, aanmeten en vervaardigen, van de procedure zullen worden onderzocht. De vervolgfases: testpassing en definitief product komen niet aan bod. Deze laatste stappen zijn wel belangrijk, echter zou dit, vanwege de tijd, afbreuk doen aan de eerste drie essentiële fases;
- Per fase zullen er meerdere methodes worden beschreven;
- Aan Motion Matters wordt de beslisboom met per fase meerdere methodes aangeleverd, plus een advies voor de optimale productieprocedure;
- De productieprocedure moet reproduceerbaar zijn:
    - Digitale en harde (mallen) informatie moeten bewaard en opnieuw gebruikt kunnen worden;
    - De schaalinsluiting moet reproduceerbaar zijn en aan dezelfde eisen blijven voldoen;
- Voorafgaand aan de productieanalyse vindt de bewegingsanalyse van de sporter plaats. De bewegingsanalyse wordt niet onderzocht tijdens de afstudeerfase.
    - Tijdens de productieanalyse wordt de mate van ondersteuning en insluiting van de onderste extremiteit gekozen.
- Als er tijd en ruimte is zullen alle methodes uit dit onderzoek per fase worden uitgeprobeerd;
- De techniek is ondergeschikt aan de houding van het lichaam in de schaalinsluiting;
- De bestaande orthopedische technieken en apparatuur moeten geen beperking vormen, er dient breed gezocht te worden in diverse vakgebieden;
- Het project moet binnen 14 weken worden afgerond.

Verwacht resultaat:

Het resultaat is een adviesproductieprocedure (beslisboom, afbeelding 5) voor het aanmeten en vervaardigen van een schaalinsluiting. De kosten van de geoptimaliseerde procedure dienen gereduceerd te zijn ten opzichte van de traditionele procedure. Aan Motion Matters wordt de beslisboom met per fase meerdere methodes aangeleverd, plus een advies voor de optimale productieprocedure (rode draad, afbeelding 5).

3 Vooronderzoek

In bijlage 2 staan de geschatte kostenraming van de kosten en uren voor het maken van een schaalinsluiting met de bestaande procedure. De productieprocedure van een schaalinsluiting kost nu relatief veel tijd, kennis, materiaal en daardoor veel geld. Het doel is het reduceren van deze kosten.

In het kort is de huidige productieprocedure voor het maken van een harde schaal als volgt. In de goede houding wordt er van gips een negatief gemaakt van de onderste extremiteit. Vervolgens wordt een positieve mal gemaakt door het negatief met gips te vullen en uit te laten harden. Dan wordt er in alle gevallen een prototype gemaakt in Pet-G (doorzichtige kunststof) en volgt er een proefpassing. Het prototype wordt bijgewerkt en met koolstof verstevigd om hem tijdens activiteiten te testen, door het in de sportrolstoel of handbike te plaatsen. Na de test wordt het definitieve product vervaardigd.

Tijdens mijn huidige stage bij Motion Matters wordt meegelopen bij pasprocedures van sportrolstoelen. De procedure van aanmeten en wat belangrijke aspecten zijn komen hier veelvuldig aan bod. Bij besprekingen met sporters, zoals Jetze Plat, en bondscoaches, waaronder Arno Mul, gaat het vaak over de fixatie van het lichaam in de rolstoel. Voor deze stage periode is mijn PEO 9 ingevuld met een opdracht vanuit Motion Matters, het helpen ontwikkelen van een innovatieve sportrolstoel met een andere zithouding. En om deze te kunnen testen zijn sportrolstoeltrainingen gevolgd. De visie van Coen is nu duidelijk en alles bij elkaar is waardevolle kennis en voorbereidend werk voor de afstudeeropdracht geweest.

4 Analysefase

In de afstudeeropdracht zullen de analyse- en ontwerpfase met elkaar verweven zijn. Onder de analysefase valt voornamelijk het beantwoorden van onderstaande deelvragen.

Algemeen:

- Wat zijn de voordelen van de harde insluiting ten opzichte van een zitting?
- Hoe ziet het huidige productieproces eruit?
    - Hoe wordt oorspronkelijk informatie ingewonnen voor de productieanalyse?
    - Hoe wordt de insluiting aangemeten?
    - Welke vervaardigingsmethodes worden nu toegepast?
- Hoeveel werkuren en materiaal zijn nodig in de hele procedure?
    - Een kostenraming, van de huidige productieprocedure, waarmee vergeleken kan worden
- Is het mogelijk een harde schaal eenvoudiger dan m.b.v. de huidige productieprocedure te produceren?
- Waar worden nog meer schalen gebruikt waarin een lichaam komt?
    - Bepaalde vakgebieden of beroepen?
    - Inspiratie uit de natuur?

Productieanalyse:

- Welke informatie is nodig van de sporter voor er kan worden begonnen met het produceren en is hiervoor een vragenlijst op te stellen?
- Waar dient de sporter ingesloten te worden?
- Wat is de beperking van de sporter?
- Wat is het toepassingsgebied (soort sport)?
- Hoe is in en uit de harde schaal stappen mogelijk?
- Welke aanmeet- en productiemethode moeten worden gekozen?
    - En op basis waarvan?

Aanmeten:

- Welke aanmeetmethodes bestaan er en hoeveel kosten deze?
- Op welke plaatsen moet de onderste extremiteit gefixeerd worden?
- Waar is stijfheid van de harde schaal nodig?
- Hoe kan er een afdruk van het lichaam worden gemaakt en is dit nog wel nodig?
- Gaat het om maatbouw of confectie?

Vervaardigen:

- Welke vervaardigingsmethodes zijn er mogelijk en hoeveel kosten deze?
- Hoe kan er een schaal worden gemaakt om het lichaam?
    - Is hiervoor een mal nodig of zou dit ook direct op het lichaam kunnen?
- Van welk materiaal moet een harde schaal worden gemaakt?
    - Welke stijfheid en hardheid is er nodig en op welke punten?
    - Welke materiaal, bijvoorbeeld metaal, kunststofof composiet?
    - Welke eigenschappen, bijvoorbeeld thermoharder of thermoplast?
- Hoe kan van het gekozen materiaal een harde schaal worden gemaakt?
- Op welke manieren is insluiting van het lichaam mogelijk?
- Hoe moet de schaal in de rolstoel komen?
    - Een keuze maken voor een sportrolstoel met daarop gemonteerd een schaalinsluiting of een frame met geïntegreerde schaalinsluiting (monocoque).

Om bovenstaande vragen te beantwoorden moeten alle methodes uit dit onderzoek per fase worden onderzocht, uitgeprobeerd en vergeleken worden met de eerder opgestelde eisen. Een literatuuronderzoek worden gedaan om te ontdekken welke materialen en methode kunnen werken. Om te weten hoe het produceren in de praktijk werkt zal het hele proces worden doorlopen van productieanalyse tot en met de vervaardiging. Om meer te weten te komen over de huidige procedure en om ideeën op te doen over nieuwe methodes, worden interviews gepland met Coen Vuijk en Frank Jol. Daarnaast zal bij bedrijven binnen de orthopedietechniek, maar ook daar buiten, gezocht worden naar ideeën voor nieuwe toepassing. Zo kunnen er meerdere methodes voor het aanmeten en vervaardigen van harde schaalinsluitingen worden gevonden. Bijvoorbeeld met behulp van 3D scanners en printers, of een combinatie van MRI scan en 3D printer. Sengeh en Herr (Sengeh, 2014)(Herr, 2014) gebruiken deze methode om prothesekokers te maken. In de skiwereld en autosport gebruikt men ook technieken die mogelijk gebruikt kunnen worden. Hier zijn veel ontwikkelingen op het gebied van kunststoffen en composieten. Om kennis over materialen en productiemethode op te doen zullen experts op deze gebieden worden geraadpleegd. Met sporters zal in gesprek worden gegaan over hun “zitervaring” in sportrolstoelen met en zonder schaalinsluiting. Naast sporters worden ook de bondscoaches benaderd en bevraagd worden over hun ideeën met betrekking tot schaalinsluitingen. Om bedrijven, vervaardigingsmethodes en materialen te ontdekken zullen onder andere beurzen (ISPO München, RapidPro en Materials) worden bezocht.

5 Ontwerpfase

Tijdens de ontwerpfase zullen er per fase verschillende methodes worden ontworpen om de kosten te reduceren. Dit gebeurt aan de hand van de technische mogelijkheden die uit de analyse voortkomen. Voor de aanmeetfase kunnen dit bijvoorbeeld 3D scannen of een vacuümzak zijn en bij de vervaardigingsfase 3D printen of een thermoplastische schaal op maat vormen. In de ontwerpfase zullen nieuwe vragen ontstaan die beantwoord zullen worden op dezelfde manier als is beschreven in de analyse. Als er tijd en ruimte is zullen alle methodes per fase worden uitgeprobeerd om te ondervinden hoe het in zijn werk gaat. Dit is bovendien een test om te beoordelen of de methode functioneert.

6 Vervaardigingfase

In de vervaardigingsfase zal met alle eerder ontworpen methodes per fase een productieprocedure voor de schaalinsluitingen worden opgesteld. De geoptimaliseerde adviesproductieprocedure is het doel van de afstudeeropdracht en zal een leidraad vormen voor het vervaardigen van schaalinsluiting van de onderste extremiteit voor toprolstoelsporters (afbeelding 5).

7 Testfase / Evaluatiefase

Tijdens de test- en evaluatiefase is het van belang aan te tonen dat de adviesproductieprocedure daadwerkelijk geoptimaliseerd is. Dit wordt aangetoond met een reductie van de kosten voor het produceren van een schaalinsluiting. Aan de hand van kostenramingen per fase en methode (bijlage 2) kan dit worden weergegeven.

Door middel van het doorlopen van alle fases in de procedure en het uitvoeren van de methodes kan worden getest of de productieprocedure functioneert. Aan de hand van evaluatiegesprekken met experts in de desbetreffende methode kan worden beoordeeld of de productieprocedure naar verwachting zal werken. Met deze stappen zal worden aangetoond of de adviesproductieprocedure efficiënter is qua kosten en complexiteit.

8 Voorlopige literatuurlijst

BNR Nieuwsradio. (2012). Opnieuw olympisch goud voor Vergeer. Retrieved February 01, 2015, from http://www.bnr.nl/nieuws/sport/250508-1209/opnieuw-olympisch-goud-voor-vergeer

Breukelen, K. (n.d.). (Sport) Rolstoel Performance. Retrieved from http://www.doubleperformance.nl/downloads/Artikel (sport)rolstoel-performance.pdf

Herr, H. (2014). The new bionics that let us run, climb and dance. Retrieved January 31, 2015, from http://www.ted.com/talks/hugh_herr_the_new_bionics_that_let_us_run_climb_and_dance

Sengeh, D. (2014). The sore problem of prosthetic limbs. Retrieved January 31, 2015, from http://www.ted.com/talks/david_sengeh_the_sore_problem_of_prosthetic_limbs

9 Planning

Zie bijlage 3 voor de planning van de afstudeerfase en bijlage 4 voor de hoofstukindeling.

10 Persoonlijke leerdoelen afstudeerfase

- Documenteren
  - Verslag/scriptie vanaf het begin bijwerken met alles wat ik doe.
- Theoretisch onderbouwen (genomen beslissingen funderen)
  - Literatuur, interviewen, voorgaande kennis (bijv. breedtesportrolstoel)
- Trainen om mijn associatieve denkwijze vast te leggen
  - Mindmappen is hiervoor een methode.
- Functioneren in multidisciplinair team
  - Eigen opstelling aanpassen aan anderen om hen optimaal te laten functioneren en kennis te kunnen benutten. Framing is hiervoor een methode.

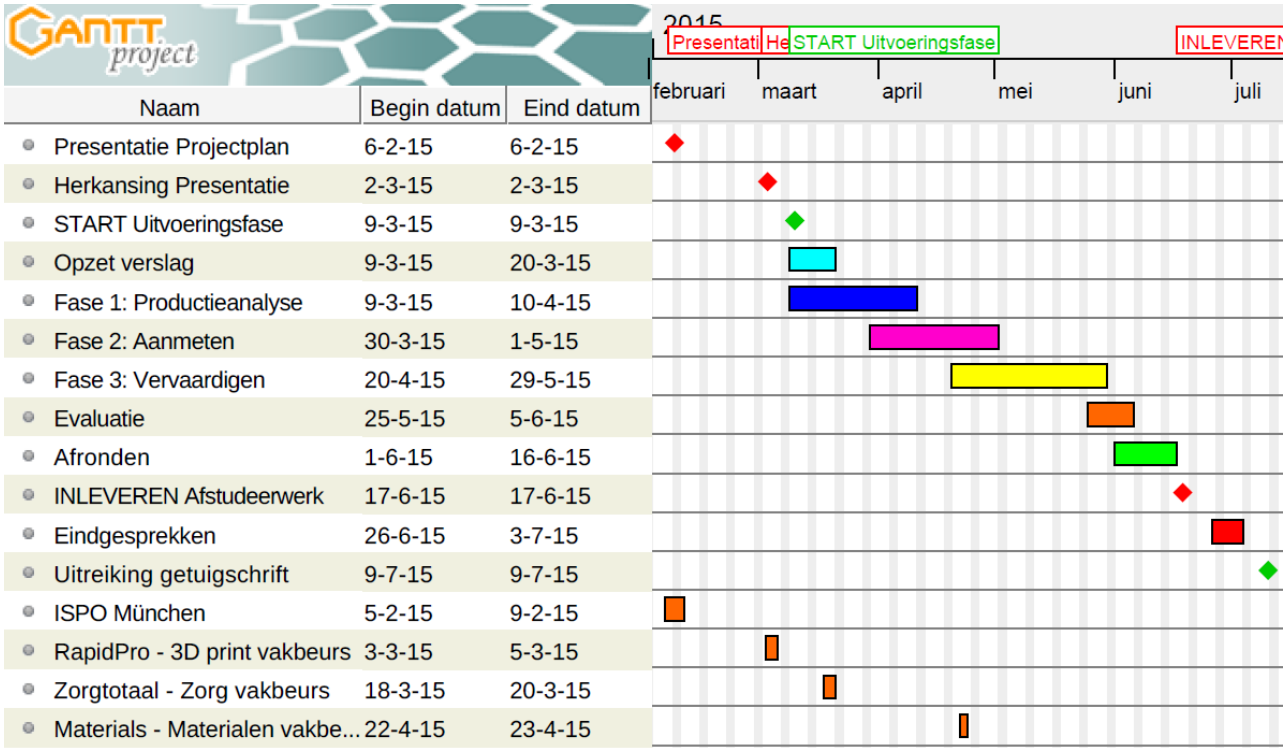
Bijlage 1: Eisen en wensen per sportniveau

	Topsport	Wedstrijdsport	Breedtesport	Algemeen
Betaalbaarheid	Sponsoren, stichting/fonds of zelf	Zelf	Zelf	Voor sportrolstoel en accessoires zijn per gemeente en verzekering andere regels. Vaak is het een grote eigen bijdrage of geheel zelf betalen.
Hardheid/directheid (prestatie)	Hoog	Redelijk	Genoeg voor succeservaring	Hoe harder en directer de schaalinsluiting is hoe hoger de prestatie, echter ook minder comfort
Negatief van lichaam	Exact mogelijk	Redelijk	Genoeg voor succeservaring	Als de schaal een negatief van het lichaam is kunnen de krachten beter worden overgenomen.
Comfort	Voldoende	Redelijk goed	Goed	Altijd genoeg comfort voor de duur van een training en wedstrijd. Bij basketbal en atletiek 2 uur en tennis 3 uur.
Gewicht	Extra laag	Laag	Redelijk	In alle gevallen lager dan een zitting als in een traditionele zitting, inclusief: zit- en rug frame, bekleding, kledingbeschermers en strapping.
Gewichtsverdeling	Centreren bij het midden	Redelijk centraal	Minder van belang	Zo gecentreerd mogelijk bij het midden tussen de achterwielen voor minimale rolweerstand en snel draaien. (Breukelen, n.d.)
Transfer/instappen	Met hulp (coach)	Zelfstandig	Zelfstandig	Bij de topsporter is prestatie het belangrijkst waardoor instappen in een schaalinsluiting lastig kan zijn. Een breedtesporter moet dit echter wel zelf kunnen.
Lichaamstemperatuur verwerking	Zo dun mogelijke laag (thermo onderkleding)	Dunne bekleding	Bekleding	Lichaamstemperatuur en zweet moeten in alle gevallen weg kunnen.
Temperatuur invloeden	De schaalinsluiting mag niet te warm worden en vervormen door invloeden van het lichaam en buitenaf zoals de zon of in een hete auto staan.			

Bijlage 2: Kostenraming

Handeling	Uren	Kosten
Oriënteren	2	€ 130,00
Gipsafdruk	2	€ 130,00
Prototype vervaardigen	10	€ 650,00
Passing	1	€ 65,00
Montage op frame	2	€ 130,00
Testen	5	€ 325,00
Definitief vervaardigen	16	€ 1.040,00
Montage	3	€ 195,00
Aflevering/passing	3	€ 195,00
Subtotaal uren	**44**	**€ 2.860,00**
Materiaal		
Klein materiaal		€ 50,00
Verbruiksmateriaal		€ 100,00
Prototype + definitief		€ 500,00
Bekleding		€ 50,00
Subtotaal materiaal		**€ 700,00**
Totaal*		**€ 3.560,00**
*Excl. reiskosten		

Bijlage 3: Planning



Naam	Begin datum	Eind datum
Presentatie Projectplan	6-2-15	6-2-15
Herkansing Presentatie	2-3-15	2-3-15
START Uitvoeringsfase	9-3-15	9-3-15
Opzet verslag	9-3-15	20-3-15
Fase 1: Productieanalyse	9-3-15	10-4-15
Fase 2: Aanmeten	30-3-15	1-5-15
Fase 3: Vervaardigen	20-4-15	29-5-15
Evaluatie	25-5-15	5-6-15
Afronden	1-6-15	16-6-15
INLEVEREN Afstudeerwerk	17-6-15	17-6-15
Eindgesprekken	26-6-15	3-7-15
Uitreiking getuigschrift	9-7-15	9-7-15
ISPO München	5-2-15	9-2-15
RapidPro - 3D print vakbeurs	3-3-15	5-3-15
Zorgtotaal - Zorg vakbeurs	18-3-15	20-3-15
Materials - Materialen vakbe...	22-4-15	23-4-15

Bijlage 4: Voorlopige hoofdstukindeling

- Inhoudsopgave
- Inleiding
- Leeswijzer
- Samenvatting
- Verklarende woordenlijst
- Analyse
    - Algemeen
    - Productieanalyse
    - Aanmeten
    - Vervaardigen
- Eisen en wensen
- Ontwerpfase
    - Productieanalyse
    - Aanmeten
        - Methodes uitwerken
    - Vervaardigen
        - Methodes uitwerken
- Vervaardigingsfase
    - De adviesproductieprocedure
- Test/evaluatiefase
- Conclusie en aanbevelingen
- Discussie en reflectie
- Aanbevelingen
- Literatuur en bijlage
- Dankwoord

Dankwoord

In het derde jaar van mijn opleiding Bewegingstechnologie heb ik nauw samengewerkt met Coen Vuijk van Motion Matters. Naast de projecten die ik in opdracht van Coen voor mijn studie uitvoerde heb ik ook aan een aantal projecten binnen het bedrijf Motion Matters gewerkt. In de samenwerking heb ik de volgende projecten voor mijn studie ontwikkeld: een sportrolstoel met een innoverende houding (PEO 9), een rolstoelweegschaal voor thuisgebruik, transportkoffers voor sportrolstoelen en ik assisteerde bij de ontwikkeling van carbon racerolstoelen (2e stage).En, hier en nu, studeer ik af op het betaalbaar maken van schalen. Coen heeft mij de kans gegeven veel ervaring op te doen in het vakgebied en uitgedaagd om te komen tot een steeds hogere prestatie. Van het ontwikkelen van nieuwe producten, het assisteren bij het aanmeten van sportrolstoelen voor paralympische topsporters tot het bezoeken van de grote sportbeurs ISPO München 2015. Hiernaast is het ook vaak gegaan over communicatie, de manier van leren en diverse andere persoonlijke vaardigheden. Omdat Wapserveen niet om de hoek ligt heb ik vaak bij de familie Vuijk gelogeerd. Daarom wil ik Coen en de gehele familie Vuijk bedanken voor de mogelijkheden en gastvrijheid.

Alle bedrijven en contactpersonen ben ik dank verschuldigd voor de tijd die zij aan mijn project hebben besteed, het meedenken en alle informatie die zij hebben verstrekt. Drie personen wil ik met name bedanken. Tobias Vermeulen voor alle extra informatie over carbon. Frank Jol voor zijn specialistische kennisoverdracht. En Nico Velzel van Geopoints voor het mogelijk maken van de 3D scan test en het opsturen van mijn notitieboek, dat ik na het testen in mijn enthousiasme was vergeten.

Ik wil mijn interne begeleiders en beoordelaars vanuit Bewegingstechnologie, Martijn van der Ent en Rienk van der Slikke, bedanken. Waar nodig dachten zij mee om de goede richting te kiezen en gaven steeds op korte termijn feedback. Voor het begeleiden van het projectplan bedank ik Aad Lagerberg.

Naast de docenten die hebben geholpen bij het tot stand komen van de scriptie heb ik veel gehad aan diverse andere mensen vanuit Bewegingstechnologie. Hiervan wil ik vier mensen in het bijzonder bedanken; Monique Berger, Martijn van der Ent, Robert McMeikan en Jorine Koopman. Zij boden hulp tijdens het volledige studietraject, maakten diverse projecten mede mogelijk en motiveerden mij om mezelf te perfectioneren tot een scherpe bewegingstechnoloog.

Tot slot wil ik de mensen in mijn directe omgeving bedanken. Mijn familie, voor de ondersteuning, het meedenken en nakijken. En mijn vrienden voor de momenten van vermaak waarbij ik even aan iets anders kon denken dan het afstuderen.

Als bewegingstechnoloog in spe dringt nu het besef door dat deze afstudeerscriptie de apotheose is van mijn studie Bewegingstechnologie. Ik maak nu de stap richting een nieuwe fase in mijn leven. Waarbij ik alle kennis en persoonlijke ontwikkelingen met mij meeneem.

Roel van der Hooft

Heeft u vragen na het lezen van de scriptie of ziet u aanvullingen voor de toekomst? Met plezier ga ik met u in gesprek. Via onderstaand e-mailadres of telefoonnummer kunt u contact met mij opnemen.
roel_vd_hooft@hotmail.com
+31(0)6 12776781
Als tip verwijs ik graag naar mijn portfolio op de website: www.roelvdhooft.com