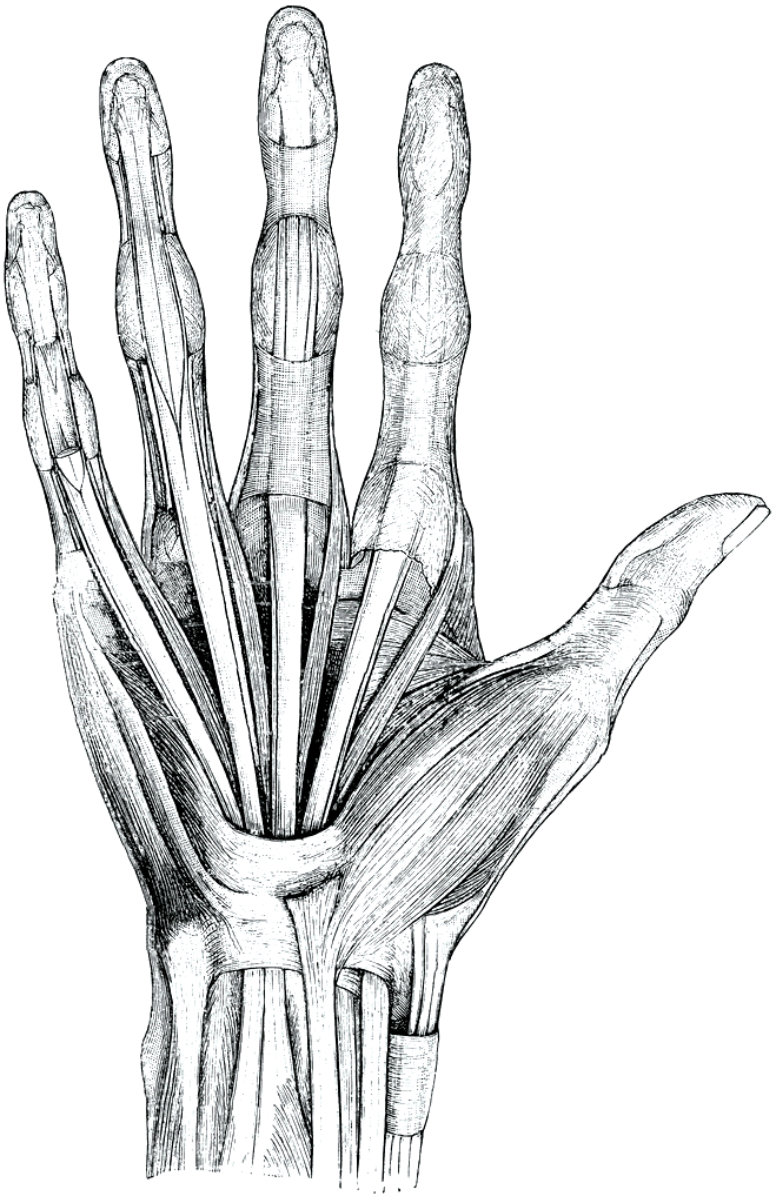


Universiteit Twente

Aanpassingen aan 3D-geprinte orthesen



Universiteit Twente

Aanpassingen aan 3D-geprinte orthesen

Faculteit Construerende Technische Wetenschappen
Vakgroep Biomedische Werktuigbouwkunde

Bacheloronderzoek industrieel ontwerpen
Dijkstra, T.J.
9 augustus 2016

Commissie
ir. E.E.G. Hekman (UTwente)
ir. A.P. van den Beukel (UTwente)
dhr. H. van Dasler (Eyemerge)



Eindversie, augustus 2016
Conceptversie, juli 2016

Overige publicaties:

- Dijkstra, T.J. (2016). *Reflecting on orthoses*. [essay] Enschede, The Netherlands: University of Twente.

© 2016 T.J. Dijkstra

Gedrukt bij Contrast
Walstraat 22
7462 BB Rijssen

Wat de toekomst brengen moge,
Mij geleidt des HEEREN Hand.

VOORWOORD

Al in het begin van mijn studie heb ik getwijfeld over een omschakeling naar een studie met een meer medische invalshoek. Hoewel consumentenproducten zeker aan iets goeds kunnen bijdragen, ben ik meer geïnteresseerd in medische toepassingen. In mijn minor heb ik de HTHT-module Biorobotics gevolgd en ik werk bij een *scale-up* in Arnhem waar we een robot ontwikkelen voor het nemen van bipten bij mannen bij wie prostaatkanker is geconstateerd. Deze ervaringen hebben eraan bijgedragen dat ik ook mijn bacheloropdracht graag in de medische richting wil uitvoeren.

Tijdens mijn master in Delft wil ik – naast de track IPD – de specialisatie Medisign volgen.

§0.1 DANKBETUIGING

Dit onderzoek had niet tot stand of afronding kunnen komen zonder de hulp van verschillende mensen.

Allereerst wil ik mijn dank betuigen aan Henk van Dasler, opdrachtgever van dit onderzoek en eigenaar van Eyemerge. Vanaf het eerste begin was het contact met hem als opdrachtgever voor deze opdracht erg goed. Met zijn hulp kon ik een vliegende start maken en precies aansluiten op voorgaand onderzoek en eerdere ontwikkelingen. Ook tot aan het afronden van het conceptverslag was hij een grote ondersteunende kracht en nadat we enige onduidelijkheid over de precieze vorm van het eindresultaat hadden opgelost, heeft hij me de richting gewezen naar het huidige eindresultaat.

Voorts wil ik mijn dank betuigen aan Edsko Hekman, die –ondanks zijn volle agenda– tijd wist te maken om mij te begeleiden en daarbij precies de gangen binnen de universiteit kende om mij door te verwijzen naar de juiste personen. Met name in de loop van het project, toen sommige paden dood

bleken te lopen, was dit een goede uitkomst, zowel in praktisch als in inhoudelijk opzicht.

Daarnaast hielp Brenda Groenendijk mij waar nodig met haar terugkoppeling als therapeut, met name in de laatste fasen van het onderzoek. Door haar kennis van patiënten konden eenvoudige problemen met de orthese en de sluitingen op tijd worden opgelost.

Tot slot –maar zeker niet in de laatste plaats– wil ik ook de vele anderen bedanken die mij, hetzij inhoudelijk, hetzij praktisch, hebben geholpen bij de ontwikkeling van de orthesen, het testen van de modellen en de verslaglegging.

ABSTRACT

ENGLISH

Dutch version below.

Often-times (para)medical specialists rely on braces when a patient is recovering after trauma or during treatment of osteoarthritis in the upper extremities. While these braces offer the desired support or fixation, there are many ergonomic reasons to change their design.

In this research, the by additive manufacturing produced CMC/MCP splint by Eyemerge is further developed. First, an overview is made of possible methods for closing and hinging the orthosis. These techniques are tested on healthy individuals using physical models. The results leads to an opening along digitus v and a snap fit on that location. A hinge proves to be redundant.

At the end of the research, possibilities for opening up the orthosis between digitus I and II are investigated, in case a the geometry of a patients hand would require so.

Key words: splinting, additive manufacturing, 3D printing, MCP/CMC brace, orthosis design, orthosis opening

NEDERLANDS

Bij herstel na letsel of bij behandeling van osteoartrose in de bovenste extremiteiten valt men in de behandeling vaak terug op *braces*. Functioneel bieden deze de gewenste ondersteuning of fixatie, maar vanuit ergonomisch oogpunt zou hieraan veel voor de patiënt kunnen verbeteren.

In dit onderzoek wordt de met *additive manufacturing* geproduceerde CMC/MCP-spalk van Eyemerge verder ontwikkeld. Er wordt een inventarisatie gemaakt van mogelijke sluitingen en scharnieren en daarvoor worden proefmodellen

ontwikkeld. Die modellen worden getoetst middels gebruiks-
onderzoek met gezonde personen. De resultaten daarvan lei-
den tot een opening langs digitus v en een klikverbinding als
sluiting op die plaats. Een scharnier blijkt niet nadrukkelijk
vereist.

Aan het slot van dit verslag worden nog mogelijkheden
onderzocht om de orthese ook tussen digitus I en II te openen,
indien de geometrie van de hand dit vereist.

*Trefwoorden: spalk, additive manufacturing, 3D-printen, MCP/
CMC brace, ortheseontwerp, sluiting orthese*

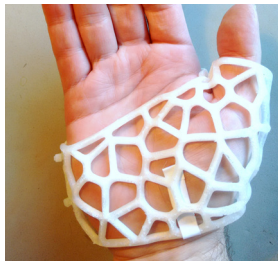
INHOUDSOPGAVE

7	Voorwoord
9	Abstract
13	Introductie
21	Opzet en methode
35	Sluitingen
35	§3.1 Inspiratie
47	§3.2 Klikverbinding
52	§3.3 In elkaar hakende verbinding
56	§3.4 Verbindingen op basis van frictie
62	§3.5 Klittenbandverbindingen
65	§3.6 Diverse gespen
68	§3.7 Sluiting met een ander bindend onderdeel
71	§3.8 Samenvatting sluitingen
81	Scharnieren
81	§4.1 Opties
82	§4.2 Combinatie van materialen
84	§4.3 Verschillende dichtheden in het voronoi-diagram
86	§4.4 In elkaar hakend scharnier
89	§4.5 Volledig scharnier
90	§4.6 Geen scharnier
91	§4.7 Samenvatting scharnieren
97	Naar een eindmodel
113	Aanbevelingen
117	Appendices
155	Glossarium
165	Bibliografie
169	Lijst van tabellen
171	Lijst van figuren

INTRODUCTIE

§1.1 EYEMERGE

Eyemerge uit Den Dolder richt zich op projecten waarbij techniek zo moet worden ingericht dat bedrijf en medewerkers er beter van worden; dat de techniek het bedrijf beter maakt. Het richt zich met name op *additive manufacturing* (AM). Eén van de toepassingen daarvan is een nieuwe handorthese (Figuur 1.1.1).



Figuur 1.1.1. Een orthese van Eyemerge om het CMC/MCP-gewricht te fixeren

§1.2 BLESSUREHERSTEL EN ARTROSE

De traditionele methode van een handtherapeut om een geblesseerde hand tot rust te laten komen, is door middel van fixatie. Met bijvoorbeeld een spalk van kunststof of textiel worden bepaalde gewrichten vastgezet (Figuur 1.2.1).



Figuur 1.2.1. Een traditionele handorthese of brace

Het gebruik van de traditionele orthese kent enkele nadelen.

- Vormresultaat is matig voorspelbaar en slecht reproduceerbaar na het openen van de sluiting.
- De orthese is op den duur onhygiënisch door zweet en vuil en is ook niet goed schoon te maken.
- De orthese wordt afgedaan bij het douchen, waarna de patiënt hem zelf aanlegt. Daarbij is het mogelijk dat de fixatie minder goed is. Men is geneigd de orthese te strak aan te trekken.
- De orthese is visueel onvoldoende aantrekkelijk.

§1.3 DOELSTELLING

DOEL

Het doel van dit onderzoek is om de orthese van Eyemerge aan te passen zodat deze gemakkelijk door een patiënt om en af te doen is.

Concreet houdt dit in dat de orthese een opening en mogelijk een scharnier zal krijgen. Daarvoor worden die aanpassingen met gebruikers en (para)medici getest en doorgesproken.

OPDRACHT

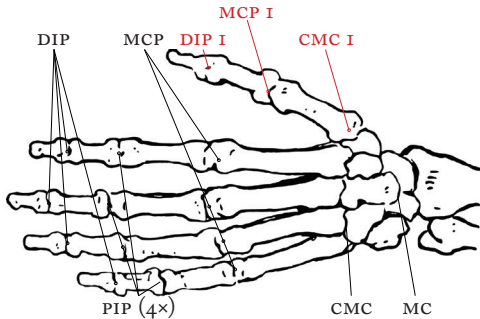
De opdracht bestaat uit een inventarisatie van mogelijkheden voor de technische bevestiging van de helften van de orthese, zodat een patiënt de orthese zelfstandig aan- en uit kan trekken met behoud van de functionele en mechanische eigenschappen en met een nauwkeurige herhaalbaarheid.

EINDRESULTAAT

Het eindresultaat bestaat uit de werkende prototypen, een verslag van de aanpassingsmogelijkheden en een overzicht van de gebruikservaringen van gebruikers met de verschillende prototypen. De laatste twee zijn samengevat in dit verslag.

§1.4 VRAAGSTELLING

Het onderzoek rondom het hiervoor beschreven onderwerp is voornamelijk praktisch van aard en wordt samengevat in de vraag: “Wat is het effect van aanpassingen om de orthese van Eyemerge aan- en uit te trekken op gebruiksgemak en produceerbaarheid?”



Figuur 1.4.1. De zeventien gewrichten in de hand: distaal interphalangeaal (DIP), proximaal interphalangeaal (PIP), metacarpophalangeaal (MCP), carpometacarpaal (CMC), midcarpaal (MC) en de duimbasis. Zie Hoofdstuk 8 voor meer terminologie.

§1.5 UITGANGSSITUATIE

Voor aanvang van dit onderzoek is er al onderzoek gedaan naar deze en andere orthesen. Van daar uit wordt verder gewerkt aan het model, dat zich met name richt op patiënten met klachten van chronische aard.

Het model is een 3D-geprinte orthese die wordt gemaakt op basis van een natuurgetrouwe 3D-scan van de hand van de patiënt. Het model wordt in de software Rhinoceros ingeladen en middels diverse plug-ins wordt de orthese (Figuur 1.1.1 op pag. 13) gemodelleerd. Daarna kunnen hieraan op de computer nog enkele kleine aanpassingen aan worden doorgevoerd.

De huidige brace fixeert de gewrichten MCP I en CMC I (Figuur 1.4.1). Daarbij wordt in het eerste flexie en extensie beperkt en in het tweede ab- en adductie en op- en repositie. In de praktijk komt dit erop neer dat van de duim alleen DIP I nog vrij kan bewegen; behalve bovenste kootje van de duim is deze vinger volledig gefixeerd.

Brenda Groenendijk, als therapeut nauw betrokken bij de ontwikkeling van de eerste prototypen, zegt hierover: “De uiteindelijke keuze is sterk afhankelijk van de aard van de klacht. Bij bijvoorbeeld een skiduim (en ook bij jachtopzienerduim, letsel aan MCP I, TJD) worden beide gewrichten gefixeerd, terwijl bij CMC-I-artrose fixatie van dit betreffende gewricht voldoende is.”

Voor dit onderzoek wordt een orthese verder ontwikkeld die beide gewrichten fixeert.

§1.6 LEESWIJZER

Om het volledige proces van de ontwikkeling tot aan het eindmodel (Hoofdstuk 5) te volgen, kan het verslag van voor naar achter worden gelezen. Is de lezer slechts geïnteresseerd in een specifiek onderdeel van het verslag, dan kan de visuele structuur van het verslag (Tabel 1.6.1 op pag. 19) houvast bieden.

De eerste indeling die in de opzet het onderzoek is aangebracht, is een verdeling in de drie stappen, te weten:

1. Conceptvorming
2. Gebruiksonderzoek
3. Eindresultaat

Daarbinnen worden achtereenvolgens voor de sluitingen en daarna voor de scharnieren de volgende onderdelen behandeld. In dit verslag is dat als volgt gestructureerd:

1. Mogelijkheden voor sluitingen, dan wel voor scharnieren

2. Theoretische beoordeling per optie
 3. Uitwerking in een bruikbaar en testbaar model
 4. Praktische beoordeling in een gebruikstest
 5. Conclusies naar aanleiding van voorgaand onderzoek
- Ten slotte wordt daaruit een eindmodel gevormd.

Deze onderdelen zijn vervolgens per onderdeel in het verslag onderverdeeld.

1. Sluitingen (Hoofdstuk 3) – allereerst wordt een overzicht gegeven van diverse methoden, die worden ingedeeld naar type en per type wordt eerst de theorie besproken en daarna de ervaringen van gebruikers ermee.
2. Scharnieren (Hoofdstuk 4) – de opties voor scharnieren worden eerst theoretisch besproken, waarna een evaluatie aan de hand van gebruiksonderzoek plaatsvindt.
3. Eindmodel (Hoofdstuk 5) – diverse kleinere aanpassingen worden besproken en de gevonden oplossingen uit dit en voorgaande hoofdstukken worden samengevoegd in één model.

CONCEPTVORMING

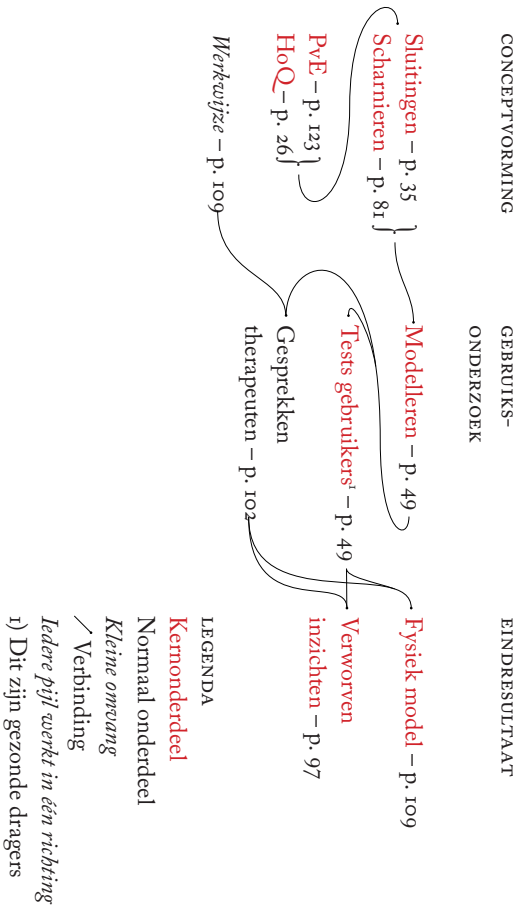
Het eindmodel steunt op twee peilers die uit elkaar voortkomen. De eerste peiler is conceptvorming. Er wordt een inventarisatie gemaakt van de mogelijkheden voor het sluiten en laten scharnieren van de orthese. Hierin spelen het House of Quality (HoQ) en het bijbehorende Programma van Eisen (PvE) een grote rol (§2.4 op pag. 23). Het HoQ geeft inzicht in de eisen en wensen die aan het ontwerp worden gesteld en weegt die onderling tegen elkaar af. Het PvE is het overzicht van de eisen en wensen die in het HoQ wordt geëvalueerd. Hoewel de ontwerprichting voor dit project redelijk vast ligt, verzekeren deze twee samen de focus op de eindgebruiker. Zo blijft het project in balans en kunnen minder geschikte opties snel worden herkend.

GEBRUIKSONDERZOEK

De tweede peiler waar het eindresultaat op is gefundeerd, is het gebruiksonderzoek. De ideeën en modellen uit de conceptvorming worden hier in de praktijk gebracht en getest. Dit testen zal volledig plaatsvinden met gezonde gebruikers.

EINDRESULTAAT

Het eindresultaat van het onderzoek bestaat uit een aantal delen, waarbij een gebruiksvriendelijke en goed produceerbare orthese centraal staat. Dit model wordt ondersteund door een aanzet voor de werkwijze voor therapeuten, al is dit onderdeel van beperkte omvang in het eindresultaat. Alle verworven inzichten worden verwerkt in het eindmodel en in dit verslag.



Tabel 1.6.1

De structuur van het onderzoek uitgebeeld.

2

OPZET EN METHODE

Om het beginpunt van dit onderzoek te duiden, wordt allereerst gekeken naar de huidige stand van onderzoek en ontwikkeling op het gebied van 3D-geprinte orthesen. Vervolgens worden de functies voor het nieuwe model bepaald en worden daarbij eisen uitgewerkt en samengevat. Enkele bevindingen van een basaal gebruiksonderzoek worden benoemd en van daaruit wordt de lijn voor de rest van het onderzoek uitgezet.

§2.1 STAND VAN ONDERZOEK

Er is al veel onderzoek gedaan naar mogelijke verbeteringen aan orthesen. Zo schrijven onder meer Hieu (2005), Michalski (2014) en Ventola (2014) over medische toepassingen van *additive manufacturing* (AM). Enkele diepgaande voorbeelden van onderzoek naar geprinte orthesen zijn Paterson (2014, 2015), Dombroski (2014) en Kim (2005).

§2.2 STAND VAN ONTWIKKELING

De door Eyemerge ontworpen orthese is in samenwerking met BSc- en MSc-studenten aan de TUDelft ontwikkeld. Het bijbehorende softwaremodel kan van een handmatige uitsnede van een scan van de hand in de software Rhinoceros een passende orthese genereren. Daarna kan in de in Grashopper geprogrammeerde software de *inputmesh* vanuit Rhino worden ingevoerd. Het eindresultaat is het 3D-model van de orthese die als stereolithografiebestand (STL) kan worden geëxporteerd. Dit is een stijve orthese die de gewrichten CMC 1

en MCP I volledig fixeert en de hand rondom omklemmt (Figuur 1.1.1 op pag. 13).

§2.3 FUNCTIE-ANALYSE

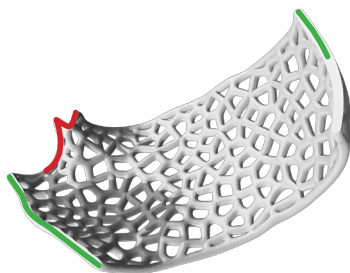
De orthese heeft op dit moment een aantal functies: het CMC-I- en het MCP-I-gewricht worden gefixeerd en de krachten op het model worden hooguit gelijkmatig over het ontwerp verdeeld. Daarnaast dient het model een nieuwe functie te krijgen: het moet geopend en gesloten kunnen worden.

FIXATIE

Doordat de orthese een stijf model vormt rondom de duim en de duimmuis, worden de twee onderste duimgewrichten (CMC I en MCP I) gefixeerd ten opzichte van elkaar. Doordat de omklemming doorloopt over de palmaire zijde van de hand en via de dorsale zijde weer terugkomt, worden beweging van de gewrichten ook ten opzichte van de rest van de hand gefixeerd. Het resultaat daarvan is dat, zoals bedoeld, de twee gewrichten nagenoeg stil staan ten opzichte van de hand.

KRACHTVERDELING

Door het tegengaan van bewegingen in de gewrichten CMC I en MCP I komt er een kracht te staan op de orthese. Bij oppositie van duim en wijsvinger is deze gericht op het gedeelte tussen deze vingers; bij extensie van de duim op de uiteinden van de orthese (Figuur 2.3.1).



Figuur 2.3.1. Dorsale zijde van een doorsnede van de orthese. Bij oppositie komt er voornamelijk kracht te staan op de rood gekleurde gedeelten van de orthese, bij extensie van de duim op de groen gekleurde delen.

OPENEN & SLUITEN

Een momenteel ontbrekende functie is het openen en sluiten van de orthese. Daardoor kunnen de meeste patiënten de orthese niet daadwerkelijk aantrekken en is het geen functioneel product. Na het printen is de vorm namelijk zo nauw passend, dat de patiënt haar niet meer om zijn hand krijgt. Het doel van dit onderzoek is ervoor te zorgen dat de orthese aan te trekken is door een patiënt. Dat betekent dat deze actie met één hand moet kunnen worden uitgevoerd. Een traditionele orthese kan door de gebruiker worden aangetrokken, maar het is niet eenvoudig mogelijk deze precies op dezelfde manier aan te trekken als wanneer de therapeut hem aanlegt (§1.2 op pag. 13). Voor deze en alle andere specifieke eisen en wensen aan dit model, zie Appendix B.

§2.4 PROGRAMMA VAN EISEN

Aan de hand van het voorgaande onderzoek, contact met therapeuten en technici en praktijkonderzoek, is een PvE voor dit project opgesteld. Deze eisen zijn samengevat in het overzicht hieronder. De samengevatte punten kunnen meer-

dere eisen omvatten. Voor de uitwerking van alle eisen die aan deze samenvatting ten grondslag liggen en een toelichting per onderdeel, zie Appendix B.

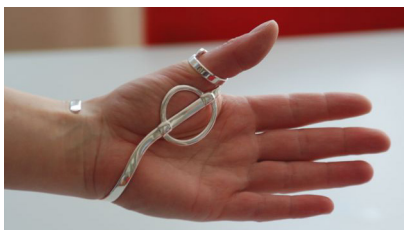
1. De sluiting van de orthese belemmert de fixatie niet en fixeert niet meer dan enkel de juiste gewrichten en het goed en veilig functioneren van de sluitingen is duidelijk voor de gebruiker.
2. De orthese kan (eventueel met enkele aanpassingen) lang genoeg worden gedragen en gebruikt.
3. Patiënten kunnen de orthese eenvoudig zelf openen en goed hersluiten.
4. De patiënt maakt voor de behandeling geen directe kosten.
5. De sluiting is niet visueel storend.
6. De therapeut wordt niet in zijn handelen beperkt door de nieuwe oplossing.
7. De nieuwe methode levert geen extra kosten op.
8. De maximale verkoopprijs van de orthese is € 350,-.
9. De orthese beperkt anderen of andere behandelingen niet.
10. De productie berust –indien redelijkerwijs mogelijk– op 3D-printen en is verder zo eenvoudig mogelijk om de kosten laag te houden.

Deze eisen worden samengevat in het House of Quality (Tabel 2.4.1 op pag. 26). Deze analyse brengt de positie van de orthese van Eyemerge in kaart. Daarbij wordt gekeken naar de uitdaging die deze opdracht biedt en hoe de concurrentie op deze onderdelen scoort. Aan de hand van deze figuur kan een aantal conclusies worden getrokken:

- Centraal in het ontwerp staat de afweging tussen eenvoudig gebruik en een kleine sluiting.
- Een spanningsveld ontstaat bij de ontwikkeling van de orthese tussen de kracht die de gebruiker nodig heeft om de orthese te openen en de omvang van de sluiting. Afzon-

derlijk hebben deze twee sterk met elkaar in tegenspraak zijnde eisen een lage organisationele moeilijkheid.

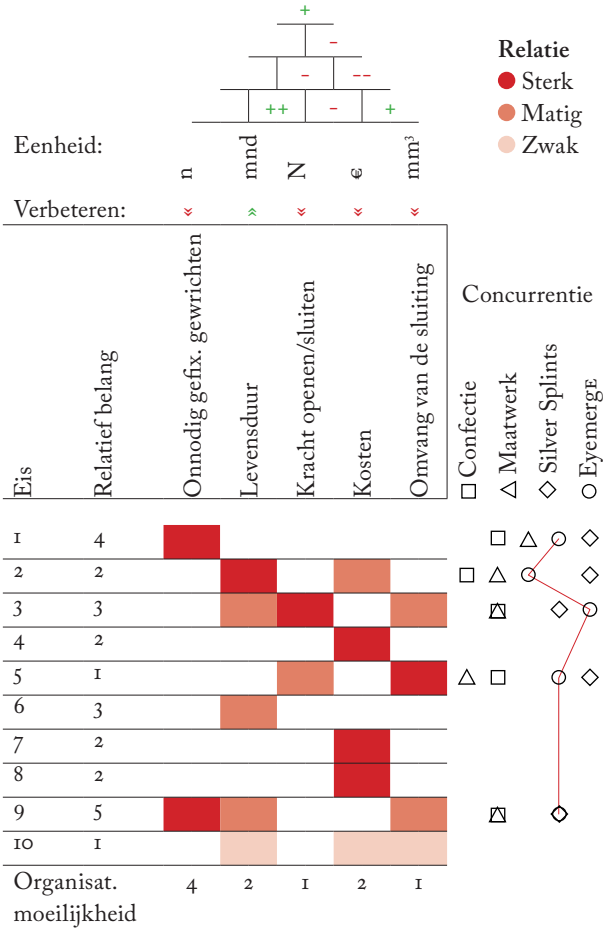
- De verhoging van de levensduur en de minimalisatie van de benodigde kracht om de orthese te openen of te sluiten, werken in elkaars voordeel.
- De kosten zijn vaak een beperkende factor, maar dat onderdeel speelt overwegend op bij eisen met een laag relatief belang.
- De orthese van Eyemerge doet op geen enkele eis onder voor confectiespalken of handgemaakte maatwerkorthesen. Hoewel Silver Splints (een concurrent, Figuur 2.4.1) niet altijd toepasbaar zijn, scoren die op bepaalde onderdelen even hoog of hoger, zo ook op eis 1 (geen onnodige fixatie). Wel gaat het aan- en afdoen van de uiteindelijke orthese van Eyemerge gemakkelijker.



Figuur 2.4.1. Een orthese van Silver Splints.

Tabel 2.4.1

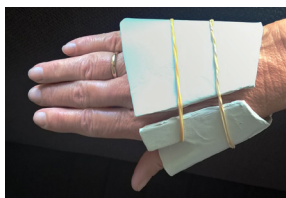
De eisen voor de sluiting van de orthese, een onderlinge vergelijking en prioritering, zie ook Appendix C.



§2.5 ORTHESE EN PROTOTYPES

De uiteindelijke orthese wordt uitgevoerd als een 3D-geprint voorwerp. Met deze prototypen zullen diverse sluitingen en scharnieren worden getest. Zie Appendix D voor een volledig overzicht van alle prototypen.

Om de diverse sluitingen en scharnieren zo realistisch mogelijk te testen, is een aantal prototypen uit diverse materialen gemaakt. Daarmee wordt de orthese gesimuleerd.



Figuur 2.5.1. Het aanmeten van een prototype uit thermoplast.

MATERIAAL

Om de prototypes eenvoudig, snel en relatief goedkoop te realiseren, zijn de meeste tests niet uitgevoerd met de daadwerkelijke (geprinte) orthese. In plaats daarvan is een aantal proefmodellen uit diverse materialen (hout, metaal en voornamelijk thermoplast) vervaardigd (Figuur 2.5.1, Figuur 2.5.2).

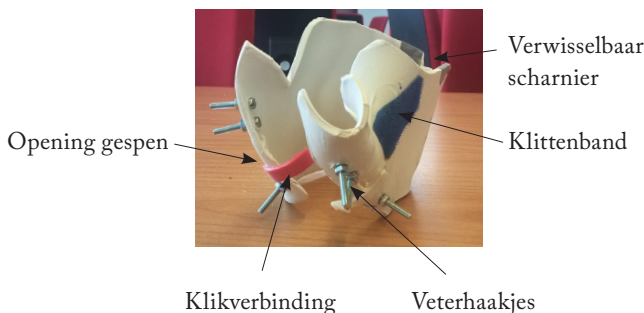
NAAMGEVING

De naamgeving van prototypes geeft met een letter(combinatie) aan welk gewricht of welke gewrichten primair worden gefixeerd. Het nummer erna is het volgnummer per prototype. Dit nummer is dus onafhankelijk van het type prototype, zie Tabel 2.5.1.

Tabel 2.5.1

De coderingsmogelijkheden om de verschillende fixaties van de orthesen aan te geven.

M	Fixeert primair enkel het MCP-gewricht
CM	Fixeert primair het MCP- en CMC-gewricht



Figuur 2.5.2. Diverse methoden voor het sluiten en scharnieren komen samen in één prototype (CM8).

§2.6 BEVINDINGEN

VROEGE BEVINDINGEN

Door het herhaaldelijk (laten) dragen van diverse prototypes, konden al snel verschillende knelpunten worden ondervangen en problemen worden verholpen.

Bij prototype CM1 (Figuur 2.6.1) was orthese niet te openen. Daardoor was deze lastig aan te trekken zonder langs de orthese te schuren. Een ander probleem van de orthese is de beperkte beweegbaarheid van CMC 1 tot en met 4 door de inklemming rondom de volledige hand. Dit wordt uiteindelijk niet opgelost in dit onderzoek.

Door een gladder oppervlak bij orthese CM2 was het in sommige gevallen eenvoudiger de orthese in zijn geheel over

de vingers te laten glijden. Verder bood het geen voordelen ten opzichte van CM1.



Figuur 2.6.1. De eerste prototypen: op de voorgrond CM1, daarachter CM2.



Figuur 2.6.2. Het prototype (M3) is een ingekorte variant van CM1 en blijft hier haken achter een deurklink.

Bij prototype M3 kan een uitstekende hoek snel blijven haken (Figuur 2.6.2). Daaruit zijn de volgende eisen gedefinieerd: “De orthese moet geen uitstekende delen hebben die geen functionaliteit hebben,” en “De hoeken van de orthese moeten waar mogelijk vloeiend overgaan in de rest van de vorm van de orthese.”

Die laatste vermindert ook de kans op pijnlijke bijwerkingen door delen die in de hand of vingers drukken (Figuur 2.6.3).



Figuur 2.6.3. Afdruk die een niet-nauwkeurig aansluitende orthese achterlaat op de huid.

Verder kreeg prototype M₃ door de materiaalkeuze en het ruwe oppervlak vrij snel een besmeurde uitstraling: het wit kreeg een gele of bruine gloed, met name op contactoppervlakken aan de binnen- en buitenzijde van de orthese. Dit werd echter al ondervangen door de eis: “De sluiting van de orthese wordt niet vies of is eenvoudig schoon te maken.”

In het kader van dit onderzoek is met de hierop volgende prototypen meer nadruk gelegd op de sluiting van de orthese. Dit voorgaande onderzoek is genomen bij de Ausgangssituatie voor dit project.

§2.7 GEBRUIKSONDERZOEK

Vanuit de eerste bevindingen (§2.6) zijn verschillende prototypen ontwikkeld voor gebruiksonderzoek. Deze modellen zijn door vier verschillende personen gedurende langere tijd gedragen en getest. Voor een volledig overzicht van de orthesen, zie Appendix D.

Het uitvoeren van gebruiksonderzoek met daadwerkelijke patiënten omhelst een langdurig proces (bijvoorbeeld Rondinelli, 1997). Binnen de looptijd van dit onderzoek is daarvoor geen ruimte. Ook zouden de effecten op lange termijn niet getest kunnen worden, omdat dit onderzoek al is afgerond voordat dergelijke tests voldoende tijd hebben kunnen lopen (Harrell, 1982).

Ook wanneer het onderzoek zich beperkt tot de interactie met het sluitmechanisme, staan er ook praktische bezwaren in de weg om met daadwerkelijke patiënten te testen. Zo heeft maar een beperkt deel van de patiënten van een kliniek een probleem in het MCP-gewricht dat met deze orthese te verhelpen is, moeten ze extra tijd in de behandelkamer doorbrengen en komen alsnog geen gegevens naar boven over de implicaties van de orthese op lange termijn.

Een alternatief is het testen op gezonde gebruikers. Naast de betere haalbaarheid daarvan binnen dit project, biedt dit ook enkele voordelen boven gebruiksonderzoek met patiënten: de populatie is beter te bereiken, het gevaar op bevooroordeling is kleiner en de daadwerkelijke functionaliteit van het prototype komt aan het licht.

Onder gezonde gebruikers worden zij verstaan, die voor zover bekend aan de handen geen relevante abnormaliteiten of klachten hebben.

BESCHIKBAARHEID

In de eerste plaats is uiteraard de populatie van beschikbare en geschikte patiënten veel kleiner dan die van gezonde gebruikers. Dit maakt het in praktisch opzicht veel eenvoudiger en daarom aantrekkelijker te kiezen voor gezonde gebruikers.

UNBIASED

Een tweede voordeel dat gezonde gebruikers bieden ten opzichte van patiënten, is een kleinere afhankelijkheid van de onderzoeker. Omdat de gebruikers geen daadwerkelijke fysieke problemen ondervinden, zullen zij zich niet inbeelden dat deze problemen worden verholpen (het placebo-effect wordt verminderd: Beecher, 1955).

FUNCTIONALITEIT BETER INZICHTELIJK

Het derde voordeel dat gezonde gebruikers bieden ten opzichte van patiënten, is de vrijheid in de bewegingen van de hand en de afwezigheid klachten. Zij zijn zich daardoor beter bewust van de beperkingen die de orthese en de sluiting(en) ervan hen oplegt en de mogelijke pijn die hij veroorzaakt dan patiënten, omdat die laatste groep zich er niet van bewust hoeft te zijn dat de beperkingen of klachten door de orthese worden veroorzaakt.

BEPERKINGEN AAN DE TESTGROEP

De tests die met de gebruikers zijn uitgevoerd, zijn niet per se representatief voor de populatie van patiënten. Vanwege voorgenoemde voordelen en persoonlijke bekendheid van de auteur met de proefpersonen, was een professionele afstand tot de onderzoeker niet altijd te realiseren.

§2.8 RESULTATEN

Vanuit het kwantitatieve gebruiksonderzoek wordt onderzocht hoe geschikt de verschillende sluit- en scharniermethoden in de praktijk te gebruiken zijn. Daarbij worden diverse prototypen ontwikkeld (Figuur 2.8.1) waarop de onderdelen getest konden worden.

Aan de hand van twee vragenlijsten (Appendix E) worden verschillende aspecten uit het PvE (§2.4, Appendix B) doorlopen. Daarbij ligt de aandacht niet zozeer op de resultaten van de vragenlijst, maar op het gesprek dat naar aanleiding daarvan met gebruikers ontstaat. De gebruikers dragen de modellen onder verschillende situaties en voor een verschillende duur. Vanwege de *low fidelity* prototypen zijn ervaringen met de orthese uiteraard niet altijd relevant, maar door de verschillende sluitingen op hetzelfde prototype te testen, blijft de context gelijk en worden de resultaten per sluiting of scharnier verkregen.



Figuur 2.8.1. Enkele prototypen met diverse sluitingen voor verschillende gebruikers.

In de hoofdstukken hierna worden de ervaringen per sluiting of scharnier besproken. Deze resultaten worden samengevat in Hoofdstuk 5.

3

SLUITINGEN

Wanneer de orthese wordt geopend, is een sluiting een essentiële toevoeging aan het ontwerp, zodat de opening ongedaan kan worden gemaakt tijdens het dragen van de orthese. In dit hoofdstuk wordt een zestal sluitingen besproken, eerst theoretisch en dan de gebruikservaringen ervan (§3.2 t/m §3.7). Maar eerst wordt uitgezet hoe tot deze zes varianten is gekomen.

§3.1 INSPIRATIE

De drager van de orthese moet de mogelijkheid hebben de orthese af te doen, bijvoorbeeld voor het slapen, douchen of zwemmen. Een nadeel van bestaande orthesen is dat de patiënt deze niet precies op dezelfde manier kan sluiten als de therapeut, waardoor de fixerende werking kan verslechteren. Op een drietal manieren is gekeken naar verschillende opties voor een hersluitbare afsluiting van de orthese:

1. Patenten – in verschillende databases (European Patent Office (EPO), US Patent and Trademark Office (USPTO), Google Patents) is gezocht naar patenten die een reële optie bieden voor het sluiten van de orthese.
2. Internetonderzoek – online is gezocht naar sluitingen voor orthesen, bakjes en andere containers.
3. Huis-, tuin- en keukengebruik – in het dagelijks leven wordt gebruik gemaakt van een groot aantal mogelijkheden voor sluitingen. Een gedeelte daarvan is na opening hersluitbaar. Van een aantal van deze opties is een inventarisatie gemaakt.

Dit onderzoek is uiteraard niet uitputtend. Wel worden vele bekende en minder bekende sluitingen op deze manier in kaart gebracht.

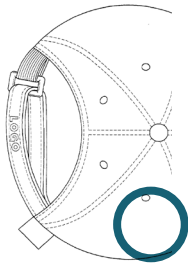
Bij ieder voorbeeld staat een categorie aangegeven. In Tabel 3.1.1 is terug te vinden wat de betekenis van deze categoriën is. In §3.2 t/m §3.7 worden deze categorieën verder uitgewerkt.

Tabel 3.1.1
Categorieën en bijbehorende labels.

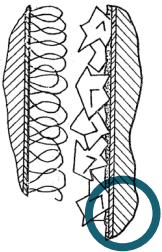
Categorie	Afkorting	Label
Klikverbindingen	KV	●
In elkaar hakende verbindingen	IH	●
Verbindingen op basis van frictie	FR	●
Klittenbandverbindingen	KV	●
Diverse gespen	GS	●
Verbindingen op basis van een ander bindend onderdeel	AB	●
Onderdrukverbindingen	DR	●

PATENTEN

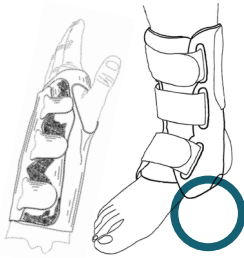
Methoden die bij voorbaat al onpraktisch bleken voor toepassing in de orthese zijn uit deze inventarisatie weggelaten. Ook zijn de patenten soms gebaseerd op oudere patenten. Hier zijn enkel relevante opties getoond.



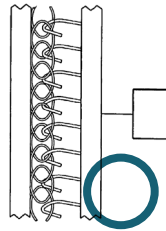
Figuur 3.1.1. Verbinding op basis van klittenband; momenteel de meest gebruikte sluiting voor orthesen (US20040045075; KB).



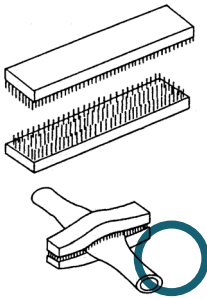
Figuur 3.1.2. Het principe van klittenband (US3550837; KB).



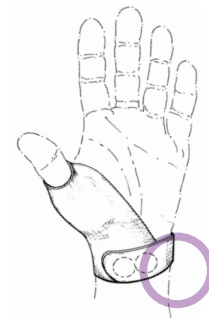
Figuur 3.1.3. Toepassing van een band in verschillende orthesen waarin twee onderdelen klittenband zijn verwerkt (USD496465 / CN102949255A; KB).



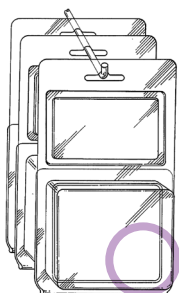
Figuur 3.1.4. Elektrische variant van klittenband waarbij de verbinding elektrisch te beëindigen is (US3550837; KB).



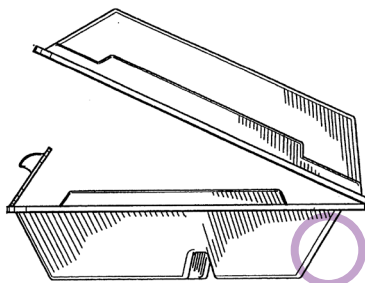
Figuur 3.1.5. Een op klittenband geïnspireerde sluiting, hier voor een buis waar vloeistoffen voor medische toepassingen kunnen stromen (US5171253; KB).



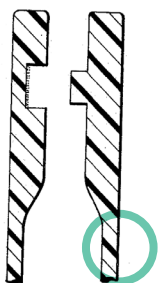
Figuur 3.1.6. Toepassing van een dubbele drukknop voor herhaalbare fixatie (EP0143348A1). De drukknop is gebaseerd op twee in elkaar hakende onderdelen (III).



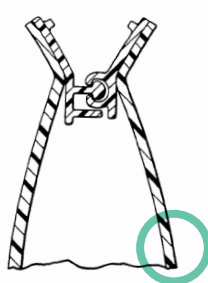
Figuur 3.1.7. Deze schapverpakkingen worden gesloten op basis van frictie tussen de voor- en achterzijde van de verpakking, soms nog versterkt door het taps in elkaar grijpen van de onderdelen (US4884718; **IH**).



Figuur 3.1.8. Sluiting voor een maaltijdbakje waarbij de onderste helft in de bovenste grijpen kan (USD353327; **IH**).

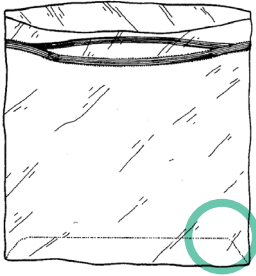


Figuur 3.1.9.

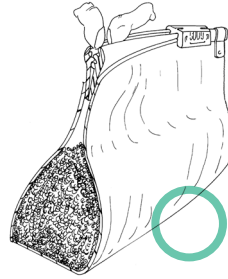


Figuur 3.1.10.

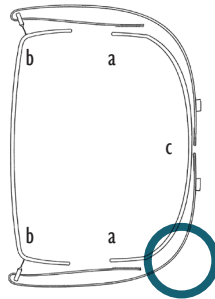
Doorsneden van twee glijsluitingen die op verschillende manieren in elkaar haken (US3339606 / US5017021). Dit type sluiting is in feite een langgerekte klikverbinding (**KV**).



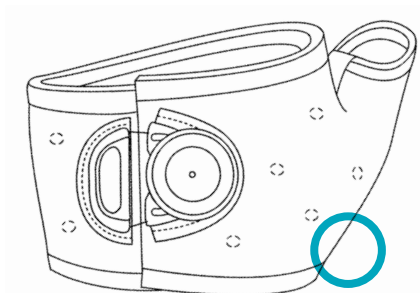
Figuur 3.1.11. Toepassing van een glijverbinding in een zakje (US4561109; KV).



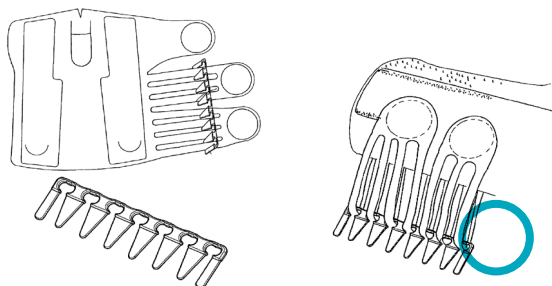
Figuur 3.1.12. Toepassing van de glijverbinding waarbij een slider is toegepast om het sluiten te vereenvoudigen (US5938337; KV).



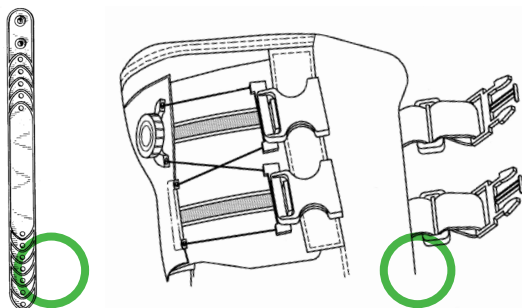
Figuur 3.1.13. Bovenaanzicht van de sluiting van een orthopedische brace waarbij de twee helften van de brace worden verbonden door een band die vanaf één zijde (a) via een lus (b) aan elkaar en aan de orthese verbonden zijn (c), alles op basis van klittenband (US20070073204; KB).



Figuur 3.1.14. Een complex ogende sluiting waarbij een stelwiel een draad of kabel aandraait die de twee helften van de orthese bij elkaar brengt. Hoewel deze sluiting op zich een traploze fixatie mogelijk maakt, zorgt het aansluiten van de orthese voor een einde aan de strakheid waarmee de orthese gesloten wordt (USD663851; [AB](#)).



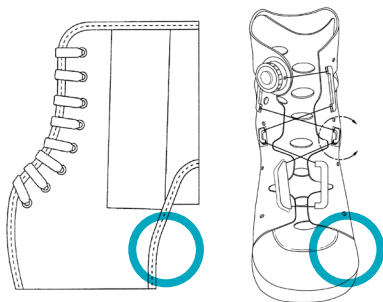
Figuur 3.1.15. Sluiting waarbij de rechter helft van het bovenste onderdeel als een ringband door het onderste gelust kan worden (US8388563; [AB](#)).



Figuur 3.1.16. Band met drukknopen en diverse openingen waar die knopen in bevestigd kunnen worden. In deze toepassing gebruikt voor een horloge (USD141753; GS).

Figuur 3.1.17. Toepassing van de gesp in een orthese. Daarnaast wordt dit model op spanning gebracht met een methode die vergelijkbaar is met die uit een hiervoor besproken patent,

Figuur 3.1.14 (US8277401; GS).



Figuur 3.1.18. Toepassing van een veter om een orthese te sluiten (US7762974; AB).

Figuur 3.1.19. Kabel die als een schoenveter door verschillende openingen gelust wordt maar op spanning wordt gebracht door één uiteinde op te winden rond een as,

Figuur 3.1.14 (US8277401; AB).

INTERNETONDERZOEK



Figuur 3.1.20. Een ingewikkeld ogende sluiting die door toepassing van een hefboom de staaldraad op spanning brengt. Deze sluiting kan in de vorm van een gesp ook in een orthese worden toegepast (GS).



Figuur 3.1.21. Nokkenklem zoals die wordt toegepast op bijvoorbeeld zeilboten. Hoewel deze toepassing hier is uitgevoerd met een touw, kan het ook zonder touw worden gebruikt, wanneer de twee helften langs elkaar schuiven (FR).



Figuur 3.1.22. Een klem die met de kracht van een inwendige veer een elastieken band vastklemt (GS).



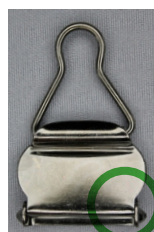
Figuur 3.1.23. Een scheerlijn zet zichzelf vast door slim gebruik te maken van de geometrie van de sluiting. Een dergelijke sluiting kan als gesp in een orthese worden toegepast (FR).



Figuur 3.1.24. Op basis van frictie (en in mindere mate een drukverschil bij het openen) wordt het deksel op dit blik vastgeklemd (FR).



Figuur 3.1.25. Deze sluiting kan met verschillende materialen en geometrieën worden toegepast (AB).



Figuur 3.1.26. De sluiting van een tuinbroek haakt met een metalen ring rondom een knoop. De andere zijde klemt zich vast in de stof (GS).



Figuur 3.1.27. Een dubbele sluiting waarbij door middel van een grote arm een sluiting wordt gerealiseerd (GS).

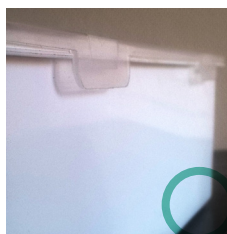
HUIS- TUIN- EN KEUKENGEBRUIK



Figuur 3.1.28. Sluiting van een blender. Het deksel valt in de schenkan van de blender en wordt met een iets roterende beweging vastgezet (KV).



Figuur 3.1.29. Geveerde klikverbindingen (KV).



Figuur 3.1.30. Complexe en eenvoudige klikverbinding als sluiting van respectievelijk een voedsel- en een productverpakking (KV).



Figuur 3.1.31. Toepassing van een magneet om de sluiting te realiseren (AB).



Figuur 3.1.32. Beugelsluiting tegen overdruk (AB).



Figuur 3.1.33. Een eenmalig dichtgeknepen kroondop op een bierflesje (H).



Figuur 3.1.34. Deksel met een schroefdraad in de deksel en de pot (FR).



Figuur 3.1.35. Door een in de rubberen rand opgebouwde onderdruk blijft de koelkastdeur gesloten (DR).

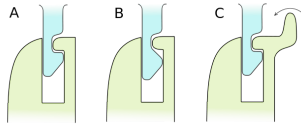


Figuur 3.1.36. Weckpot. Door een drukverschil wordt de sluiting dichtgetrokken (DR).

RESULTAAT

Er zijn diverse mechanische mogelijkheden om de orthese te sluiten. De opties hiervoor hebben een gekleurd label dat aangeeft in welke categorie het wordt ingedeeld en behandeld. In dit verslag wordt gekeken naar **klikverbindingen**, **in elkaar hakende verbindingen**, **verbindingen op basis van frictie**, **klittenbandverbindingen**, **diverse gespen** en **verbindingen op basis van een ander bindend onderdeel** (Tabel 3.1.1). De onderdelen met een geel label zijn sluitingen op basis van drukverschil, maar die vinden geen toepassing in de orthese. Zie Tabel 3.8.1 voor een samenvatting van de eigenschappen van deze verbindingen.

§3.2 KLIKVERBINDING



Figuur 3.2.1. Diverse klikverbindingen: (a) niet-ópenbaar, (b) ópenbaar, (c) ópenbaar met hulpmiddel

Een klikverbinding (Engels: *snapfit*) is gebaseerd op de elastische vervorming van het materiaal (Genc, 1998). Er bestaan diverse varianten van klikverbindingen (Figuur 3.2.1). Typen zoals Figuur 3.2.1a worden vaak toegepast voor het afsluiten van consumentenproducten. In dit geval is de sluiting niet meer te openen zonder onderdelen te beschadigen.

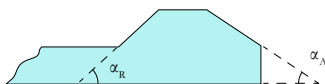
Door de schuinere hoek in de verbinding van Figuur 3.2.1b kan de verbinding met enige kracht worden geopend wanneer het aqua-kleurige onderdeel naar boven wordt bewogen (vergelijk Figuur 3.1.30). Hierbij kan het openen nog vereenvoudigd worden door de gebruiker de optie te bieden om het andere onderdeel handmatig te laten vervormen, zoals in Figuur 3.2.1c. Door het ontwerp kan de arm van de kracht voor het buigen van het onderste onderdeel worden vergroot, waardoor met relatief weinig kracht de verbinding kan worden geopend.

Voor toepassing in de orthese is Figuur 3.2.1a ongeschikt, omdat de orthese opnieuw te openen moet zijn. Van Figuur 3.2.1b en Figuur 3.2.1c lijkt de tweede de meeste potentie te hebben, omdat ook gebruikers met weinig kracht in hun handen of vingers deze relatief gemakkelijk kunnen openen.

Er moet een afweging worden gevonden in stijfheid van de verbinding en gemak om deze met één hand te openen. Is de hoek van de verbinding te recht, dan zal hij lastig te openen

zijn. Is hij te stomp of grijpt de verbinding niet diep genoeg in de opening, dan kan de orthese ongewenst openschieten.

Om de klikverbinding te realiseren, moet deze aan het 3D-model worden toegevoegd en meegeprint.



Figuur 3.2.2. De hoeken van een losneembare klikverbinding. α_R bepaalt het gemak waarmee de sluiting wordt geopend en α_A het gemak waarmee deze wordt gesloten. Een rechte hoek resulteert in een hogere benodigde kracht voor het openen.

Het gebruik van een klikverbinding brengt een aantal voor- en nadelen met zich mee, zoals samengevat in Tabel 3.2.1. Zo is een klikverbinding keer op keer goed te herhalen en wordt telkens eenzelfde verbinding gerealiseerd. Ook maakt de verbinding bij het sluiten een hoor- en voelbare ‘klik’, waardoor de gebruiker er zeker van is dat de verbinding goed vastzit. Verder kan de sluiting nagenoeg onzichtbaar worden weggewerkt en neemt ze weinig ruimte in beslag. Omdat de verbinding bij het printen al kan worden aangemaakt, is er geen nabewerking of extra onderdeel nodig. Ook is men niet afhankelijk van medewerkers voor de productie waardoor de kans op menselijke fouten wordt geminimaliseerd. Ten slotte is de verbinding redelijk bekend, waardoor de orthese een kleine leercurve heeft.

Door het optreden van kruip (Engels: *creep*) en door vermoeiing van de materialen kan de verbinding bij voortdurende belasting haar rek of spanning verliezen. Hierbij dient rekening te worden gehouden met de verwachte levensduur van de verbinding. Ook kan door verkeerde montage de verbinding onnodig belast worden waardoor deze eenvoudig zou kunnen beschadigen. Ten slotte kan zal de verbinding door het gebruik van een lip toch enigszins vergroten.

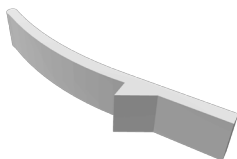
Tabel 3.2.1

Voor- en nadelen van een klikverbinding.

Voordelen	Nadelen
Goede herhaalbaarheid	Matige levensduur
Voel- en hoorbare terugkoppeling	Beschadigt relatief snel
Fijne afwerking	
Minimale omvang	
Geen nabewerking	
Geen extra componenten	
Geen assemblage	
Redelijk bekend	

GEBRUIKSONDERZOEK

Voor de klikverbindingen is een eenvoudige lip ontworpen die is uitgevoerd in PLA (Figuur 3.2.3). Na productie kan de vorm nog eenvoudig worden aangepast na verwarming met een *heat gun*. Ook kan het onderdeel aan weerszijden van de verbinding worden ingekort. De verbinding wordt verlijmd met de orthese.



Figuur 3.2.3. Model voor de klikverbinding.

Het PLA kan na verhitting eenvoudig in de gewenste vorm worden vervormd.

Het gebruik van de klikverbinding wordt over het algemeen als positief omschreven door gebruikers. Het openen (Figuur 3.2.4) en sluiten kost enige kracht, maar is snel te realiseren. Ook door de helften van de volledige orthese tegen elkaar te drukken, wordt de orthese gesloten. Doordat tegendruk op

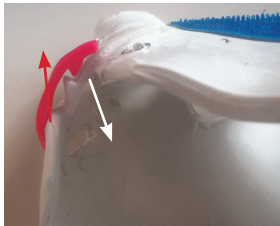
de orthese ook geleverd kan worden door de hand tegen bijvoorbeeld een tafel te drukken, is deze toepassing ook relatief gemakkelijk te sluiten voor patiënten met beperkte kracht in de handen.

Doordat de verbinding van de eerste prototypen langs elkaar kon schuiven, schoten de delen van de verbinding soms langs elkaar, zeker als er enige kracht op de orthese kwam te staan gedurende normaal gebruik. Om dat tegen te gaan, is een gedeelte van de verbinding aangepast (Figuur 3.2.5).

Het openen van de verbinding kostte na deze aanpassing wel meer moeite. Waar de helften voorheen in lengterichting van de vingers konden worden geschoven, moet de verbinding nu daadwerkelijk van elkaar af worden bewogen. Door de lip aan de verbinding groter te maken, kan dit nadeel enigszins worden opgeheven.



Figuur 3.2.4. Het openen van de klikverbinding (CM10).



Figuur 3.2.5. In haar oorspronkelijke vorm was de klikverbinding ook te openen door de delen van de orthese in lengterichting van elkaar af te schuiven.

BEOORDELING

Naar aanleiding van de voor- en nadelenanalyse ontvangt deze sluiting een hoge waarde (73%, zie Tabel 3.8.1 op pag. 72), net als voor de gebruikstest (77%, zie Tabel 3.8.2 op pag. 76). Sterke punten zijn het gemak in gebruik en de relatief kleine omvang van de sluiting in de orthese.

§3.3 IN ELKAAR HAKENDE VERBINDING

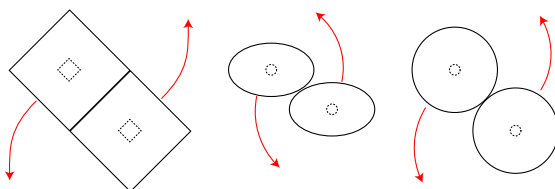


Figuur 3.3.1. Balsluiting, in dit geval als sluiting van een beurs.

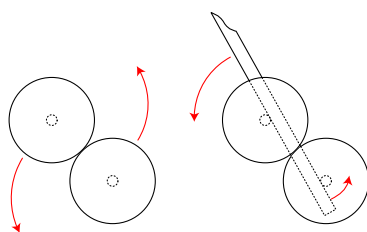
Een sluiting waarbij twee uitstekende delen op basis van elastische vervorming in het model in elkaar haken, is ook wel bekend als de ‘balsluiting’ (Figuur 3.3.1).

De theorie achter deze sluiting kan ook worden toegepast op kunststoffen en kan op die manier ook in de orthese worden verwerkt. Daarbij wordt de benodigde bewegingsvrijheid van de sluiting in sterkere mate bepaald door de geometrie dan door de materiaaleigenschappen (Luciani, 1991). De benodigde kracht voor het openen en sluiten is dus voornamelijk afhankelijk van de geometrie van de sluiting (Figuur 3.3.2). Om de sluiting zonder hulpmiddelen te openen, zullen in de meeste gevallen wel twee gedeelten uitsteken (zoals de kogeltjes in Figuur 3.3.1), waarmee de patiënt de sluiting kan bedienen.

Om het voor fysiek beperkte patiënten mogelijk te maken de sluiting te openen, kan door middel van een eenvoudig gereedschap dat in de delen van de sluiting klemt of tegen beide zijden drukt een vertraagde roterende beweging worden ingezet die de sluiting bedient (Figuur 3.3.3).



Figuur 3.3.2. Schematische weergave van de balsluiting (bovenaanzicht) met diverse geometrieën.
De kern (gestippeld) is geen vereiste.



Figuur 3.3.3. Balsluiting zonder (links) en met hulpmiddel (kern vereist) om de benodigde kracht
bij het openen te verminderen.

Het gebruik van een in elkaar hakende verbinding brengt een aantal voor- en nadelen met zich mee, zoals samengevat in Tabel 3.3.1. De balsluiting kan goed worden herhaald met de juiste fixatie op de orthese. Doordat de sluiting minder scherpe hoeken vereist dan een klikverbinding, is de levensduur langer. De meest voor de hand liggende plastische vervorming treedt op wanneer er teveel kracht op de verbinding wordt uitgeoefend. Bij het sluiten geeft dit type een voelbare terugkoppeling en beschadigt zij niet snel. Daarnaast is de sluiting klein en vereist geen hoogstaande technische implementatie en is daardoor eenvoudig met de rest van de orthese mee te printen.

Omdat onderdelen van de sluiting uit de orthese zullen steken, is de afwerking in het ontwerp nog redelijk grof. Vanwege de voorwaarden die aan de oppervlaktekwaliteit worden

gesteld, is mogelijk ook enige nabewerking vereist (de oppervlakken die langs elkaar schuiven dienen niet al te ruw te zijn). Door de kracht die bij het sluiten en in nog sterkere mate bij het openen van de verbinding haaks op de materiaalopening (en dus haaks op het scharnier) staat, heeft het materiaal ook wat meer kracht te verduren dan een statisch onderdeel. Ten slotte is de sluiting relatief onbekend, al is zij niet ingewikkeld in de bediening.

Tabel 3.3.1

Voor- en nadelen van een in elkaar hakende verbinding.

Voordelen	Nadelen
Goede herhaalbaarheid	Redelijk grove afwerking
Lange levensduur	Mogelijk beperkte nabewerking
Voelbare terugkoppeling	Redelijk onbekend
Beschadigt minimaal	
Beperkte omvang	
Geen extra componenten	
Geen assemblage	

GEBRUIKSONDERZOEK

De in elkaar hakende verbinding wordt gemaakt uit twee door verhitting vervormde onderdelen (Figuur 3.3.4). Beide helften zijn hierbij gelijk. Door één van beide rondom de x-as te roteren, kunnen beide onderdelen in elkaar haken. De onderdelen worden verlijmd met de orthese of met schroeven aan de orthese gemonteerd.

De bediening van de orthese gaat redelijk eenvoudig, al beweegt de hele orthese mee wanneer de sluiting wordt geopend. Ook laat de orthese soms ongewenst los. Een variant op de balsluiting bestaat uit twee in elkaar hakende onderdelen van kunststof. Deze variant van de verbinding maakt haar beter te gebruiken, maar de druk bij het openen blijft bestaan. De

bediening gaat vlot en zonder veel verdere problemen, al blijft de betrouwbaarheid een probleem.



Figuur 3.3.4. De onderdelen van de in elkaar hakende verbinding.

BEOORDELING

Deze sluiting ontvangt respectievelijk 68% en 78% voor de theoretische onderdelen en het gebruiksonderzoek (zie Tabel 3.8.1 op pag. 72 en Tabel 3.8.2 op pag. 76). Sterke punten zijn levensduur en de benodigde kracht bij het openen en sluiten van de orthese.

§3.4 VERBINDINGEN OP BASIS VAN FRICTIE

Een andere methode om de orthese te sluiten, berust op frictie. Hierbij schuiven twee of meer onderdelen zo stroef over elkaar dat ze niet eenvoudig loslaten. Het verschil met een passing is dat de frictie zich op een (al of niet gekromd) oppervlak vertoont, maar niet op een cilindervormig onderdeel. De verbinding is uiteraard losneembaar: met enige krachtoefening is zij ook weer te openen.

De formule voor frictie luidt:

$$F_w = \mu_w \cdot F_n$$

Met:

F_w De wrijvingskracht

μ_w De wrijvingscoëfficiënt van het materiaal (eenheidsloos)

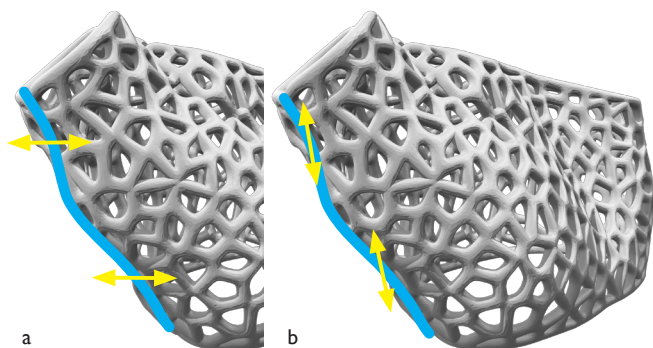
F_n De normaalkracht

Er zijn twee mogelijkheden om de sluiting te realiseren (Figuur 3.4.1). (1) Om ervoor te zorgen dat de sluiting eenvoudig te bedienen is, moet de wrijvingskracht op het moment van sluiten lager zijn dan wanneer deze eenmaal gesloten is. De frictie neemt toe bij het verder sluiten van de orthese. Op deze manier is de sluiting met een redelijke kracht te sluiten, maar opent hij niet onbedoeld. Het laatste gedeelte van de sluiting zal redelijk stroef gaan. (2) Een andere mogelijkheid is om de bewegingsrichting voor het openen zó te kiezen, dat het onwaarschijnlijk is dat er in deze richting voldoende kracht komt te staan bij het dagelijks gebruik van de orthese om haar onbedoeld te openen. Een nadeel daarvan is dat de orthese (evenals het eventuele scharnier) ook de kracht in die andere richting moet kunnen weerstaan, al kan de benodigde kracht kan lager zijn dan besproken onder de eerste mogelijkheid. Wanneer deze methode aan weerszijden van de hand wordt uitgevoerd (langs zowel de duim als de pink), is geen scharnier

nodig. De sluiting zal vermoedelijk in zo'n toepassing goed tot zijn recht komen. De orthese wordt dan geopend door de dorsale en palmaire zijde evenwijdig aan de vingers lang elkaar te schuiven (Figuur 3.4.1b).

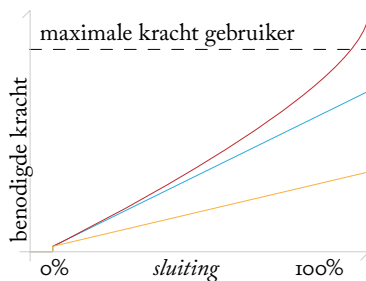
Door in de eerste toepassing een combinatie van verschillende materialen toe te passen, kan een sterk toenemende mate van frictie worden gerealiseerd. Hierbij zal wel voorkomen dienen te worden dat de sluiting te zwaar gaat voor fysiek beperkte gebruikers. Dit kan door het gecombineerd printen van deze materialen of door assemblage.

De tweede optie werkt op een vergelijkbare manier, al hoeft daar de F_w lager te zijn, omdat F_n bij onbedoelde kracht-uitoefening lager zal zijn.



Figuur 3.4.1. De twee mogelijke bedieningsrichtingen voor de sluiting.

In het eerste geval is wat meer kracht van de gebruiker vereist, in het tweede komt er meer kracht op de orthese in een richting die normaliter niet veel kracht te weerstaan heeft.

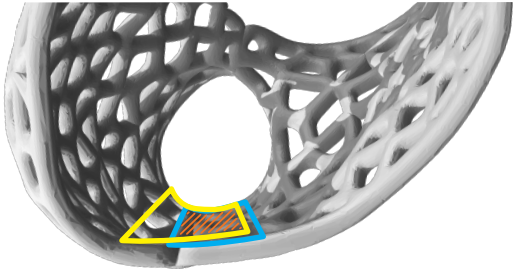


Figuur 3.4.2. Het krachtverloop voor diverse varianten van de sluiting: bewegingsrichting haaks op de opening (Figuur 3.4.1b, oranje), bewegingsrichting evenwijdig aan de opening en uit één materiaal (Figuur 3.4.1a, groen), en evenwijdig aan de opening en uit diverse materialen (rood).

Het gebruik van een op frictie gebaseerde verbinding brengt een aantal voor- en nadelen met zich mee, zoals samengevat in Tabel 3.4.1. Het effect van de sluiting kan versterkt worden door het oppervlak van het materiaal ruw te maken door middel van bijvoorbeeld een reliëf. Door het oppervlak te vergroten (bijvoorbeeld door een lage oppervlaktekwaliteit in de 3D-print), wordt het effect enkel versterkt – ervan uitgaande dat het materiaal met de hoge frictiecoëfficiënt wordt meegeprint. Dit heeft nadelen voor de levensduur omdat dit reliëf gedurende het gebruik langzaam afslijt. Wordt dit niet toegepast en berust de frictie grotendeels op materiaaleigenschappen, dan is de levensduur van de sluiting erg lang en beschadigt hij minimaal tijdens het gebruik. Doordat de over elkaar schuivende oppervlakken met de hand meegevormd kunnen worden (neem Figuur 3.4.4 in acht), kan het geheel opgaan in het ontwerp van de orthese en is een fijne afwerking mogelijk. Ook kunnen de onderdelen van de sluiting met de orthese worden meegeprint, waardoor geen assemblage vereist is.

De twee met frictie over elkaar schuivende onderdelen kunnen op het einde een aanslag hebben, zodat de exacte sluiting

herhaalbaar is. Toch zal het voor een gebruiker onduidelijk zijn als de verbinding enigszins aan fixatie verliest gedurende het gebruik. Zo is de juiste fixatie niet langdurig eenduidig herhaalbaar. Omdat de verbinding voornamelijk is gebaseerd op een materiaaleigenschap, wordt de verbinding erg groot: zou de thermoplast van de meeste prototypes hier worden toegepast, dan is een oppervlak van 10.000 mm² onvoldoende om een geschikte mate van fixatie te bereiken. Dit beperkt de toepasbaarheid van de sluiting. Ook is mogelijk nabewerking voor een oppervlaktevergroting vereist, en zal de sluiting niet heel bekend zijn onder nieuwe gebruikers.



Figuur 3.4.3. Voorbeeld van een op frictie gebaseerde sluiting aan de binnenzijde van de orthese (onderaanzicht, methode 1). Op het gearceerde gedeelte treedt wrijving op.

Tabel 3.4.1
Voor- en nadelen van een op wrijving gebaseerde verbinding.

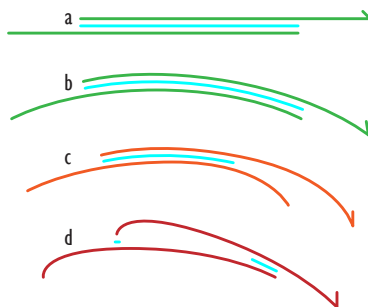
Voordelen	Nadelen
Lange levensduur	Matige herhaalbaarheid
Beschadigt minimaal	Geen terugkoppeling
Fijne afwerking	Groot van omvang
Geen extra componenten	Mogelijk nabewerking
Geen assemblage vereist	Redelijk onbekend

Gebruiksonderzoek

Niet alle gebruikers vinden de methode erg inzichtelijk. Met name de verschillende bewegingsrichtingen voor het openen (Figuur 3.4.1) zijn onduidelijk, al kan dit worden verbeterd door bijvoorbeeld het ontwerp van de bediening aan te passen. Daarnaast neemt de sluiting vrij veel ruimte in beslag. Omdat de sluiting bij de prototypes aan de buitenzijde van de orthese was gemonteerd, deed het sterk af aan het uiterlijk van de orthese. In latere modellen is de sluiting aan de binnenzijde van de orthese verwerkt. Dat is zo uitvoerd, dat de gebruiker er geen last van ondervindt. Daarvoor wordt de oppervlak van de verbinding (Figuur 3.4.3) naar de geometrie van de hand van de gebruiker gevormd. Dit werkt nadelig wanneer de bolling van de sluiting in de bewegingsrichting een toenemende straal heeft (Figuur 3.4.4).

BEOORDELING

Deze sluiting ontvangt respectievelijk 58% en 53% voor de theoretische onderdelen en het gebruiksonderzoek (zie Tabel 3.8.1 op pag. 72 en Tabel 3.8.2 op pag. 76). Sterke punten zijn de mate waarin de sluiting in de orthese kan worden weggevoerd en de snelheid met het om en af doen van de orthese.

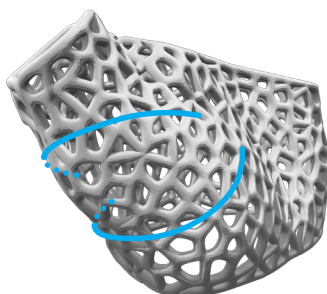


Figuur 3.4.4. Afschuiving in diverse gevallen. De sluiting wordt naar de vorm van de hand aangepast. De frictie moet gemaximaliseerd worden voor een goede werking van de sluiting. (a) De hand is recht; het oppervlak van de sluiting dus ook. Bij het afschuiven van de bovenste helft treedt frictie op op het volledige resterende contactoppervlak (aqua). (b) Bij een kromming met een constante straal blijft de frictie maximaal. (c) Bij een kromming met een afnemende straal in de bewegingsrichting (toenemende kromming) wordt het contactoppervlak snel kleiner. Na het overwinnen van de eerste frictie zal de benodigde kracht snel afnemen en de sluiting zal te gemakkelijk openen. (d) Bij een kromming met een toenemende straal in de bewegingsrichting (afnemende kromming) is het contactoppervlak zeer klein en zal de sluiting het slechtst werken.

De vorm van de sluiting kan niet naar wens worden aangepast maar is afhankelijk van de geometrie van de hand van de gebruiker.

§3.5 KLITTENBANDVERBINDINGEN

Traditioneel worden orthesen vaak gesloten met klittenbandverbindingen (Silva, 2008). De verbinding is eenvoudig in gebruik en wordt door haar alomtegenwoordigheid snel begrepen. Om ervoor te zorgen dat de sluiting herhaalbaar is, kan er bijvoorbeeld een aanslag of markering worden toegevoegd. Sluiten de twee helften echter goed op elkaar aan (Figuur 3.5.1), dan is zo'n markering niet nodig.



Figuur 3.5.1. Voorbeeld van de richtingen hoe het klittenband gemonteerd kan worden.

Om de implementatie eenvoudig te realiseren, kan de verbinding worden gebaseerd op een standaard verkrijgbaar onderdeel. Het onderdeel kan in de orthese worden geprint, versmolten, genaaid of geklemd. Wanneer de verbinding losneembaar is, kan zij na verloop van tijd –indien nodig– worden vervangen.

Het gebruik van een klittenbandverbinding brengt een aantal voor- en nadelen met zich mee, zoals samengevat in Tabel 3.5.1. Bij normaal gebruik beschadigt de verbinding minimaal. Omdat de band zich eenvoudig om uiteenlopende vormen heen vouwt, is deze goed te verwerken in het ontwerp en neemt een beperkte ruimte in beslag. Als de klittenband als inkooponderdeel wordt aangeschaft, dan is geen nabewerking

aan het model vereist. Ook is de sluiting algemeen bekend, wat het gebruik ten goede komt.

Nadelen zijn de beperkte herhaalbaarheid van de verbinding, al is dit op verschillende manieren op te lossen. Hoewel de verbinding tijdens normaal gebruik maar minimaal slijt, scheuren de lusjes tijdens dit gebruik en vermindert de klittenbandwerking. Ook door het ophopen van stof en vuil vermindert de werking van de sluiting. Tijdens het langdurig gebruik van de orthese zal het klittenband regelmatig vervangen dienen te worden. Ook zijn de afwezigheid van terugkoppeling aangaande de correctheid van de verbinding en het luide geluid bij het openen van de band nadelig. Ten slotte moet het extra component worden geassembleerd in de sluiting, waardoor de kosten ervan stijgen.

Tabel 3.5.1

Voor- en nadelen van een klittenbandverbinding.

Voordelen	Nadelen
Beschadigt minimaal	Matige herhaalbaarheid
Fijne afwerking	Korte levensduur
Beperkte omvang	Geen terugkoppeling*
Geen nabewerking	Extra component
Zeer bekend	Assemblage

Notities.

* Wordt klittenband plotseling losgetrokken, dan is dat goed te horen. Bij het sluiten en onbedoeld langzaam openen tijdens normaal gebruik is geen hoor- of voelbare terugkoppeling.

Gebruiksonderzoek

In het gebruiksonderzoek zijn klittenbandverbindingen gerealiseerd met behulp van inkooponderdelen. In één zijde van de orthese is een opening gemaakt waardoor een band met de lusjes kan worden gestoken. Op de orthese zelf wordt het

onderdeel met de haakjes met lijm vastgezet. De juiste fixatie wordt bij de gebruiker aangemeten en de eindstand van de band wordt met een markering aangegeven.

Het gebruik spreekt voor zich en de markeringen werken na uitleg vrij goed. Tijdens normaal dagelijks gebruik gaat de verbinding niet ongewenst open. Wel kan deze verslappen doordat de band in eerste instantie niet strak is aangetrokken. Dit kan worden voorkomen door deze op een andere manier aan de orthese vast te zetten. Afhankelijk van de gedragen kleding vervuilde het onderdeel met de lusjes al snel, wat in een verminderde kracht van de verbinding resulteerde.

BEOORDELING

Deze sluiting ontvangt respectievelijk 65% en 68% voor de theoretische onderdelen en het gebruiksonderzoek (zie Tabel 3.8.1 op pag. 72 en Tabel 3.8.2 op pag. 76). Een sterk punt is de herkenbaarheid van de verbinding.

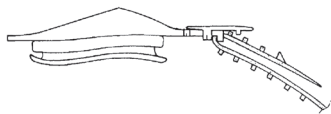
§3.6 DIVERSE GESPEN

Een relatief eenvoudige en snelle methode om twee onderdelen met elkaar te verbinden, is met een gesp. Dit kan diverse vormen aannemen, zoals een in Figuur 3.6.1, Figuur 3.6.2 en Figuur 3.6.3 te zien. Door mechanische druk of door een fysieke beperking wordt een doorgeluste band beperkt in zijn vrijheid. In het geval zoals in Figuur 3.6.1 en Figuur 3.6.2 zijn slechts enkele standen mogelijk, terwijl een constructie als in figuur Figuur 3.6.3 een traploze verbinding mogelijk maakt. Dit beperkt op zijn plaats wel de herhaalbaarheid van de verbinding, al kan dit op eenzelfde manier als bij klittenband worden opgelost – met een aanslag of markeringen.

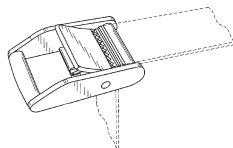
Geschikte materialen voor de band voor het model zoals in figuur Figuur 3.6.1 zijn kunststoffen met een zekere stijfheid. De modellen zoals in Figuur 3.6.2 en Figuur 3.6.3 kunnen overweg met zowel een band van rubber, textiel of kunststof van diverse stijfheden. In alle gevallen moet de band wel buigbaar blijven. Doordat de band bij Figuur 3.6.2 en Figuur 3.6.3 direct wordt omgedraaid, moet een kleine buigradius in de band mogelijk zijn.



Figuur 3.6.1. Een gespsluiting, zoals gebruikt in een skeeler.



Figuur 3.6.2. Een gespbevestiging, zoals gebruikt in een duikbril.



Figuur 3.6.3. Een gesp als aan een spanband.

Het gebruik van een gespverbinding brengt –deels afhankelijk van het type gesp– een aantal voor- en nadelen met zich mee, zoals samengevat in tabel Tabel 3.6.1. Bij traploze gespen is de herhaalbaarheid beperkt, maar een gesp als in is keer op keer nauwkeurig op dezelfde manier te sluiten. Ook is de levensduur van de verbinding erg hoog: geen van de onderdelen slijt aanzienlijk bij normaal dagelijks gebruik. Ook is zowel tijdens het sluiten als bij het openen van de sluiting hoor- en voelbare terugkoppeling, waardoor de gebruiker zich bewust is van wat hij doet. Ook zijn de meeste gespen zo bekend dat ze eenvoudig gebruikt kunnen worden.

De meeste gespen zijn redelijk groot, wat een nette afwerking in de weg staat. Een ander nadeel aan het gebruik van inkooponderdelen, is de extra vereiste assemblagestap en de extra onderdelen.

Tabel 3.6.1

Voor- en nadelen aan het gebruik van een gesp.

Voordelen	Nadelen
Goede herhaalbaarheid*	Redelijk grove afwerking
Hoge levensduur	Groot van omvang
Hoor- en voelbare terugkoppeling*	Meerdere extra componenten
Minimale beschadiging	Assemblage
Geen nabewerking	
Zeer bekend*	

Notities.

* In sterke mate afhankelijk van het gebruikte type gesp. Hier is uitgegaan van een gesp als in Figuur 3.6.1.

Gebruiksonderzoek

Bediening van de gesp (Figuur 3.6.4) is duidelijk, maar kost redelijk wat kracht; dat is lastig wanneer de sluiting zich op de rug, in de palm van de hand of langs de pink bevindt. Dat is minder het geval wanneer de sluiting langs de duim wordt geplaatst. Wellicht is de benodigde kracht te verminderen door toepassing van andere soorten gespen. In de huidige vorm wordt het dagelijks gebruik van de orthese belemmerd door de enorme toename in omvang.

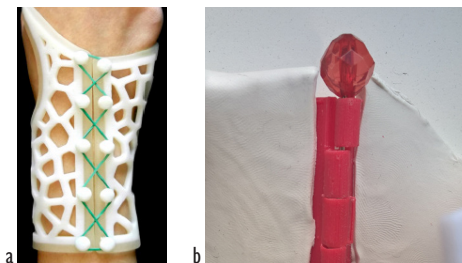


Figuur 3.6.4. De gespverbinding lijkt niet de beste oplossing als sluiting.

BEOORDELING

Deze sluiting ontvangt respectievelijk 57% en 68% voor de theoretische onderdelen en het gebruiksonderzoek (zie Tabel 3.8.1 op pag. 72 en Tabel 3.8.2 op pag. 76). Sterke punten zijn de eenvoudige implementatie, de duidelijke terugkoppeling en de herkenbaarheid van de verbinding.

§3.7 SLUITING MET EEN ANDER BINDEND ONDERDEEL



Figuur 3.7.1. Diverse sluitingen van de orthese: (a) als een veter en (b) met een stijve verbinding

Het principe van een gevlochten onderdeel rondom of door de orthese kan ook worden toegepast als sluiting. Op basis van verschillende vlechtmaterialen kunnen diverse verbindingen worden gemaakt. Met een flexibel onderdeel kan een sluiting als een veter worden gerealiseerd (Figuur 3.7.1a), terwijl met een stijf onderdeel een heel ander type sluiting wordt verkregen (Figuur 3.7.1b).

Het gebruik van een verbinding met een ander bindend middel brengt –deels afhankelijk van het bindend middel– een aantal voor- en nadelen met zich mee, zoals samengevat in Tabel 3.7.1. Zo is de levensduur van de sluiting erg hoog. Het snelst verouderende onderdeel is de sluiting. Bij beschadiging of verlies kan dit eenvoudig vervangen worden. Ook ziet de gebruiker of de sluiting correct is gesloten en kan de omvang van de sluiting beperkt blijven. Verder is er geen nabewerking of assemblage nodig.

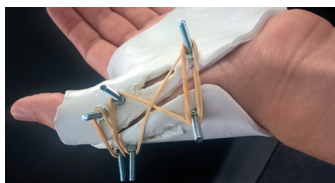
Bij toepassing van een flexibel bindend onderdeel() is de herhaalbaarheid van de sluiting beperkt, behalve wanneer de twee helften van de orthese goed op elkaar aansluiten. Wel

is dit onderdeel redelijk vatbaar voor beschadiging. Het enige extra nodige component is wel eenvoudig verkrijgbaar (in grote hoeveelheden of op rol). Deze vervangbaarheid maakt de sluiting zelf erg duurzaam. De sluiting kan redelijk netjes worden weggewerkt in het geheel, maar blijft wel altijd zichtbaar. Ten slotte zal het enige tijd kosten om het aanleggen van de sluiting aan te leren.

Tabel 3.7.1

Voor- en nadelen aan het gebruik van een sluiting met een ander bindend onderdeel.

Voordelen	Nadelen
Lange levensduur	Matige herhaalbaarheid
Voelbare terugkoppeling	Redelijk snelle beschadiging
Minimale omvang	Redelijk grove afwerking
Geen nabewerking	Eén extra component
Geen assemblage	Redelijk onbekend



Figuur 3.7.2. Voorbeeld van een sluiting met een elastiek als bindend onderdeel. Het elastiek is hier eigenlijk te lang.

Gebruiksonderzoek

De sluiting waarbij gebruik wordt gemaakt van een elastiek dat rondom verschillende vaste punten wordt gevlochten (Figuur 3.7.2), wordt verschillend door gebruikers gewaardeerd. Waar sommigen het een leuke manier vinden om de orthese aan te trekken, levert het bij anderen frustratie op. Die ergernis wordt erdoor veroorzaakt, dat de punten vrij dicht

bij elkaar liggen en het vlechten daarom niet altijd goed gaat (Figuur 3.7.3). Daarnaast kost het aanleggen en afdoen in vergelijking met andere methoden vrij veel tijd.

De sluiting met een stijve kern (Figuur 3.7.1b) is sneller los te maken, maar het sluiten kost enige tijd omdat de helften van de orthese goed met elkaar uitgelijnd moeten worden.

Om de herhaalbaarheid van de sluiting te vergroten, kan zij onafhankelijk van de verbinding worden gemaakt door de helften van de orthese nauwkeurig op elkaar aan te laten sluiten. Het elastiek uit de verbinding trekt dan enkel nog de twee helften voldoende tegen elkaar aan om fixatie te realiseren. Dit leverde in het testen ook betere resultaten op.



Figuur 3.7.3. Het elastiek wordt niet altijd netjes gevlochten.

BEOORDELING

Deze sluiting ontvangt respectievelijk 60% en 65% voor de theoretische onderdelen en het gebruiksonderzoek (zie Tabel 3.8.1 op pag. 72 en Tabel 3.8.2 op pag. 76). Een sterk punt is de beperkte omvang van de sluiting.

§3.8 SAMENVATTING SLUITINGEN

Uit een niet-uitputtend overzicht van diverse methoden om iets te sluiten, is een zestal sluitingen gedestilleerd. Deze zes sluitingen zijn in de voorgaande paragrafen behandeld vanuit theoretisch en vervolgens vanuit praktisch oogpunt. Op sommige momenten ondersteunde het gebruiksonderzoek het theoretische onderzoek, terwijl het op andere momenten juist een ander aspect belichtte. De resultaten van het theoretisch onderzoek naar de sluitingen zijn samengevat in Tabel 3.8.1. Hieruit kunnen de sluitmethoden op basis van het eerste gedeelte van het onderzoek worden gerangschikt:

1. In elkaar hakende verbinding
2. Klikverbinding
3. Sluiting met een ander bindend onderdeel
4. Klittenbandverbinding
5. Verbinding op basis van frictie
6. Diverse gespen

Op eenzelfde manier zijn de gegevens van het gebruiksonderzoek gebundeld in Tabel 3.8.2. De rangschikking die dan mogelijk is, ziet er anders uit:

1. Klikverbinding
2. Klittenbandverbinding
3. In elkaar hakende verbinding
4. Diverse gespen
5. Sluiting met een ander bindend onderdeel
6. Verbinding op basis van frictie

De tekst gaat door na de tabellen, op pagina 79.

Tabel 3.8.1

Alle eigenschappen per sluitmethode.

Klikverbinding	2	I	2	2
In elkaar hakende verbinding	2	2	I	0
Verbinding op basis van frictie	I	2	0	0
Klittenbandverbinding	I	I	0	0
Diverse gespen	I	2	2	0
Sluiting met ander bindend onderdeel	I	2	I	I
Niet 10 Herhaalbaarheid 1 Betrouwbaar 2 Kort 10 Levensduur 1 Terugkoppeling 2 Minimaal 10 Beschadigen 1 2 2 2 2 2 2 2 2 Lang Meerdere zint. Snel				

Notities bij Tabel 3.8.1.

Bij iedere eigenschap is de schaal weergegeven. Rode waarden in de tabel geven een nadeel van de techniek aan. De onderde-

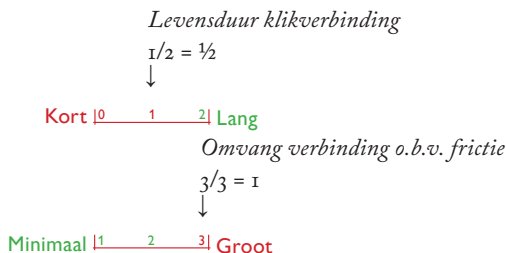
	2	2	0	0	0	2	40
	I	2	I	0	0	I	42
	2	3	2	0	0	I	32
	2	2	0	I	2	3	33
	0	3	I	2	2	3	30
	I	I	0	I	0	I	36
Grof 10	Afwerking	1	2	1	2	3	1
Minimaal 11	Fijn	1	2	1	2	3	1
Geen 10	Omvang	1	2	1	2	3	1
Geen 10	Nabewerking	1	2	1	2	3	1
Geen ass. 10	Extra componenten	1	2	1	2	3	1
	Mogelijk	1	2	1	2	3	1
	Meerdere	1	2	1	2	3	1
	Produceerbaarheid	1	2	1	2	3	1
	Assemblage	1	2	1	2	3	1
	Bekendheid	1	2	1	2	3	1
	Bekend	1	2	1	2	3	1
	Beoordeling*	1	2	1	2	3	1
	Laag 10	1	2	1	2	3	1
	Hoog	1	2	1	2	3	1

len in de onderste rij zijn gerangschikt op basis van aflopende prioriteit.

Vervolg op de volgende pagina »

Notities bij Tabel 3.8.1 (vervolg).

* Om de beoordeling te bepalen, is iedere deelbeoordeling (genoteerd in de tabel) uitgezet op gegeven schaal. Zo is een score tussen 0 en 1 bepaald. De levensduur van de klikverbinding (1 op een schaal van 0 tot 2) krijgt dan een score van 0,5; de omvang van de verbinding op basis van frictie krijgt op eenzelfde manier een score 1. Deze waarden zijn niet opgenomen in de tabel.



Voor schalen waarbij een lage waarde gewenst is (groen op de schaal), wordt de waarde van 1 afgetrokken. Bij de klikverbinding blijft de waarde gelijk. Voor de score voor de omvang van de verbinding op basis van frictie wordt berekend $1 - 1 = 0$. De score voor de afwerking voor de verbinding op basis van frictie blijft gelijk.

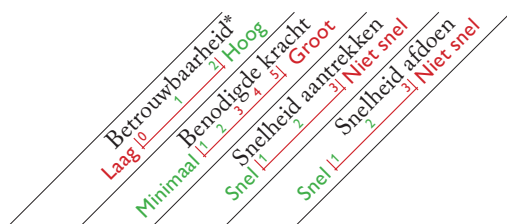
De deelbeoordelingen zijn gerangschikt op aflopende prioriteit. Daarom wordt de verkregen waarde voor de meest rechter kolom vermenigvuldigd met 1, de kolom links daarvan met 2, enzovoorts. De waarden van de levensduur (de negende kolom van rechts) worden met 9 vermenigvuldigd ($1/2 \times 9 = 4 1/2$) en van de omvang (de vijfde kolom van rechts) met 5 ($0 \times 5 = 0$). Onder 'beoordeling' is de som van deze uitkomsten van alle deelbeoordelingen genomen en afgerond op gehele getallen (Appendix c). De zo verkregen classificatie stemt overeen met het beeld dat uit het onderzoek naar voren kwam. Deze gegevens worden verder verwerkt in Tabel 5.3.1.

Het zou niet aan de leesbaarheid van de tabel bijdragen als bij iedere deelbeoordeling een maximalisatie wordt nagestreefd. Waar in alle redelijkheid mogelijk, is dit wel aangepast. Maar zou een beoordeling als ‘meerdere componenten’ een omgekeerde schaal krijgen, dan werkt deze tegennatuurlijk.

Tabel 3.8.2

Samenvatting van de gegevens die uit het gebruiksonderzoek met de sluitingen kwamen. Ten grondslag hieraan lag het gesprek dat met de gebruikers werd gevoerd naar aanleiding van de vragenlijst (Appendix E).

Klikverbinding	2	3	1	2
In elkaar hakende verbinding	1	2	1	1
Verbinding op basis van frictie	0	2	1	2
Klittenbandverbinding	1	2	1	1
Diverse gespen	2	4	2	2
Sluiting met ander bindend onderdeel	2	2	3	2



Notities bij Tabel 3.8.2.

* Hieronder wordt verstaan hoe zeker de gebruiker ervan kan zijn (en is) dat de sluiting goed (strak genoeg, in de juiste

I	7	56
2	6	45
O	5	35
3	6	45
3	6	44

I	6	39
---	---	----

Notities bij Tabel 3.8.2 (vervolg).

† Het gemiddelde eindoordeel van de gebruikers. Dit onderdeel is opgenomen in de beoordeling, omdat de gebruiker daarbij meer factoren –zoals plezier in het aantrekken van de orthese– meeneemt die anders niet in de beoordeling waren opgenomen.

‡ Zie voor een toelichting op de berekening de notitie onder Tabel 3.8.1. Het snel aantrekken is van groter belang dan het afdoen omdat men voldoende gemotiveerd moet blijven de orthese te gebruiken. De resultaten uit de zes kolommen zijn hierin opgenomen zoals beschreven en het eindoordeel is vermenigvuldigd met 6. De zo verkregen classificatie –nauwkeurig op gehele getallen– stemt overeen met het beeld dat uit het onderzoek naar voren kwam. Deze gegevens worden verder verwerkt in Tabel 5.3.1.

Op basis van al het voorgaand onderzoek is Tabel 5.3.1 opgesteld. Daarin komen literatuur- en gebruiksonderzoek, gesprekken met deskundigen en de ervaringen van de auteur samen. Op basis daarvan wordt een rangschikking van de sluitingen en de scharnieren gemaakt.

Voor de sluitingen is die rangschikking:

1. Klikverbinding – deze beproefde verbinding is bekend, eenvoudig te realiseren en geeft de drager voldoende duidelijkheid over de juistheid van de sluiting.
2. Sluiting met een ander bindend onderdeel – als eervol tweede staat deze verbinding die weliswaar niet snel te realiseren is, maar nieuw is en positief wordt beoordeeld door gebruikers.
3. In elkaar hakende verbinding – hoewel deze verbinding in de praktijk zijn diensten al vaak bewijst, is de krachtrichting die hij op de orthese uitwerkt, ongewenst.

4. Klittenbandverbinding – de huidige sluitmethode voor orthesen is erg onprettig in combinatie met water, wordt snel vies en maakt veel geluid bij het openen.
5. Diverse gespen – de gespen zijn log en bediening op de hand te lastig.
6. Sluiting op basis van frictie – hoewel de verbinding mooi in het ontwerp wegvalt, is het praktisch te onhandig.

4

SCHARNIEREN

Om de opening in de orthese (Hoofdstuk 3) functioneel te maken, is een scharnierend onderdeel nodig. Hiervoor kan een onderdeel worden toegevoegd in de print, kan het na het printen als assemblage-onderdeel worden toegevoegd of er kan worden vertrouwd op de mechanische eigenschappen van de orthese zelf. Zie Tabel 4.7.1 op pag. 92 voor een samenvatting van de eigenschappen van diverse mogelijkheden.

§4.1 OPTIES

Om de sluiting effectief te maken, bestaan drie mogelijkheden: (1) meerdere sluitingen kunnen samen twee of meer delen van de orthese met elkaar verbinden, (2) één of meerdere scharnieren kunnen de delen van één of meerdere sluitingen uit elkaar laten bewegen of (3) voor het scharnieren wordt uitgegaan van de flexibiliteit van het model.

Voor de eerste en derde optie kan een combinatie van één of meer van de in Hoofdstuk 3 besproken sluitingen worden gemaakt.

Voor de tweede optie moet een scharnierend gedeelte in de orthese worden verwerkt. Dit kan op verschillende manieren: (a) door plaatselijke verschillen in stijfheid, (b) door een los in elkaar hakend scharnier of (c) door een volledig scharnier. De eerste optie kan worden gerealiseerd door een combinatie van verschillende materialen of door een combinatie van verschillende dichtheden in het voronoi-diagram van de orthese en ligt dicht tegen de derde optie om de sluiting effectief te maken (geen scharnieren, maar de flexibiliteit van het model).

Tabel 4.1.1

Samenvatting van de opties voor scharnieren.

	Sluiting*	Scharnier*	Notities	Ref.
<i>I</i>	2+	o		H3
<i>2a</i>	1+	1+	Combinatie van materialen	§4.2
<i>2a</i>	1+	1+	Combinatie van dichtheden	§4.3
<i>2b</i>	1+	1+	Los of in elkaar hakend scharnier	§4.4
<i>2c</i>	1+	1+	Volledig scharnier	§4.5
<i>3</i>	1+	o	Flexibiliteit model	§4.6

Notities.

* De waarde o betekent dat het onderdeel niet voorkomt. De waarde *n*+ geeft aan dat het onderdeel minimaal *n*× voorkomt.

§4.2 COMBINATIE VAN MATERIALEN

Door verschillende materiaaleigenschappen te combineren kan een scharnier worden bewerkstelligd (Al Mortadi, 2012). Dit kan door (1) die materiaaleigenschappen of materialen gezamenlijk te printen of (2) de verschillende materiaaleigenschappen of materialen afzonderlijk van elkaar te printen en vervolgens te assembleren (Figuur 4.2.1).

GEPRINTE COMBINATIE

Door gebruik te maken van een printer die diverse materialen kan printen, kunnen materialen met verschillende eigenschappen in één product worden gecombineerd.

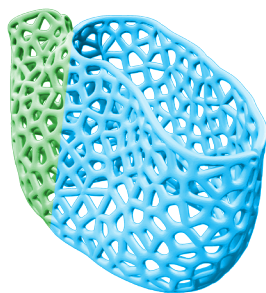
Bij de implementatie van deze oplossing speelt de locatie van deze verschillende materialen een rol. Eén optie is dat de software zelf de locaties voor de verschillende materialen bepaalt, een ander is dat de therapeut dit aangeeft, bijvoorbeeld met teken- of selectiegereedschappen (Paterson, 2015).

Enkele geschikte printers zijn de ProJet 5500x, Flow Focus, StrataSys Objet500 en Objet530 Connex3. Ook zijn meer experimentele printers als MultiFab van MIT geschikt. De aanschafprijs van deze printers varieert van enkele duizenden tot tienduizenden euro's.

GEASSEMBLEERDE COMBINATIE

Een andere optie is om de materialen afzonderlijk van elkaar te printen en daarna te assembleren. Bij het modelleren wordt al rekening gehouden met die assemblage, zodat de onderdelen eenvoudig in elkaar te verwerken zijn, bij voorkeur zonder gereedschap of lijm. Deze assemblage kan direct na productie plaatsvinden of worden uitbesteed aan de therapeut.

Op een met de hiervoor beschreven methode kunnen de verschillende onderdelen in de software worden aangegeven. Om de realisatie te vereenvoudigen, kan de flexibiliteit worden ingebracht door ingekochte onderdelen, zodat de printer slechts één materiaal hoeft te printen. Uiteraard beperkt dat wel weer de mogelijkheden om de orthese op de hand aan te laten sluiten (vergelijk Figuur 6.9.1 op pag. 114).



Figuur 4.2.1. Hoge (links) en lage (rechts) stijfheid toegepast en gecombineerd in één orthese.

Gebruiksonderzoek

De combinatie van verschillende materialen in één print of in een geassembleerd model, is niet in de praktijk onderzocht. In samenspraak met de opdrachtgever is vastgesteld dat dit onderdeel op dit moment nog onvoldoende prioriteit had.

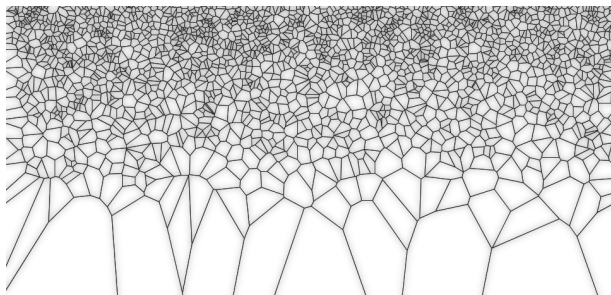
BEOORDELING

De varianten op deze sluiting ontvangen respectievelijk 89% en 64% voor theoretische onderdelen (Tabel 4.7.1 op pag. 92). Een sterk punt is de goede werking, ondanks de beperkte omvang van de scharnieren.

§4.3 VERSCHILLENDE DICHTHEDEN IN HET VORONOI-DIAGRAM

Door de dichtheid in het voronoi-diagram te variëren, kan het materiaal plaatsgebonden bepaalde eigenschappen meekrijgen (Figuur 4.3.1). Op die manier wordt de stijfheid in het onderdeel plaatselijk beperkt en kan de orthese –afhankelijk van materiaaleigenschappen– daar scharnieren.

Een nadeel van deze techniek is dat het bepaalde eisen stelt aan de materiaaleigenschappen op het gebied van stijfheid die minder wenselijk zijn voor de fixatie van de gewrichten – met andere woorden: de stijfheid wordt plaatselijk verlaagd, waardoor de fixatie vermindert. Door de orthese op die punten waar een hoge stijfheid gewenst is, een hogere dichtheid in het diagram te geven, kan bijvoorbeeld tussen duim en wijsvinger en op de duimmuis een hoge dichtheid worden gerealiseerd, terwijl elders (langs de pink) de dichtheid verlaagd kan worden (vergelijk Figuur 4.2.1).

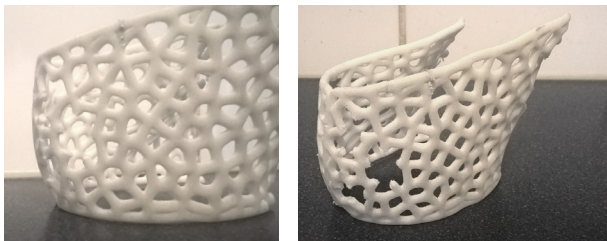


Figuur 4.3.1. Verschillende dichtheden in het voronoi-diagram. Worden de zwarte lijnen geprint, dan is onderin de figuur de stijfheid lager dan bovenin, maar ook kwetsbaarder en dus minder duurzaam.

Gebruiksonderzoek

De stijfheid in de orthese wordt grotendeels door twee factoren bepaald: (1) de stijfheid van het materiaal voor de print en (2) de vormgeving van het voronoi-diagram. Wel dient de fixatie de hoogste prioriteit toegekend te krijgen bij het verlagen van de stijfheid van het materiaal.

Hoewel het huidige softwaremodel geen lokale aanpassingen aan het voronoi-diagram toestaat, kon met aanpassingen aan geprinte onderdelen van de orthese de haalbaarheid van deze tweede methode worden getest (Figuur 4.3.2). Is het materiaal geschikt voor dit type scharnier, dan vergroot een aanpassing aan het diagram de flexibiliteit van het onderdeel aanzienlijk.



Figuur 4.3.2. Door enkele openingen in het voronoi-diagram groter te maken, wordt de orthese flexibeler.

BEOORDELING

Deze sluiting ontvangt een score van 82% voor de theoretische onderdelen (Tabel 4.7.1 op pag. 92). Doordat de methode gebaseerd is op het ontwerp, raken de helften niet los en wordt het ontwerp niet groter.

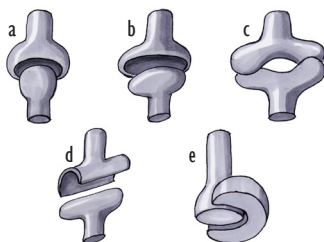
§4.4 IN ELKAAR HAKEND SCHARNIER

Wanneer wordt gekeken naar natuurlijke scharnieren, komt men al snel uit bij de gewrichten in het menselijk lichaam (Figuur 4.4.1). Omdat deze scharniervormen in de natuur voorkomen, zijn ze aangepast aan tal van situaties en toepasbaar in ondersteuning voor bijvoorbeeld patiënten (Hargroves, 2006). Al deze gewrichten zijn losneembare scharnieren in de zin dat ze zonder meer onderdelen in bepaalde richtingen een scharnierende functie hebben, maar in andere richtingen los van elkaar kunnen worden genomen.

Van deze scharniervormen is (een variant op) het kogel- of scharniergewricht (Figuur 4.4.1a,d) het meest relevant voor toepassing in de orthese.

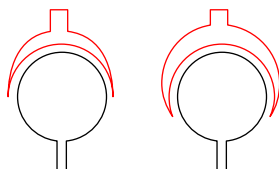
Een kogelgewricht kan worden ingezet als al of niet sluitende verbinding waarmee de helften van de orthese op één of meerdere plaatsen aan elkaar worden verbonden (Figuur 4.4.2). Als het bovenste gedeelte in verder niet in Figuur 4.4.2 zijn

vrijheidsgraden wordt beperkt, kan het onderdeel vrij over de kogel bewegen en dus scharnieren. Wordt het onderdeel op meerdere plaatsen met een kogelscharnier vastgezet, dan kan het onderdeel niet meer scharnieren. Dan is dit verder vergelijkbaar met een sluiting op twee of meer plekken in de orthese.



Figuur 4.4.1. Diverse gewrichten als in het menselijk lichaam.

(a) kogelgewricht of art. sphaeroidea, (b) ellipsgewricht of condyloidea, (c) zadelgewricht of art. sellaris, (d) scharniergewricht of art. ginglymus en (e) rolgewricht of art. trochoidea.



Figuur 4.4.2. Het kogelgewricht: (links) losneembaar en niet-losneembaar.

Een scharniergewricht kent zijn toepassing in een eenvoudig en losneembaar scharnier, zie Figuur 4.4.3. Hierbij is de scharnierende werking van de orthese van minder groot belang, en haken de twee helften van de orthese in elkaar. Dan scharnieren de onderdelen niet langer ten opzichte van elkaar, maar haken ze eenvoudigweg in elkaar en scharnieren ze bij het opengaan. Sluiting van de orthese voorkomt dat het scharnier uiteen valt. Omdat het scharnier kan bestaan uit verschillende

delen die niet op één lijn met elkaar liggen, kan de vorm van de hand nauwkeuriger gevolgd worden.

Een gevolg van het gebruik van deze methode is dat de helften nooit onlosmakelijk aan elkaar verbonden zijn. Daardoor is de orthese enerzijds eenvoudiger te reinigen, maar kan hij anderzijds ook eenvoudig loslaten bij het aantrekken en afdoen, waardoor deze acties bemoeilijkt worden.



Figuur 4.4.3. Een losneembaar scharnier. Vanaf een bepaalde hoek haken de onderdelen niet meer in elkaar. Wanneer de onderdelen van het scharnier elkaar niet langer raken, is afhankelijk van de kracht en de hoek waarin het bovenste gedeelte van het scharnier geconstrueerd is.

Gebruiksonderzoek

Het voordeel dat de onderdelen van het scharnier zonder vast draaipunt niet in één vlak hoeven te draaien, maakt de toepassing ervan flexibel. Zo kan de geometrie van de hand beter worden gevolgd.

Een nadeel van de techniek is dat de onderdelen soms ongewenst loslaten, voornamelijk tijdens het aan en af doen. Dit bemoeilijkt het aantrekken als zodanig en kan de gebruiker irriteren. Tijdens het dragen biedt dit scharnier wel voldoende inklemming om de orthese gesloten te houden.

BEOORDELING

Deze sluiting ontvangt respectievelijk 54% en 60% voor de theoretische onderdelen en het gebruiksonderzoek (zie Tabel 4.7.1 op pag. 92 en Tabel 4.7.2 op pag. 94). Een sterk

punt van dit scharnier is dat hij in zijn geheel met de twee helften van de orthese kan worden meegeprint.

§4.5 VOLLEDIG SCHARNIER

De nadelen van het in elkaar hakend scharnier kunnen worden ondervangen met een volledig scharnier (Figuur 4.5.1). De twee helften van het scharnier kunnen identiek zijn en met een kern worden verbonden (Figuur 4.5.2). Een andere methode is een variant op het in elkaar hakend scharnier, waarbij de losneembare kant de kern zo ver omklemt, dat het niet meer losneembaar is. Dit bemoeilijkt wel de mogelijke assemblage.



Figuur 4.5.1. Een volledig scharnier. Dit onderdeel kan met een 3D-printer in delen worden gemaakt. De eventuele kern kan als los onderdeel worden ingevoegd.

Gebruiksonderzoek

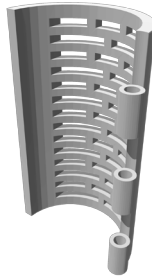
Een volledig scharnier werkt goed en heft veel problemen op die met het in elkaar hakend scharnier werden gevonden. Omdat de orthese niet overal zo recht is als het volledig scharnier, kost de implementatie ervan soms de nodige moeite en gaat dat ten koste van de pasvorm en de aansluiting op de hand (Figuur 4.5.3).

Wel werkt het scharnier altijd foutloos en vergroot hij het gemak waarmee de orthese kan worden aangetrokken.

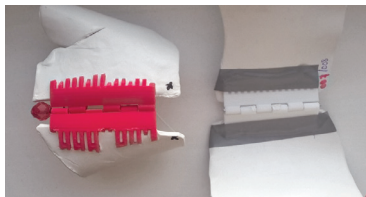
BEOORDELING

Deze sluiting ontvangt respectievelijk 64% en 85% voor de theoretische onderdelen en het gebruiksonderzoek (zie Tabel 4.7.1

op pag. 92 en Tabel 4.7.2 op pag. 94). Een sterk punt van dit scharnier is dat de helften niet los van elkaar kunnen raken, waar dit bij het losneembare scharnier nog onbedoeld kan gebeuren.



Figuur 4.5.2. 3D-model van een helft van het scharnier. Twee van deze helften vormen samen een scharnier wanneer een kern wordt toegevoegd. Het raamwerk links in het model biedt opties om het te monteren in een prototype.



Figuur 4.5.3. Twee uitvoeringen van het volledige scharnier in prototypes CM7 en CM9.

§4.6 GEEN SCHARNIER

Het is mogelijk de twee helften van de orthese volledig los van elkaar te houden en op meerdere plaatsen sluitingen aan te brengen. Dit maakt de noodzaak voor een scharnier overbodig. Een nadeel van de methode is dat de twee onderdelen in principe los zijn van elkaar. Daardoor moeten diverse sluitingen tegelijkertijd bediend worden. De verschillende sluitingen moeten tegelijkertijd worden gesloten om de orthese de hand

te laten omklemmen. Dit maakt het mogelijkwerijs minder gemakkelijk – zo niet onmogelijk – voor iemand met artrose om de orthese om en af te doen.

§4.7 SAMENVATTING SCHARNIEREN

Al de genoemde scharnieren zijn theoretisch behandeld. Met die gegevens is aan de hand van een aantal criteria bepaald hoe geschikt ieder scharnier is voor toepassing in de orthese (Tabel 4.7.1). Daaruit kan een rangorde voor de scharnieren worden vastgesteld:

1. Combinatie van verschillende stijfheden (geprint)
2. Verschillende dichtheden in het voronoi-diagram
3. Volledig scharnier
4. Combinatie van verschillende stijfheden (geassembleerd)
5. In elkaar hakend scharnier

Daarnaast is voor het volledig en het losneembaar scharnier ook gebruiksonderzoek verricht (Tabel 4.7.2 op pag. 94). Daaruit kwam naar voren dat het volledige scharnier de voorkeur heeft. Doorslaggevend punt hierbij was hoe eenvoudig de beide helften van de orthese bij het andere scharnier uit elkaar raakten.

Tabel 4.7.1

Alle eigenschappen per scharnier.

Combi: geprint	3	0	1	0
Combi: geassembleerd	2	0	1	2
Dichtheden voronoi	1	0	1	0
In elkaar hakend	2	2	2	0
Volledig	3	0	3	1
Zwaar/slecht ⁰₁ Niet ⁰₁ Minimaal ¹₁ Geen ass. ⁰₁ Werking ²₃ Goed ³₁ Losraken helften ¹₂ Eenvoudig ³₁ Omvang ²₁ Produceerbaarheid ¹₂ Assemblage ²₁				

Notities bij Tabel 4.1.1.

Zie de notities bij Tabel 3.8.1. De zo verkregen classificatie stemt overeen met het beeld dat uit het onderzoek naar voren kwam. Deze gegevens worden verder verwerkt in Tabel 5.3.1.

Productiekosten	2	0	0	25
Laag ⁰ ₁	I	I	2	18
Geen ⁰ ₁	0	0	0	23
Nabewerking	I	0	0	15
Geen ⁰ ₁	I	I	0	19
Extra componenten				
Geen ⁰ ₁				
Meer dere				
Laag ⁰ ₁				
Beoordeling*				
29				
Hoog				

Tabel 4.7.2

Samenvatting van de gegevens die uit het gebruiksonderzoek met de scharnieren kwamen. Ten grondslag hieraan lag het gesprek dat met de gebruikers werd gevoerd naar aanleiding van de vragenlijst (Appendix E).

In elkaar hakend	I	I	3	I
Volledig	2	I	I	I
Betrouwbaarheid*				
Laag 0	1	2		
Minimaal 1	2	3	4	5
Benodigde kracht				
Snel 1	2	3		
Snelheid aantrekken				
Snel 1	2	3		
Snelheid afdoen				
Snel 1	2	3		

Notities bij Tabel 4.7.2.

Zie de notities bij Tabel 3.8.2. De zo verkregen classificatie stemt overeen met het beeld dat uit het onderzoek naar voren kwam. Deze gegevens worden verder verwerkt in Tabel 5.3.1.

De rangschikking van scharnieren is:

1. Volledig scharnier – ondanks de relatieve complexiteit van dit onderdeel, is het gebruik ervan erg eenvoudig; men heeft er geen omkijken meer naar.
2. Verschillende dichtheden in het voronoi-diagram – een oplossing die volledig in het ontwerp van de orthese wegvalt.
3. Combinatie van materialen – een andere manier om de oplossing in het ontwerp weg te laten vallen. Van de twee mogelijkheden heeft de geprinte optie de voorkeur.

	1	2	3
Onbekend	1	2	3
Herkenbaarheid	10	20	30
Laag	0	10	20
Gebruikersoordeel	0	10	20
Laag	0	10	20
Beoordeling	0	10	20
Laag	0	10	20
Hoog	0	10	20

4. In elkaar hakend scharnier – hoewel dit scharnier eenvoudig te realiseren is doordat het uit verschillende niet in één lijn bewegende onderdelen kan bestaan, is het gebruik ervan lastig omdat men tijdens het sluiten van de orthese ervoor moet waken dat hij hier van elkaar wijkt.

5

NAAR EEN EINDMODEL

Omdat dit onderzoek slechts een stap in de volledige ontwikkeling van de orthese betekent, is er geen echt eindmodel, een laatste prototype voordat de orthese in productie gaat. Om toch alle bevindingen van dit verslag te verwerken en nog één extra stap te zetten, wordt wel een laatste model in het kader van dit onderzoek gemaakt. Om dit model te verfijnen, worden diverse onderdelen nog verder getest, zij het niet meer met verschillende testpersonen.

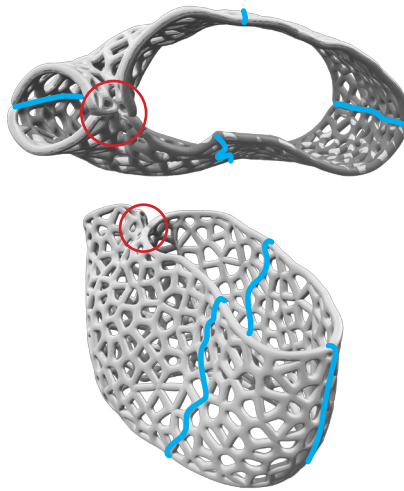
§5.1 COMBINATIES EN PLAATSING

De orthese kan op verschillende plaatsen geopend worden om het voor een gebruiker mogelijk te maken zijn hand erin te plaatsen. Een logische locatie is evenwijdig aan zowel de duim als de pink door langs de buitenzijde van de orthese een snede aan te brengen die doorloopt door het volledige model, en daarmee het geheel in twee helften indeelt (Figuur 2.3.1 op pag. 23). In het begin van het onderzoek is van deze snede uitgegaan.

De gebruikte doorsnede geeft het model op drie punten contactpunten tussen beide helften: langs de duim, tussen duim en wijsvinger en langs de pink. Op deze plaatsen kunnen sluitingen en/of scharnieren worden geplaatst (Figuur 5.1.1).

Vanuit de diverse opties voor sluitingen en scharnieren is een groot aantal combinaties samen te stellen en ook de locaties kunnen verschillen. De locaties zijn langs de duim, langs de pink, over de rug van de hand of over de palm. Theoretisch

is het ook mogelijk de orthese enkel tussen duim en wijsvinger te openen, maar omdat hier op een relatief klein onderdeel veel stijfheid wordt verkregen, wordt niet voor die optie gekozen. Zie §5.6 voor meer informatie over de opening tussen deze twee vingers.



Figuur 5.1.1. Vier mogelijke locaties voor het aanbrengen van de sluiting(en) en het scharnier (blauw). In rood omcirkeld is de orthese tussen duim en wijsvinger.

Eerder is vastgesteld dat als sluiting de klikverbinding (§3.2) wordt gebruikt en als mogelijk scharnier het volledige scharnier (§4.5). Voor de plaatsing van de sluiting en het scharnier ten opzichte van elkaar zijn diverse opties vergeleken. Wanneer de stijfheid van het materiaal van de orthese laag genoeg is, is een scharnier niet nodig en kan hiervoor worden vertrouwd op het buigen van de orthese. Eventueel kan dit effect worden versterkt door het voronoi-diagram aan te passen. In dat geval is de rangschikking op volgorde van toepasbaarheid van de geteste en besproken locaties als volgt.

1. Sluiting langs pink, geen scharnier – zoals hiervoor beschreven. Dit biedt een eenvoudige onopvallende sluitingsmogelijkheid.
2. Sluiting langs duim, geen scharnier – vergelijkbaar met de sluiting langs de pink, al kan de sluiting hier de fixatie enigszins verminderen.
3. Sluiting langs duim, scharnier langs pink – wanneer het materiaal onvoldoende flexibel blijkt om bij het openen mee te buigen, kan een volledig scharnier worden geïntegreerd.
4. Sluiting langs de rug van de hand, scharnier in de palm van de hand – ergonomisch een goede oplossing; de sluiting is goed te bereiken. In de praktijk is door de vorm van de orthese wel een scharnier vereist, wat de aansluiting op de handpalm sterk vermindert.

Hieruit wordt geconcludeerd dat voor het eindmodel gebruik zal worden gemaakt van in ieder geval een klikverbinding en indien mogelijk geen scharnier. De klikverbinding zal langs de pink worden geplaatst. Mocht een scharnier toch nodig blijken, dan wordt dit langs de pink gelegd en de sluiting langs de duim.

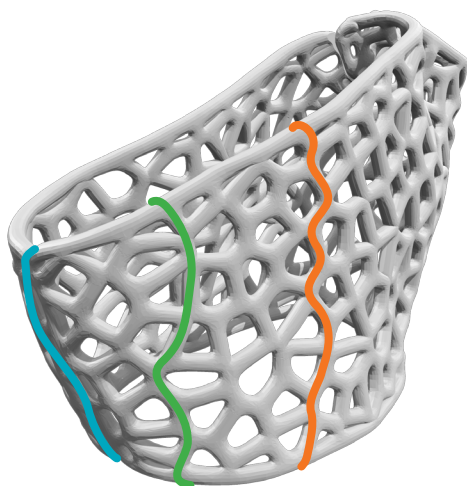
§5.2 POSITIONERING OPENING

De klikverbinding waarmee de orthese te openen is, wordt langs de pink geplaatst. Omdat tijdens het gebruiksonderzoek was geopperd dat de sluiting ook op de rug geplaatst kan worden voor een betere bereikbaarheid, worden in een prototype met de definitieve sluiting verschillende opties getest.

Er worden drie opties getest (Figuur 5.2.1): een sluiting langs de pink, over de rug van de hand en tussen beide locaties. Hieruit wordt het beeld dat in de gebruikstests ontstond, gedeeltelijk bevestigd. Vanuit ergonomisch oogpunt zijn er veel voordelen aan een opening over de rug. De gebruiker kan de opening eenvoudig bereiken en de orthese is gemakkelijk

dicht te drukken door de hand ergens tegenaan te drukken. Deze methode blijkt helaas wel nadelig voor het scharnieren van de orthese. De orthese moet vrij ver open buigen voordat de hand eruit kan schuiven en blijkt in deze richting vrij veel weerstand te bieden.

De optie tussen deze twee uitersten lijkt de beste resultaten te geven door een verbeterd gebruiksgemak ten opzichte van een opening langs de pink en een behoud van voldoende scharnierende werking.



Figuur 5.2.1. De drie mogelijke locaties voor openingen in de orthese die zijn getest: (1 , blauw) langs de pink, (2 , groen) op ongeveer een derde van de dorsale helft, gerekend vanaf de pink en (3 , oranje) over de rug van de hand.

§5.3 RESULTAAT ONDERZOEK

In de voorgaande hoofdstukken zijn verschillende opties voor verbeteringen aan de orthese uit Figuur 1.1.1 bekeken. De resultaten van het theoretisch onderzoek en het gebruiksonderzoek zijn samengevoegd met de informatie uit de vele gesprekken die over de orthese en mogelijke verbeteringen daaraan zijn besproken. Al deze informatie is weergegeven in Tabel 5.3.1.

Vanuit de opties die het beste uit dit onderzoek zijn gekomen, wordt een eindmodel ontworpen. Dit is nog geen marktklaar product, maar een conclusie op dit onderzoek. Daarvoor wordt gebruik gemaakt van de volgende uitgangssituatie:

- Verbinding: klikverbinding – uiteindelijk blijkt de alomtegenwoordige klikverbinding ook haar toepassing te vinden in de orthese.
- Scharnier: geen scharnier – door gebruik te maken van de stijfheid van de orthese, kan deze bij het openen voldoende buigen om de hand eruit te nemen.
- Plaatsing: sluiting iets boven de pink – de sluiting is eenvoudig te bereiken met de andere hand, zonder dat de lip aan de sluiting bij normaal gebruik in de weg zit.

Tabel 5.3.1

De classificatie van de verschillende sluitingen en scharnieren per onderdeel en het eindoordeel.

	Type	Theorie*	Gebruikers*	Vernieuwend†	Realiseerbaar‡	Oordeel§
Sluiting	Klikverbinding	2	1	1	1	1
	In elkaar hakend	1	3	4	5	3
	Op basis van frictie	5	6	3	6	6
	Klittenband	4	2	6	3	4
	Gespen	6	4	5	4	5
	Ander onderdeel	3	5	2	2	2
Scharnier	Combi: geprint	1	—	1	5	3
	Combi: geassembleerd	4	—	3	4	4
	Dichtheden voronoi	2	—	2	3	2
	In elkaar hakend	5	2	5	2	5
	Volledig	3	1	4	1	1
Locatie	Sl: langs duim	—	3	4	1	3
	Sch: langs pink	—	—	—	—	—
	Sl: langs duim	—	2	3	1	2
	Sch: geen	—	—	—	—	—
	Sl: langs pink	—	1	2	2	1
	Sch: geen	—	—	—	—	—
	Sl: rug van de hand	—	4	1	2	4
	Sch: palm van de hand	—	—	—	—	—

Notities.

* De rangschikking op basis van het eindoordeel op grond van de gevonden aanmerkingen naar aanleiding van respectievelijk de literatuur of het gebruiksonderzoek. Alle onderdelen geven de rangschikking (1 t/m 6) weer.

† Geeft aan in welke mate deskundigen potentie en vernieuwing in de sluitmethode zagen. Deze deskundigen zijn:

- A. Fink (XpertClinic, Enschede)
- B. Groenendijk (handtherapeute, Utrecht)
- N. van Leerdam (Ambroise, Enschede)
- J.S. Rietman (Het Roessingh, Enschede)
- Diverse onderzoekers aan UTwente, vakgroep Biomedische Werktuigbouwkunde

‡ Geeft op basis van ervaringen van de auteur met het testen van prototypen hoe reëel de toepassing van de sluiting is.

§ Deze rangschikking is gebaseerd op de vier voorgaande, waarin ieder onderdeel een gelijke weging heeft of het gebruiksonderzoek de doorslag gaf. Er heeft een correctie plaatsgevonden voor de niet-geteste scharniertypen. Bij de scharnieren heeft het onderdeel ‘vernieuwend’ een mindere weging ten opzichte van de andere onderdelen gekregen, omdat er momenteel geen orthesen bestaan met een echt scharnier erin.

De zo verkregen classificatie stemt overeen met het beeld dat uit het onderzoek naar voren kwam.

§5.4 MATERIAAL

Er is geen diepgaand onderzoek beschikbaar naar het gebruik van diverse materialen in deze orthese.

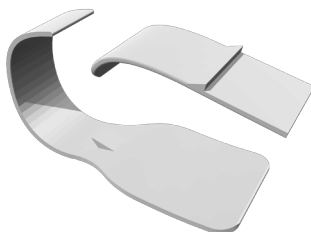
§5.5 KLIKVERBINDING

De verbinding wordt naar aanleiding van het gebruiksonderzoek verder ontwikkeld. Een eerste aanpassing aan het ontwerp van Figuur 3.2.4, is een extra onderdeel om de sluiting te openen. Waar in het eerdere model hiervoor nog een uitstekend gedeelte na verhitting werd omgebogen, is dit onderdeel nu verwerkt in het ontwerp. De opening is met 30 mm –ten opzichte van 5 mm in de oorspronkelijke vorm– ook breder geworden en door de afgeronde hoeken blijft de verbinding

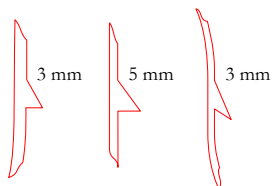
niet te gemakkelijk ergens achter hangen. Ook is de diepte van de weerhaak vergroot, zodat de verbinding dieper in de orthese grijpt, zonder de hand door de orthese te raken.

De verbinding grijpt, zoals in prototype CM10 direct in een opening in de orthese, dit in tegenstelling tot Figuur 3.2.5, waar twee identieke onderdelen in elkaar grijpen.

Dit nieuwe ontwerp is geprint en de achterkant is met de vorm van de orthese meegebogen om het er goed op aan te laten sluiten. Hieruit kwam al snel een verbetering voor de buiging van het onderdeel naar voren. Op basis daarvan is het een nieuw model ontwikkeld, geprint en getest (Figuur 5.5.1). Ook is de vorm van de weerhaak veranderd (Figuur 5.5.2).



Figuur 5.5.1. Door een grotere handgreep verbetert de grip op de sluiting.
Achteraan het eerste model, vooraan het tweede.



Figuur 5.5.2. V.l.n.r.: ontwikkeling van de weerhaak.



Figuur 5.5.3. Een prototype met de nieuwere sluiting langs de pink.

§5.6 OPENING TUSSEN DUIM EN WIJSVINGER

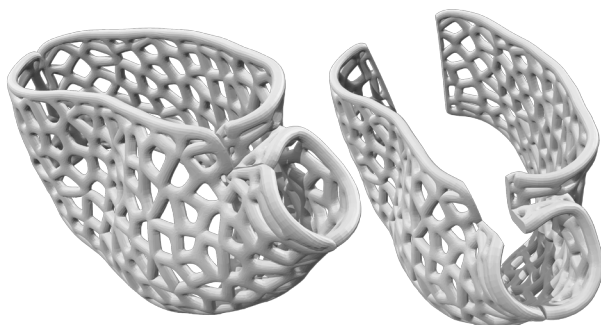
Over de noodzaak om de orthese tussen duim en wijsvinger te openen voor reumapatiënten (Figuur 5.6.1), bestaat enige onduidelijkheid. Terwijl sommigen (J.S. Rietman, Het Roessingh; B. Groenendijk, therapeut) van mening zijn dat de omvang van DIP 1 geen beperkende factor is bij het aantrekken van de orthese, zijn anderen van mening dat dat wel het geval is. Het is een feit dat in ieder geval dat de gewrichten door vochtophoping kunnen opzwellen. Mocht dit vormen aannemen die het aantrekken van de orthese een probleem maken, dan is het openen van de orthese tussen duim en wijsvinger een oplossing.

Theoretisch gezien kan de orthese in plaats daarvan ook aan de buitenkant langs de duim worden geopend, maar uit tests met CM2 bleek de effectiviteit daarvan al beperkt. Wanneer de opening langs de pink is gemaakt, kan een extra opening tussen duim en wijsvinger de orthese eenvoudiger te openen maken.



Figuur 5.6.1. Artrose in een vergevorderd stadium.

Hiervoor bestaat een tweetal opties (Figuur 5.6.2): (1) de verbinding kan geopend worden door een rechte, korte doorsnede die niet hersloten wordt of (2) het onderdeel krijgt een eigen sluiting.



Figuur 5.6.2. De orthese is nu ook tussen duim en wijsvinger geopend. Links de gesloten orthese, rechts een open model. De opties zijn (1) alleen een sluiting langs de pink of (2) een langs zowel de pink als tussen duim en wijsvinger.

OPENEN, NIET SLUITEN

De eerste optie zorgt ervoor dat de verbinding tussen duim en wijsvinger geen doorlopende verbinding is. Op die manier

buigt de orthese in zijn geheel verder open bij het openen van de orthese. Wanneer de orthese de hand van de gebruiker omklemmt, wordt voor het bij elkaar houden van de onderdelen tussen duim en wijsvinger gerekend op de sluiting langs de pink.

OPENEN EN INVOEGEN SLUITING

Mocht de eerste optie onvoldoende steun aan de orthese als geheel bieden, dan kan ook tussen duim en wijsvinger een (klik)verbinding worden toegepast die de dorsale en palmaire zijde van de orthese tegen elkaar klemmt. Het effect is een beter dichtklemmende orthese, maar ook één die minder eenvoudig te openen is. Er moeten immers twee verbindingen worden geopend.

TYPE SLUITING

Er zal meer onderzoek nodig zijn naar het type sluiting wanneer een tweede sluiting in de orthese wordt toegepast. Het gebruiksonderzoek wees de klikverbinding aan als beste optie voor een orthese met één sluiting. Wellicht is een sluiting die niet actief door de gebruiker bediend hoeft te worden beter geschikt voor deze toepassing. In dat geval komt bijvoorbeeld een op frictie gebaseerde sluiting (§3.4) hier van pas.

§5.7 EINDRESULTAAT

Hoewel het voorgaande uit dit hoofdstuk niet met een uitgebreid en solide gebruiksonderzoek als hiervoor is onderzocht, kan hiermee toch een aanzet worden gedaan voor een vervolgstap in de ontwikkeling van de orthese. In Tabel 5.7.1 worden de hiervoor verkregen gegevens kort samengevat.

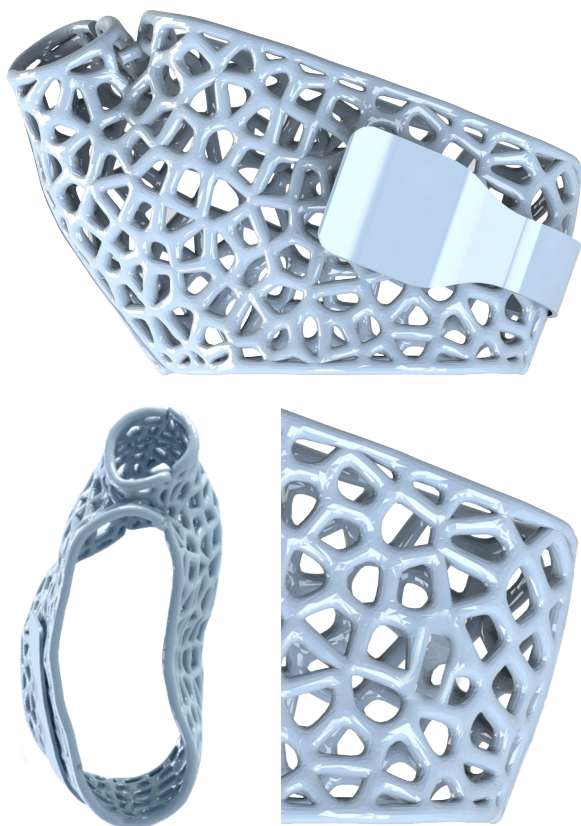
Tabel 5.7.1

Samenvatting van het vervolg op het gebruiksonderzoek.

	Onderdeel	Bevindingen
§5.5	Sluiting	Beter geschikt is een sluiting met een beter ingrijpende weerhaak en een grotere lip voor eenvoudiger openen.
§5.6	Opening duim en wijsvinger	Indien nodig kan de orthese ook tussen duim en wijsvinger worden geopend, al of niet met toepassing van een sluiting.
§5.2	Locatie sluiting	De orthese wordt op de rug van de hand aan pinkzijde geopend, ongeveer ter hoogte van de ringvinger.

Vanuit deze aanzet voor vervolgonderzoek is een laatste model gemaakt. Feitelijk is dit een prototype zoals de voorgaande modellen, maar omdat hiermee dit onderzoek wordt afgelopen, wordt het hierbij het eindmodel genoemd.

Om het mogelijk te maken dit eindmodel op een eenvoudige 3D-printer te printen, is een 3D-model gemaakt waarin de orthese één geheel vormt met de klikverbinding. De verbinding is wat van de rest van de orthese weggebogen (Figuur 5.7.1). Na het printen dient dit onder verhitting verbogen te worden om de klikverbinding effectief te maken. Verder heeft de orthese tussen duim en wijsvinger een opening zonder sluiting gekregen.



Figuur 5.7.1. 3D-render voor het eindmodel van de orthese.
Rechtsonder de opening voor de klikverbinding.

§5.8 WORKFLOW

Om de realisatie van orthesen mogelijk te maken, moet een *workflow* worden ontwikkeld waarbinnen instrumentmakers en/of therapeuten met weinig extra kennis gebruik kunnen

maken van de nieuwe orthesen. Grofweg is deze werkwijze te beschrijven als in Tabel 5.8.1.

Koen Verheijen van Het Roessingh zegt over het printen van therapeutische oplossingen: “[Als een dergelijke oplossing] wordt geadviseerd, dan is dat maat- en precisiewerk. De techniek is voor ons een hulpmiddel, de therapeut weet hoe die gebruikt en geïnterpreteerd moet worden.” Op die manier blijft de instrumentmaker en/of therapeut ook in de toekomst nog een belangrijke taak vervullen, met name in de stappen 1 en 4. Ook Laura Eijsackers van Hanssen Footcare in Haarlem verwacht dat mensen met therapeutische problemen bij de specialist zullen blijven komen.

Tabel 5.8.1

Werkwijze van de productie van de orthesen. In stap 3 en 4 worden de eventuele sluitingen en scharnieren toegevoegd. Waar de instrumentmaker is genoemd, kan ook een behandelend therapeut of andere (para)medicus worden gelezen.

	Onderdeel	Uitvoerende
1	Voorstel	Instrumentmaker in samenspraak met patiënt
2	Scannen	Instrumentmaker, assistent
3	Genereren model	Software
4	Aanpassen	Instrumentmaker m.b.v. software
5	Printen	Uitbesteed, maar via Eyemerger

Notities.

Als het eindmodel in stap 3 of 5 nog niet aan de eisen en wensen voldoet, wordt het proces vanaf stap 3 weer herhaald.

VOORSTEL

De therapeut –een instrumentmaker, plastisch chirurg, revalidatiearts of reumatoloog– stelt op basis van de problemen aan

het gewricht of de gewrichten een orthese voor. In het kader van deze orthese is dat een orthese die het CMC-I- en/of het MCP-I-gewricht volledig fixeert in een bepaalde houding.

De patiënt bepaalt in overleg met de therapeut welk model het best aansluit bij de klachten en het te verwachten ontwikkelingspatroon van die klachten.

SCANNEN

Vanuit het gekozen model wordt de optimale positie en houding van de hand tijdens het scannen aangegeven. Van de hand wordt met een nader te bepalen 3D-scanner een scan gemaakt, die softwarematig tot een *mesh* van de hand wordt samengevoegd. Eventuele fouten die tijdens het scannen zijn opgetreden worden door een assistent geconstateerd en verholpen of er wordt een nieuwe scan gemaakt.

AANPASSEN

Vanuit de kennis van de therapeut kan het 3D-model van de orthese, waar nodig, worden aangepast aan de hand van bepaalde *landmarks* op de handen, zoals een knokkel die extra ruimte nodig heeft. Zo worden drukplekken voorkomen.

GENEREREN MODEL

Vanuit de aangeleverde scan en de parameters voor de persoonlijke aanpassingen voor de patiënt wordt een stereolithografiebestand (STL) gegenereerd.

PRINTEN

Het STL-bestand wordt met de benodigde metagegevens naar de printer gestuurd, waarna het model wordt geprint. Na eventuele assemblage is het gereed voor gebruik door de patiënt, na voorlichting door de therapeut.

§5.9 CONCLUSIE

De onderzoeksvraag bij dit onderzoek was: “Wat is het effect van aanpassingen om de orthese van Eyemerge aan- en uit te trekken op gebruiksgemak en produceerbaarheid?” (§1.4)

Uit het voorgaand onderzoek is gebleken dat de opening van de orthese op de rug van de hand, ter hoogte van de ringvinger en hersluitbaar met een klikverbinding de beste optie hiervoor is. De opening en de verbinding worden voor het printen aan het 3D-model toegevoegd. Zo wordt de functionele orthese in één keer geprint. De precieze aansluiting van de onderdelen in de print dient nog verder te worden onderzocht.

AANBEVELINGEN

Vanuit het hiervoor beschreven onderzoek wordt een aantal aanbevelingen gedaan voor vervolgonderzoek. Op basis van het onderzoek en de daaruit getrokken conclusies, kan de aanbevolen optie van klikverbinding zonder scharnier verder worden onderzocht. Als beginpunt kan Tabel 3.8.1 en Tabel 3.8.2 voor de sluitingen en analoog Tabel 4.7.1 en Tabel 4.7.2 voor de scharnieren worden gebruikt. De conclusies worden in Tabel 5.3.1 getrokken.

Ook wordt verder onderzoek naar de mogelijkheden van de orthese aangeraden. Het volledige PvE (appendix c) kan hierbij worden gebuikt. Zo moet naar het inzicht van de auteur nog onderzoek worden verricht naar de achterliggende medische theorie, de financiële haalbaarheid van de orthese, het uiterlijk ervan, de productiemethode(n) en andere toepassingen.

SLUITING

Voor de klikverbinding is een eerste verbeteringsslag uitgewerkt met een betere weerhaak (Figuur 5.5.2) en een bredere lip (Figuur 5.5.1). Ook tonen Figuur 3.1.9 t/m Figuur 3.1.12 op pag. 39 een heel ander soort klikverbinding. Wellicht biedt dat inzicht nog een geheel nieuwe kijk op de klikverbinding. Zeker Figuur 3.1.12 biedt met de ritssluiting een nieuwe invalshoek.

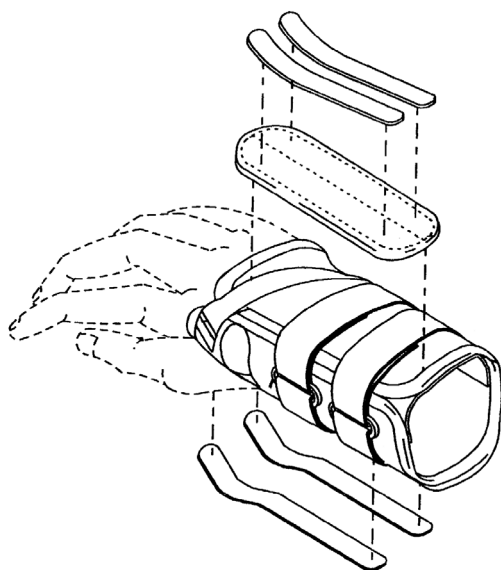
Daarnaast kan het onderzoek uit Hoofdstuk 5 worden uitgebreid met meer testgebruikers en ook patiënten.

SCHARNIEREN

Met de scharnieren is slechts een bescheiden aanzet gemaakt tot een onderzoek dat veel breder kan zijn. De reden daarvoor

was dat het scharnier in deze orthese enkel een ondersteunende functie heeft.

Ook kan het vraagstuk vanuit een totaal andere hoek worden bekeken. Wanneer de orthese als geheel flexibeler is, blijkt in veel gevallen een opening of scharnier overbodig. Om alsnog de gewenste fixatie te bereiken, kunnen *inserts* worden geplaatst (Figuur 6.9.1).



Figuur 6.9.1. Worden meer flexibele materialen toegepast, op cruciale punten verstijfd door middel van inserts, dan kan het ontwerp van de orthese ingrijpend veranderen.

SOFTWARE

Om de sluiting en het scharnier daadwerkelijk in het model te integreren, moeten de onderdelen worden geïntegreerd in het softwaremodel. Dan kan vanaf de scan van een hand met minimale bewerkingen een orthese worden gegenereerd.

MEDISCHE THEORIE

Onder therapeuten en andere behandelaars komt een discussie op gang over de behandeling van de aandoeningen waarvoor de orthese een oplossing biedt (Dickman, 1994; Mentzel, 2001). Kernvraag daarin is of fixatie een gezonde behandelmethode is. Naar het idee van de auteur is het voor de toekomstbestendigheid van de orthese interessant om deze discussie op de voet te volgen en mogelijk de orthese daarnaar aan te passen. Zo zou de orthese uit meer flexibele materialen gemaakt kunnen worden of zouden meer scharnierende onderdelen ingepast kunnen worden om ook tijdens de behandeling de stand van de orthese aan te passen.

Daarnaast kan ook onderzocht worden of de orthese nog beperkt kan worden in omvang. Een groot gedeelte van de orthese (blauw in Figuur 4.2.1 op pag. 83) dient alleen om de fixatie in stand te houden. Wellicht is verkleining van dit gedeelte mogelijk waardoor de vrijheid van de gebruiker wordt vergroot.

FINANCIËLE HAALBAARHEID

Om het product daadwerkelijk te produceren, is het interessant te bepalen wat de daadwerkelijke productiekosten zullen zijn, voor welke prijs het model verkocht zal worden, en of dat vergoed wordt door de verzekeraar. Daarnaast zal de patiënt –als dat nog niet is aangesproken– de eerste € 385 - € 500,- uit het eigen risico moeten betalen.

In gesprekken met (para)medici kwam naar voren dat maatwerkorthesen als deze naar alle waarschijnlijkheid als zodanig vergoed zouden worden, waardoor de mogelijke vraagprijs aanzienlijk hoger zou komen te liggen dan confectieorthesen.

UITERLIJK

In de orthopedie worden vaak veel praktische toepassingen ontwikkeld, soms voor één enkele patiënt. Daardoor sluiten deze goed aan op de behoeften en de behandeling van de patiënt, maar ontbreekt vaak de verfijning in de modellen.

Naar het inzicht van de auteur is het van belang de behandeling centraal te stellen, maar patiënten hebben behoefte aan toepassingen die naast de pijn verlichten of de behandeling in gang zetten, ofwel onzichtbaar zijn, ofwel er mooi uitzien. Dit is bijvoorbeeld terug te zien in Silver Splints, die zich profileren als sieraden.

PRODUCTIEMETHODEN

Het 3D-printen van de orthese –een sterke wens–, biedt meer mogelijkheden dan de opties die tot op dit moment benut zijn. Zo kan de orthese lichter worden gemaakt door holle onderdelen te maken en kan meer functionaliteit in de print worden opgenomen (zoals de extra scharnieren, beschreven in de aanbevelingen rond de behandeling, hiervoor).

TOEPASSINGEN

Tijdens de ontwikkeling van deze orthese zagen verschillende deskundigen op verschillende gebieden mogelijkheden die deze orthese biedt in andere toepassingen. De combinatie van de sluiting en de scharnierende werking van de rest van de orthese biedt mogelijkheden voor toepassing in andere circulaire orthesen, zoals om de arm of om het been.

Daarnaast is de toepassing van 3D-printers in de behandelende orthopedische wereld nog beperkt. Wanneer deze orthese als werkend model in de markt kan worden gezet, zal dat de mogelijke ontwikkeling van vergelijkbare oplossingen voor daadwerkelijke toepassingen ook versnellen.

7

APPENDICES

Om de beperkte van omvang het volledige rapport te waarborgen, is veel achtergrondinformatie in appendices gevat, zonder de leesbaarheid van het verslag *an sich* te beperken.

§7.1 LIJST VAN APPENDICES

- A Planning en realisatie – p. 119
- B Programma van Eisen – p. 123
- C Berekening samenvattende tabellen
- D Overzicht van prototypes – p. 149
- E Vragenlijst voor gebruikstests – p. 151

§7.2 ZIE VERDER

- 8. Glossarium – p. 155
- 9. Bibliografie – p. 165
- 10. Lijst van tabellen – p. 169
- 11. Lijst van figuren – p. 171

A

PLANNING EN REALISATIE

Hoewel de uiteindelijke deadline van het project is geslaagd, heb ik zeker geleerd van bepaalde vertragingen. Mede omdat ik tijdens feestdagen begon met het project (Hemelvaart, 4 en 5 mei, Pinksteren), kostte het in het begin al vrij veel moeite om met de juiste mensen in contact te komen.

Begin ideefase, conceptvorming

Het theorie-onderzoek rondom de noodzaak en het gebruik van orthesen markeerde het begin van het onderzoek. In eerste instantie bestond dit uit door Henk van Dasler aangeleverde artikelen, maar vanuit die artikelen en de kennis die ik in gesprekken met anderen en via informatie op internet opdeed, was ik in staat dit uit te breiden.

Hoewel het onderzoek dat terugkomt in dit verslag maar een zeer kleine greep is uit alle opgedane kennis, heb ik getracht alle relevante onderdelen voldoende uit te werken. In overleg met Edsko Hekman heeft dit verslag zijn huidige vorm gekregen.

Begin: vr 29 april (gepland: za 30 april)

Einde: ma 27 juni

Contact met therapeuten

Het bleek in de praktijk langer te duren voordat contact was gelegd dan verwacht. Hoewel de eerste lijnen al vroeg in het project werden uitgeworpen, leverde dat pas vanaf 14 mei iets concreets op. In eerste instantie was dit het contact met Brenda Groenendijk, maar later ook met onder meer

prof. Rietman (RRD), Alexandra Fink (XpertClinic) en Nils van Leerdam (Ambroise).

Door het late contact had bepaalde informatie minder waarde dan wanneer die in het begin van de opdracht bekend was geworden. In de loop van het project bleek het vroeg gelegde contact wel een voordeel te hebben. Doordat men op de hoogte was van het onderzoek, was het bijvoorbeeld meer dan eens mogelijk om iets geregeld te krijgen.

Begin: za 14 mei (gepland: di 3 mei)

Einde: vr 15 juli (gepland: do 7 juli)

Ontwikkelen fysieke prototypen

Hoewel ik had gehoopt binnen dat er binnen de universiteit voldoende kennis was om mij te helpen met het 3D-printen (waarmee ik in mijn studie geen ervaring had opgedaan), bleek dit in de praktijk slechts beperkt. Met hulp van buitenaf lukte het alsnog om de kennis te vergaren en de eerste prototypes te printen. Toch zijn de uiteindelijke prototypen –vanwege de benodigde tijd en middelen– grotendeels niet 3D-geprint, maar uit thermoplast gevormd. Was dit vanaf het begin gedaan, dan hadden de tests meer met het onderzoek geïntegreerd kunnen worden; nu werden de ideeën en theorieën enkel in de laatste fase van het onderzoek uitgevoerd.

Begin: do 12 mei (gepland: di 10 mei)

Einde: za 25 juni (gepland: di 28 juni)

Gebruikstests

Doordat het printen van de modellen en het contact met therapeuten helaas langer duurde dan verwacht, konden de gebruikstests ook pas met een week vertraging starten. Terugkijkend had ik minder lang op de prints moeten wachten en had ik eerder met andere modellen aan de slag kunnen gaan.

Begin: wo 1 juni (gepland: vr 13 mei)

Einde: za 25 juni (gepland: vr 1 juli)

Afronding verslag

Doordat ik al vanaf de eerste dag in het uiteindelijke verslag werkte, kostte het aan het eind van het project relatief weinig tijd om dit af te ronden. Dankzij het meelesen van verschillende mensen, zowel tijdens het onderzoek als tijdens de afronding ervan, heeft het verslag zijn uiteindelijke kwaliteit kunnen behalen.

Einde: za 2 juli (gepland: ma 22 juli)

Einde onderzoek

Ondanks alle eerder opgelopen vertraging kwam het onderzoek vanaf het doen van het gebruiksonderzoek in een stroomversnelling. Resultaten kwamen binnen, gesprekken met deskundigen werden gevoerd en alle informatie kon worden verwerkt in het verslag. Nadien is een fysiek eindmodel ontwikkeld.

Einde: za 2 juli (gepland: ma 18 juli)

Vervolg

Met het inleveren van dit conceptverslag is formeel een einde gekomen aan het onderzoek. Toch zal in de komende weken het eindmodel nog verder worden ontwikkeld, op kleine schaal getest en verbeterd worden. Daarnaast wordt het verslag waar nodig aangevuld of aangepast en de presentatie gemaakt.

Begin: di 28 juni

Einde: ma 8 augustus

B PROGRAMMA VAN EISEN

Als onderdeel van de bacheloropdracht rondom 3D-geprinte orthesen, is dit programma van eisen opgesteld. Daarin is per actor of *stakeholder* aangegeven welke eisen (*must haves*) er aan de sluiting van de orthese worden gesteld. Deze eisen zijn ingedeeld in de categorieën Gezondheid & hygiëne, Duurzaamheid & produceerbaarheid, Gebruiksgemak (of: Ergonomie), Betaalbaarheid* en Esthetiek*. Niet iedere categorie is op iedere actor van toepassing.

Ieder lid onder iedere categorie wordt kort toegelicht. Waar van toepassing, staat een wens (dat is een niet-vereiste, strictere variant op (een deel van) de eis; *nice to have*) tussen haakjes weergegeven.

* Voor de volledigheid zijn de categorie 'Betaalbaarheid' en 'Esthetiek' toegevoegd. In het ontwerp van de orthese gelden de hier gestelde eisen niet als harde eisen.

§7.3 PATIËNT

GEZONDHEID & HYGIËNE

De sluiting van de orthese belemmert niet de fixatie en fixeert niet meer dan enkel de juiste gewrichten en het goed en veilig functioneren van de sluitingen is duidelijk voor de gebruiker. 4

1. De sluiting van de orthese biedt de gewenste fixatie of inklemming.

- De orthese moet het gewenste gewricht voldoende fixeren of inklemmen;
 - De orthese moet andere dan de bedoelde beweegrichting in het ondersteunde gewricht minimaal (wens: niet) belemmeren;
 - De orthese moet de andere gewrichten een optimale bewegingsvrijheid geven.
In acht nemende:
 - Alles gedurende normale dagelijkse activiteiten waarop de orthese geacht wordt gedragen te worden.
2. De sluiting van de orthese levert geen nieuwe fysieke klachten op.
Bijvoorbeeld (maar niet beperkt tot):
- Het onjuist belasten van gewrichten;
 - Het samendrukken van gewrichten, lichaamsdelen of huid;
 - Het beschadigen van de huid;
 - Het opleveren van ongewenste drukplekken.
3. Het is duidelijk wanneer de orthese goed gesloten is.
Ofwel:
- Door middel van een hoorbare klik wordt de orthese gesloten, en/of
 - Door middel van een voelbare aangrijping wordt de orthese gesloten, en/of
 - De sluiting is visueel controleerbaar, en/of
 - De sluiting sluit niet aan wanneer deze niet correct gesloten is.
4. Het blijft gedurende het dragen duidelijk of de orthese goed gesloten is, *of*: het is tijdens het dragen direct duidelijk als de orthese niet meer goed gesloten is.
In acht nemende:

- Alles gedurende normale dagelijkse activiteiten waarop de orthese geacht wordt gedragen te worden.
5. De sluiting van de orthese wordt niet vies of is eenvoudig schoon te maken.
- Ofwel:
- Er kan zich geen vocht en vuil ophopen aan of rondom de (sluiting van de) orthese, en/of
 - Het vuil kan worden verwijderd door de (sluiting van de) orthese af te wassen.

DUURZAAMHEID & PRODUCEERBAARHEID

De orthese kan (eventueel met enkele aanpassingen) lang genoeg worden gebruikt. 2

1. De sluiting van de orthese kan bij normaal gebruik zijn levensduur uitstaan.
 - De levensduur van het product moet ten minste anderhalf maal de levensduur van de geraamde therapietijd zijn voor 90% van de gebruikers.
2. In veelvoorkomende gevallen van schade aan de sluiting van de orthese, kan dit eenvoudig gerepareerd worden.
 - Defectgevoelige onderdelen zijn vervangbaar verkrijgbaar;
 - Vervangbare onderdelen zijn afzonderlijk verkrijgbaar;
 - De therapeut (wens: patiënt) kan een defectgevoelig onderdeel vervangen.

Defectgevoelige onderdelen zijn die onderdelen die in meer dan 25% van vergelijkbare en realistische situaties beschadigen tot een niveau waarin ze onbruikbaar zijn geworden.

GEBRUIKSGEMAK

Patiënten kunnen de orthese eenvoudig zelf openen en goed hersluiten.

3

1. De orthese is met één hand aan te doen zijn.
Dat wil zeggen: de onbehandelde –en gezonde– hand van de gebruiker:
 - Levert voldoende kracht;
 - Is fysiek in staat de aansluiting te bereiken.
2. De orthese dient ook door gebruikers met reumatische klachten of artrose te bedienen te zijn.
Ofwel:
 - De orthese zoals deze ontwikkeld is, en/of
 - Met behulp van veelgebruikt gereedschap, en/of
 - Met behulp van een bijgeleverd hulpmiddel.*Het ontwerp zal niet daadwerkelijk op deze eis worden getest.*
3. De sluiting van de orthese moet de oorspronkelijke fixatie opnieuw realiseren.
Ofwel:
 - De sluiting moet eenvoudig te bedienen zijn, en
 - Er mag geen twijfel ontstaan over de juistheid van de sluiting.
4. De (sluiting van de) orthese moet prettig aanvoelen.
Vergelijkbaar met de punten van lid 2 van Gezondheid & hygiëne.

BETAALBAARHEID

1. De patiënt maakt voor de behandeling geen directe kosten.
- Dit omvat de kosten voor:
- De orthese;

2

- De uurvergoeding van therapeut en praktijk;
- Door anderen dan de patiënt gemaakte overheadkosten.

ESTHETIEK

De sluiting is niet visueel storend.

I

1. Het ontwerp van de sluiting van de orthese wordt niet als onprettig ervaren.
Ofwel:
 - De sluiting wordt algemeen als visueel aantrekkelijk gewaardeerd, en/of
 - Het uiterlijk van de sluiting van de orthese is aan de wensen van de gebruiker aan te passen, en/of
 - De orthese valt door de sluiting niet extra op bij het dragen.

§7.4 THERAPEUT

GEBRUIKSGEMAK

De therapeut wordt niet in zijn handelen beperkt door de nieuwe oplossing.

3

1. De therapeut kan de orthese zonder veel extra technische kennis aanmeten, voor zover dat de sluiting van de orthese betreft.
Ofwel:
 - De benodigde kennis is voor een gemiddelde therapeut in een cursus van enkele dagdelen aan te leren, en/of
 - De technische zaken worden uitbesteed.

Het ontwerp zal niet daadwerkelijk op deze eis worden getest.

2. De therapeut kan de orthese in relatief weinig tijd aanmeten, voor zover dat de sluiting van de orthese betreft.
 - De aanmeetijd voor de orthese is vergelijkbaar met die van vergelijkbare maatwerkproducten.

Het ontwerp zal mogelijkerwijs niet daadwerkelijk op deze eis worden getest.

3. De therapeut heeft de nodige flexibiliteit in het aanpassen van de sluiting van de orthese.

BETAALBAARHEID

1. De nieuwe methode levert geen extra kosten op voor de therapeut of praktijk, anders dan die worden vergoed door de zorgverzekeraar. 2

§7.5 ZORGVERZEKERAAR

BETAALBAARHEID

1. De maximale verkoopprijs van de orthese is € 350,-. —
De maximale kostprijs ongeveer [€ 200,-].

§7.6 ANDERE ACTOREN

GEZONDHEID & HYGIËNE

De orthese beperkt anderen of andere behandelingen niet. 2

1. De orthese levert geen problemen op in combinatie met andere behandelingen.

De uitvoering hiervan is geen onderdeel van dit onderzoek.

2. Bij het geven van een hand bezeert geen van de betrokken partijen zich.

DUURZAAMHEID & PRODUCEERBAARHEID

De productie berust –indien redelijkerwijs mogelijk– op 3D-printen en is verder zo eenvoudig mogelijk. 5

1. De orthese wordt –indien redelijkerwijs mogelijk– (wens: volledig) geproduceerd met 3D-printen.
2. De sluiting dient zoveel mogelijk in de software te worden geïntegreerd.
 - Er zijn hooguit enkele extra bewerkingsstappen vereist om dit te integreren.

De uitvoering hiervan is geen onderdeel van dit onderzoek.

3. Waar van toepassing en mogelijk, heeft productie in de 3D-printer de voorkeur boven assemblage.

§7.7 OPZET HOUSE OF QUALITY

Vanuit dit Programma van Eisen is een House of Quality opgezet. De ondersteunende informatie daarvoor, is hieronder terug te vinden.

KLANTWENSEN

Op basis van een korte analyse van wie de klant van de orthese is, wordt een basis gelegd voor de eisen waaraan het eindmodel dient te voldoen.

Marktsegment

De orthese behandelt in de huidige vorm klachten in één of twee handgewrichten. Vanwege relatief hoge verkoopprijs (richtprijs € 350) ten opzichte van confectiebraces (vergoeding vaak tot € 50) en de tijd die de productie in beslag neemt, richt het zich op de problemen met een complexere aard waarbij de patiënt baat heeft bij een maatwerkorthese – vaak patiënten met chronische klachten.

Identificatie van klanten

De orthese van Eyemerge richt zich met name op patiënten met klachten van traumatische aard in het CMC-I- en MCP-ge-

wricht, zowel als patiënten met artrose in het CMC-I-gewricht. De orthese is het meest geschikt voor patiënten met chronische klachten.

Andere stakeholders in het project zijn als zodanig benoemd in voorgaande analyse.

Gebruiksonderzoek

Het in Hoofdstuk 3 en Hoofdstuk 4 beschreven kwalitatief gebruiksonderzoek ligt ten grondslag aan deze analyse en is gedurende het project voortdurend uitgevoerd om nieuwe modellen te testen en snel terugkoppeling op ontwerpkeuzes te krijgen vanuit de doelgroep. Vanuit deze onderzoeken en bijbehorende interviews zijn de eisen opgesteld. Deze eisen zijn in het voorgaande van deze appendix te vinden.



Figuur 7.7.1. Het testen van een handbrace met klikverbinding (CM008).

AANVULLENDE EISEN

Naast de eisen en wensen van de klant, spelen ook onder meer de therapeut en de zorgverzekeraar een rol in het ontwerp en de uitvoering van de orthese. De eisen en wensen van deze en andere actoren zijn vermeld onder de respectievelijke paragrafen.

Voor de volledigheid is hierna de lijst met alle eisen opgenomen:

1. De sluiting van de orthese belemmert niet de fixatie en fixeert niet meer dan enkel de juiste gewrichten en het goed en veilig functioneren van de sluitingen is duidelijk voor de gebruiker.
2. De orthese kan (eventueel met enkele aanpassingen) lang genoeg worden gebruikt.
3. Patiënten kunnen de orthese eenvoudig zelf openen en goed hersluiten.
4. De patiënt maakt voor de behandeling geen directe kosten.
5. De sluiting is niet visueel storend.
6. De therapeut wordt niet in zijn handelen beperkt door de nieuwe oplossing.
7. De nieuwe methode levert geen extra kosten op.
8. De maximale verkoopprijs van de orthese is € 350,-.
9. De orthese beperkt anderen of andere behandelingen niet.
10. De productie berust –indien redelijkerwijs mogelijk– op 3d-printen en is verder zo eenvoudig mogelijk.

WAARDERING BELANG VOOR DE KLANT

Voor de verdere HoQ-analyse wordt een aantal wensen buiten gelaten. De eisen en wensen onder Gezondheid & Hygiene (G&H), Duurzaamheid & Productie (D&P), Gezondheid (G), Betaalbaarheid (B) en Esthetiek (E) zijn samengevat per onderdeel en in rood weergegeven. Deze zinnen zijn de basis van deze analyse. Dit zijn enkel eisen; wensen zijn hierin niet gespecificeerd.

Iedere eis krijgt een waardering op basis van de volgende vragen:

- Hoe zou u de *afwezigheid* van dit onderdeel waarderen?
- Hoe zou u de *aanwezigheid* van dit onderdeel waarderen?

Het antwoord op deze vraag vanuit het oogpunt van de betreffende actor wordt ingedeeld in vijf categorieën (Tabel 7.7.2), te weten: (zeer) (on)prettig of neutraal.

Om tot een absolute waardering per eis of wens te komen, wordt vervolgens een paarsgewijze analyse van de belangen gedaan (Tabel 7.7.3). Daarin wordt iedere wens uitgezet tegen iedere andere. Het resultaat wordt samengevat in een absolute klantwaardering, die daarna teruggeschaald wordt naar een relatieve waardering tussen 1 en 5.

Tabel 7.7.1

De waardering van iedere actor voor elke samengevatte eis.

		Onderdeel	Waardering
1	Patiënt	G&H	Basisbehoefte
2		D&P	Irrelevant
3		G	Basisbehoefte
4		B	Irrelevant
5		E	Irrelevant
6	Therapeut	G	Basisbehoefte
7		B	Basisbehoefte
8	Zorgverzekeraar	B	Irrelevant
9	Andere actoren	G&H	Basisbehoefte
10		D&P	Irrelevant

Tabel 7.7.2

De mogelijkheden voor persoonlijke resultaten van de klantwaardering.

Indien niet aanwezig

		ZP	P	N	O	ZO
Indien aanwezig	ZP	?	I	E	E	P
	P	I	?	I	I	B
	N	RE	I	?	I	B
	O	RE	I	I	?	I
	ZO	RP	RB	RB	I	?

Notities.

ZP Zeer prettig

P Prettig

N Neutraal

O Onprettig

ZO Zeer onprettig

P Prestatiebehoefte TP Tegengestelde van P

B Basisbehoefte TB Tegengestelde van B

E Enthousiasmebehoefte TE Tegengestelde van E

I Indifference, onverschillig ? Inconsistent

Tabel 7.7.3

Paarsgewijze analyse per samengevatte eis en de relatieve waarde per eis.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	rel
1	1	5	5	3	9	3	7	7	1	7	3
2	1/5	1	1/5	1	3	1	3	3	1/5	5	1
3	1/5	5	1	5	7	1	1	1/7	1/7	3	2
4	1/3	1	1/5	1	3	3	1	1	1/9	5	1
5	1/9	1/3	1/7	1/3	1	1/7	1/3	1/3	1/9	1/3	0
6	1/3	1	1	1/3	7	1	5	3	1/3	7	2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	rel
7	1/7	1/3	1	1	3	1/5	1	1	1/7	3	1
8	1/7	1/3	7	1	3	1/3	1	1	1/9	3	1
9	1	5	7	9	9	3	7	9	1	7	4
10	1/7	1/5	1/3	1/5	3	1/7	1/3	1/3	1/7	1	0

Notities.

- 1 Gelijke waarden 7 Regel is zeer favoriet; belangrijk
3 Regel enigszins favoriet 9 Regel is extreem belangrijk
5 Regel is favoriet / Inverse

Voor de berekening van de relatieve belangen per rij is de volgende formule gehanteerd:

$$\frac{\text{afroonden}((\text{waarde} - \text{laagste}) / ((\text{hoogste} - \text{laagste}) / 4) + 1)}{\text{afroonden}((x - 3,4) / ((65 - 3,4) / 4) + 1)}$$

WAARDERING VAN KLANT VOOR CONCURRENTIE

Er bestaan diverse oplossingen om bewegingen in de gewrichten CMC 1 en/of MCP 1 te fixeren, beperken of ondersteunen. Vanuit dat standpunt wordt een brede concurrentieanalyse verricht. Grofweg zijn de bedrijven in de volgende categorieën in te delen:

- Confectiespalken – op voorraad gemaakte modellen, eventueel in verschillende maten en vaak met enkele aanpassingsmogelijkheden.
- Maatwerkspalken – een voor één patiënt specifiek geproduceerde spalk, vaak op basis van een algemeen maar aanpasbaar model.
- *Silver splints* – deze vorm van oplossingen bestaat uit zowel (door de therapeut enigszins aangepaste) confectiemodellen als nauwkeurige maatwerkorthesen.

De waardering van de klant voor deze diverse bedrijven is voor de relevante eisen per hiervoor opgestelde behoefte uitgewerkt in Tabel 7.7.4.

Tabel 7.7.4

Waardering van de klant voor de concurrentie met schaal 1 t/m 5

Eis	Confectie	Maatwerk	Silver Splints	Eyemerge
1	2	3	5	4
2	1	2	5	3
3	2	2	4	5
5	2	1	5	4
9	2	2	4	4

TECHNISCHE OMSCHRIJVINGEN

Voor iedere relevante eis of wens wordt een technische omschrijving geformuleerd. Ook wordt de verbeteringsrichting aangegeven – dient de eigenschap gemaximaliseerd of geminimaliseerd te worden?

1. Aantal onnodig gefixeerde gewrichten (n , minimaliseren)
2. Levensduur (maanden, maximaliseren)
3. Benodigde kracht om te openen (N , minimaliseren)
4. Kosten (€, minimaliseren)
5. Omvang van de sluiting (mm^3 , minimaliseren)
7. Zie [4].
8. Zie [4].

HOUSE OF QUALITY

De verdere analyse is uitgevoerd in het House of Quality (Tabel 2.4.1 op pag. 26). Dit bestaat uit de relatiematrix, de moeilijkheidsgraad, doelwaarden voor technische omschrijvingen, de correlatiematrix en de absolute en relatieve prio-

riteit. De technische concurrentieanalyse is uitgevoerd na de bepaling van de moeilijkheidsgraad, maar wordt vanwege zijn omvang aan het einde van deze appendix toegelicht.

Relatiematrix

In de relatiematrix wordt de relatie tussen de wensen en eisen en de technische omschrijvingen beschreven. Deze waardering valt uiteen in vier categorieën: *geen*, *zwak*, *gemiddeld* of *sterk*.

Moeilijkheidsgraad

De organisatorische moeilijkheidsgraad per technische eis wordt weergegeven op een schaalverdeling van 1 tot 5: *(zeer) eenvoudig*, *neutraal* of *(zeer) moeilijk*.

Doelwaarden voor technische omschrijvingen

Iedere technische omschrijving krijgt een kwantitatief doel.

Correlatiematrix

De onderlinge impact van de technische omschrijvingen wordt in het dak van het House of Quality aangegeven om fysische tegenstrijdigheden tegen te gaan. De vier mogelijkheden zijn hier: *(sterk) positief* en *(sterk) negatief*.

Absolute en relatieve prioriteit

Uit de som van het product van iedere waarde uit de relatiematrix en de waardering van het belang van de klant wordt de relatieve prioriteit uitgedrukt in een percentage.

TECHNISCHE CONCURRENTIEANALYSE

In de drie eerder opgestelde categorieën –confectie, maatwerk en silver splints– worden de diverse modellen in deze concurrentieanalyse ingedeeld. De technische eigenschappen van de

modellen op basis van voorgaande technische omschrijvingen zijn uitgezet in Tabel 7.7.5.

Confectiespalken

Er is een keur aan confectiespalken beschikbaar. Deze modellen van merken als Actimove, Collum, RhizoLoc (Figuur 7.7.2). Vaak wordt met aluminium onderdelen de fixatie gerealiseerd. Dit aluminium is te verbuigen om de gewenste fixatie te bereiken. Enkele merken bieden orthesen uit orthoplast die naar de hand van de patiënt kunnen worden aangepast (Figuur 7.7.3). Verder is de spalk te openen en te sluiten met behulp van sluitingen van klittenband. Met poriën of grotere openingen in de brace wordt voorkomen dat de hand te warm of klam wordt.



Figuur 7.7.2. Confectiespalken. V.l.n.r.: Actimove Rhizo Forte, winnaar van de Reddot ontwerpwedstrijd, Collum Thumb Brace, RhizoLoc



Figuur 7.7.3. Aanpasbare confectiebrace van Ortho-line.

Maatwerkspalken

Soms kunnen klachten worden opgelost door (kleine aanpassingen aan) confectiespalken, maar in bepaalde gevallen kan een (para)medisch specialist een maatwerkorthese voorschrijven. In zo'n geval wordt de orthese grotendeels met de hand vervaardigd door een instrumentmaker, vaak uit thermoplast, gips of glasvezel (Figuur 7.7.4). Daarvoor wordt eerst de maatopname gedaan, veelal door middel van een gipsmodel of maatname van het betreffende lichaamsdeel. De definitieve afwerking vindt plaats bij aflevering. Eenvoudige spalken kunnen direct in bijzijn van de patiënt worden ontwikkeld, maar bij meer complexe toepassingen zit er meer tijd tussen de maatopname en de aflevering.

Met name bij chronische klachten biedt een maatwerkorthese de mogelijkheid het hulpmiddel beter op de klant af te stemmen, waardoor drukplekken worden voorkomen en de orthese vaak zo effectief mogelijk kan zijn.



Figuur 7.7.4. Maatwerkorthese uit thermoplast van Merivale Hand Clinic.

Silver splints

Uit zilver kunnen orthesen worden vervaardigd voor patiënten met chronische aandoeningen aan vinger-, hand- en polsgewrichten. De orthesen kunnen worden gedragen bij normaal dagelijks functioneren, maar behouden hun fixerende functie. De voordelen ten opzichte van traditionele orthesen zijn de afwezigheid van textiel en de mindere beperking van andere gewrichten. Veel patiënten ervaren de als 'sieraden'

gepromote spalken ook als zodanig. De orthesen kunnen als confectiemodellen worden geleverd, maar zijn met eenvoudig gereedschap aan te passen.



Figuur 7.7.5. Silver splint voor fixatie van het PIP-2-gewricht.

Tabel 7.7.5

Samenvatting van de technische eigenschappen per model van de concurrentie en een waardering van iedere eis (1 (zeer slecht) tot 5 (uitmuntend); de genoemde opties bestrijken niet altijd het volledige spectrum).

De tabel is bijgewerkt om de laatste informatie over de orthese van EyemergeE erin te verwerken. Let op: de tabel loopt door op de volgende pagina's.

Eis	Confectie	Maatwerk	Silver splints	EyemergeE
1	2	3	5	4
Confectie – Afhankelijk per model worden veel tot enkele gewrichten te veel gefixeerd. Maatwerk – De orthese wordt zo gemaakt, dat overbodige fixatie van gewrichten wordt geminimaliseerd. Silver splints – Door het minimalistisch karakter van de modellen worden vaak niet meer gewrichten dan nodig gefixeerd. Eyemerge – Hoewel de hele hand wordt omvat, is de ongewenste fixatie van te veel gewrichten beperkt tot enkele middenhandsbeentjes.				

Eis	Confectie	Maatwerk	Silver splints	Eyemerge
2	1	2	5	3
	Confectie – De houdbaarheid van de orthese laat door het gebruik van textiel vaak te wensen over. Ook de klittenbandsluitingen hebben een beperkte levensduur en moeten soms na verloop van tijd worden vergangen. Wel zijn de orthesen vaak goed te wassen. Maatwerk – Afhankelijk van het gebruikte materiaal voor de orthese en de sluiting ervan is het model vaak redelijk goed schoon te maken, al wordt het tijdens gebruik snel vies. Silver splints – Los van wat mogelijke ophoping van afscheiding van de huid, blijven de orthesen vrij schoon. Kunnen met heet water gereinigd worden. Eyemerge – De geprinte orthese heeft veel openingen om de vocht- en vuilophoping te minimaliseren en kan gemakkelijk afgedaan en gewassen worden.			
3	2	2	4	5
	Confectie – De orthese is vaak eenvoudig te openen, maar niet op de juiste manier te hersluiten; men is geneigd klittenband te strak aan te trekken. Maatwerk – Vaak zijn orthesen relatief goed te openen, maar gaat de exacte fixatie verloren bij het opnieuw sluiten. Silver splints – Met enige kracht kunnen de ringen worden afgeschoven. Zolang deze niet verbuigen, is de fixatie constant. Eyemerge – De orthese is te openen en daarna weer exact op de juiste manier te sluiten.			

Eis	Confectie	Maatwerk	Silver splints	Eyemerge
5	2	1	5	4
Confectie – Hoewel de sluiting van vergelijkbaar materiaal met de rest van de orthese is gemaakt, zijn de banden niet weggewerkt en maken de orthese plaatselijk nog dikker. Maatwerk – Sluitingen zijn vaak goed benaderbaar, maar daardoor niet weggewerkt. Regelmatig zijn ze van een afstekende kleur. Silver splints – Er zijn geen sluitingen. Eyemerge – De klikverbinding is relatief onopvallend weggewerkt in het ontwerp van de orthese.				
9	2	2	4	4
Confectie – In het dagelijks gebruik zit het materiaal of de vorm van de orthese de gebruiker of anderen gemakkelijk in de weg. Maatwerk – Vergelijkbaar met confectie. Silver splints – De meeste toepassingen zijn dicht op de huid toegepast en nemen daardoor relatief weinig ruimte in beslag. Eyemerge – De orthese sluit goed aan om de huid en neemt niet veel meer ruimte in dan nodig. De sluiting ondersteunt die doelen.				

§7.8 ANALYSE HOUSE OF QUALITY

Uit het House of Quality zijn bepaalde conclusies te trekken over de nadruk bij de (door)ontwikkeling van de orthese van Eyemerge.

- Centraal in het ontwerp staat de afweging tussen eenvoudig gebruik en een kleine sluiting.

- Een spanningsveld ontstaat bij de ontwikkeling van de orthese tussen de kracht die de gebruiker nodig heeft om de orthese te openen en de omvang van de sluiting. Afzonderlijk hebben deze twee sterk met elkaar in tegenspraak zijnde eisen een lage organisationele moeilijkheid.
- De verhoging van de levensduur en de minimalisatie van de benodigde kracht om de orthese te openen of te sluiten, werken in elkaars voordeel.
- De kosten zijn vaak een beperkende factor, maar dat onderdeel speelt overwegend op bij eisen met een laag relatief belang.
- De orthese van Eyemerge doet op geen enkele eis onder voor confectiespalken of handgemaakte maatwerkorthesen. Hoewel silver plints niet altijd toepasbaar zijn, scoren die op bepaalde onderdelen even hoog of hoger, zo ook op eis 1 (geen onnodige fixatie). Wel gaat het aan- en afdoen van de orthese van Eyemerge gemakkelijker.

C

BEREKENING SAMENVATTENDE TABELLEN

In en zijn diverse tabellen weergegeven om informatie uit het onderzoek samen te vatten. Aan de hand van de beoordeling van iedere sluit- en scharniermethode wordt uiteindelijk een classificatie opgesteld. De berekening van deze beoordelingen is uitgewerkt in deze appendix.

De tabellen beginnen op de volgende pagina.

Tabel 7.8.1

Berekening van de waarden die ten grondslag liggen aan Tabel 3.8.1 op pag. 72. De paragrafen geven aan welke sluitmethode het betreft. De getallen 10 tot 1 geven de vermenigvuldigingsfactor weer. Voor iedere waarde is gegeven: de waarde op een schaal van 0 tot 1, de eventuele omrekening door het aftrekken van de verkregen waarde van 1 en het resultaat na vermenigvuldiging met de gegeven factor per kolom. Voor een volledige beschrijving, zie de notities bij Tabel 3.8.1.

x	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
§3.2	1	$\frac{1}{2}$	1	1	1	$\frac{2}{3}$	0	0	0	$\frac{2}{3}$	
	—	—	—	0	—	$\frac{1}{3}$	1	1	1	—	
§3.3	10	$4\frac{1}{2}$	8	0	6	$1\frac{2}{3}$	4	3	2	$\frac{2}{3}$	40
	1	1	$\frac{1}{2}$	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{2}$	0	0	$\frac{1}{3}$	
§3.4	—	—	—	1	—	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	1	1	—	
	10	9	4	7	3	$1\frac{2}{3}$	2	3	2	$\frac{1}{3}$	42
§3.5	$\frac{1}{2}$	1	0	0	1	1	1	0	0	$\frac{1}{3}$	
	—	—	—	1	—	0	0	1	1	—	
§3.6	5	9	0	7	6	0	0	3	2	$\frac{1}{3}$	32
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	0	1	$\frac{2}{3}$	0	$\frac{1}{2}$	1	1	
§3.7	—	—	—	1	—	$\frac{1}{3}$	1	$\frac{1}{2}$	0	—	
	5	$4\frac{1}{2}$	0	7	6	$1\frac{2}{3}$	4	$1\frac{1}{2}$	2	1	33
§3.8	$\frac{1}{2}$	1	1	0	0	1	1	1	1	1	
	—	—	—	1	—	0	0	0	0	—	
§3.9	5	9	8	7	0	0	0	0	0	1	30
	$\frac{1}{2}$	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	0	$\frac{1}{2}$	0	$\frac{1}{3}$	
§3.10	—	—	—	$\frac{1}{2}$	—	$\frac{2}{3}$	1	$\frac{1}{2}$	1	—	
	5	9	4	$3\frac{1}{2}$	3	$3\frac{1}{3}$	4	$1\frac{1}{2}$	2	$\frac{1}{3}$	36
	Herhaalbaarheid	Levensduur	Terugkoppeling	Beschadigen	Afwerking	Omvang	Nabewerking	Extra componenten	Produceerbaarheid	Bekendheid	Beoordeling

Tabel 7.8.2

Berekening van de waarden die ten grondslag liggen aan Tabel 3.8.2 op pag. 76. De paragrafen geven aan welke sluitmethode het betreft. De getallen 5 tot 1 en 6 geven de vermenigvuldigingsfactor weer. Voor iedere waarde is gegeven: de waarde op een schaal van 0 tot 1, de eventuele omrekening door het aftrekken van de verkregen waarde van 1 en het resultaat na vermenigvuldiging met de gegeven factor per kolom. Voor een volledige beschrijving, zie de notities bij Tabel 3.8.1 en Tabel 3.8.2.

x	5	4	3	2	1	6	
§3.2	1	$\frac{3}{5}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{4}$	7	
	—	$\frac{2}{5}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{3}$	—	—	
§3.3	5	$1\frac{3}{5}$	2	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{4}$	42	55,5
	$\frac{1}{2}$	$\frac{2}{5}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	6	
	—	$\frac{3}{5}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	—	—	
§3.4	$2\frac{1}{2}$	$2\frac{2}{5}$	2	$1\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	36	44,7
	0	$\frac{2}{5}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{2}{3}$	0	5	
	—	$\frac{3}{5}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{3}$	—	—	
§3.5	0	$2\frac{2}{5}$	2	$\frac{2}{3}$	0	30	35,1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{2}{5}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{3}{4}$	6	
	—	$\frac{3}{5}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	—	—	
§3.6	$2\frac{1}{2}$	$2\frac{2}{5}$	2	$1\frac{1}{3}$	$\frac{3}{4}$	36	45,0
	1	$\frac{4}{5}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{3}{4}$	6	
	—	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	—	—	
§3.7	5	$\frac{4}{5}$	1	$\frac{2}{3}$	$\frac{3}{4}$	36	44,2
	1	$\frac{2}{5}$	1	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{4}$	6	
	—	$\frac{3}{5}$	0	$\frac{1}{3}$	—	—	
	5	$2\frac{2}{5}$	0	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{4}$	36	39,3
	Betrouwbaarheid	Benodigde kracht	Snelheid aantrekken	Snelheid afdoen	Herkenbaarheid	Gebruikersoordeel	Beoordeling

Tabel 7.8.3

Berekening van de waarden die ten grondslag liggen aan Tabel 4.7.1 op pag. 92. De paragrafen geven aan welke scharniermethode het betreft. De getallen 7 tot 1 geven de vermenigvuldigingsfactor weer. Voor iedere waarde is gegeven: de waarde op een schaal van 0 tot 1, de eventuele omrekening door het aftrekken van de verkregen waarde van 1 en het resultaat na vermenigvuldiging met de gegeven factor per kolom. Voor een volledige beschrijving, zie de notities bij Tabel 3.8.1.

x	7	6	5	4	3	2	1	
§4.2	1	0	0	0	1	0	0	25
	—	1	1	1	0	1	1	
§4.2	7	6	5	4	0	2	1	18
	$\frac{2}{3}$	0	0	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
	—	1	1	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	
§4.3	$4\frac{1}{5}$	6	5	0	$1\frac{1}{2}$	1	0	23
	$\frac{1}{3}$	0	0	0	0	0	0	
	—	1	1	1	1	1	1	
§4.4	$2\frac{1}{3}$	6	5	4	3	2	1	15
	$\frac{2}{3}$	1	$\frac{1}{2}$	0	$\frac{1}{2}$	0	0	
	—	0	$\frac{1}{2}$	1	$\frac{1}{2}$	1	1	
§4.5	$4\frac{1}{5}$	0	$2\frac{1}{2}$	4	$1\frac{1}{2}$	2	1	19
	1	0	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	
	—	1	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
	7	6	0	2	$1\frac{1}{2}$	1	1	
	Werkings	Losraken helften	Omvang	Produceerbaarheid	Productiekosten	Nabewerking	Extra componenten	Beoordeling

Tabel 7.8.4

Berekening van de waarden die ten grondslag liggen aan Tabel 4.7.2 op pag. 94. De paragrafen geven aan welke scharniermethode het betreft. De getallen 5 tot 1 en 6 geven de vermenigvuldigingsfactor weer. Voor iedere waarde is gegeven: de waarde op een schaal van 0 tot 1, de eventuele omrekening door het aftrekken van de verkregen waarde van 1 en het resultaat na vermenigvuldiging met de gegeven factor per kolom. Voor een volledige beschrijving, zie de notities bij Tabel 3.8.1 en Tabel 3.8.2.

x	5	4	3	2	1	6	
§4.4	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{5}$	1	0	$\frac{2}{3}$	6	
	—	$\frac{4}{5}$	0	1	—	—	
	$2\frac{1}{2}$	$3\frac{1}{5}$	0	2	$\frac{2}{3}$	36	44
§4.5	1	0	0	0	0	7	
	—	1	1	1	—	—	
	5	4	3	2	0	42	56
	Betrouwbaarheid	Benodigde kracht	Snelheid aantrekken	Snelheid afdoen	Herkenbaarheid	Gebruikersoordeel	Beoordeling

D

OVERZICHT PROTOTYPES

Gedurende de ontwikkeling van het uiteindelijke model, is een aantal prototypen gemaakt. In Tabel 7.8.5 zijn deze kort omschreven.

Tabel 7.8.5

Eigenschappen van de gemaakte prototypes.

Volg- nummer*	Beschrijving	Gebr. [†]
CM1	Uit niet verder gespecificeerde kunststof (wit), geen specifieke bevestigingsmethode of scharnier	O
CM2	Uit PLA (goud), geen specifieke bevestigingsmethode of scharnier	O
M3 (1)	Uit niet verder gespecificeerde kunststof (wit), band en klittenband als bevestigingsmethode	O
CM4	Uit metaaldraad	A
5	Uit hout, diverse bevestigingsmethoden, geen scharnier	A
CM6	Uit gipsverband, geen specifieke bevestigingsmethode of scharnier, wel opengewerkt	A
CM7 (8)	Uit Polyfex [‡] (wit), diverse bevestigingsmethoden en scharnieren	A
CM8 (7)	Uit Polyfex [‡] (wit), diverse bevestigingsmethoden en volledig scharnier	B

Volg-nummer*	Beschrijving	Gebr. [†]
CM9	Uit Polyfex [‡] (wit), diverse bevestigingsmethoden en volledig scharnier	C
CM10	Uit Polyfex [‡] (wit), diverse bevestigingsmethoden; geen scharnier	D
CM11	Uit Polyfex [‡] (wit), klikverbinding; geen scharnier	A
CM12	Uit Polyfex [‡] (wit), klikverbinding; geen scharnier	A
CM13	Uit Polyfex [‡] (wit), klikverbinding; geen scharnier	A
CM14	Uit Polyfex [‡] (wit), klikverbinding; geen scharnier	A

Notities.

* Voor toelichting fixatiemogelijkheden, zie Tabel 2.5.1 op pag. 28. Een getal tussen haken achter het volgnummer, geeft aan als welk prototype het model in eerste instantie heeft gefungeerd.

† De gebruikers voor wie het prototype is ontwikkeld, zijn aangegeven met een letter. De testpopulatie bestaat uit een mix van mannen en vrouwen.

‡ Polyflex (voluit: Splinting Polyflex 11) is de handelsnaam van een thermoplast voor toepassing in orthesen.

E

VRAGENLIJST GEBRUIKSTEST

Hoewel de gebruikstests bestaan uit kwalitatief onderzoek, is gebruik gemaakt van vragenlijsten om het gesprek op gang te brengen en alle onderdelen te bespreken. Hieronder zijn de twee gebruikte vragenlijsten (sluitingen en scharnieren) opgenomen.

§7.9 SLUITINGEN

Dank u voor uw deelname aan deze test. Geef per sluiting (A t/m F) aan in hoeverre u het met de zeven stellingen eens bent (schaal 1-10; '–' voor niet van toepassing). De letters tussen haken achter iedere stelling zijn voor administratiedoeleinden; u hoeft hier geen aandacht aan te schenken.

1. De orthese zit prettig. (P,GH)

A	_____	B	_____	C	_____
D	_____	E	_____	F	_____

2. Het is duidelijk hoe de sluiting werkt. (P,GH)

A	_____	B	_____	C	_____
D	_____	E	_____	F	_____

3. Het is mij duidelijk wanneer de orthese goed is gesloten. (P,GH)

A	_____	B	_____	C	_____
D	_____	E	_____	F	_____

4. Ik kan de orthese zelf eenvoudig openen. (P,G)

A	_____	B	_____	C	_____
D	_____	E	_____	F	_____

5. De sluiting zit mij in de weg. (P,G; P,E)

A	_____	B	_____	C	_____
D	_____	E	_____	F	_____

6. Het openen van de orthese is prettig. (P,E)

A	_____	B	_____	C	_____
D	_____	E	_____	F	_____

7. Ik denk dat de sluiting van de orthese mij niet onnodig beperkt. (A,GH)

A	_____	B	_____	C	_____
D	_____	E	_____	F	_____

8. Overige opmerkingen (gebruik achterzijde voor meer ruimte):

A	_____
B	_____
C	_____
D	_____
E	_____
F	_____

9. Ik geef op basis van bovenstaande de orthese als eindcijfer een ... (I-10)

A	_____	B	_____	C	_____
D	_____	E	_____	F	_____

§7.10 SCHARNIEREN

Bedankt dat u wilt deelnemen aan deze test! Geef per scharnier (A en B) aan in hoeverre u het met de zeven stellingen eens

bent (schaal 1-10; ‘-’ voor niet van toepassing). De letters tussen haken achter iedere stelling zijn voor administratiedoeleinden; u hoeft hier geen aandacht aan te schenken.

1. De orthese zit prettig. (P,GH)

A _____ B _____

2. Het is duidelijk hoe het scharnier werkt. (P,GH)

A _____ B _____

3. Het is mij duidelijk wanneer het scharnier goed werkt. (P,GH)

A _____ B _____

4. Ik kan de orthese zelf eenvoudig openen. (P,G)

A _____ B _____

5. Het scharnier zit mij in de weg. (P,G; P,E)

A _____ B _____

6. Het openen van de orthese is prettig. (P,E)

A _____ B _____

7. Ik denk dat het scharnier van de orthese mij niet onnodig beperkt. (A,GH)

A _____ B _____

8. Overige opmerkingen (gebruik achterzijde voor meer ruimte):

A _____ B _____

9. Ik geef op basis van bovenstaande de orthese als eindcijfer een ... (1-10)

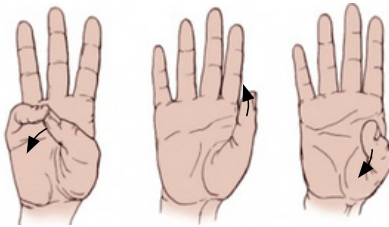
A _____ B _____

8

GLOSSARIUM

§8.1 GEWRICHTEN & ONDERDELEN HAND

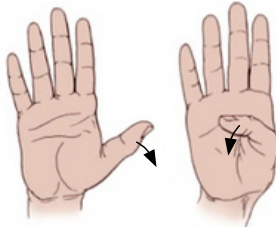
Om inzicht te krijgen in de terminologie die in dit verslag en in het vakgebied wordt gebruikt, volgt hierna een kort overzicht van enkele termen rondom handgewrichten. Zie ook Figuur 1.4.1 op pag. 15.



Oppositie

Adductie

Abductie



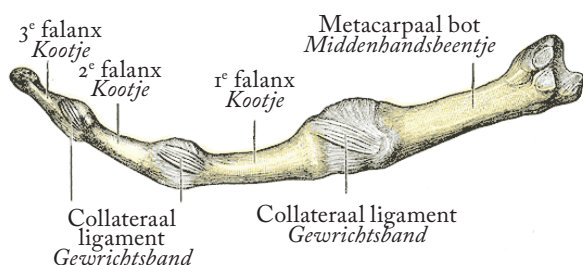
Extensie

Flexie

Figuur 8.1.1. Duimbewegingen en -posities.

Afk.	Volledige naam	Omschrijving
art. <i>x</i>	Articulus, -latio	Gewrichten:
	Art. sphaeroidea	Kogelgewricht
	Condyloide	Ellipsvormig gewr.
	Art. sellaris	Zadelgewricht
	Art. ginglymus	Scharniergewricht
	Art. trochoidea	Rolgewricht
		Zie ook Figuur 4.4.1 op pag. 87
CMC	Carpometacarpaal gewricht <i>Articuli carpometacarpii</i>	Het vingergewricht boven de pols
dig. <i>n</i>	Digitus I t/m v	De vingers:
		I Duim
		II Wijsvinger
		III Middelvinger
		IV Ringvinger
		V Pink
DIP	Distaal interfalangeaal gewricht <i>Articulus interphalangicus distalis</i>	Het gewricht tussen het bovenste kootje en het middelste (of onderste bij de duim); eindkootje
MC	Midcarpaal	Het onderste handgewricht; de handwortelbeentjes
MCP	Metacarpofalangeaal gewricht <i>Articulatio metacarpophalangea</i>	Het gewricht onder de knokkels; vingerbasisgewricht

Afk.	Volledige naam	Omschrijving
PIP	Proximaal interfalangeale gewricht <i>Articulus interphalangeicus proximalis</i>	Het tweede vingergewricht vanaf boven geteld (niet aanwezig in de duim)
–	Thenar	Muis van de hand



Figuur 8.1.2. Overige namen van onderdelen in de vinger.

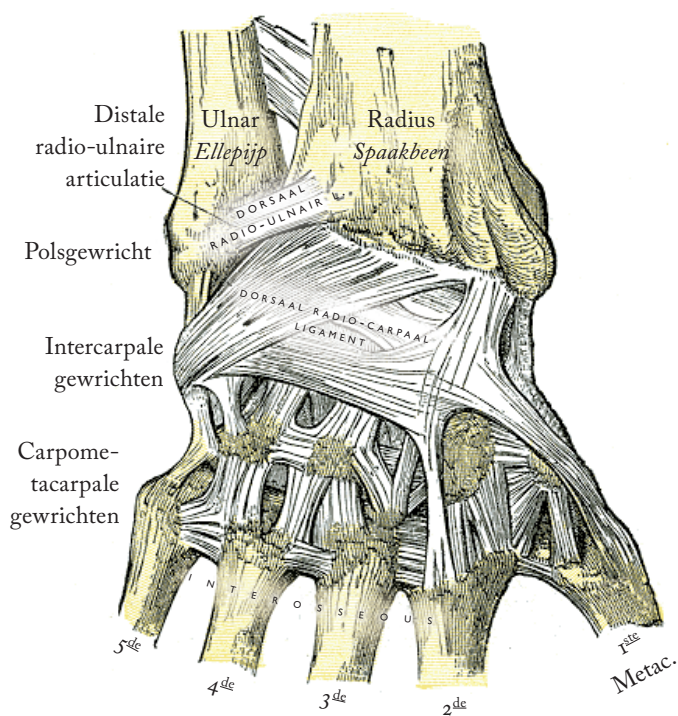
§8.2 GROOTHEDEN EN EENHEDEN

Grootheid		Eenheid	
Symb.	Omschrijving	Symb.	Omschrijving
E	Elasticiteitsmodulus, Youngsmodulus	Pa	Pascal
σ_{ts}	Treksterkte	Pa	Pascal
μ_w	Wrijvingscoëfficiënt	–	
	Hier: bepaald in een droge omgeving van het materiaal op zichzelf in een statische opstelling.		
S_{Nf}	Vermoeidheidssterkte	Pa	Pascal
	Hier: bepaald aan de hand van 10^7 cycli van axiale krachtoefening.		
k	Kosten	€/kg	Euro per kilo

Grootheid		Eenheid	
Symb.	Omschrijving	Symb.	Omschrijving
	Stijfheid	N/m	Newton per meter

§8.3 MATERIALEN

Afk.	Materiaal	Soort
ABS	Acrylonitrilbutadienstyreen	Kunststof
PA	Polyamides	Nylon
PC	Polycarbonaat	Kunststof
PEEK	Polyetheretherketon	Kunststof
PE	Polyethyleen	Kunststof
PET	Polyethyleen tereftalaat	Kunststof
PLA	Polyactide	Kunststof
PMMA	Polymethyl methacrylaat	Kunststof
POM	Polyoximethyleen	Acetaal
PP	Polypropyleen	Kunststof
PS	Polystyreen	Kunststof
PTFE	Polytetrafluorethyleen	Kunststof
tpPUR	Polyurethaan	Kunststof
tpPVC	Polyvinylchloride	Kunststof



Figuur 8.3.1. Gewrichtsbanden van de hand

§8.4 TRIVIA

Afk.	Definitie
AM	Additive manufacturing – het scala aan productie-methoden waar 3D-printen onder valt.
BSc	Bachelor (of Science) – de eerste (vaak drie) jaar van een universitaire studie waarin de basis voor een verdiepende master wordt gelegd, zie ook MSc.
HoQ	House of Quality – het diagram die te vinden is als Tabel 2.4.1 op pag. 26.
MSc	Master (of Science) – de verdiepende jaren van een universitaire studie, zie ook BSc.
PvE	Programma van Eisen – zie appendix B.
STL	Stereolithografie(bestand) – computerbestanden met informatie over 3D-objecten, zie ook lemmata.

§8.5 LEMMATA

Ten slotte wordt er in dit verslag gebruik gemaakt van verschillende woorden met een specifieke betekenis. De hierop volgende lijst geeft van dergelijke woorden de betekenis ervan zoals ze in dit verslag zijn gebruikt.

3D-scan-nen het digitaliseren van fysieke objecten waarbij de driedimensionale structuur van het object wordt opgeslagen in een computerbestand.

3D-prin-ten productiemethode waarbij een 3D-printer op basis van computerbestanden driedimensio-nale objecten kan produceren.

Artrorse	ongeneeselijke vorm van reuma waarbij gewrichtsslijtage ontstaat door het verlies aan gewrichtskraakbeen en gewrichtsvloeistof (synovium). De botten kunnen over elkaar gaan schuiven, waardoor bewegingen pijn gaan doen. Ontstaat vaak in de duim.
Brace	[bre:s] constructie (vaak uit kunststof) voor ondersteuning van een geblesseerd gewricht met beperkte stijfheid, zie Figuur 1.2.1. Heeft vaak een spalkende functie en wordt met klittenband gesloten.
Fixeren	Medische behandeling waarbij één of meerdere gewrichten worden vastgezet om beweging te minimaliseren of te voorkomen, vaak om pijn, belasting of slijtage tegen te gaan of te voorkomen.
Input-mesh	[inputmeʃ] de digitale puntenwolk waarin de coördinaten van punten in zijn gerepresenteerd, die samen een 3D-model vormen. In dit geval zoals de data vanuit de bron (bijvoorbeeld een 3D-scanner) wordt aangeleverd.
Mesh	[meʃ] zie <i>inputmesh</i> , met dat verschil dat het hier niet om de ruwe, onbewerkte data hoeft te gaan.

Or-the-se	uitwendig gedragen hulpmiddel ter correctie of ondersteuning van standafwijkingen, met een ondersteunende functie of beperking om een andere reden van de bewegingsvrijheid van gewrichten.
Pa-ra-me-di-cus	iemand die professioneel medische behandelingen uitvoert, maar geen (tand)arts is, vaak onder toezicht van een medicus. Voorbeelden van paramedici zijn ergotherapeut en instrumentmaker.
Reu-ma	Verzamelnaam voor aandoeningen aan bindweefsel, als gewrichten, spieren en pezen en kraakbeen, zie ook <i>artrose</i> .
Ski-duim	acuut letsel aan het gewricht MCP I, vaak ontstaan tijdens het skiën en extern te zien als opzwellling van het gewricht. In milde gevallen wordt het gewricht direct gestabiliseerd en twee weken ondersteund met een brace of spalk.
Spalk	stijf onderdeel om gebroken lichaamsdelen te spalken, zie ook <i>brace</i> .
Ste-re-o-li-tho-gra-fie	productiemethode waarbij fysieke objecten laagsgewijs worden opgebouwd en waarbij door licht moleculen aan elkaar worden verbonden. In dit verslag voornamelijk gebruikt als STL-bestand, een bestandsvorm waarin informatie voor stereolithografie ligt opgeslagen.

**Vacuüm-
vormen**

ook 'thermovormen'. Vormgevingstechniek waarbij een verwarmd materiaal strak over een mal wordt getrokken om het in een bepaalde vorm te dwingen.

Voronoi

wiskundige decompositie van een ruimte of vlak in deelvlakken, genoteerd in de coördinaten van de middenpunten van die vlakken. De orthese van Eyemerge maakt gebruik van een voronoi-diagram om de openingen in de handorthese te berekenen.

BIBLIOGRAFIE

Al Mortadi, N., Eggbeer, D., Lewis, J., & Williams, R.J. (2012). CAD/CAM/AM applications in the manufacture of dental appliances. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 142(5), 727-733.

Beecher, H. K. (1955). The powerful placebo. *Journal of the American Medical Association*, 159(17), 1602-1606.

Dombroski, C.E., Balsdon, M.E., & Froats, A. (2014). The use of a low cost 3D scanning and printing tool in the manufacture of custom-made foot orthoses: a preliminary study. *BMC research notes*, 7(1), 443.

Genc, S., Messler Jr, R. W., & Gabriele, G. A. (1998). A systematic approach to integral snap-fit attachment design. *Research in Engineering Design*, 10(2), 84-93.

Harrell, F.E., Califf, R.M., Pryor, D.B., Lee, K.L., & Rosati, R.A. (1982). Evaluating the yield of medical tests. *Jama*, 247(18), 2543-2546.

Hieu, L.C., Zlatov, N., Vander Sloten, J., Bohez, E., Khanh, L., Binh, P.H., ... & Toshev, Y. (2005). Medical rapid prototyping applications and methods. *Assembly Automation*, 25(4), 284-292.

Kim, H., & Jeong, S. (2015). Case study: Hybrid model for the customized wrist orthosis using 3D printing. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 29(12), 5151-5156.

- Luciani, A., Jimenez, S., Raoult, O., Cadoz, C., & Florens, J.L. (1991). An unified view of multitude behavior, flexibility, plasticity and fractures balls, bubbles and agglomerates. *Modeling in Computer Graphics* (pp. 55-74). Springer Japan.
- Michalski, M. H., & Ross, J. S. (2014). The shape of things to come: 3D printing in medicine. *JAMA*, 312(21), 2213-2214.
- Paterson, A.M.J., Bibb, R.J., & Campbell, R.I. (2014). Orthotic rehabilitation applications. *Medical modelling: the application of advanced design and rapid prototyping techniques in medicine*. New York: Woodhead Publishing, 283.
- Paterson, A.M.J. (2015). *Digitisation of the splinting process: exploration and evaluation of a computer aided design approach to support additive manufacture*. Loughborough: Paterson.
- Rondinelli, R.D., Dunn, W., Hassanein, K.M., Keesling, C.A., Meredith, S.C., Schulz, T.L., & Lawrence, N. (1997). A simulation of hand impairments: effects on upper extremity function and implications toward medical impairment rating and disability determination. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 78(12), 1358-1363.
- Silva, A.C., Jones, A., Silva, P.G., & Natour, J. (2008). Effectiveness of a night-time hand positioning splint in rheumatoid arthritis: a randomized controlled trial. *Journal of rehabilitation medicine*, 40(9), 749-754.
- Ventola, C. L. (2014). Medical applications for 3D printing: current and projected uses. *Pharmacy and Therapeutics*, 39(10), 704.

§9.1 MEER INFORMATIE

ARTROSE

Beasley, J. (2012). Osteoarthritis and rheumatoid arthritis: conservative therapeutic management. *Journal of hand therapy*, 25(2), 163-172.

Ende van den, C.H.M., & Hurenkamp, G.B.J. (2015). Niet-medicamenteuze therapie bij reumatische aandoeningen. *Reumatologie* (pp. 303-313). Bohn Stafleu van Loghum.

ORTHESEN

Dickman, C.A., Yahiro, M.A., Lu, H.T.C., & Melkerson, M.N. (1994). Surgical treatment alternatives for fixation of unstable fractures of the thoracic and lumbar spine: a meta-analysis. *Spine*, 19(20), 2266S-2273S.

McKee, P., & Rivard, A. (2004). Orthoses as enablers of occupation: client-centred splinting for better outcomes. *Canadian Journal of Occupational Therapy*, 71(5), 306-314.

Mentzel, M., Ebinger, T., Heckmann, E., Merk, S.E., Kinzl, L., & Wachter, N.J. (2001). Results of basal joint arthrosis treatment—comparison of Epping ligament reconstruction with trapeziectomy alone. *Handchirurgie, Mikrochirurgie, plastische Chirurgie: Organ der Deutschsprachigen Arbeitsgemeinschaft für Mikrochirurgie der Peripheren Nerven und Gefässe*, 33(3), 176-180.

Nordenskiöld, U. (1990). Elastic wrist orthoses: reduction of pain and increase in grip force for women with rheumatoid arthritis. *Arthritis & Rheumatism*, 33(3), 158-162.

Palousek, D., Rosicky, J., Koutny, D., Stoklásek, P., & Navrat, T. (2014). Pilot study of the wrist orthosis design process. *Rapid Prototyping Journal*, 20(1), 27-32.

Telfer, S., Pallari, J., Munguia, J., Dalgarno, K., McGeough, M., & Woodburn, J. (2012). Embracing additive manufacture: implications for foot and ankle orthosis design. *BMC musculoskeletal disorders*, 13(1), 1.

OVERIGE

Hargroves, K.D., en Smith, M.H. (2006) *Innovation inspired by nature Biomimicry*. Ecos, (129), 27-28.

10

LIJST VAN TABELLEN

In dit verslag worden tabellen voornamelijk gebruikt voor het samenvatten van informatie uit de tekst om de lezer snel overzicht te geven. Om overzicht over de tabellen te verschaffen, staan hieronder de tabellen met een korte omschrijving van de inhoud. Tabellen uit de appendices zijn niet opgenomen.

Tabel	Inhoud
Tabel 1.6.1	Opzet van het verslag, zie §1.6 op pag. 16
Tabel 2.4.1	HoQ, zie Appendix B
Tabel 2.5.1	Codering voor prototypen, zie Appendix D
Tabel 3.1.1	Categorisering voor afbeeldingen in §3.1 op pag. 35 Voor- en nadelen van:
Tabel 3.2.1	klikverbinding, §3.2 op pag. 47
Tabel 3.3.1	de in elkaar hakende verbinding, §3.3 op pag. 52
Tabel 3.4.1	op wrijving gebaseerde verbinding, §3.4 op pag. 56
Tabel 3.5.1	klittenbandverbinding, §3.5 op pag. 62
Tabel 3.6.1	diverse gespen, §3.6 op pag. 65
Tabel 3.7.1	sluitingen met een ander bindend onderdeel, §3.7 op pag. 68
Tabel 3.8.1	Theorie-onderzoek sluitingen
Tabel 3.8.2	Gebruiksonderzoek sluitingen
Tabel 4.1.1	Scharnieropties
Tabel 4.7.1	Theorie-onderzoek scharnieren
Tabel 4.7.2	Gebruiksonderzoek scharnieren

Tabel	Inhoud
Tabel 5.3.1	Samenvatting conclusies volledig onderzoek
Tabel 5.7.1	Samenvatting van Hoofdstuk 5
Tabel 5.8.1	Workflow rondom orthesen

11

LIJST VAN FIGUREN

In dit verslag is gebruik gemaakt van een groot aantal afbeeldingen. In de hierop volgende tabel is van iedere afbeelding de herkomst te vinden. Door op de bronverwijzing te klikken, wordt de link naar de originele afbeelding (indien online) geactiveerd.

Fig.	Herkomst	D.d.
Figuur 1.1.1	Dasler van, H. Handorthese Eyemerge [Foto].	28/03
Figuur 1.2.1	Blaue arm Orthese [Foto].	04/05
Figuur 1.4.1	Handgewrichten [Illustratie]	
Figuur 2.3.1	Dijkstra, T.J. Geen titel [Render].	15/06
Figuur 2.4.1	Kamer Orthopedie. Silver Ring Splint [Foto].	03/08
Figuur 2.5.1	Dijkstra, T.J. Aanmeten thermoplast [Foto].	10/07
Figuur 2.5.2	Dijkstra, T.J. Gecombineerd prototype [Foto].	15/07
Figuur 2.6.2	Dijkstra, T.J. m3 achter klink [Foto].	16/05
Figuur 2.6.3	Dijkstra, T.J. Druk m1 [Foto].	06/05
Figuur 2.8.1	Dijkstra, T.J. Drie orthesen [Foto].	15/07
Figuur 3.1.1	Yan. us20040045075 [Foto uit patent]	2004
Figuur 3.1.2	George. us3550837 [Foto uit patent]	1969

Fig.	Herkomst	D.d.
Figuur 3.1.3	Weaver. USD496465 / CN102949255A [Foto uit patent]	2004
Figuur 3.1.4	George. US3550837 [Afbeelding uit patent]	1969
Figuur 3.1.5	Klieman. US5171253 [Afbeelding uit patent]	1992
Figuur 3.1.6	Hauber. EP0143348A1 [Afbeelding uit patent]	1985
Figuur 3.1.7	Leahy. US4884718 [Afbeelding uit patent]	1989
Figuur 3.1.8	Castner. USD353327 [Afbeelding uit patent]	1994
Figuur 3.1.9	Kugler. US3339606 [Afbeelding uit patent]	1967
Figuur 3.1.10	Simonsen. US5017021 [Afbeelding uit patent]	1991
Figuur 3.1.11	Herrington. US4561109 [Afbeelding uit patent]	1985
Figuur 3.1.12	Provan. US5938337 [Afbeelding uit patent]	1999
Figuur 3.1.13	Suarez. US20070073204 [Afbeelding uit patent]	2007
Figuur 3.1.14	Joseph. USD663851 [Afbeelding uit patent]	2012
Figuur 3.1.15	Jaccard. US8388563 [Afbeelding uit patent]	2013
Figuur 3.1.16	Bois, Du. USD141753 [Afbeelding uit patent]	1945
Figuur 3.1.17	Hammerslag. US8277401 [Afbeelding uit patent]	2012
Figuur 3.1.18	Sindel. US7762974 [Afbeelding uit patent]	2010

Fig.	Herkomst	D.d.
Figuur 3.1.19	Hammerslag. us8277401 [Afbeelding uit patent]	2012
Figuur 3.1.20	<u>Bowl closure</u> [Foto].	09/08
Figuur 3.1.21	<u>Boat rope</u> [Foto].	09/08
Figuur 3.1.22	<u>Rubber band fix</u> [Foto].	09/08
Figuur 3.1.23	Wonink, A.J. <u>Scheerlijn</u> [Foto].	09/08
Figuur 3.1.24	<u>Zilveren theeblik met rond aromadeksel</u> [Foto].	09/08
Figuur 3.1.25	<u>Kraft Schrift - Japanse sluiting</u> [Foto].	09/08
Figuur 3.1.26	<u>Zwarte tuinbroekgesp</u> [Foto].	09/08
Figuur 3.1.27	<u>Kish - Horlogeband rubber met sluiting</u> [Foto].	09/08
Figuur 3.1.28	Dijkstra, T.J. <u>Blenderdeksel</u> [Foto].	10/08
Figuur 3.1.29	Dijkstra, T.J. <u>Diverse sluitingen</u> [Foto's].	10/08
Figuur 3.1.30	Dijkstra, T.J. <u>Diverse klikverbindingen</u> [Foto's].	10/08
Figuur 3.1.31	Dijkstra, T.J. <u>Vuilnisemmer</u> [Foto].	10/08
Figuur 3.1.32	Dijkstra, T.J. <u>Beugelfles</u> [Foto].	10/08
Figuur 3.1.33	Dijkstra, T.J. <u>Kroondop</u> [Foto].	10/08
Figuur 3.1.34	Dijkstra, T.J. <u>Zoutpot</u> [Foto].	10/08
Figuur 3.1.35	Dijkstra, T.J. <u>Koelkastdeur</u> [Foto].	10/08
Figuur 3.1.36	Dijkstra, T.J. <u>Weckpot appels</u> [Foto].	10/08
Figuur 3.2.1	Ali Express. <u>Small coin purse clasp</u> [Foto].	14/06
Figuur 3.2.2	Dijkstra, T.J. <u>Geen titel</u> [Illustratie].	18/06
Figuur 3.2.3	Dijkstra, T.J. <u>Geen titel</u> [Render].	18/06
Figuur 3.2.4	Dijkstra, T.J. <u>Openen sluiting</u> [Foto].	08/06

Fig.	Herkomst	D.d.
Figuur 3.2.5	Dijkstra, T.J. Klikverbinding [Foto].	21/06
Figuur 3.3.1	Sesink, A. <u>Klikverbindingen voor kunststofcomponenten</u> [Illustratie]	01/05
Figuur 3.3.2	Dijkstra, T.J. Geen titel [Illustratie].	18/06
Figuur 3.3.3	Dijkstra, T.J. Geen titel [Illustratie].	18/06
Figuur 3.3.4	Dijkstra, T.J. In elkaar hakende verbinding [Foto].	06/07
Figuur 3.4.1	Dijkstra, T.J. Geen titel [Render].	22/06
Figuur 3.4.2	Dijkstra, T.J. Geen titel [Illustratie].	03/08
Figuur 3.4.3	Dijkstra, T.J. Geen titel [Render].	22/06
Figuur 3.4.4	Dijkstra, T.J. Geen titel [Illustratie].	01/08
Figuur 3.5.1	Dijkstra, T.J. Geen titel [Render].	27/06
Figuur 3.6.1	Cheng. us376771 [Afbeelding uit patent]	1996
Figuur 3.6.2	Lee. us689947B2 [Afbeelding uit patent]	2005
Figuur 3.6.3	Simonson. us6877189B2 [Afbeelding uit patent]	2005
Figuur 3.6.4	Dijkstra, T.J. Gespverbinding [Foto].	19/07
Figuur 3.7.1	Paterson, A. Tightest tightness [Foto]. Dijkstra, T.J. Harde kern [Foto].	2013 16/07
Figuur 3.7.2	Dijkstra, T.J. Flexibele kern [Foto].	16/07
Figuur 3.7.3	Dijkstra, T.J. Flexibele kern (11) [Foto].	09/07
Figuur 4.2.1	Dijkstra, T.J. Geen titel [Render].	08/07

Fig.	Herkomst	D.d.
Figuur 4.3.1	Dijkstra, T.J. Diverse afschuifrichtingen [Render].	01/08
Figuur 4.3.2	Dijkstra, T.J. Voronoi (geknipt) [Foto].	05/06
Figuur 4.4.1	Produnis. <u>Joints</u> [Illustratie].	2005
Figuur 4.4.2	Dijkstra, T.J. Geen titel [Illustratie].	01/08
Figuur 4.4.3	Fritz, E. <u>Compact opbouwscharnier</u> [Foto].	01/08
Figuur 4.5.1	Klus-info. <u>Scharnieren</u> [Foto].	01/08
Figuur 4.5.2	Dijkstra, T.J. Geen titel [Render].	08/07
Figuur 4.5.3	Dijkstra, T.J. Diverse scharnieren [Foto].	05/06
Figuur 5.1.1	Dijkstra, T.J. Geen titel [Render].	16/07
Figuur 5.2.1	Dijkstra, T.J. Geen titel [Render].	01/08
Figuur 5.5.1	Dijkstra, T.J. Geen titel [Render].	04/08
Figuur 5.5.2	Dijkstra, T.J. Geen titel [Illustratie].	01/08
Figuur 5.5.3	Dijkstra, T.J. Prototype klikverbinding [Foto].	06/08
Figuur 5.6.1	<u>Artrose</u> [Foto].	07/04
Figuur 5.6.2	Dijkstra, T.J. Geen titel [Render].	01/08
Figuur 5.7.1	Dijkstra, T.J. Geen titel [Render].	27/07
Figuur 6.9.1		
Figuur 7.7.1	Dijkstra, T.J. Prototype toetsenbord [Foto].	19/07
Figuur 7.7.2	Rhizo Forte. Actimove [Foto].	07/04
	Collum. Thumb brace [Foto].	07/04
	Rhizo. RhizoLoc [Foto].	07/04
Figuur 7.7.3	Ortho Line. Adjustable brace [Foto].	07/04

Fig.	Herkomst	D.d.
Figuur 7.7.4	Merivale Hand Clinic. Custom thumb brace [Foto].	07/04
Figuur 7.7.5	Silver Splint. Index Finger PIP Brace [Foto].	07/04
Figuur 8.1.1	Thumb movements [Foto].	19/05
Figuur 8.1.2	Falanx [Foto].	19/05
Figuur 8.3.1		

Notities.

Onder 'Fig.' staat het figuurnummer, zoals dat onder iedere afbeelding te vinden is. De titel (vetgedrukt in de bronvermelding) geeft een korte omschrijving van de afbeelding en onder herkomst is de bronvermelding genoteerd. De kolom 'D.d.' (de dato) geeft bij een internetafbeelding de datum van raadpleging aan, bij een foto de datum waarop de foto is genomen, en bij overige afbeeldingen het jaar van publicatie. Voor alle data zonder jaartal is het jaartal 2016.

