

Enkel-voet orthese voor een kitesurfer

Evo's voor een kitesurfer
met Hereditaire Motorische Sensorische Neuropathie



Enkel-voet orthese voor een kitesurfer

Evo's voor een kitesurfer
met Hereditaire Motorische Sensorische Neuropathie

Auteur: Inge van der Burg, 09072047
Afstudeerperiode: maart 2013 - juni 2013
Begeleider HHS: Jorine Koopman
2e Begeleider: Monique Berger
Bedrijf: Livit Orthopedie
Externe begeleider: Alwin Huber
Datum uitgifte: juni 2013
Opleiding Bewegingstechnologie, Haagse Hogeschool

Voorwoord

Voor u ligt het afstudeerverslag van het project waar ik 14 weken hard aan heb gewerkt. Een periode vol ervaringen over hoe het is om zelfstandig aan een ontwerpproject te werken. Onder begeleiding van de Haagse Hogeschool, Livit Orthopedie en het Expertise Centrum Bewegingstechnologie ben ik de uitdaging aan gegaan om een ondersteuning voor de onderbenen te ontwerpen voor een kitesurfer met een functiebeperking daarvan. Hoewel ik zelf een aantal watersporten beoefen, was het kitesurfen helemaal nieuw voor mij. Een mooie kans dus. Vanuit de opleiding Bewegingstechnologie aan de Haagse Hogeschool hoorde ik over deze afstudeeropdracht en ik raakte er meteen enthousiast over. Een periode lang ben ik bezig geweest met een ontwerp van deze ondersteuning.

Ook al heb ik dit project alleen uitgevoerd, er zijn een aantal mensen die ik graag wil bedanken voor hun bijdrage aan het mooie eindresultaat. Allereerst gaat mijn grote dank uit naar Jorine Koopman. Zij was mijn begeleider vanuit de Hogeschool en uit de vele gesprekken die we gevoerd hebben, kwamen allerlei goede adviezen. De tijd die ze elke keer voor me nam en de rust om alles goed door te spreken waren fijne momenten gedurende het hele afstudeertraject. Mijn andere begeleider vanuit Livit Orthopedie, Alwin Huber, dank ik voor alle kennis die hij heeft overgedragen vanuit de orthopedie, zowel in het ontwerpen als bij het vervaardigen van de testmodellen. Daarbij wil ik ook alle medewerkers van Livit Orthopedie Den Haag bedanken voor het meekijken en de hulp in de werkplaats. Het ECBT bedank ik en in het bijzonder Monique Berger als mijn tweede begeleider. Ook de andere studenten die voor het ECBT bezig waren wil ik bedanken. De meetings en korte overleggen heb ik als zeer nuttig ervaren en het was fijn om af en toe kort inhoudelijk wat met elkaar te overleggen.

Uiteraard wil ik Daan graag bedanken voor zijn tijd en voor het lenen van alle apparatuur uit zijn winkel. Het was heel fijn dat ik hier zomaar gebruik van mocht maken. Tot slot een speciaal woord van dank aan de mensen waar ik dagelijks mee om ga. Tom, mijn familie en mijn vrienden dank ik voor hun luisterende oor en de opbeurende woorden die ik af en toe goed kon gebruiken.

Overall een mooi, leerzaam en interessant project waar ik met veel plezier op terug kijk!

Inge van der Burg, juni 2013

Inhoudsopgave

Voorwoord

Samenvatting

1. Inleiding	1
2. Analyse	2
2.1 Hereditaire Motorische Sensorische Neuropathie	2
2.1.1 Algemeen	2
2.1.2 Symptomen	2
2.1.3 Behandeling	2
2.2 Symptomen bij de proefpersoon	3
2.2.1 Dorsaalflectoren parese	3
2.2.2 Varusneiging van de enkel	3
2.2.3 Afname kracht en volume plantairflectoren	3
2.2.4 Holvoeten	3
2.2.5 Klauwtenen	4
2.2.6 Drukplekken	4
2.3 Kitesurfen	4
2.4 Huidige evo's	5
2.5 Bewegingsanalyse	7
2.5.1 Houdingen in verschillende situaties	7
2.5.2 Vaarparcours	8
2.5.3 Overige observaties kitesurfen	9
2.5.4 Eisen vanuit bewegingsanalyse	10
2.6 Krachtenberekeningen	10
2.6.1 Detailberekening	10
2.6.2 Wrijvingskracht	13
2.7 Programma van eisen	14
3. Ontwerpyclus 1	15
3.1 Ontwerpfase	15
3.2 Prototype	20
3.3 Testfase	20
4. Ontwerpyclus 2	21
4.1 Ontwerpfase	21
4.2 Prototype	21
4.3 Testfase	21
5. Ontwerpyclus 3	22
5.1 Ontwerpfase	22
5.2 Prototype	23
5.3 Testfase	23
6. Eindontwerp	24
7. Discussie	28
8. Conclusie	29
Bronvermelding	30
Bijlagen	31
1. Interview Daan Groot	32
2. Volledig overzicht HMSN	33
3. Meetprotocol en methode	35
4. Deelproblemen	37
5. Complete ideeën	45
6. Beoordeling ideeën	49
7. Concepten	50
8. Ontwerp 1	53
9. Vervaardigen mallen	55
10. Vervaardigen testmodel 1 + 2	56
11. Schets testmodel	57
12. Vervaardiging veer	58
13. Aanzichten eindontwerp	59
14. Projectplan	60

Samenvatting

Hereditaire Motorische Sensorische Neuropathie (HMSN) is een progressieve zenuwaandoening met een prevalentie van 1 op 10.000. De proefpersoon die in dit project centraal staat heeft deze zenuwaandoening (HMSN type 2). Hierdoor functioneren zijn onderbeenspieren niet meer optimaal. Ondanks zijn aandoening is hij een fanatiek kitesurfer, die nu ook zonder voetbanden wil kunnen kitesurfen op een Strapless Directioneel Board (SDB). De huidige enkel-voet orthesen (evo's) voldoen niet aan de eisen die het surfen op een dergelijk board aan de evo stelt. Het voetcontact dat bij zo'n board noodzakelijk is, ontbreekt bij de huidige evo's.

Het doel van dit project was om het de proefpersoon mogelijk te maken te kitesurfen op zijn voorkeursboard. De opdracht hierbij luidde: ontwerp een paar evo's voor iemand met HMSN type 2, waarmee hij kan kitesurfen op een Strapless Directioneel Board.

Als gevolg van HMSN type 2 ondervindt de proefpersoon een aantal problemen. In de onderbenen worden de voetheffers (dorsaalflectoren) niet meer aangestuurd, waardoor hij minder goed loopt en staat. Daarnaast heeft de rechter voet de neiging om te zwikken naar mediaal. De kracht en het volume van de onderbeenspieren zijn afgenomen. Ook heeft hij door de HMSN holvoeten en klauwtenen. In een bewegingsanalyse tijdens het kitesurfen was geconstateerd dat de proefpersoon niet kan blijven staan wanneer het zwaartepunt achter het steunvlak valt (heelside). Wanneer het zwaartepunt voor het steunvlak valt (toeside) is er echter geen probleem. Omdat er bij toeside geen problemen op treden in de onderbenen, hoeft de evo niet ontworpen te worden voor ondersteuning bij plantairflexie van de enkel. Uit de krachtenanalyse bleek dat het moment rond het enkelgewricht in de heelside positie 54Nm is. In plaats van de spieren moet de evo dit opvangen. De berekende wrijvingscoëfficiënt (μ) die nodig is om op het board te blijven staan, is minimaal 0,5, bij constante wind.

Vanuit de analyse van de huidige situatie, de bewegingen bij het surfen en uit de krachtenberekeningen was een programma van eisen opgesteld. Er was een iteratief ontwerpproces gevolgd, waarin de cyclus van ontwerpen, prototype maken en testen, drie maal werd doorlopen. Aan het einde van iedere cyclus was een praktijktest uitgevoerd, waaruit verbeterpunten naar voren kwamen. Belangrijke ondervindingen hierin waren: het beperkte contact met de ondergrond, de verminderde doorvering van de veer en de pasvorm. Het eindontwerp heeft een verkorte zool, die doorloopt tot de bal van de voet. Hierdoor wordt een beter gevoelscontact tussen board en voet gecreëerd. Door middel van een combinatie van hakverhoging en stand van de veer in de evo wordt het onderbeen in een dorsaalflexie stand gedwongen. De bewegingsvrijheid van de benen en het gevoel van stabiliteit worden hiermee vergroot.

Testmodel 3 was succesvol getest, de proefpersoon had voor het eerst op een SDB gesurft. Het model was op de meeste onderdelen (wel: pasvorm, gevoel van ondersteuning, contact directioneel board, aantrekken, uiterlijk, niet: drukplekken) door de proefpersoon beter beoordeeld dan de huidige evo's. Daaruit werd geconcludeerd dat er is voldaan aan de projectopdracht.

1. Inleiding

Dat iemand met Hereditaire Motorische Sensorische Neuropathie (HMSN) gaat kitesurfen is niet onmogelijk, maar het is niet de meest voor de handliggende sportkeuze. Daan Groot (de proefpersoon), 29 jaar, heeft HMSN type 2. Dat is een erfelijke aandoening, waarbij de zenuwen de spieren niet goed kunnen aansturen. Gevoelssignalen (sensorische waarneming) worden niet goed doorgegeven aan de hersenen. Op zijn 15e is deze aandoening gediagnosticeerd. De proefpersoon is niet alleen een sportieve jongen, maar hij heeft ook veel discipline om dingen te leren. Voor iemand met HMSN duurt het langer om een sport te leren, maar het is niet onmogelijk. Op dit moment kitesurft de proefpersoon op een twintip board (d.w.z. voor- en achterkant zijn het zelfde) met voetbanden. Hij gebruikt hierbij enkel-voet orthesen (evo's). Hij zou echter graag willen overstappen naar het surfen op een directioneel board (d.w.z. dat de voorkant verschilt van de achterkant). Deze boards hebben over het algemeen geen voetbanden. Ze worden Strapless Directional Board (SDB) genoemd. Helaas kan hij zijn huidige evo's niet gebruiken op een dergelijk board.

Met de wens om op een ander type board te kiten heeft de proefpersoon Livit Orthopedie benaderd om na te gaan wat de mogelijkheden zijn. Op dit moment is er een samenwerking tussen Livit Orthopedie, het Expertise Centrum Bewegingstechnologie (ECBT) en het Sophia Revalidatie Centrum. Vanuit deze samenwerking is een Sporttechpoli opgezet waar sporters met bijzondere vragen, zoals de proefpersoon, geholpen kunnen worden. Het doel van de Sporttechpoli is om mensen met een beperking te helpen bij het sporten, ongeacht het soort sport. De vraag van de proefpersoon was bij de Sporttechpoli uitsteken-de op zijn plaats.

De symptomen waar de proefpersoon in het dagelijks leven last van heeft zijn: parese van de dorsaal-flectoren, varusneiging van de enkels, holvoeten, klauwtenen en drukplekken onder zijn rechter voet bij os Metatarsale V. Op grond van deze symptomen is een paar evo's gemaakt door Frank Jol (Jol Orthopedie). Daarmee kan hij goed surfen op een twintip kiteboard. De evo's zijn gemaakt van zwart kunststof en voorzien van een aangepaste zool om drukplekken te voorkomen. Op dit moment heeft hij ondanks deze zolen echter wel last van drukplekken. Om te surfen op een SDB is zowel flexie als extensie in de gewrichten van de voorvoet en tenen een voorwaarde. Met de huidige evo's is dat niet mogelijk omdat de zool 5mm dik en stijf is. Bovendien is er daardoor vrijwel geen gevoelscontact met het board. De evo's hebben scharnieren waardoor de beweging naar dorsaalflexie onbeperkt is. Bij de plantairflexie is er een aanslag waardoor het onderbeen niet verder kan flecteren dan 90° ten opzichte van de grond. Bovendien is een extra doorvering van maximaal 5° gewenst. Hierdoor wordt de gehele beweging vloeiender. Daarmee wordt bedoeld dat het lichaam niet in één keer wordt gestopt door de aanslag, maar dat het geleidelijk aan in de eindstand komt. Wanneer de evo heel stijf is, zonder enige doorvering, worden alle trillingen van het board via de evo aan het lichaam doorgegeven. Dat geeft irritatie van de huid en de gewrichten. Een bijkomend probleem is de sluiting van de evo's met klittenband. Deze kan door het tussenkomende zand open gaan tijdens het surfen.

Het doel van dit project is om het de proefpersoon mogelijk te maken om te kitesurfen op zijn voorkeursboard. De opdracht hierbij luidt: Ontwerp een paar evo's voor iemand met HMSN type 2, waarmee hij kan kitesurfen op een Strapless Directioneel Board.

Het projectplan en de analyse zijn opgezet aan de hand van de beperkingen van de persoon, de klachten bij het gebruik van zijn huidige evo's en zijn verzoek om te kunnen surfen op een SDB. Hieruit volgde een lijst van eisen en wensen met betrekking tot de functie, beweging, materiaal en vorm. Aan de hand van deze eisen zijn ideeën uitgewerkt en getoetst. Om het nieuwe prototype evo te ontwerpen is een iteratief ontwerpproces met drie cycli van verbeteringen en hertesten gebruikt. Het eindresultaat is een uitgewerkt ontwerp voor een nieuw paar evo's. Dit kan door Livit in productie genomen worden.

2. Analyse

2.1. Hereditaire Motorische Sensorische Neuropathie

De proefpersoon was 15 jaar toen bij hem Hereditaire Motorische Sensorische Neuropathie type 2 (HMSN type 2) werd gediagnosticeerd. Hieronder wordt eerst het algemene ziektebeeld besproken, waarna beschreven wordt welke symptomen bij de proefpersoon aanwezig zijn.

2.1.1 Algemeen.

HMSN, ook wel Charcot-Marie-Tooth genoemd, is een verzamelnaam voor een aantal erfelijke ziekten waarbij de zenuwen zijn aangetast. Zoals de naam aangeeft is HMSN een, meestal dominante, erfelijke (hereditaire) aandoening waarbij er problemen in de zenuwen optreden bij het doorgeven van signalen. Prikkel vanuit het centrale zenuwstelsel bereiken de spieren niet goed door afwijkingen in specifieke eiwitten van de zenuwen. Door een verminderde aansturing van de spieren worden deze vervolgens niet optimaal gebruikt, waardoor ze atrofisch worden en de kracht dus afneemt. Naast de motorische afwijkingen die optreden is er een signaalvermindering in de prikkelgeleiding richting het centrale zenuwstelsel. Gevoelssignalen (sensorisch), vooral vanuit de perifere ledematen, worden niet goed doorgegeven, waardoor er afwijkingen ontstaan in het gevoel van de patiënt.

De ziekte HMSN is progressief, wat wil zeggen dat de patiënt meer last krijgt van de symptomen naarmate hij ouder wordt. De klachten van HMSN openbaren zich meestal tussen het 5e en 20e levensjaar en blijven na de puberteit min of meer gelijk. De levensverwachting van mensen met HMSN is normaal. De prevalentie van HMSN is ongeveer 1 op 10.000. Het onderscheid in de diverse typen HMSN berust op verschillen in de plaats van de afwijking op de chromosomen en in de ernst van het ziektebeeld. De verschijnselen bij type 2 zijn over het algemeen minder ernstig dan bij type 1 of 3.^{1,2}

Omdat de proefpersoon HMSN type 2 heeft zal deze vorm verder besproken worden en zullen de andere typen buiten beschouwing gelaten worden. Een volledige beschrijving van de ziekte is te vinden in bijlage 2.

HMSN type 2 is op te delen in verschillende subtypes: A tot en met L. De letters geven aan welke fout in het erfelijk materiaal verantwoordelijk is voor het ontstaan van het type HMSN. Het betreffende type kan bepaald worden door middel van een EMG of een erfelijkheidsonderzoek. Bij het EMG wordt bij type 2 een vertraging van de zenuwgeleiding gezien. Bij het erfelijkheidsonderzoek is bij type 2 een fout te vinden op chromosoom 1. Dit erfelijkheidsonderzoek wordt gedaan door middel van bloedonderzoek.

Bij HMSN type 2 is er sprake van een tekort aan bepaalde eiwitten die belangrijk zijn voor het goed functioneren van de zenuwen. Hierdoor sterven de zenuwcellen geleidelijk af, zodat er steeds minder zenuwcellen zijn om de signalen door te geven. De zenuwvezels zelf (axonen) en niet de eiwitmantel (myelineschede) zijn bij dit type aangetast. Dit wordt ook wel het axonale type genoemd. Verschijnselen van HMSN type 2 komen meestal pas na het 15e levensjaar aan het licht en soms zelfs pas op volwassen leeftijd.

2.1.2 Symptomen

De verschijnselen waar patiënten last van kunnen krijgen zijn voornamelijk spieratrofie en problemen met het gevoel, zoals een verminderd pijngevoel. Daarnaast kunnen er problemen met het zien en het ademen optreden. Voor al deze symptomen geldt dat het aantal en de toename ervan bij elke patiënt anders kunnen zijn.

2.1.3 Behandeling

Helaas is er nog geen manier gevonden om HMSN te genezen. Daarom is het vooral belangrijk om bij deze patiënten te streven naar een zo hoog mogelijke kwaliteit van leven. Met behulp van fysiotherapie, revalidatie en ergotherapie moet ervoor gezorgd worden dat de patiënten zo veel mogelijk bewegen om de spieren en gewrichten soepel en op kracht te houden. Naast het bewegen is het soms nodig een operatie uit te voeren om spieren zoals de achillespees te verlengen voor een soepelere beweging, of gewrichten vast te zetten tegen vergroeiing of kromming. Bij patiënten met HMSN is het noodzakelijk om overgewicht te vermijden, om de gewrichten niet onnodig extra te belasten. Omdat het gevoel bij HMSN verminderd is, moeten patiënten regelmatig hun voeten controleren op wondjes en drukplekken, omdat dit niet vanzelf via de tastzin opgemerkt wordt.^{3,4}

2.2. Symptomen bij de proefpersoon

De symptomen waar de proefpersoon in het algemeen dagelijks leven last van heeft zijn:

- Dorsaalflectoren parese (voetheffersparese)
- Varusneiging van de enkel
- Atrofie van de plantairflectoren
- Holvoeten
- Klauwtenen
- Drukplekken onder de Metatarsale V

Tijdens het surfen heeft de proefpersoon naast bovenstaande symptomen ook last van drukplekken op de malleoli, zowel mediaal als lateraal.



Afbeelding 1, dorsaalflectoren

2.2.1 Dorsaalflectoren parese

Een dorsaalflectoren parese (ook wel voetheffersparese) betekent een gedeeltelijke of volledige uitval van de spieren die de voet heffen. (afbeelding 1)⁵. Bij de proefpersoon bestaat er een volledige uitval. Deze is het gevolg van de verminderde doorgave van signalen aan beide benen door de zenuwen. Hierdoor gaat het lopen minder makkelijk, maar is nog wel mogelijk. Tijdens de zwaaifase van het gaan kan de voet niet (goed) opgetild worden, namelijk tot maximaal 90° in de enkel. De tenen zullen hierdoor over de grond worden gesleept. Als reactie daarop worden de knieën hoger opgetrokken, zodat de voeten wel volledig loskomen. Dit wordt ook wel een hanentred genoemd.^{1,6}

2.2.2 Varusneiging van de enkel

Een varusneiging van de enkel wil zeggen dat er een neiging tot verdraaiing van de hiel naar mediaal plaatsvindt waardoor op het laterale deel van de voet gelopen wordt. Bij de proefpersoon is dit beiderzijds het geval, maar rechts in grotere mate dan links.⁷

2.2.3 Afname kracht en volume plantairflectoren

Bij de proefpersoon is goed te zien dat er atrofie is opgetreden van de plantairflectoren (kuitspieren) van beide onderbenen (afbeelding 2). In het laterale aanzicht (afbeelding 3) is te zien dat, wanneer de knieën in maximale buiging staan, deze niet voor de tenen geprojecteerd worden. In het dagelijks leven en tijdens het kitesurfen ondervindt hij hier naar zijn zeggen geen problemen van.

2.2.4 Holvoeten

Bij holvoeten is de vorm van de voet veranderd door een verstoring van het evenwicht tussen de spiergroepen. In afbeelding 3 is te zien dat de boog van de voet is versterkt, wat vaak komt doordat de Calcaneus naar binnen staat. Bij de proefpersoon is dit zowel links als rechts in dezelfde mate het geval. Kinderen worden zelden met holvoeten geboren. Een veel voorkomende klacht is het optreden van pijnlijke plekken onder de voetzool. Het volledige lichaamsgewicht wordt namelijk niet verdeeld over het totale voetzooloppervlak, maar moet opgevangen worden door het laterale deel van de voet. Wanneer en naast de holvoeten ook klauwtenen aanwezig zijn, komt het volledige lichaamsgewicht alleen op het laterale deel van de bal van de voet. Hierbij verzwikken de voeten sneller naar mediaal tijdens het lopen. Naast deze klachten komen er ook veel spierzwakte en balansstoornissen voor.^{8,9,10}



Afbeelding 2, atrofie onderbenen



Afbeelding 3, holvoet en atrofie kuitspieren

2.2.5 Klauwtenen

Holvoeten komen vaak samen voor met klauwtenen (afbeelding 4). Dit ontstaat wanneer de m. Extensor digitorum longus en brevis te strak staan en het Metatarsophalangeaal gewricht overstrekt. Hierdoor worden de gewrichten extra gebogen, waardoor de tenen in een klauwvorm omhoog worden getrokken en de eindkootjes omlaag staan. Het eindkootje komt hierbij net niet op de ondergrond. Door deze onnatuurlijke stand kunnen drukplekken ontstaan en kunnen de weke delen onder de bal van de voet overbelast raken.^{11,12} Zowel links als rechts heeft de proefpersoon last van klauwtenen.



Afbeelding 4, klauwtenen

2.2.6 Drukplekken

Door de combinatie van voetheffersparese, de neiging tot varusstand in de enkel, holvoeten en klauwtenen aan de rechterkant heeft de proefpersoon veel last van een drukplek onder zijn rechter os Metatarsalis V (MT V) (afbeelding 5)⁵. Deze drukplek is ontstaan doordat een groot deel van het lichaamsgewicht op dit punt rust. Bij het dragen van zijn huidige evo's tijdens het surfen, heeft de proefpersoon ook drukplekken op zijn mediale en laterale malleoli gekregen. Dit is zowel links als rechts het geval.



Afbeelding 5, drukplek MT V

2.3. Kitesurfen

Nadat de proefpersoon had geleerd uitstekend op een twintip board te surfen, heeft hij zich als extra uitdaging gesteld om ook goed te kunnen surfen op een SDB. Hieronder wordt besproken wat dit precies inhoudt, welke veranderingen hierbij komen kijken en welke eisen dit aan de evo's stelt.

Kitesurfen is op dit moment de snelst groeiende watersport. Geschat wordt dat er wereldwijd ruim 200.000 kitters zijn waarvan 10.000 in Nederland, zowel in zoet als in zout water. De surfer laat zich op een board door de kracht van de wind op een kite (vlieger) over het water trekken (afbeelding 6)¹³. Met behulp van de kite kan er een grote snelheid bereikt worden. Wanneer er genoeg druk op de kite opgebouwd wordt kunnen er zelfs hoge sprongen gemaakt worden.¹⁴ Tussen de diverse typen kites en boards bestaan grote verschillen in vorm en grootte. Omdat het bij het hier beschreven project vooral om het board gaat, worden de kites buiten beschouwing gelaten. Om de trekkracht van een kite te berekenen wordt alleen het oppervlak van de kite (8m²) meegenomen. In de onderstaande tabel 1 zijn de verschillen tussen twintip boards en SDB's beschreven.



Afbeelding 6, kitesurfen

Tabel 1, twintip versus directioneel

Twintip versus directioneel board	Twintip board (afbeelding 7)	Directioneel board (afbeelding 8)
Vorm board	Voor- en achterkant zijn aan elkaar gelijk: een vlakke vorm	Spitse neus en afgeronde achterkant
Voortbeweging door middel van	Wind	Wind en golven
Vaarrichting	2	1
Footstraps	Altijd aanwezig	Optioneel, voorkeur zonder
Gemiddelde afmetingen (cm)	130*40	170*30
Voordelen	- Voetstand hoeft niet aangepast te worden als gevolg van windrichting. - Gemakkelijk sprongen maken - Gemakkelijk te leren	- Zowel kiten als golfsurfen - Stand van voeten variabel - Minder grote krachten op de knieën - Minder blessure gevoelig
Nadelen	- Voeten staan vast in een positie - Kans op blessure groter	- Sneller verlies van board - Lastiger te leren

15,16,17,18



Afbeelding 7, twintip board



Afbeelding 8, strapless directioneel board

Met zijn huidige evo's (afbeelding 9) is de proefpersoon in staat om met een twintip board te surfen. In de huidige evo's draagt hij een wetsuit en surfsokken van 2 mm dik. Doordat de voeten op een twintip in footstraps zitten, geeft het materiaal van de evo's geen problemen. Wanneer er echter op een directioneel board zonder straps gevaren wordt glijdt hij uit. Doordat het kunststof ten opzichte van de rubber mat op het board een te kleine wrijvingscoëfficiënt heeft ($\mu_k = 0,2$)¹⁹ kan hij niet blijven staan. Om dat wel te kunnen is er dus een grotere wrijvingscoëfficiënt nodig. De grootte van de wrijvingscoëfficiënt wordt in de Krachtenanalyse in hoofdstuk 2.6.2 berekend.

De vlakken waarop normaal gestaan wordt op een directioneel board zijn te zien in afbeelding 10. Wanneer zonder straps gevaren wordt, wordt er als het ware gelopen over het board. Doordat de proefpersoon echter met zijn huidige evo's ook op dit board straps nodig heeft, kan hij alleen op de rode vlakken staan. Daardoor wordt hij sterk belemmerd in zijn beweeglijkheid en wendbaarheid.



Afbeelding 9, twintip evo's



Afbeelding 10, loopvlakken SDB

Eisen:

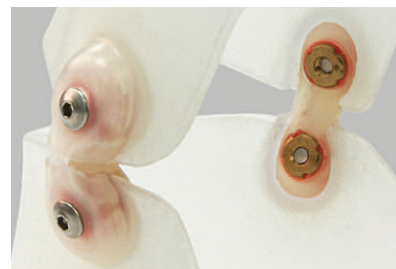
- De evo's moeten gebruikt kunnen worden op een directioneel board
- Met de evo's moet zonder footstraps gesurft kunnen worden
- De evo's moeten water- en zout resistent zijn
- Het zand in het water mag geen problemen geven tijdens het surfen
- In de evo's moet een ruimte van 2 mm zijn voor wetsuit en neopreenschuontjes om afknelling te voorkomen

Wens:

- De evo's moeten ook gebruikt kunnen worden op een twintip board

2.4. Huidige evo's

Op dit moment maakt de proefpersoon gebruik van een paar evo's, die gemaakt zijn door Jol Orthopedie (afbeelding 9). Deze hebben aan zowel de mediale als laterale zijde een Tamarack scharnier (afbeelding 11). Dat is een siliconen staafje, waarvan beide uiteinden bevestigd zijn aan een deel van de evo. Het staafje kan vrij naar dorsaal en plantair bewegen. Om een te grote uitslag bij plantairflexie tegen te gaan, is er aan de dorsale zijde van de evo een stop (aanslag) om dit te voorkomen. De maximale stand die bereikt kan worden is 90° t.o.v. grond. De scharnieren van de evo's zijn vervangbaar. Verder hebben de evo's een aangepaste zool die drukplekken moet voorkomen.



Afbeelding 11, tamarack scharnieren

In tabel 2 staan de voor- en nadelen zoals de proefpersoon die ervaart van zijn huidige evo's.

Tabel 2, voor- en nadelen huidige evo's

Voordelen	Nadelen
Functioneert goed op een twintip	Niet mogelijk om op SDB te varen
Kunststof kan later in vorm aangepast worden in verband met drukplekken	Geen goede stand van de voet in de evo
De evo's zijn in zwarte kleur uitgevoerd (gewenst door proefpersoon i.v.m. mindere opvallendheid)	Last van drukplekken op plaats waar materiaal niet in vorm aangepast kan worden (onder caput os Metatarsale V rechts)
Gewicht van 500 gram per evo	Uiterlijk van een lomp hulpstuk
	Sluitingen gaan los tijdens varen
	Twee handen nodig om aan te trekken
	Alleen mogelijkheid om zittend aan te trekken
	Harde directe stop tegen plantairflexie, gewenste extra doorvering van maximaal 5° is niet mogelijk

De huidige evo's zijn door de proefpersoon beoordeeld op een schaal van 1 tot 10 (van negatief naar positief). Zie tabel 3. Hieruit is op te maken dat de algemene score onvoldoende is, namelijk 4. De testmolden worden op dezelfde punten beoordeeld. In de tabel staan ze gerangschikt naar belangrijkheid.

Tabel 3, beoordeling huidige evo's

Onderdelen	Huidige evo
Pasvorm* (algemeen en loze ruimtes)	5 (7 en 3)
Drukplekken	5
Contact directioneel board	3
Gevoel van ondersteuning	4
Aantrekken	3
Uiterlijk	3
Algemene indruk tijdens gebruik	4

* Loze ruimte telt zwaarder

Eis:

- Evo's moeten maximaal 5° extra kunnen doorveren naar plantairflexie
- Het nieuwe ontwerp moet op alle punten vergelijkbaar of beter scoren dan de huidige evo's op de schaal van 1 tot 10
- Alle onderdelen van de evo's moeten vervangbaar zijn
- Door het gebruik van de evo's mogen geen drukplekken ontstaan
- Tijdens het gebruik van de evo's moet het drukplek onder caput os Metatarsale V ontlast worden

Wens:

- De evo's moeten lichter zijn dan de 500 gram van de huidige evo's
- De evo's moeten in zwart uitgevoerd worden
- De evo's moeten zo min mogelijk opvallen

2.5. Bewegingsanalyse

Om te onderzoeken welke problemen de proefpersoon ondervindt tijdens het surfen op een SDB is een bewegingsanalyse gemaakt (afbeelding 12). De volledige methode is uitgelegd in bijlage 3. Door middel van een camera (GoPro Hero 3 ®) op het board, afbeelding 13, werd er een registratie gemaakt van drie verschillende situaties:

- 1) Referentiepersoon zonder symptomen van HMSN
- 2) Proefpersoon zonder evo's
- 3) Proefpersoon met evo's

De gegevens van de referentiepersoon werden gebruikt om inzicht te geven in de gemiddelde mogelijkheden van een kitesurfer. Er bestaat echter geen gouden standaard.



Afbeelding 12, filmopstelling



Afbeelding 13, bevestiging camera op board

2.5.1 Houdingen in verschillende situaties

In de registratie zijn duidelijke verschillen in houding gezien bij de drie situaties (tabel 4).

Tabel 4, observatie kitesurfen

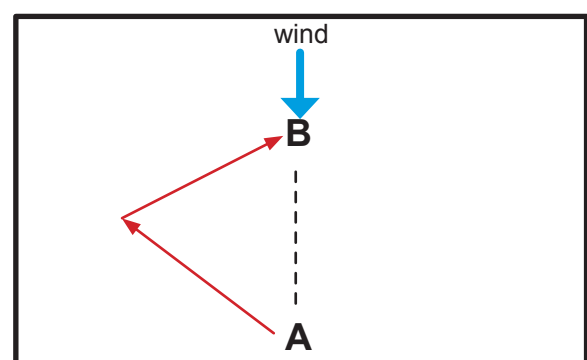
Situatie	Algemeen	Gewicht op tenen (toeside)	Bocht	Gewicht op hakken (heelside)	Observatie romp
1) Referentie persoon	- Stabiël - Vangt klappen met benen op - Romp hangt stil - Hoge snelheid	- Romp hangt stil, beweging komt vanuit benen - Snelheid maken mogelijk - Gaat goed	- Stabiël - Zowel benen als romp werken mee - Gebeurt in een vloeiende beweging - Ruim tijd voor compensatie	- Is altijd mogelijk - Stabiël - Vangt klappen met benen op - Romp staat richting kite - Hoge snelheid - Veranderingen in stand kunnen opgevangen worden - Volledige bewegingsvrijheid onder benen	- Hangt gedurende een vaarrichting redelijk stil - In heelside romp gericht naar kite
2) Proefpersoon zonder evo's	- Erg schokkerig - Veel moeite met klappen opvangen - Compensatie vanuit romp door draaiing - Lage snelheid	- Veel beweging in romp door draaiing - Snelheid kan gemaakt worden - Is mogelijk	- Bij lichaamszwaartepunt van voor naar achter: op moment dat zwaartepunt achter het steunvlak komt valt hij om - Benen werken niet mee, romp compenseert gedeeltelijk - Bocht niet in vloeiende beweging - Geen tijd voor compensatie	- Is mogelijk wanneer in deze houding gestart wordt - Instabiël - Compensatie beenspieren door middel van draaiing van romp - Romp niet in richting van kite - Lage snelheid - Kleine verandering in stand kan niet opgevangen worden met vallen als gevolg - Onderbenen kunnen verder dan 90° plantairflexie, met vallen als gevolg	- Heel schokkerig - Maakt grote uitslagen - In heelside is de romp niet naar de kite gericht
3) Proefpersoon met evo's	- Matig schokkerig - Vangt klappen met benen maar vooral met romp op - Onderbenen kunnen vrij bewegen - Romp is schokkerig, geen compensatie door draaiing - Hoge snelheid	- Veel beweging in romp, maar geen draaiing - Snelheid maken mogelijk - Gaat goed	- Stabiël - Zowel benen als romp werken mee - Gebeurt in een vloeiende beweging - Ruim tijd voor compensatie	- Is altijd mogelijk - Stabiël - Vangt klappen met benen en romp op - Romp staat richting kite - Hoge snelheid - Veranderingen in stand kunnen opgevangen worden - Onderbenen kunnen niet verder dan 90° plantairflexie, de romp doet de rest	- Blijft bewegen gedurende een vaarrichting - In heelside is de romp naar de kite gericht

2.5.2 Vaarparcours

Het parcours tijdens het surfen is geregistreerd met een GPS. Deze was om de bovenarm geklemd. Hieruit zijn verschillen in vaarrichtingen en bochten beoordeeld. In tabel 5 zijn de registraties te zien. De blauwe pijl geeft de windrichting aan. De start en finish zijn op het strand.

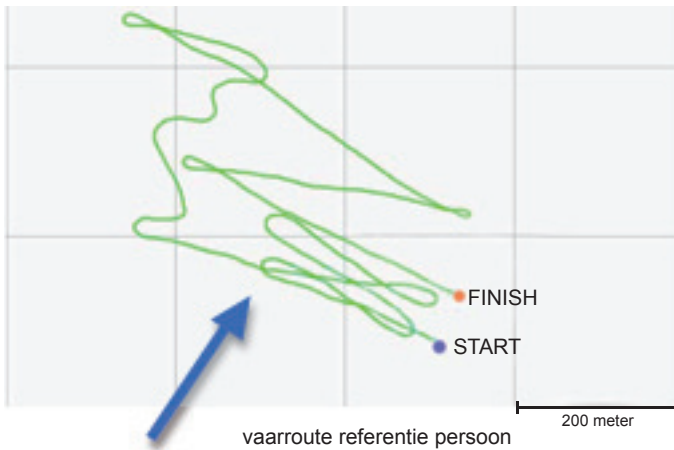
Hoogte lopen

Hoogte lopen (bij het zeilen opkruisen genoemd) betekent het tegen de wind in surfen. Om tegen de wind in van A naar B te komen moet de surfer volgens het parcours in afbeelding 14 varen.



Afbeelding 14, hoogte lopen

Tabel 5, uitleg GPS registratie

Vaarparcours	Beschrijving
 vaarroute referentie persoon	In de afbeelding links is duidelijk te zien dat elke plaats op het water bereikt kan worden. Verschillende vaarrichtingen zijn mogelijk. Geen bocht is hetzelfde. Hoogte lopen is mogelijk.
 vaarroute Daan zonder evo's	Hier is te zien dat hoogte lopen niet mogelijk is. Er kan alleen gevaren worden met halve wind of in de richting met de wind mee. De finish is dus altijd verder van de wind af dan de start. Er zal op het strand terug gelopen moeten worden naar de start.
 vaarroute Daan met evo's	Met evo's is het wel mogelijk om hoogte te lopen. Helaas is deze registratie vroegtijdig gestopt door problemen met een losgeraakte evo t.g.v zand in de klittenband sluiting.

2.5.3 Overige observaties kitesurfen

Bij het kitesurfen met de huidige evo's vielen nog een paar andere dingen op:

- Doordat er zand tussen het klittenband van een van de evo's zat ging deze tijdens het surfen los. Hierdoor moest het surfen vroegtijdig gestaakt worden.
- De klittenbandsluiting moet met twee handen gesloten worden. De proefpersoon heeft soms kramp in zijn onderbenen tijdens het surfen, waardoor hij genoodzaakt is zijn evo's uit te doen. Dit is niet mogelijk met één hand en aangezien hij al met één hand de kite in de lucht moet houden blijft er maar één hand over voor andere handelingen.
- De evo's moeten aan het lichaam bevestigd zijn, om verlies in het water te voorkomen. Op dit moment wordt daarvoor een koordje om de kuit gebruikt, dat soms in de huid snijdt.

2.5.4 Eisen vanuit de bewegingsanalyse

- Er moet hoogte gelopen kunnen worden
- Tijdens het surfen mogen de evo's niet onbedoeld losgaan
- De evo's moeten met één hand aan en uit getrokken kunnen worden
- Tijdens het surfen moet de romp stilhangen en moet er vanuit de benen gestuurd worden
- De evo's moeten de dorsaalflectoren parese compenseren
- Er moet een extra bevestiging van de evo's aan het lichaam zijn om verliezen te voorkomen

2.6. Krachtenberekeningen

In het hoofdstuk 2.5 Bewegingsanalyse wordt beschreven dat de proefpersoon niet in heelside kan varen en daarom moet compenseren met de rest van zijn lichaam. Hieronder wordt door middel van een statische krachtenberekening geanalyseerd waarom de proefpersoon dit niet kan en hoe groot de krachten en momenten zijn in een statische situatie. De krachten die de proefpersoon niet kan opvangen met zijn onderbenen zullen door de evo's gecompenseerd moeten worden.

Eerst wordt het totaalbeeld van een surfer op een SDB beschouwd. Afbeelding 15 laat deze situatie zien. Een surfer staat op een board en hangt aan de kite. De kite staat onder een hoek van 45° ten opzichte van de horizontaal. De kracht van de wind wordt over gebracht op de surfer op het board.

Het totaal gewicht van de surfer en het board is 85 kg, waardoor de zwaartekracht (F_z) 850N is. De overige krachten worden hieronder berekend.



Afbeelding 15, 2D statische situatie surfen

Reinhart Paelinck heeft op de faculteit Lucht- & ruimtevaart aan de TU Delft een afstudeerscriptie geschreven waarin hij de krachten op een kitesurfer berekent. Met deze krachten en andere input heeft hij een programma (KiteForce) geschreven waarin de krachten berekend kunnen worden. Het programma is gevalideerd ²⁰. In tabel 6 staan de parameters die als input voor het programma gebruikt worden.

Tabel 6, variabelen windkracht

Hoek van de wind	90 ° (halve wind)
Vaarsnelheid *	21,4 m/s
Windsnelheid	10,7 m/s
Trekrichting vlieger omhoog	45 °
Lift coëfficiënt *	1
Oppervlak vlieger	8 m ²
Massa bestuurder	85 kg
Diameter bestuurder *	0,4 m

* Deze gegevens zijn uit het programma overgenomen. De richtlijn voor de vaarsnelheid is het dubbele van de windsnelheid.

Hieruit volgt de kracht van de wind: $F_{wind}=930N$.

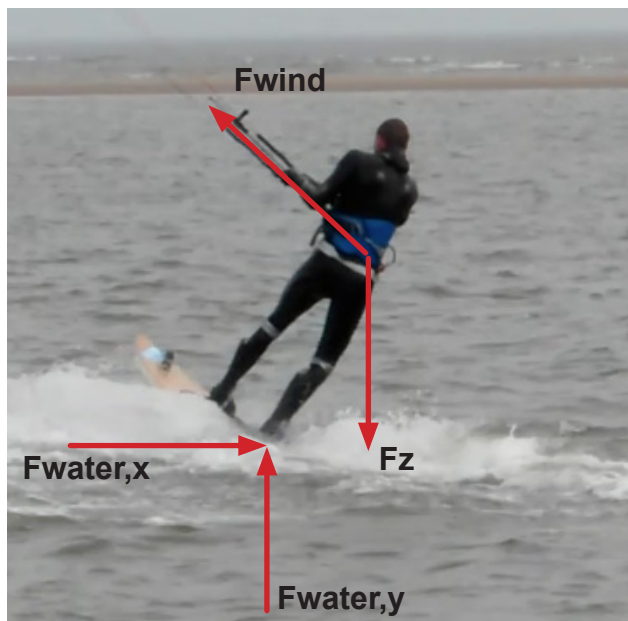
2.6.1 Detail berekening

Gewicht op de tenen (toeside)

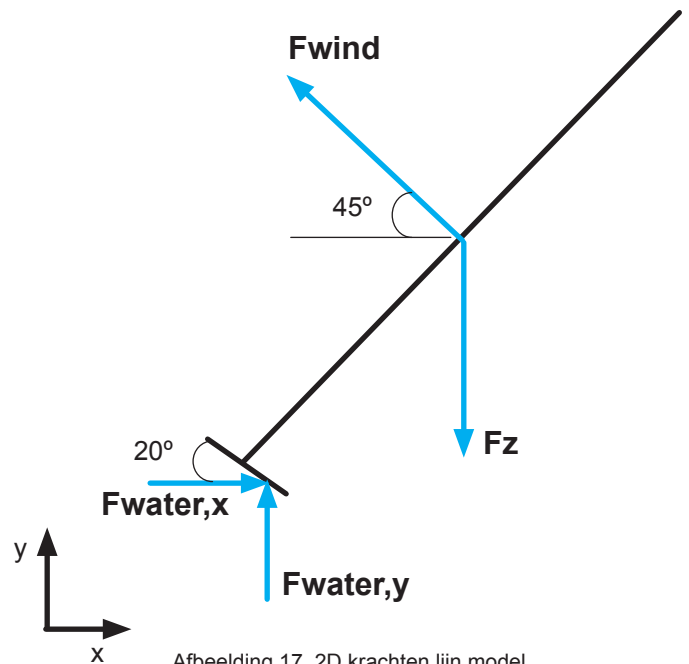
Hieronder wordt de situatie berekend waarbij de surfer op zijn tenen staat. Hierbij valt het lichaamszwaartepunt voor het steunvlak van de surfer.

Free body diagram lichaam + board toeside

Met een statische benadering van de surfer worden de externe krachten berekend die optreden tijdens het surfen. De surfer en het board worden als één geheel beschouwd. Zowel de wind als het water oefenen hier een kracht op uit. De kracht van het water wordt ontbonden in een x-richting: $F_{water,x}$, en een y richting: $F_{water,y}$. $F_{water,y}$ zorgt ervoor dat het board blijft drijven. De $F_{water,x}$ zorgt ervoor dat het board vooruit gaat, in plaats van in de richting van de wind. De F_z is 850N en de hoek waaronder de kite staat is 45° ten opzichte van de horizontaal. Het board staat onder een hoek van 20° ten opzichte van de horizontaal. In afbeeldingen 16 en 17 is het statische evenwicht te zien in een 3D model en een lijnvariant van het zij aanzicht



Afbeelding 16, 3D model gewicht tenen



Afbeelding 17, 2D krachten lijn model

De onderstaande berekeningen maken gebruik van de krachten op de combinatie van lichaam + board. Aangenomen wordt dat de resultante van $F_{water,x}$ en $F_{water,y}$ door het zwaartepunt loopt, om een evenwicht te creëren. Doordat er een evenwicht is kan er gesteld worden dat de som van de krachten in x- en y-richting 0 zijn. De andere krachten zijn dan:

$$\sum F_x = 0 = F_{water,x} - F_{wind,x}$$

$$F_{water,x} = F_{wind,x} = F_{wind} \cdot \cos(\phi) = 930 \cdot \cos(45) = 658N$$

$$\sum F_y = 0 = F_{wind,y} - F_z + F_{water,y}$$

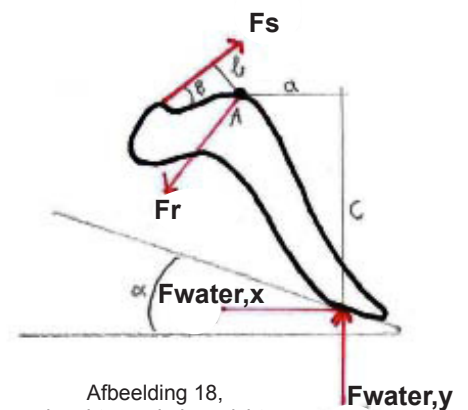
$$F_{water,y} = -F_{wind,y} + F_z = -F_{wind} \cdot \sin(\phi) + F_z = -930 \cdot \sin(45) + 850 = 192N$$

Free body diagram voet toeside

Het enkelgewricht staat centraal in de problemen waar de proefpersoon mee te maken heeft. Hier worden de krachten rond dit punt berekend, zie afbeelding 18. Aangenomen wordt dat $F_{water,x}$ en $F_{water,y}$ via het board direct overgebracht worden op de tenen. Aan de hand van de berekende $F_{water,x}$ en $F_{water,y}$ kan de spierkracht berekend worden die nodig is om op de tenen te blijven staan. De hoek die het board met de horizontaal maakt is 20° . De F_s (spierkracht) staat onder een hoek van 35° t.o.v. de horizontaal. Het moment linksom is positief.

Lichaamsmaten²¹:

- a: 10cm
- b: 4cm
- c: 13cm



Afbeelding 18, krachten enkelgewricht

$$\sum F_x = 0 = F_{s,x} - F_{r,x} + F_{water,x}$$

$$\sum F_y = 0 = F_{s,y} - F_{r,y} + F_{water,y}$$

$$\sum M_A = 0 = -F_s \cdot b + F_{water,y} \cdot a + F_{water,x} \cdot c$$

$$F_s = \frac{F_{water,y} \cdot a + F_{water,x} \cdot c}{b} = \frac{192 \cdot 10 + 658 \cdot 13}{4} = 2618N$$

$$moment = F_s \cdot b = 2618 \cdot 0.04 = 105Nm$$

Deze berekeningen komen overeen met de literatuur (W.K. Lama, 2004²²).

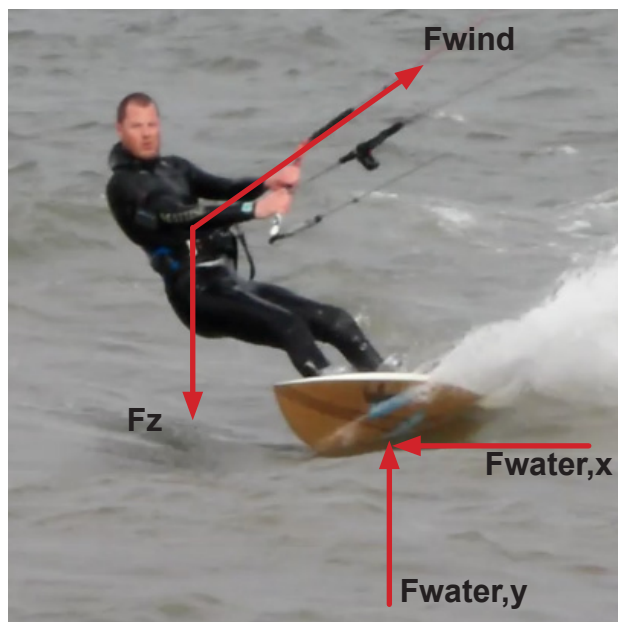
Op basis van het free body diagram van de voet (afbeelding 18) is berekend dat de F_s groot is: 2618N. Het moment wat hierbij geleverd wordt is 105Nm. De kracht zal geleverd moeten worden door beide kuitspieren en wordt dus verdeeld over beide benen. Bij afwezigheid van de kuitspieren zal er achterover draaiend moment van de voet optreden waardoor het onderbeen richting de voet naar beneden zakt en het lichaam voorover valt. Bij de proefpersoon zijn de kuitspieren weliswaar verkort en kunnen minder kracht leveren, maar zoals te zien is in de bewegingsanalyse levert dit voor hem geen problemen bij het kitesurfen op.

Gewicht op de hakken (heelside)

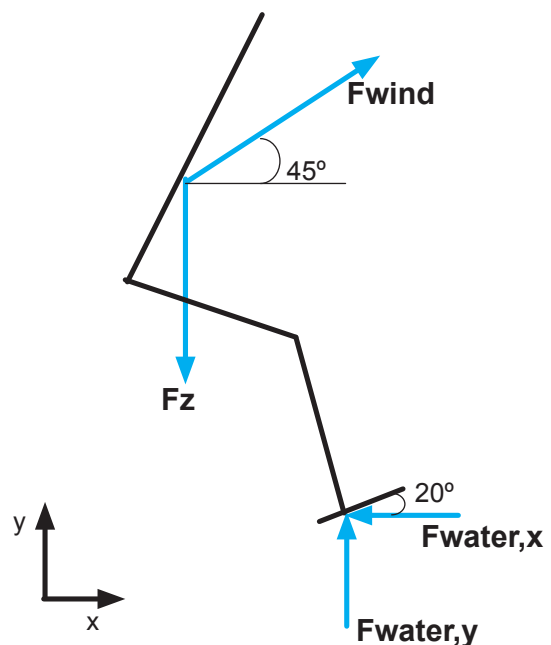
Bij het surfen in heelside rust het gewicht op de hakken en ligt het zwaartepunt achter het steunvlak.

Free body diagram lichaam + board heelside

Afbeeldingen 19 en 20 tonen de statische situatie bij surfen op de hakken, in een 3D model en in een lijnvorm van het zij aanzicht. Hierbij spelen dezelfde krachten een rol als bij de situatie met het gewicht op de tenen. F_z , F_{wind} en de hoek zijn bekend. Hieruit volgen dezelfde $F_{water,x}$ en $F_{water,y}$ als in de voorgaande situatie. In deze berekeningen worden dezelfde aannames gedaan als bij toeside.



Afbeelding 19, krachten gewicht hakken



Afbeelding 20, krachten lijn model gewicht hakken

Free body diagram voet heelside

Afbeelding 21 toont de krachten rond het enkel gewricht. Het board staat onder een hoek van 20° ten opzichte van de horizontaal. De F_s maakt een hoek van 40° met de horizontaal. De reactiekracht van het water grijpt in deze situatie aan op de hakken. Moment linksom is positief.

Lichaamsmaten²¹:

a: 3cm

b: 5cm

c: 13cm

$$\sum F_x = 0 = -F_{s,x} + F_{r,x} - F_{water,y}$$

$$\sum F_y = 0 = F_{s,y} - F_{r,y} + F_{water,y}$$

$$\sum M_A = 0 = -F_{water,y} \cdot a + F_s \cdot b - F_{water,x} \cdot c$$

$$F_s = \frac{F_{water,y} \cdot a + F_{water,x} \cdot c}{b} = \frac{192 \cdot 3 + 658 \cdot 10}{5} = 1431N$$

$$moment = F_s \cdot b = 1431 \cdot 0.05 = 72Nm$$

Uit de berekening volgt dat de spierkracht (F_s) 1431N moet zijn om te blijven staan. Deze wordt geleverd door beide benen. Het moment wat hieruit volgt is 72Nm. Bij uitval van spieren die de F_s opvangen, zoals bij de proefpersoon het geval is, treedt er een voorover draaiend moment op. Hierdoor zal de voet in plantairflexie vallen, waardoor de heelside positie onmogelijk is. Dit is bij de bewegingsanalyse duidelijk naar voren gekomen. Daarom is het noodzakelijk dat de evo het moment dat de spier zou moeten leveren opvangt in deze statische situatie.

In deze berekeningen zijn echter een paar factoren niet meegenomen. Onder andere het moment dat door beide benen opgevangen moet worden. Deze zal niet gelijkelijk over de benen verdeeld zijn. Onder andere daarom wordt er een veiligheidsmarge van 1,5 aangehouden. (Moment spier/2)*1,5= 54Nm. Dat is het moment dat per evo opgevangen moet kunnen worden.

2.6.2 Wrijvingskracht

De proefpersoon gaf aan dat hij met zijn huidige evo's niet kan blijven staan op het SDB. Dat komt doordat de wrijvingscoëfficiënt tussen kunststof en rubber te klein is. Om na te gaan hoe groot deze wrijvingscoëfficiënt moet zijn wordt dit berekend aan de hand van de wrijvingskracht en normaalkracht (afbeelding 22). Als extreme situatie wordt aangenomen dat het board onder een hoek van 45° staat: $\phi=45^\circ$.

$$\sum F_x = 0 = F_{wind} - F_z \cdot \cos(\alpha) - F_w = 0 \quad \sum F_y = 0 = -F_z \cdot \sin(\alpha) + F_N$$

$$F_w = F_{wind} - F_z \cdot \cos(\alpha)$$

$$= 930 - 850 \cdot \cos(45^\circ)$$

$$F_w = 329N$$

$$F_N = F_z \cdot \sin(\alpha)$$

$$F_N = 850 \cdot \sin(45^\circ)$$

$$F_N = 601N$$

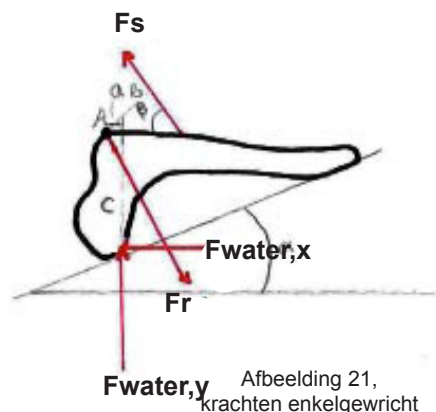
$$F_w = \mu \cdot F_N$$

$$\mu = \frac{F_w}{F_N} = \frac{329}{601} = 0.5$$

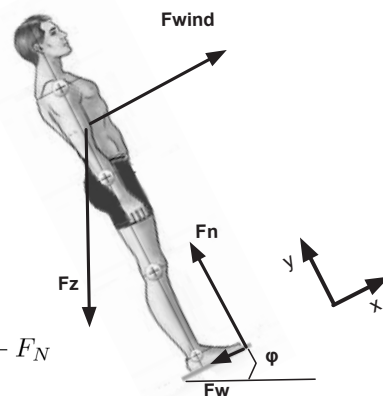
De minimale wrijvingscoëfficiënt om op het board te kunnen blijven staan is $\mu_k = 0.5$.

Eisen krachtenberekeningen:

- In een statische situatie, moet per evo een moment van 54Nm kunnen worden opvangen.
- De wrijvingscoëfficiënt tussen de evo het board moet minimaal $\mu_k = 0.5$ zijn



Afbeelding 21, krachten enkelgewricht



Afbeelding 22, wrijvingskracht

2.7. Programma van eisen

Eisen*

Functie

- 1) **De evo's moeten gebruikt kunnen worden op een directioneel board**
- 2) Met de evo's moet zonder footstraps gesurft kunnen worden
- 3) Er moet hoogte gelopen kunnen worden
- 4) **Tijdens het surfen mogen de evo's niet onbedoeld losgaan**
- 5) **De evo's moeten met één hand aan en uit getrokken kunnen worden**
- 6) In een statische situatie, moet per evo een moment van 54Nm kunnen worden opvangen.

Beweging

- 7) Tijdens het surfen moet de romp stilhangen en moet er vanuit de benen gestuurd worden
- 8) **De evo's moeten de dorsaalflectoren parese compenseren**
- 9) **Evo's moeten maximaal 5° extra kunnen doorveren naar plantairflexie**

Materiaal

- 10) De wrijvingscoëfficiënt tussen de evo het board moet minimaal $\mu_k=0,5$ zijn
- 11) De evo's moeten water- en zoutresistent zijn
- 12) **Het zand in het water mag geen problemen geven tijdens het surfen**
- 13) Alle onderdelen van de evo's moeten vervangbaar zijn
- 14) De evo's mogen niet zinken om kwijtraken in het water te voorkomen

Vorm

- 15) In de evo's moet een ruimte van 2 mm zijn voor wetsuit en neopreenschientjes om afknelling te voorkomen
- 16) **Tijdens het gebruik van de evo's moet het drukplek onder caput os Metatarsale V ontlast worden**
- 17) Door het gebruik van de evo's mogen geen drukplekken ontstaan
- 18) Er moet een extra bevestiging van de evo's aan het lichaam zijn om verliezen te voorkomen

Gevoel

- 19) **Het nieuwe ontwerp moet op alle punten vergelijkbaar of beter scoren dan de huidige evo's op de schaal van 1 tot 10**
 - I: pasvorm
 - II: drukplekken
 - III: gevoel van ondersteuning
 - IV: contact SDB
 - V: aantrekken
 - VI: uiterlijk
 - VII: algemene indruk

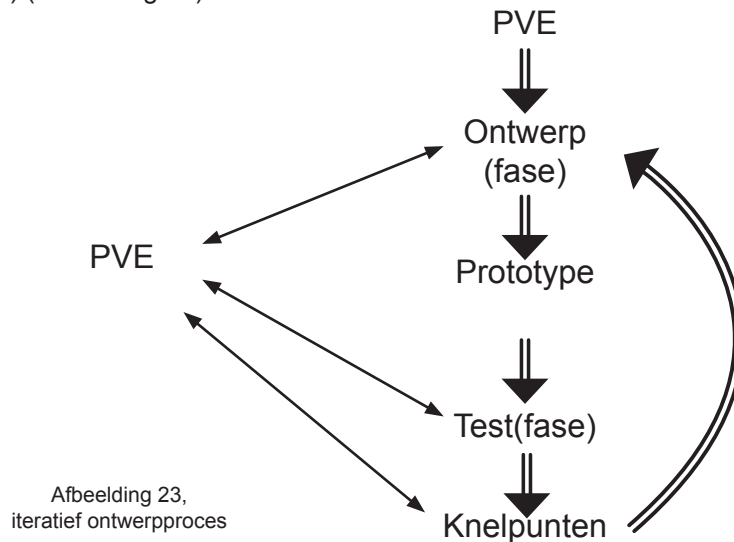
Wensen

- 20) De evo's moeten ook gebruikt kunnen worden op een twintip board
- 21) De evo's moeten in zwart uitgevoerd worden
- 22) De evo's moeten zo min mogelijk opvallen
- 23) De evo's moeten lichter zijn dan de 500 gram van de huidige evo's

**De belangrijkste eisen zijn vetgedrukt.*

3. Ontwerpcyclus 1

Om tot een goed werkend product te komen wordt er tijdens het proces gewerkt met een iteratieve (d.w.z. steeds herhalende) ontwerpmethod. Daarbij wordt het ontwerp meerdere keren aangepast op grond van de tijdens het testen gesignaleerde verbeterpunten. Met de aanpassingen die uit de testfase naar voren gekomen zijn, wordt de cyclus nogmaals doorlopen. Dit proces wordt herhaald totdat het gewenste resultaat is bereikt. Gedurende dit project is het ontwerpproces drie keer doorlopen. De dubbele pijl geeft het verloop van het proces aan. De enkele pijl geeft aan welke fasen afhankelijk zijn van het programma van eisen (PVE) (afbeelding 23).



Afbeelding 23,
iteratief ontwerpproces

3.1 Ontwerpfase

Ideefase

Vanuit het programma van eisen zijn een aantal deelvragen opgesteld. De hoofdvraagstelling wordt hierdoor opgesplitst in kleinere delen, waardoor de probleemstelling concreter wordt en het geheel overzichtelijker is. De deelvragen worden HKJ's ("Hoe Kun Je...") genoemd.

Hoe Kun Je:

- gevoel met het board krijgen?
- plantairflexie beperken?
- beweging in het enkelgewricht krijgen?
- drukplekken voorkomen of verminderen?
- evo's sluiten (met 1 hand)?
- varusneiging van de enkel tegengaan?
- op het board blijven staan?
- evo's tijdens het surfen niet kwijtraken?
- het zwaartepunt naar voren brengen?

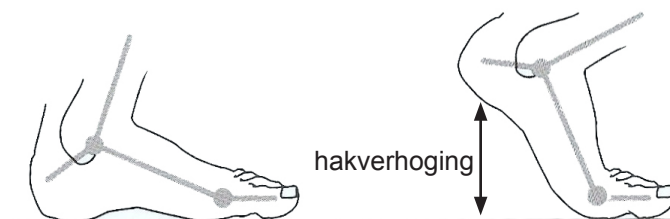
Voor de HKJ's en de bijbehorende antwoorden wordt verwezen naar bijlage 4.

Per deelvraag waren er meerdere oplossingen, waardoor er een uitgebreide lijst met ideeën is ontstaan. Deze zijn eerst afzonderlijk getoetst aan de belangrijkste voorwaarden uit het PVE. Vervolgens heeft er een convergentie plaatsgevonden, door te beoordelen of er geen onderlinge strijdigheid ontstond bij het combineren van de ideeën tot één evo-model (bijlage 5). De lijst met belangrijkste eisen (vet gedrukt in PVE) wordt hieronder weergegeven in volgorde van belangrijkheid (belangrijkste bovenaan)

- 1) De evo's moeten gebruikt kunnen worden op een directioneel board
- 4) Tijdens het surfen mogen de evo's niet onbedoeld losgaan
- 5) De evo's moeten met één hand aan en uit getrokken kunnen worden
- 8) De evo's moeten de dorsaalflectoren parese compenseren
- 9) Evo's moeten maximaal 5° extra kunnen doorveren naar plantairflexie
- 12) Het zand in het water mag geen problemen geven tijdens het surfen
- 16) Tijdens het gebruik van de evo's moet het drukplek onder caput os Metatarsale V ontlast worden

Hierdoor is een deel van de ideeën afgefallen. Die ideeën kwamen onvoldoende overeen met deze lijst.

Omdat de romp tijdens het surfen moet stilhangen en het board vanuit de benen gestuurd moet worden, is ervoor gekozen om als oplossing hiervoor bij alle ideeën een hakverhoging te plaatsen. Daardoor ontstaat er een verschil in hoogte tussen de hak en de bal van de voet (afbeelding 24). Op die manier wordt het onderbeen gekanteld en komt het zwaartepunt van het lichaam meer naar voren te liggen. Als gevolg daarvan krijgen de benen meer bewegingsvrijheid en kunnen de bewegingen meer vanuit de benen gemaakt worden dan vanuit de romp.



Afbeelding 24, hakverhoging

De hoogte van de hakverhoging is empirisch vastgesteld. Inmiddels waren er namelijk door de orthopedisch schoenmaker nieuwe schoenen voor de proefpersoon gemaakt, waarin eveneens hakverhogingen zijn verwerkt: links 2,5 cm en rechts 3 cm. Dit zorgt voor een betere drukverdeling over de voetzool. Omdat deze aanpassingen echter voor het lopen bedoeld zijn, is deze maatvoering alleen als indicatie gebruikt en is er uitgegaan van verhogingen die de proefpersoon prettig vond bij zijn surfhouding op het 'droge'. Dit leverde links een verhoging van 2,5 cm en rechts 3,5 cm op. Omdat dit nauwelijks afweek van de aanpassingen van de orthopedisch schoenmaker, is geen verder onderzoek gedaan naar de hoogte van de hakverhogingen. Deze nieuwe hakverhoging (2,5 cm en 3,5 cm) werd in de ontwerpfase meegenomen.

Conceptfase

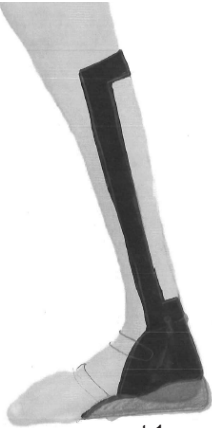
Op grond van de overgebleven ontwerpcriteria werd een drietal verschillende concepten voor een evo opgesteld. Voor de onderdelen daarvan zijn vooral die combinaties van ideeën gekozen, waarbij de voetzool en de kuitschelp verschillend waren. De beoordeling van de concepten is te zien in bijlage 6. Uiteraard bestond er een aanzienlijke overlap tussen de diverse mogelijke combinaties. Alle drie de concepten bevatten de hierboven genoemde hakverhoging. In tabel 7 worden de concepten in detail besproken. Voor grotere en meer gedetailleerde afbeeldingen van de concepten wordt verwezen naar bijlage 7.

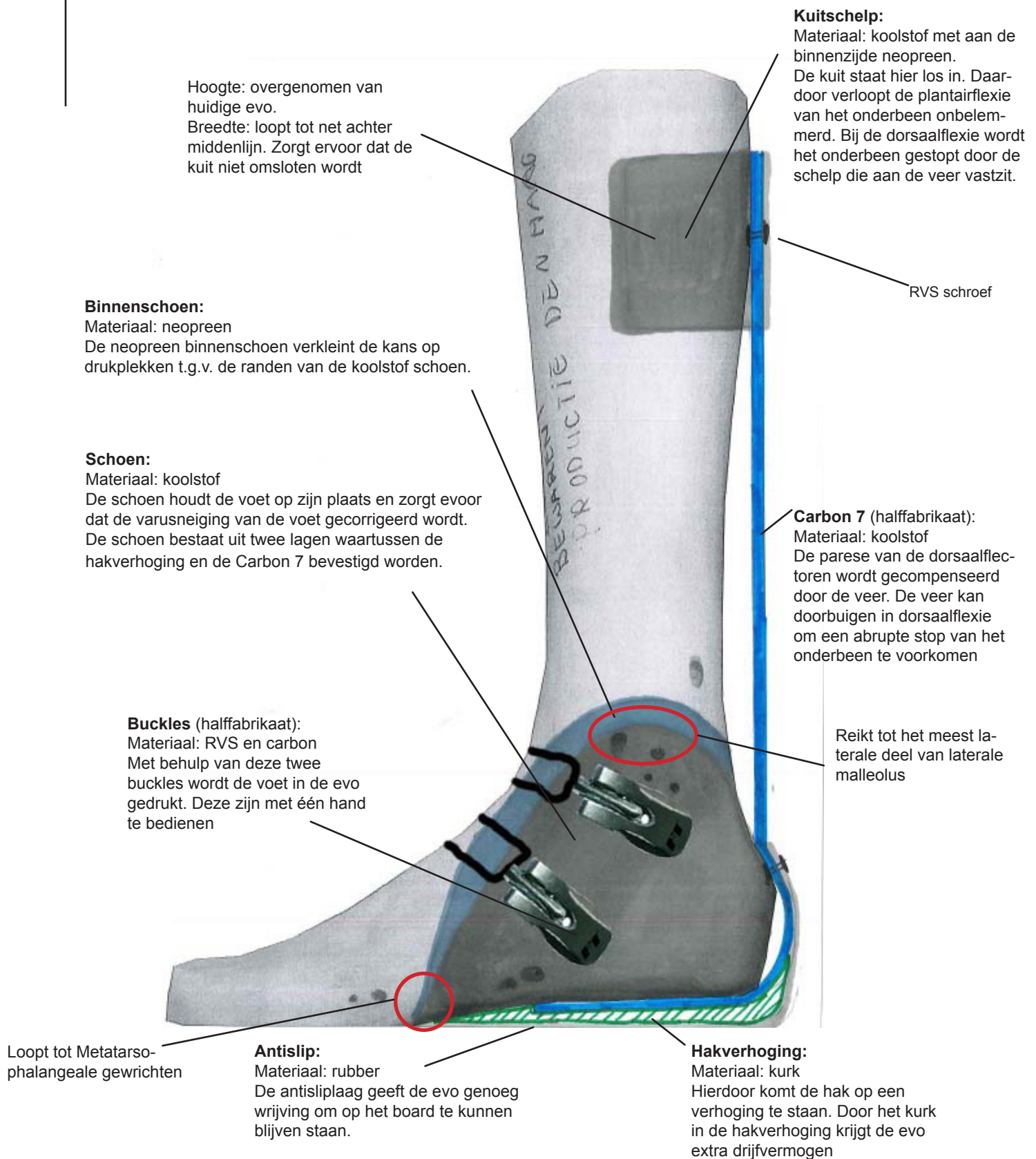
Bij de bespreking van de drie concepten met de proefpersoon kwam naar voren dat het niet noodzakelijk is om een scharnier in de evo te hebben. Wanneer de dorsaalflexie ongehinderd moet verlopen, hoeft de kuitschelp niet met het onderbeen mee te bewegen. Bij plantairflexie moet het onderbeen gefixeerd worden in de kuitschelp. De kuitschelp kan dus in een vaste positie geconstrueerd worden. Het idee van een scharnier is daarom losgelaten en met onder andere de eis dat er 5° doorvering naar plantairflexie moest zijn, is gekozen voor ontwerp 1. Ontwerp 1 is een samenstelling van de drie concepten.

Ontwerp 1

Afbeelding 25 toont ontwerp 1 in lateraal aanzicht. De andere perspectieven worden getoond in bijlage 8. Aan de achterzijde van het been is een slanke staaf zichtbaar. Dat is een veer (Carbon 7) die ervoor zorgt dat de parese van de dorsaalflectoren gecompenseerd wordt. De veer is niet volledig stijf en kan daardoor iets doorveren. In de afbeelding is de linker evo te zien met een hakverhoging van 2,5 cm. De rechter heeft een verhoging van 3,5 cm. Afgezien van de hakverhogingen zijn de evo's identiek. De afbeelding bevat bij ieder onderdeel een korte uitleg.

Tabel 7, concepten

Concept	Beschrijving
 concept 1	Concept 1: De zool loopt door tot proximaal van de Metatarsophalangeale gewrichten. De tenen en bal van de voet kunnen hierbij dus vrij bewegen voor een goed contact met het board. In de zool is een verhoging voor de hak verwerkt. Zowel mediaal als lateraal is er een koolstof staander richting de knie, met aan de bovenzijde een kleine kuitkap. De kuitkap is bevestigd met Tamarack scharnieren aan het voetdeel. Er is een lock aanwezig tegen plantairflexie.
 concept 2	Concept 2: dit concept heeft een zool die tot vóór het proximale Interphalangeale gewricht loopt. Alleen de tenen zijn vrij te bewegen. Er kan dus ook enige contact met het board gemaakt worden, maar er is ook voldoende ondersteuning van de dorsaalflectoren. Er is een hakverhoging aanwezig. De kuitkap is volledig dicht en bevestigd met Tamarack scharnieren. Ook hier is aan de dorsale zijde een lock aanwezig tegen de plantairflexie.
 concept 3	Concept 3: de zool loopt door onder de gehele voet en is een zogenaamde 3 fasen zool. Dat wil zeggen: samengesteld uit 3 verschillende dikten. Onder het mediale gewelf loopt de voetzool af en bij de bal van de voet en de tenen is de zool slechts enkele millimeters dik. Door die dunne zool onder de voorvoet is het mogelijk te buigen in de Metatarsophalangeale en de proximale Interphalangeale gewrichten. De kap aan de voorzijde van de tenen zorgt ervoor dat de zool niet losbungelt tijdens het omhoog brengen van de voet. In het midden van de achterzijde van de kuit loopt over de gehele lengte een veer. Deze zorgt ervoor dat doorvering mogelijk is. Door de kuitschelp bovenaan zal de kuit steeds naar de goede positie geleid worden.



Afbeelding 25, ontwerp 1

Tabel 8 Onderbouwing ontwerpkeuzen in relatie met het PVE.

Tabel 8, ontwerp 1 met onderbouwde eisen

Eis	Onderbouwing
1) De evo's moeten gebruikt kunnen worden op een directioneel board	Voor het directionele board is gekozen voor een voetzool tot proximaal van de Metatarsophalangeale gewrichten
2) Met de evo's moet zonder footstraps gesurft kunnen worden	De evo's zijn voorzien van een zool die tot proximaal van de Metatarsophalangeale gewrichten loopt. Hierdoor heeft de surfer meer contact met het board en krijgt daarom betere feedback op zijn bewegingen
3) Er moet hoogte gelopen kunnen worden	Doordat er meer feedback van het board wordt gekregen en de parese van de dorsaalflectoren gecompenseerd wordt, is dit mogelijk
4) Tijdens het surfen mogen de evo's niet onbedoeld losgaan	De buckle sluiting is een beproefde stevige sluiting
5) De evo's moeten met één hand aan en uit getrokken kunnen worden	De buckle's op de evo's kunnen met één hand geopend en gesloten worden
6) In een statische situatie, moet per evo een moment van 54Nm kunnen opvangen.	De Carbon 7 kan een minimaal moment van 150 Nm opvangen
7) Tijdens het surfen moet de romp stilhangen en moet er vanuit de benen gestuurd worden	Doordat de evo's een hakverhoging bevatten wordt de stand van de enkel veranderd en heeft het onderbeen meer bewegingsvrijheid. Als gevolg is er meer beweging vanuit de benen mogelijk. Daarnaast geeft de evo steun aan de onderbenen waardoor de surfer rustiger op het board staat. De romp hoeft daardoor minder schokken op te vangen.
8) De evo's moeten de dorsaalflectoren parese compenseren	De Carbon 7 compenseert de parese van de dorsaalflectoren
9) Evo's moeten maximaal 5° extra kunnen doorveren naar plantairflexie	De Carbon 7 in de evo's zijn gebaseerd op een gewicht van 70 kg. Bij 85 kg wordt verwacht dat ze iets verder doorbuigen, hetgeen de bedoeling is
10) De wrijvingscoëfficiënt tussen de evo het board moet minimaal $\mu_k=0,5$ zijn	Door middel van een rubber antislip onder de zool en een deel van de voet is deze coëfficiënt groter
11) De evo's moeten water- en zout resistent zijn	Alle onderdelen zijn water en zout resistent
12) Het zand in het water mag geen problemen geven tijdens het surfen	Er zijn geen onderdelen waarbij problemen kunnen ontstaan door het zand tijdens het surfen
13) Alle onderdelen van de evo's moeten vervangbaar zijn	Alle onderdelen kunnen vervangen worden (voor de Carbon 7 is specifiek ruimte gecreëerd)
14) De evo's mogen niet zinken om kwijtraken in het water te voorkomen	Door het kurk in de hakverhoging i.c.m. het lichte koolstof zal de evo niet zinken
15) In de evo's moet een ruimte van 2 mm zijn voor wetsuit en neopreenschientjes om afknelling te voorkomen	Door het gebruik een wetsuit en sokken bij het aanmeten van het gipsmodel is rekening gehouden met extra ruimte
16) Tijdens het gebruik van de evo's moet het drukplek onder caput os Metatarsale V ontlast worden	De verhoging aan het begin van de evo creëert extra ruimte voor deze plek. Hierdoor is er geen direct contact met de drukplek
17) Door het gebruik van de evo's mogen geen drukplekken ontstaan	Door het gebruik van gepersonaliseerde mallen (via gipsafdruk) kan extra ruimte voor kwetsbare plekken gecreëerd worden
18) Er moet een extra bevestiging van de evo's aan het lichaam zijn om verliezen te voorkomen	De evo's zullen met een zekeringsband om het been bevestigd worden

3.2 Prototype

Aan de hand van het gekozen concept werd een prototype gemaakt. Bijlage 9 en 10 beschrijven de vervaardiging ervan.

Om dit prototype te maken zijn een aantal vereenvoudigingen gemaakt. Deze staan in tabel 9.

Tabel 9, vereenvoudigingen ontwerp

Ontwerp	Vereenvoudiging testmodel
Koolstof kuitkap	Bycast (kunststof gips) kuitkap over de hele lengte van het onderbeen
Carbon 7	Bandstaal staander versterkt met koolstof, ingegipst in 2 lagen by cast
Koolstof schoenschelp (2 laags)	Bycast schoenschelp (2 laags)
Neopreen binnenschoen	Polyform binnenlaag
Kurk hakverhoging L:2,5 en R:3,5 cm	Geen vereenvoudiging
Buckles	Klittenband
Bevestiging Carbon 7 aan koolstof met RVS schroeven	Bevestiging bandstaal tussen de twee lagen van de bycast ingeklemd
Lijmverbinding antislip met onderkant	Geen vereenvoudiging

In afbeelding 26 is het prototype te zien.



Afbeelding 26, prototype 1

3.3 Testfase

Prototype 1 is op een aantal punten getest op het droge. In tabel 10 staan de conclusies beschreven.

Tabel 10, testresultaten prototype 1

Testpunt	Uitkomst test
Pasvorm/ drukpunten	- Enkel wordt goed op zijn plaats gehouden - Hoogte kuitschelp is goed - Ventrle rand kuitschelp steekt te veel naar voren uit. Kuit schuurt er langs - Geen drukplekken
Hakverhoging	- Goede balans, prettige houding
Stand in de enkel	Enkel staat teveel in plantairflexie. Hierdoor komt de kuit voor de kuitschelp te staan.
Stand in de ruimte	- Kuitschelp staat teveel in plantairflexie. - Stand in frontaal vlak goed
Mogelijkheid dorsaalflexie	Geen problemen
Doorvering plantairflexie	Doorvering is niet te testen met dit model, te stijf.
Lengte/vorm voetzool	- Lengte moet kleiner - Voetbed is goed
Contact voorvoet agv lengte voetzool	- Niet goed, was te lang. Kan dus niet goed beoordeeld worden wat betreft het contact.

4. Ontwerpcyclus 2

4.1 Ontwerpfase 2

Uit cyclus 1 zijn een aantal punten gekomen waarop het ontwerp verbeterd moest worden. In tabel 11 worden kort de verbeterpunten met de daarbij bedachte oplossing besproken.

Tabel 11, verbeterpunten prototype 1

Verbeterpunt	Uitleg	Aanpassing
Pasvorm	Tijdens de ruststand kwamen de kuiten voor de schelp te staan	Om dit te corrigeren moet er een nieuwe mal gemaakt worden waarbij de stand in de enkel wordt aangepast. Uit passen in ruststand bleek dat de hoek tussen staander en grond van 80° naar 65° veranderd moet worden. Op de mal kan het nieuwe model gemaakt worden. (Zie bijlage 9 voor het constructieproces)
Pasvorm	De kuit schaaft langs de kuitschelp bij plantairflexie	De grootte van de kuitschelp moet aangepast worden tot achter de helft van de zijkant van het been
Doorvering	De doorvering van de plantairflexie was op dat moment niet te testen, maar het was duidelijk dat dit model te stijf was.	Er moet een smallere kuitschelp gemaakt worden rond de koolstof staander
Contact	Geen contact met de grond	De voetzool moet korter, tot voor de Metatarsophalangeale gewrichten

In bijlage 11 is de schets van het nieuwe testmodel te vinden.

4.2 Prototype 2

Afbeelding 27 toont het tweede prototype. Het verschil in de hoek van de kuitkap met de grond t.o.v het model in afbeelding 26 is duidelijk te zien. Overige veranderingen ten opzichte van testmodel 1:

- Verkorte voetzool
- Minder diepe kuitschelp
- Verminderde stijfheid

De vervaardiging van dit model komt grotendeels overeen met testmodel 1 en wordt beschreven in bijlage 10.



Afbeelding 27, prototype 2

4.3 Testfase 2

Prototype 2 is eerst getest op de pasvorm. Vervolgens werd het verder afgewerkt en qua functie op het water getest aan de hand van de punten in tabel 10. Bij het testen (afbeelding 28) is het meetprotocol van de bewegingsanalyse gevolgd. In tegenstelling tot de eerdere analyse werd ditmaal geen GPS registratie tijdens het surfen gemaakt omdat het apparaat op dat moment niet beschikbaar was.



Afbeelding 28, prototype 2 op water

Observaties

De eerste reactie van de proefpersoon op het tweede prototype was dat dit testmodel een goede stabiliteit geeft. Hij had het gevoel dat zijn lichaam, de evo's en het board één geheel waren, in tegenstelling tot bij zijn huidige evo's. Hij merkte dat zijn romp stil hing en zijn benen het werk kunnen deden, zodat de romp niet meer behoefde te compenseren wat de benen niet konden. Daarbij gaf hij aan dat hij door de nieuwe lengte van de zool goed contact had met het board. Hij kon zelfs op zijn tenen staan wanneer dit nodig was. Tijdens de 2e testfase was de windkracht lager dan wenselijk, waardoor de proefpersoon niet altijd volledig uit het water getrokken werd. Het gevolg daarvan was dat hij niet zonder footstraps kon varen en onvoldoende hoogte kon lopen. De resultaten zijn dus verkregen bij gebruik van de footstraps.

Testpunten

In tabel 12 staan de punten waarop prototype 2 is getest met de uitkomst.

Tabel 12, resultaten test 2

Testpunt	Uitkomst test 2
Pasvorm/ drukpunten	Drukpunt op trochlea tali. Daarnaast ook teveel ruimte aan dorsale zijde
Hakverhoging	Goede hakverhoging
Stand in de enkel	Goed, de kleinere hoek van de enkel gaf extra gevoel van stabiliteit van de onderbenen
Stand in de ruimte	Goed, zowel in frontaal als sagittaal vlak
Mogelijkheid dorsaalflexie	Goed
Doorvering plantairflexie	Goed. Geeft een gevoel van stabiliteit
Lengte/vorm voetzool	Goed
Contact voorvoet agv lengte voetzool	Goed

Dit testmodel is vergeleken met de huidige evo's. In tabel 13 zijn de verschillen te zien

Tabel 13, ervaringen proefpersoon prototype 2

Onderdelen	Huidige evo	Prototype 2
Pasvorm* (algemeen en loze ruimtes)	5 (7 en 3)	4 (2 en 8)
Drukplekken	5	5
Gevoel van ondersteuning	4	7
Contact directioneel board	3	7
Aantrekken	3	7
Uiterlijk	3	1
Algemene indruk tijdens gebruik	4	7

* Loze ruimte telt zwaarder

5. Ontwerpcyclus 3

5.1 Ontwerpfase 3

Uit cyclus 2 volgen de onderstaande verbeteringspunten:

Tabel 14, verbeterpunten prototype 2

Verbeterpunt	Uitleg	Aanpassing
Pasvorm	Rechts: aan de dorsale zijde van de laterale malleolus is erg veel ruimte tussen evo en voet	Mal moet bijgeschaafd worden om de evo beter te laten aansluiten
Drukplekken	Links: bij de mediale malleolus is een drukplek wat zorgt voor een wondje	Mal moet wat aangepast worden
Uiterlijk	Prototype 2 heeft een lomp uiterlijk	Ander testmodel

5.2 Prototype 3

Voorafgaande aan de vervaardiging van prototype werden twee Carbon 7 exemplaren besteld om de stijfheid ervan te testen. Bij aflevering bleek de hoek van de Carbon 7 anders dan verwacht. Met een hakverhoging van 1,5 cm maakt de veer een hoek van 90° t.o.v. de horizontaal. Deze hoek was te groot om te gebruiken in prototype 3, waar een hoek van 65° nodig was. Door de onjuiste hoek, was het nodig zelf een nieuwe veer te construeren. Het constructieproces is te vinden in bijlage 12.

Behalve de Carbon 7 veer is ook de sluiting getest. Op het prototype zijn buckle's in combinatie met kunststof draad aangebracht.

Afbeelding 19 toont prototype 3.



Afbeelding 19, prototype 3

5.3 Testfase 3

Tijdens testfase 3 is het meetprotocol uit de bewegingsanalyse gevolgd. De resultaten van de test worden getoond in tabel 15 en 16.

Tabel 15, resultaten test 3

Testpunt	Uitkomst
Pasvorm	Beter aangesloten, maar nog niet optimaal
Drukplekken	Links bij mediale malleolus
Stijfheid veer	Veer buigt meer dan 5° door
Plaatsing sluiting	Goed
Openen/sluiten 1 hand	Was mogelijk. Wordt beter wanneer haken strakker in elkaar klemmen. Sluiting is wel open gegaan tijdens test
Contact board, zonder straps	Goed

Tabel 16, beoordeling proefpersoon prototype 3

Onderdelen	Huidige evo	Prototype 2	Prototype 3
Pasvorm* (algemeen en loze ruimtes)	5 (7 en 3)	4 (2 en 8)	6 (9 en 4)
Drukplekken	5	5	5
Gevoel van ondersteuning	4	7	8
Contact directioneel board	3	7	7
Aantrekken	3	7	7
Uiterlijk	3	1	4
Algemene indruk tijdens gebruik	4	7	8

* Loze ruimte telt zwaarder

Proefpersoon:

“Ook zonder straps op het board hebben de evo's een goede grip, gelijk aan blote voeten. Door de hakverhoging is de stand veel natuurlijker, wat met name opvalt in de toeside stand. De hakverhogingen in de evo's voelen natuurlijk aan en lijken een verlengde van de hielen.”

6. Eindontwerp

In onderstaande afbeelding (20) is de opbouw van verschillende lagen in mediaal aanzicht te zien. Voor andere aanzichten wordt verwezen naar bijlage 13.



Afbeelding 20, opbouw eindontwerp

In tabel 17 wordt het eindontwerp getoetst aan het PVE.

Tabel 17, eindontwerp getest aan PVE

Eis	Voldaan (op basis van ontwerp en prototype 3)	
	Ontwerp	Testmodel
1) De evo's moeten gebruikt kunnen worden op een directioneel board	++	++
2) Met de evo's moet zonder footstraps gesurft kunnen worden	++	++
3) Er moet hoogte gelopen kunnen worden op het water	++	++
4) Tijdens het surfen mogen de evo's niet onbedoeld losgaan	++	-
5) De evo's moeten met één hand aan en uit getrokken kunnen worden	++	-
6) In een statische situatie, moet per evo een moment van 54Nm kunnen opvangen.	++	-- *
7) Tijdens het surfen moet de romp stilhangen en moet er vanuit de benen gestuurd worden	++	++
8) De evo's moeten de dorsaalflectoren parese compenseren	++	++
9) Evo's moeten maximaal 5° extra kunnen doorveren naar plantairflexie	++	- (~20°)
10) De wrijvingscoëfficiënt tussen de evo het board moet minimaal $\mu_k=0,5$ zijn	++	++
11) De evo's moeten water- en zout resistent zijn	++	+
12) Het zand in het water mag geen problemen geven tijdens het surfen	++	+
13) Alle onderdelen van de evo's moeten vervangbaar zijn	++	++
14) De evo's mogen niet zinken om kwijtraken in het water te voorkomen	**	-
15) In de evo's moet een ruimte van 2 mm zijn voor wetsuit en neopreen-schoentjes om afknelling te voorkomen	++	+
16) Bij het dragen van de evo's mogen er bij caput os metatarsalis V geen drukplekken ontstaan	++	++
17) Door het gebruik van de evo's mogen geen drukplekken ontstaan	++	-
18) Er moet een bevestiging van de evo's aan het lichaam zijn om verliezen te voorkomen	++	-
19) Het nieuwe ontwerp moet op alle punten vergelijkbaar of beter scoren dan de huidige evo's op de schaal van 1 tot 10	++	+
20) De evo's moeten gebruikt kunnen worden op een twintip board	++	nvt
21) De evo's moeten in zwart uitgevoerd worden	++	-
22) De evo's moeten zo min mogelijk opvallen	+	-
22) De evo's moeten lichter zijn dan de 500 gram van de huidige evo's	**	- (620gr)

*Deze eis is getest na het gebruik van het prototype op het water. Tijdens het testen zijn de lagen van de veer losgeraakt van elkaar. De stijfheid van de veer kan de vereiste krachten niet meer opvangen.

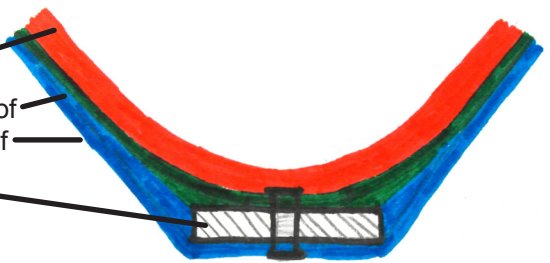
** Is onbekend.

Afbeelding 21 toont de detailtekening. De bevestiging en maatgeving van het eindontwerp is te vinden in tabel 18.

Detailtekening

Mediaal aanzicht

Rood = neopreen
Groen = binnenlaag koolstof
Blauw = buitenlaag koolstof
Veer



De veer wordt tussen de verschillende lagen van de kuitkap geschoven

Hoogte kuitkap: 100mm.
Diepte kuitkap: 80mm.
Oppervlak: 8000mm²
Druk: 0,0156N/mm²

Verbinding kuitkap en veer d.m.v. RVS schroef

340mm vanaf insteek veer start kuitkap

Koker verzonken in kurk. Wordt aan koolstof binnenschoen verlijmd.

Neopreen binnen schoen.
Advies: *Maret smooth skin socks, Dive inn*

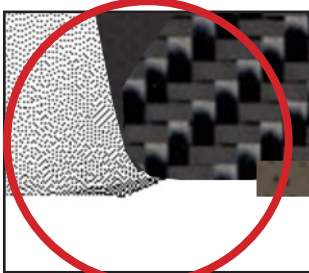
PVC Pads
Advies: *PVC Pads, 2x65, Orthopaedics Proteor*

De overgang van vloer naar evo zorgt voor ruimte bij MT V

Verbinding kuitkap en veer d.m.v. RVS schroef

In het paarse deel wordt de veer in de koker geschoven. Na bevestiging buitenschoen wordt deze vastgezet met RVS schroef

Antislip wordt d.m.v. verlijmen bevestigd op buitenschoen.
Advies: *Astral, art nr. 731020, Jan van Velden & Co*



Tabel 18, bevestiging en maatgeving onderdelen eindontwerp

Onderdeel	Subdeel	Bevestiging	Verloop/ afmetingen
Schoen	Neopreen binnen-schoen	Verlijmen aan binnenschoen (na bevestiging van veer, valt over RVS schroef heen)	Loopt ruim (10 mm) om rand binnen- en buitenschoen heen
	Koolstof binnenschoen	Bevestiging aan buitenschoen	- Zool: tot Metatarsophalangeale gewrichten - Mediale zijde: reikt tot meest mediale deel mediale malleolus - Laterale zijde: reikt tot meest laterale deel laterale malleolus - Dorsale zijde: proximale deel calcaneus
	Koolstof koker	Verlijmen aan binnenschoen	Veer omvattend, bovenzijde loopt volgens onderzijde voetzool binnenschoen
	Kurk	Om koolstof koker heen	Koolstof koker omvattend
	Koolstof buitenschoen	Omhult binnenliggende. Bevestiging aan binnenschoen	Onderzijde is omvattend voor kurk en bovenzijde loopt volgens binnenschoen
	Antislip	Verlijmen aan buitenschoen	Over gehele zool buitenschoen
	Sluiting	RVS popnagels	Distaal en mediaal van malleoli
Kuitkap	Neopreen binnenlaag	Verlijmen aan binnenkap (na bevestiging veer, valt over RVS schroef heen)	Loopt 10 mm om rand binnen- en buitenkoker
	Koolstof binnenkap	Bevestigen aan buitenkap en i.c.m. buitenkap aan veer d.m.v. RVS schroef	Start op 340 mm hoogte van plaatsing veer. Hoogte is 100 mm en diepte aan zowel mediale als laterale zijde is 80 mm
	Koolstof buitenkap	Bevestigen aan binnenkap en i.c.m. binnenkap aan veer d.m.v. RVS schroef	Start op 340 mm hoogte van plaatsing veer. Hoogte is 100 mm en diepte aan zowel mediale als laterale zijde is 80 mm. Omvat veer en binnenkap
Veer (koolstof)	-	RVS schroef aan kuitkap en schoen. Bij bevestiging schoen vooraf aan bevestiging antislip	Dorsale zijde onderbeen
Zekeringsband	Klittenband	Doormiddel van koord aan kuitkap	Tussen knie en kuitkap

7. Discussie

In de onderstaande discussie wordt ingegaan op de gevolgde methodiek, de resultaten uit de analyse en het ontwerp.

Analyse

De bewegingsanalyse was een belangrijk onderdeel van het project. Deze zou vollediger geweest zijn door toevoeging van een registratie van kitesurfen zonder footstraps. Het doel van dit project was immers het kiten op een strapless board. De handicap van de proefpersoon is echter dermate groot, dat het kitesurfen zonder footstraps voor hem onmogelijk was. Wanneer ook de proefpersoon zelf in staat is om strapless te surfen kan het bewegingspatroon ten opzichte van gezonde personen vergeleken worden. Bij de krachtenanalyse was het nodig om gebruik te maken van een aanzienlijk aantal vereenvoudigingen en onderbouwde schattingen. Bij het zeer dynamische kitesurfen zijn er namelijk dermate veel (onbekende) variabelen dat het onmogelijk zou zijn geweest om een complete en valide analyse te maken, zelfs met geavanceerde meet- en registratie apparatuur en binnen de voor dit project beschikbare tijd en middelen.

Er is een veiligheidsfactor van 1,5 is gehanteerd om onbekende factoren op te vangen. Dit leidt tot een conservatief ontwerp, maar zorgt voor het gewenste robuuste ontwerp.

Om de trekkracht van de kite te berekenen is gebruik gemaakt van KiteForce²⁰, dit programma geeft per situatie de krachten op een kitesurfer en zijn vlieger weer. De resultaten ervan waren veel nauwkeuriger dan die uit eigen berekeningen. Het was voldoende gedetailleerd voor het doel van dit project.

In de huidige berekeningen is alles in 2D gemodelleerd. Een 3D analyse zou een completer beeld geven. In de 2D situaties is aangenomen dat de kracht gelijkwaardig door twee benen wordt geleverd. Door de vaarrichting ook te beschouwen wordt het duidelijk wat de krachtenverdeling is tussen beide benen.

Voor het aangrijpingspunt van de reactiekracht van het water op de combinatie board en surfer werd aangenomen dat deze precies in het contactpunt, tussen voet en board, valt. In de praktijk kan dit punt echter variëren van plaats. Bij verschuiving van het contactpunt naar dorsaal wordt de arm van de kracht kleiner t.o.v het draaipunt waardoor een kleiner moment in het enkelgewricht ontstaat.

Het gebruik van extreme situaties om de sterkte van de evo te bepalen zou beter zijn geweest. Dit is echter niet eenvoudig te modelleren en valt buiten het doel van dit project. Hierbij kan gedacht worden aan een sprong of een scherpe draai bij maximale windkracht. Tevens is het krachterevenwicht bij kitesurfen zeer dynamisch, door het wenden en de ruwheid van het wateroppervlak. Beide zouden de benodigde sterkte en wrijvingscoëfficiënt vergroten door piekbelastingen.

Ontwerpmethodiek

De keuze voor een iteratieve ontwerpmethodiek was achteraf gezien de juiste keus. Door de gestructureerde terugkoppeling van de uit het testmodel verkregen verbeterpunten konden deze verwerkt worden in het daarop volgende ontwerp.

Testen

Kitesurfen is per definitie sterk afhankelijk van de spelingen van de natuur. Tijdens de tweede test was de windkracht helaas niet optimaal, waardoor er niet zonder footstraps getest kon worden. Het was echter wel mogelijk om de vraagstellingen over de lengte van de zool (goed), de stand van de enkel (goed), stand in de ruimte (goed) en de pasvorm (te verbeteren) te beantwoorden.

Voorafgaande aan de derde test op het water werd de Carbon 7 getest. Hieruit bleek dat deze niet de juiste hoek had om de enkel in de gewenste stand te brengen. Als gevolg daarvan moest een nieuwe veer gemaakt worden. Deze werd geconstrueerd uit een combinatie van koolstof en glasvezel. Uit de testresultaten bleek dat de stijfheid van de veer, bevestigd in de zool van de evo, te klein was. Er werd verder doorgeveerd (~20°) dan het vereiste maximum van 5°. Het moment dat de veer op kon vangen was lager dan de vereiste 54Nm. Dit heeft te maken met het feit dat de veer zelf is geconstrueerd, waardoor hij kwalitatief minder is dan een fabrieksproduct. De verschillende lagen zijn tijdens het testen van elkaar losgeraakt. Om optimale sterkte en stijfheid te bereiken moet er verder onderzoek gedaan worden naar eventuele lokale verstijvingen.

Als sluiting van de evo's moeten vergelijkbare buckle's als op het prototype gebruikt worden, maar in een verbeterde versie. Zo moet enerzijds de snaar van de buckle beter in de sluiting vallen en anderzijds moet het scharnierelement steviger sluiten. Hierdoor kan de buckle met één hand gesloten worden en gaat hij niet onbedoeld open. Met een nieuw scharnierelement en een haak als sluiting is dit probleem op te lossen.

Ondanks het feit dat de proefpersoon voorafgaande aan de derde test nog nooit strapless gevaren had, heeft hij dit met prototype 3 succesvol gedaan. De evo's geven de beoogde mogelijkheid om strapless te kitesurfen.

Ontwerp

Het gewicht van het prototype was 620 gram per stuk. Uit het PVE volgt dat een gewicht van maximaal 500 gram wenselijk is. Het gewicht van het ontwerp, door de productie afdeling gemaakt, zal lichter uitvallen dan het prototype doordat bycast vervangen wordt door koolstof. Ondanks dat de veer verstevigd zal worden, blijft het gewicht lager. De proefpersoon merkte echter op de prototypes niet als belemmering te zien tijdens het kitesurfen. Wanneer het streefgewicht van het ontwerp toch overschreden wordt, tot een maximum van 620 gram, moet dit ontwerp niet afgekeurd worden.

Voor het ontwerp is gebruik gemaakt van mallen van de onderbenen van de proefpersoon. Op grond van de standsverandering van de enkel gedurende de verschillende cycli van het ontwerpproces, werden de mallen aangepast. Hierdoor bleek de optimale pasvorm verloren gegaan, waardoor er nieuwe gemaakt moeten worden vanuit de inmiddels geperfectioneerde onderbeenstand.

Aan de hand van de nieuwe mallen moet de binnenschoen met hakverhoging, veer en kuitschelp geconstrueerd worden en op het water getest. Daarbij komen eventuele drukplekken naar voren in tegenstelling tot bij het 'droog' aanpassen. Wanneer de pasvorm optimaal is kan de buitenschoen geconstrueerd worden en wordt de evo verder afgewerkt.

Tijdens dit project stond één proefpersoon centraal, waardoor geen algemene maatvoering is gebruikt. Wanneer het ontwerp in confectiematen uitgevoerd wordt, kunnen de evo's gebruikt worden door meerdere mensen met een voetheffersparese, al dan niet veroorzaakt door HMSN.

8. Conclusie

Concluderend kan gesteld worden dat de proefpersoon met het prototype evo's kan surfen op een SDB op een manier die vergelijkbaar is met gezonde personen. Het model is op de meeste onderdelen (wel: pasvorm, gevoel van ondersteuning, contact directioneel board, aantrekken, uiterlijk, niet: drukplekken) door de proefpersoon beter beoordeeld dan de huidige evo's. Daaruit wordt geconcludeerd dat er is voldaan aan de projectopdracht.

De evo bestaat uit een koolstof voet- en kuitschelp, verbonden door een koolstof veer. De voetschelp beschikt over een zool die van de hiel tot de bal van de voet loopt, met een kurken hakverhoging. De voet wordt in de voetschelp gehouden door een buckle over de wreef. Op de zool is een antislip laag bevestigd voor grip op het board. Het onderbeen wordt door middel van de veer en de kuitschelp in een dorsaalflexie stand gepositioneerd, ter ondersteuning van het onderbeen. Ter voorkoming van drukplekken en voor comfort beschikt zowel de voet- als de kuitschelp over een neopreen binnenlaag. De evo zit met een zekeringsband aan het been.

Quote van de proefpersoon over het prototype: *"Deze evo's maken het verschil bij het kitesurfen op een directioneel board. De 'muur' waar ik tegenaan gelopen was, daar kan ik nu overheen. Het hele kitesurfen krijgt voor mij hiermee een extra dimensie."*

Bronvermelding

- 1) Kuks, J.B.M, Snoek, J.W (2012, 17e druk). Klinische Neurologie. Houten: Bohn Stafleu van Loghum.
- 2) Bienfait, H.M.E. hereditaire motorische en sensorische neuropathie n.n.b. Maart 2013 van http://www.vsn.nl/spierziekten/diagnose.php?diagnose_id=19
- 3) Robert P Cruse, DO (okt 2, 2012). Overview of hereditary neuropathies. Up to date, Wolters Kluwer Health
- 4) Schieving, J. H. HMSN 2. Maart 2013 van <http://www.kinderneurologie.eu/ziektebeelden/zenuw/HMSNII.php>
- 5) Paulsen, F , Waschke, J (2011, 23e druk). Sobotta, Atlas of human anatomy. Elsevier
- 6) Stichting LOOP. Voetheffersparese. Maart 2013 van <http://www.aertspodologie.nl/historie/33-voetheffersparese.html>
- 7) Varus (aandoening). Maart 2013 van [http://nl.wikipedia.org/wiki/Varus_\(aandoening\)](http://nl.wikipedia.org/wiki/Varus_(aandoening))
- 8) Voet en enkel. Maart 2013 van <http://www.ivdhaven-orthopedie.com/voet-en-enkel.html>
- 9) Kroon, M. Faber, F.W.M. van der Linden, M.H. Holvoet. Maart 2013 van <https://www.ortho-care.eu/page/35/holvoet/>
- 10) Schreurs, B.W. (2007). De voet, de basis voor staan en gaan. Nijmegen: Thieme
- 11) Hamer en klauwtenen. Maart 2013 van <http://www.orthopedie-amphia.nl/paginas/192-hamer-en-klauwtenen.html>
- 12) Hamerteen of klauwteen. Maart 2013 van <http://www.annatommie.nl/zorgaanbod/orthopedie-en-operatie/pijn-of-blessure/aandoening/hamerteen-of-klauwteen>
- 13) Stand, surfen, skimboarden. April 2013 van <http://plazilla.com/strand-surfen-skimboarden>
- 14) Kitesurfen. April 2013 van <http://nl.wikipedia.org/wiki/Kitesurfen>
- 15) Campbell, P. Wave riding. April 2013 van <http://kitesurfing-handbook.peterskiteboarding.com/kitesurfing-styles/wave-riding>
- 16) Jer. Different types of boards. April 2013 van <http://www.freewebs.com/kite-jer/boards.htm>
- 17) Over kitesurfen. April 2013 van <http://www.nederlandsekitesurfvereniging.nl/over-kitesurfen.php>
- 18) Kiteboard. April 2013 van <http://nl.wikipedia.org/wiki/Kiteboard>
- 19) Material information. Mei 2013 van <http://www.goodfellow.com/E/Polypropylene.html>
- 20) Paelinck, R. Is a kite's weight important? April 2013 van <http://www.thekiteboarder.com/2010/04/is-a-kites-weight-important/#>
- 21) Oonk, Harry H.N. (2005) Bio Statica, Den Haag: uitgeverij Henric Graaff van Ijsel
- 22) W.K. Lama, J.C.Y. Leonga,*, Y.H. Lib, Y. Hua , W.W. Lua. (sept 16, 2004) Biomechanical and electromyographic evaluation of ankle foot orthosis and dynamic ankle foot orthosis in spastic cerebral palsy, Hong Kong. Elsevier

Bijlage 1, interview Daan Groot

Voordat Daan begonnen is met kitesurfen was hij fanatiek schaatser. Tijdens het trainen kwam hij erachter dat het bijzetten van zijn voeten niet meer ging en hieruit volgde dat Daan HMSN had. Hij kreeg problemen met de motorische aansturing van de spieren waar normaal niet over nagedacht hoeft te worden. Dit is een progressieve aandoening en Daan merkte dat hij niet meer kon wat hij wel nodig had om te kunnen schaatsen.

Via een vriend is Daan in aanraking gekomen met het kiten. Allereerst in een buggy en vervolgens op het water. Het aanleren van nieuwe dingen gaat wel, maar duurt langer dan normaal.

Op dit moment is Daan eigenaar van een kitesurfshop en daar haalt hij groot voordeel uit voor dingen die hij nodig heeft. Daarnaast fiets en zwemt Daan en doet alles om het kiten heen. Hij sport niet regelmatig, maar de ene week meer dan de andere.

Daan zijn kuitspieren zijn verkort door de aandoening, waardoor hij de dorsaal flectoren mist. Hij kan de beweging wel maken wanneer er geen kracht op staat, maar wanneer er enige druk op komt te staan klappen zijn enkels om. Rechts meer dan links. Hij merkt dat wanneer hij veel beweegt het ook beter gaat. Hij heeft een week nodig om weer soepeler te worden, maar dan gaat het goed. Wanneer hij loopt maakt hij geen volledige stappen. Op een been staan gaat links wel, maar rechts niet. Dit vooral door balans.

Daan heeft 2 keer per week fysio waar hij werkt aan de stand van zijn voeten. In zijn armen heeft hij nog geen probleem. Hij merkt wel dat hij iets minder sterk is dan vrienden, maar heeft er nog geen last van.

Om te sturen bij het kitesurfen is het nodig om het board de kantelen (kanten) in het water waardoor het water als het ware gesneden wordt. Daan merkte dat hij dit niet kon en was daarom altijd bezig om hiervoor oplossingen te vinden. Hij heeft dit geprobeerd met hakverhogingen op zijn board. In eerste instantie deed hij dit zelf, maar uiteindelijk met behulp van instrumentmakers.

Op dit moment heeft Daan een paar EVO's die goed functioneren op een twin-tip board. Op dit board sta je in twee 'sloffen' en sta je altijd in dezelfde houding, wat meer een statisch geheel is. Maar omdat hij nu met een ander board wil surfen waarmee hij kan golfrijden (je maakt niet alleen gebruik van de wind, maar ook van de golven) functioneren deze EVO's niet meer optimaal. Met dit board spring je eigenlijk niet meer en sta je los op je board en daarbij is het nodig om om te stappen, je moet als het ware je board omdraaien, dus het is nodig los op het board te staan. Je kunt gebruik maken de banden die erop staan, maar het grootste deel sta je los.

Wat Daan ondervind bij dit board is dat de EVO's die hij heeft te star zijn. De krachten op dit board zijn heel anders en het aankanten met dit board is minder relevant. Maar juist het gevoel met het board en het vrijer rond kunnen lopen is hierbij een wens om dit beter te hebben, wat het probleem is waar hij nu tegenaan loopt. Wanneer hij in de banden staat 'weet' hij dat het board er nog is, maar hij voelt het niet. Hij krijgt als het ware geen feedback van zijn board krijgt. Hij wil dus meer informatie terugkrijgen van het board.

De punten waarop zijn EVO's goed zijn de kleur en het voetbed is erg prettig.

Problemen van huidige EVO's: De rechter enkel gaat wat naar buiten en wanneer je dit gaat fixeren komt er nog meer druk op. Wat dus een cruciaal punt is. Door dit naar buiten staan komt alle druk op een punt op zijn voorvoet waardoor hij daar snel last van krijgt. Eis: het doorklappen van de enkel moet voorkomen worden.

Daarnaast moet de hakhoogte hoger waardoor Daan meer uit zijn knieën kan kantelen. Op dit moment heeft hij een hakverhoging van 1,5 cm waardoor hij met zijn romp, wat hij is een log deel ziet, moet gaan compenseren. De hoek van de doorbuiging van zijn linker knie is op een goede dag 94° en die van zijn rechter knie haalt de 90 niet. Met snowboarden heeft hij al een hakverhoging geplaatst (snowboard – wig – binding) en daar merkt hij dat hij makkelijker alles met zijn lichaam kan opvangen. Hierbij heeft hij een schelp in zijn schoen om deze wat op te vullen zodat de rand niet schuurt. Nadeel hieraan is wel dat hierdoor het gewicht nog meer naar voren gaat. Rechts krijgt hij dus meer last van zijn voet.

Eis: ze moeten makkelijk aan en uit gaan. Dingen gaan roesten, klitteband loopt vol met zand. En dit moet ook in het water kunnen wanneer hij zijn voet een moment wil ontlasten. Dit moet kunnen met een hand. Hiervoor had hij skischoen klips en dat beviel goed. Een zandbestendige sluiting.

Qua beweging moet de EVO wel een lock hebben zodat hij niet helemaal naar achter kan, maar meer beweging mag wel. Er moet voor gezorgd worden dat niet alle bewegingen kracht kosten. Veel enkel orthoses te zien in deze sport, maar nog onduidelijk hoeveel mensen met zo'n aandoening in deze sport.

Bijlage 2, Volledige overzicht HMSN

Hereditaire Motorische Sensorische Neuropathie

Algemeen

Om vast te stellen dat een kind HMSN heeft wordt er bloedonderzoek, een EMG en erfelijkheidsonderzoek gedaan. In de meeste gevallen kan na het bloedonderzoek en het EMG al een diagnose gesteld worden en is een erfelijkheidsonderzoek niet nodig.

Zoals de naam al aangeeft zijn alle vormen van HMSN al vanaf de geboorte aanwezig en komen de symptomen in de eerste tien levensjaren naar voren. De fout in het erfelijk materiaal wordt meestal autosomaal dominant overgeërfd, maar kan soms ook recessief overgeërfd worden. In enkele gevallen is het de fout niet overgeërfd, maar is het een eigen aangemaakte fout van de persoon zelf. Het type HMSN kan bepaald worden doormiddel van een EMG of een erfelijkheidsonderzoek. HMSN is op te delen in meerdere types. Bij het EMG zal type 1 laten zien dan alle zenuwen heel traag de signalen doorgeven en bij type 2 is er een tekort aan zenuwvezels te zien. Bij het erfelijkheidsonderzoek wordt er bij type 1 op chromosoom 17 een fout gevonden en bij type 2 zal er op chromosoom 1 een fout te vinden zijn. Dit erfelijkheidsonderzoek wordt doormiddel van een bloedonderzoek gedaan. Type 1 is het meest voorkomend bij HMSN.

Type 1 wordt onderverdeeld in 6 subtypes, die aangeduid worden met de letters A tot en met F. Deze letters geven aan welke fout in het erfelijk materiaal verantwoordelijk is voor het ontstaan van HMSN type 1. Naast deze subtypes worden er nog steeds fouten ontdekt in het erfelijk materiaal die HMSN type 1 kunnen veroorzaken. De voornaamste oorzaak van HMSN type 1 is het ontbreken van de geleidingslaag van de zenuwen. Deze laag bestaat uit een myelinelaag die ervoor zorgt dat de zenuwen hun signalen snel doorgeven aan de spieren. Wanneer deze myelinelaag ontbreekt wordt de geleiding van de signalen vele malen vertraagd. Door de fouten in het erfelijk materiaal ontstaat er een tekort aan bepaalde eiwitten. Deze eiwitten spelen een belangrijke rol bij de aanmaak en afbraak van de myelinelaag rondom de zenuw die voor geleiding van de zenuw zorgt. Wanneer de eiwitten ontbreken zal de myelinelaag niet goed aangemaakt kunnen worden en zal de geleiding door de zenuwen vertraagd verlopen. Type 1 wordt ook wel het demyeliniserend type genoemd. HMSN type 1 komt vaak aan het licht tussen het 10e en 15e levensjaar.

Type 2 is onderverdeeld in 11 subtypes, aangeduid met A tot en met L, maar ook hier worden nog steeds nieuwe fouten ontdekt die leiden tot HMSN type 2. Net als bij type 1 geven de letters aan welke fout in het erfelijk materiaal verantwoordelijk is voor het ontstaan van HMSN. Bij type 2 is er sprake van een tekort aan eiwit wat belangrijk is voor het goed functioneren van de zenuwen. Door dit tekort aan eiwitten sterven de zenuwcellen geleidelijk af, waardoor er steeds minder zenuwcellen zijn om de signalen door te geven. De afname van zenuwcellen leidt net als bij type 1 tot spierzwakte en volume afname. De zenuwvezels zijn bij dit type dus aangetast. Dit wordt ook wel het axonale type genoemd. Verschijnselen van HMSN type 2 komt meestal later aan het licht dan type 1, soms zelfs pas op volwassen leeftijd.

Deze types van HMSN kunnen ook als x-gebonden aandoening overgeërfd worden, zowel dominant als recessief. In de meeste gevallen komt hierbij voor dat mannen een demyeliniserend type (1) hebben en vrouwen een axonaal type (2) hebben, maar uitzonderingen zijn hierbij mogelijk.

Type 3, ook wel syndroom van Dejerine Sottas genoemd, wordt als ergste type van HMSN ervaren. De isolerende laag van de zenuwen is hierbij ernstig aangetast, of zelfs helemaal weg, en duurt het langer voordat het signaal de spier bereikt. De verschijnselen van dit type zijn vaak bij baby's al te zien en zijn zeer progressief waardoor deze kinderen al snel niet meer zelfstandig kunnen lopen en in een rolstoel terecht komen.

Naast deze types zijn er ook nog type 4 tot en met 7. Deze worden buiten beschouwing gelaten omdat deze door nieuwe onderzoeksmethoden niet meer met deze benaming gebruikt worden.

Symptomen

Bij alle types is er voornamelijk sprake van spieratrofie en problemen met het gevoel. Daarnaast kunnen de kinderen last krijgen van vergroeiingen van gewrichten (holvoeten e.d.), vermoeidheid en ademhalingsproblemen. Bij type 3 zullen de symptomen het snelst erger worden.

Kinderen met type 1 kunnen naast deze symptomen ook last krijgen van pijn, dikke zenuwen, trillen, tijdelijke verlamming, coördinatieproblemen, verkromming van de rug en slechthorendheid. Type 2 kan naast de al eerder genoemde symptomen ook problemen met zien en slaapapneu veroorzaken. Kinderen met type 3 naast de bovenstaande symptomen ook last krijgen van vergroeiingen in de rug en slikproblemen. Soms komt het zelfs voor dat kinderen met HMSN type 3 sterven in hun eerste levensjaar aan de gevolgen van de ziekte.

Voor al deze symptomen geldt dat het aantal en de toenames ervan bij elk kind anders kan zijn.

Behandeling

Helaas is er nog geen medicijn gevonden wat HMSN kan genezen. Wat vooral gedaan kan worden bij de patiënten die HMSN hebben is ervoor te zorgen dat de kwaliteit van leven zo hoog mogelijk is. Met behulp van fysiotherapeuten, revalidatieartsen en ergotherapeuten wordt ervoor gezorgd dat de patiënten zo veel mogelijk bewegen om de spieren en gewrichten soepel en op kracht te houden. Naast deze beweging is het soms nodig een operatie uit te voeren om spieren als de achillespees te verlengen voor een soepelere beweging of gewrichten vast te zetten tegen vergroeiing. Bij patiënten met HMSN is het noodzakelijk om overgewicht te vermijden zodat de gewrichten niet onnodig extra belast worden door het extra gewicht wat gedragen moet worden. Omdat het gevoel bij HMSN verminderd is moeten patiënten regelmatig hun voeten controleren op wondjes en drukplekken omdat dit niet via de tast binnen komt. Daarom wordt er ook geprobeerd dit te voorkomen.

Bijlage 3, Meetprotocol en methode

Er worden 3 situaties gefilmd:

- 1) Persoon zonder symptomen van HMSN (referentie)
- 2) Daan zonder evo's
- 3) Daan met evo's

Opstelling

Op het strand staat een camera die de hele situatie filmt en er is een GoPro bevestigd op de punt van het board. Deze filmt de bewegingen van de surfer gedurende hele periode. De surfer heeft daarbij ook een GPS bij zich om de route vast te leggen.

GoPro

De GoPro die gebruikt wordt heeft een fisheye lens (type Hero 3). Dit wil zeggen dat de lens een korte brandpuntsafstand heeft waardoor een sterke groothoek in het beeld komt²⁴. Dit is erg gunstig om een persoon van top tot teen te filmen, maar minder gunstig wat betreft het aflezen van hoeken. Om dit beeld toch te kunnen gebruiken moeten de filmbeelden van de GoPro bewerkt worden. Dit wordt later uitgelegd.

Meetprotocol

Vorbereidingen

- genoeg batterij voor 3 opnames hebben
- genoeg geheugen hebben
- bevestiging camera op board
- instellen camera op board (onderlichaam en groot deel bovenlichaam moeten goed te zien zijn)
- opstellen camera op strand (wanneer mogelijk zo veel mogelijk inzoomen)
- markerpunten aanbrengen (caput femoris, caput fibulae, laterale malleolus zowel links als rechts)
- GPS om arm plaatsen
- uitleg proefpersonen wat te doen
- op board komen
- om stappen op board (heen en weer surfen)
- bocht van tenen naar hakken (druk op hakken gaat mis)
- op board klimmen na af gevallen te zijn

Tijdens opname

- filmen vanaf strand
- filmen met en zonder braces
- referentie persoon filmen
- GPS registratie

Na opname

- camera gereed maken voor persoon 2
- referentie camera evt opnieuw instellen
- opruimen
- bestanden opslaan op computer
- GPS inlezen

Benodigdheden filmen

- 1 camera (voor op board) + bevestiging
- 1 camera (als referentie op strand) + statief
- GPS
- fotocamera
- duct tape (markers)
- kitespullen
- 2 proefpersonen

Uitkomsten

Doormiddel van een camera op het board (zelfde board wordt door proefpersonen gebruikt) en een camera op het strand wordt het surfen vast gelegd. Camera op board registreert de bewegingshoudingen, hoeken, looplijnen en tekortkomingen van geen braces of wel braces. De camera op het strand dient als referentie voor het totaal plaatje en de locatie van varen.

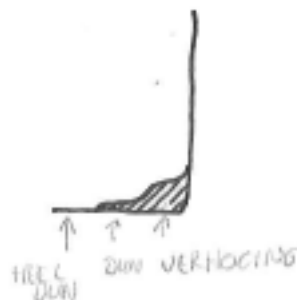
Uit de beelden komt naar voren:

- bewegingshoudingen met hoeken
- looplijnen op board
- voordeel braces
- beperkingen braces
- uit GPS moet komen of er een andere route gevaren wordt

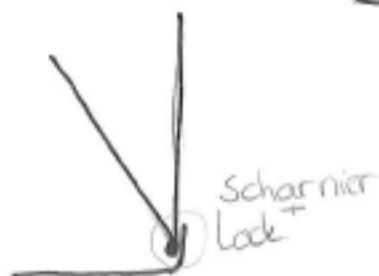
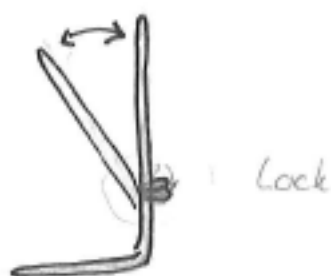
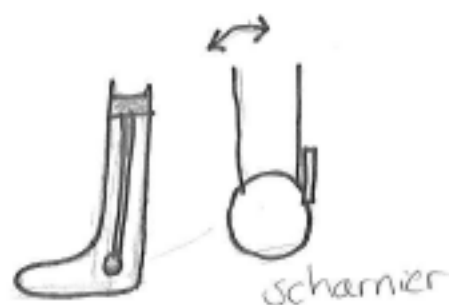
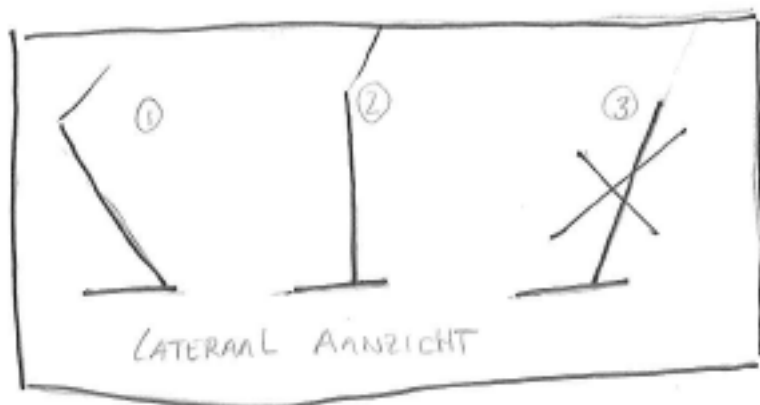
Bewerking

Wanneer er gefilmd is moet van de GoPro de fisheye eruit gehaald worden. Dit kan met het programma Motion (Apple inc.). Door middel van de radius aanpassen kan deze eruit gehaald worden. Wanneer dit gedaan is kan met Imovie (Apple inc.) dit bestand worden omgezet naar Mp4 waarmee het programma Kinovea werkt. Met Kinovea kunnen de hoeken van het lichaam bepaald worden. Aan de hand van de geplaatste markers en een speciale angle-functie kan dit gedaan worden. Van beginpunt (enkel) naar middel punt (knie) naar eindpunt (heup) kan de lijn getrokken worden. Het programma berekent zelf de hoek in graden.

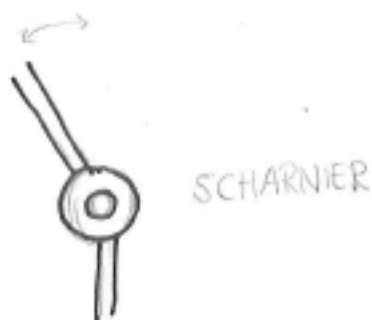
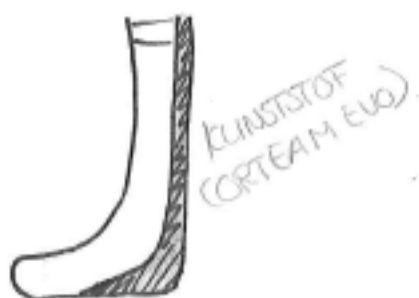
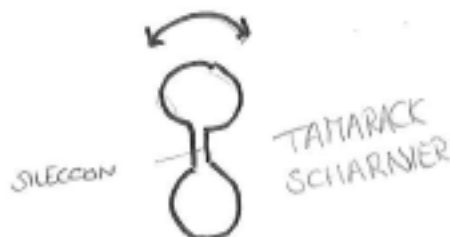
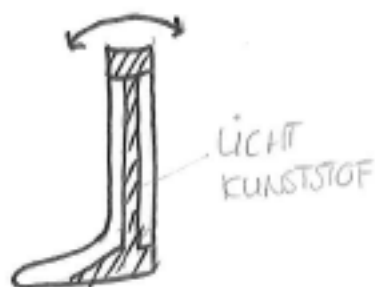
GEVOEL MET HET BOARD HEBBEN?



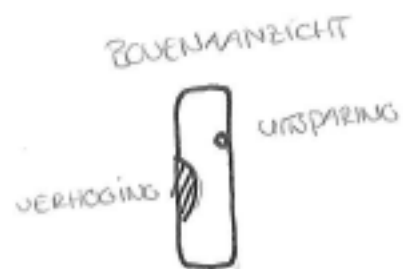
PLANTAIR FLEXIE BEPERKEN?



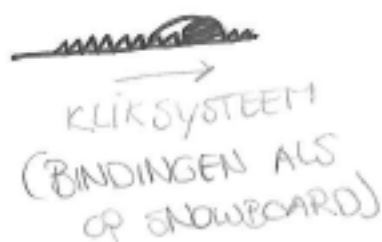
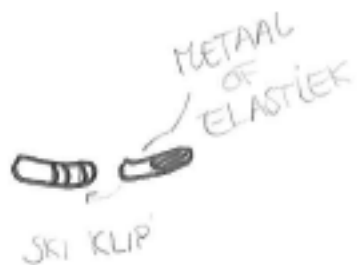
BEWEGING IN HET ENKEL GEWRICHT KRIJGEN?



DRUKPLEKKEN VERMINDEREN?



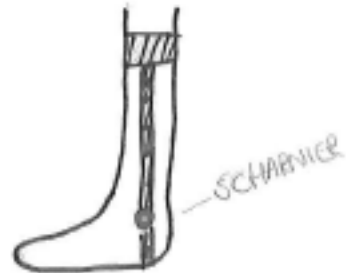
SLUITEN MET (1 HAND)?



VARUS NEIGING IN ENKEL TEGENGAAN?



(INVERSIË)



OP HET BOARD BIJVEN STAAN?



WRIJVING



NIET KWIJTRAKEN?



ZWAARTEPUNT NAAR VOREN BRENGEN?



HAARVERHOOGING



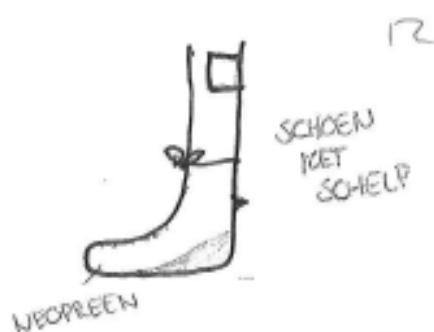
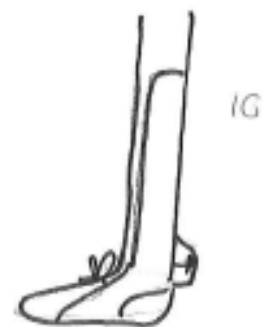
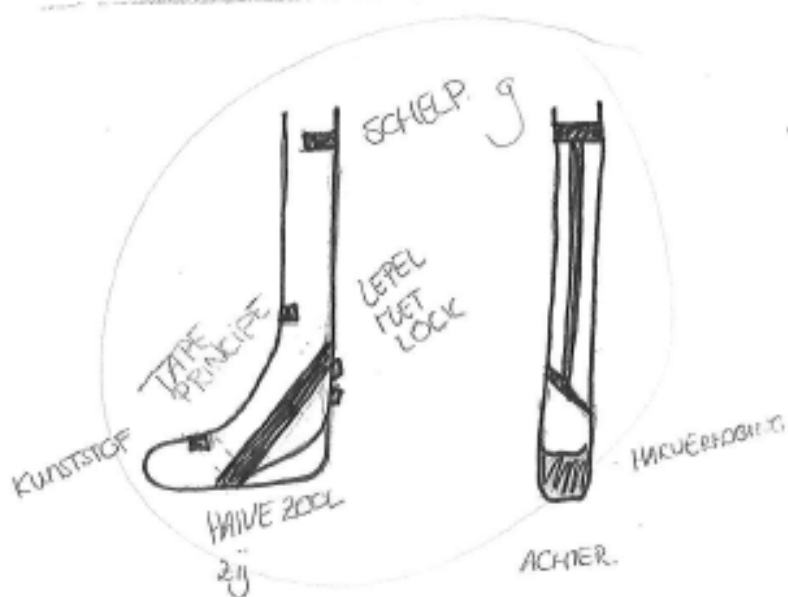
COMPLETE IDEEËN

①



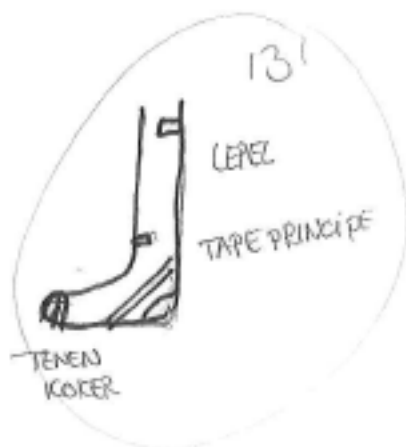
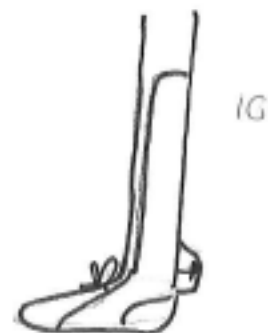
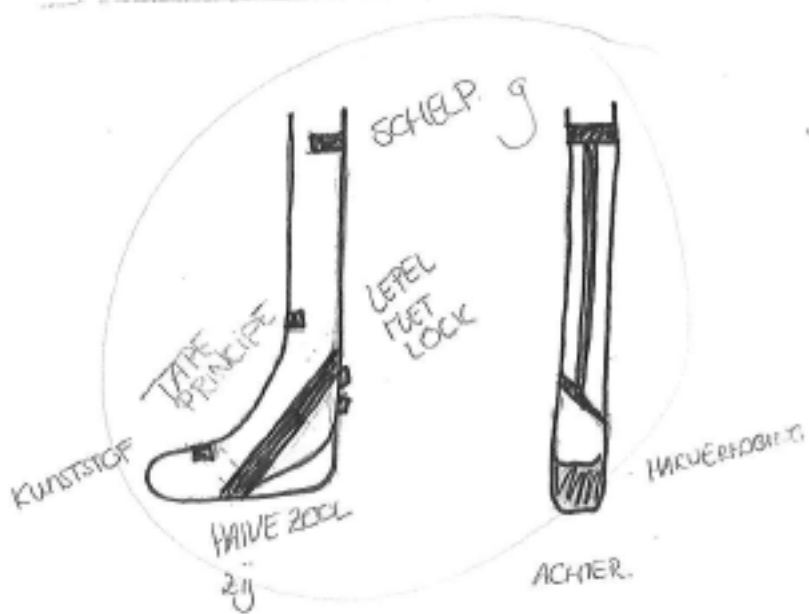
COMPLETE IDEEËN

3



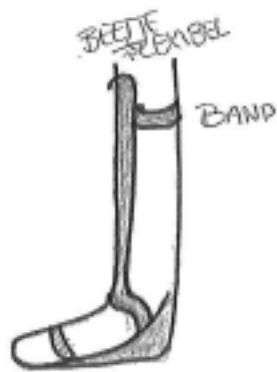
COMPLETE IDEEËN

3



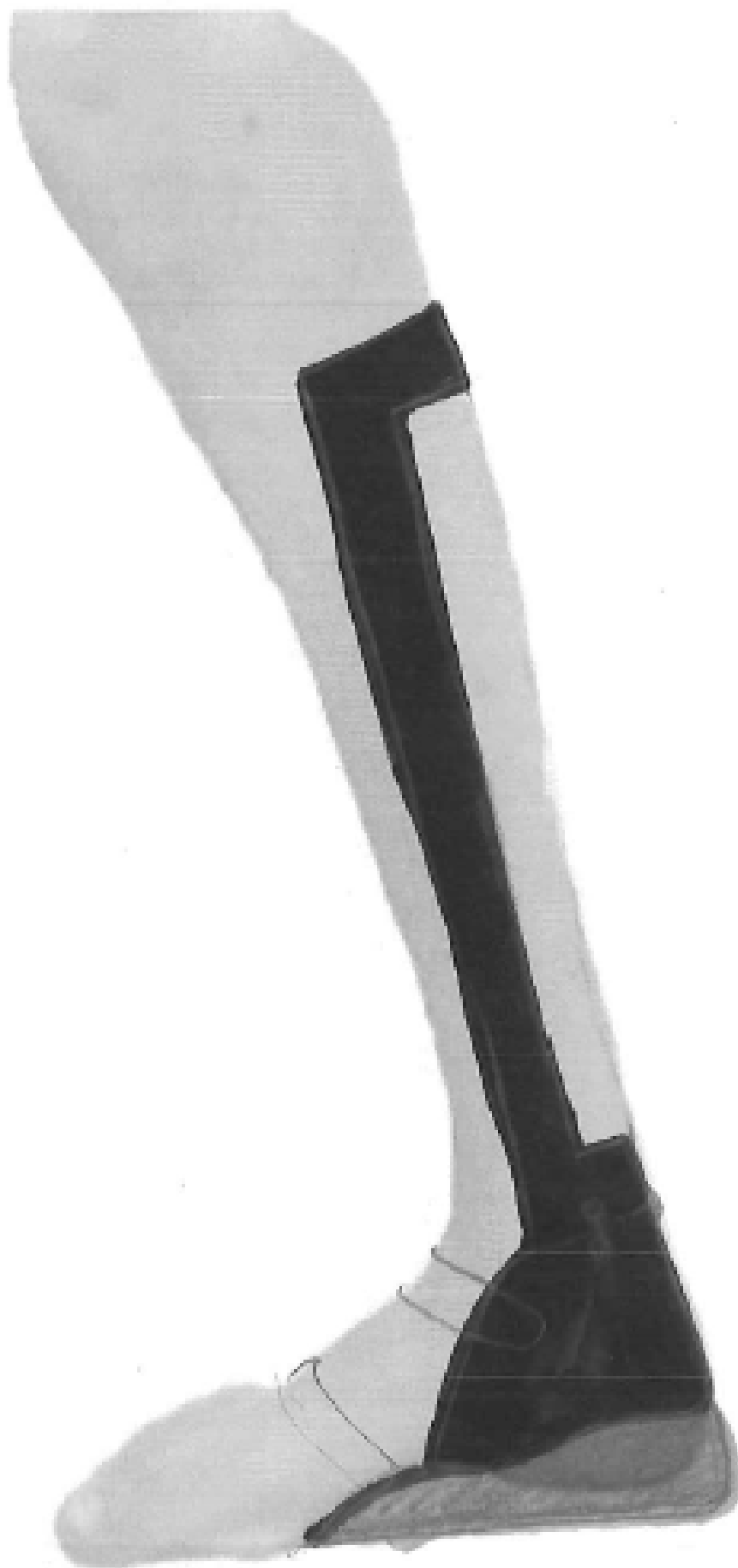
COMPLETE IDEEËN

4



Bijlage 6, Beoordeling ideeën

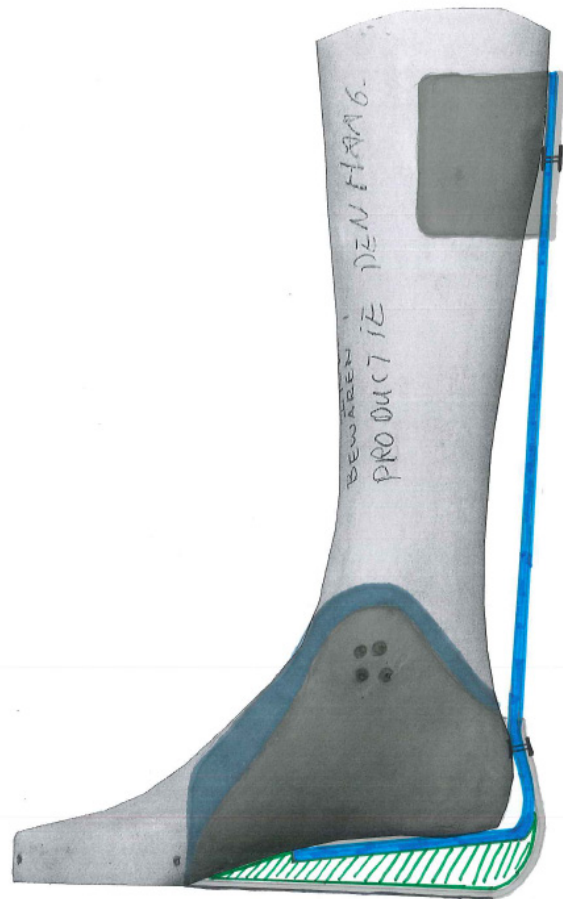
Eis	Idee nummer																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	V		V	V		V	V		V				V	V		V	V	V	V
4		V	V				V	V	V		V	V	V	V	V				
5	V		V	V		V	V		V	V	V	V	V	V		V	V		V
8	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V		V
9	V		V	V										V		V	V		
12	V	V			V	V	V	V	V	V	V	V	V		V	V	V	V	V
16	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V







RECHTS RECHTS



RECHTS



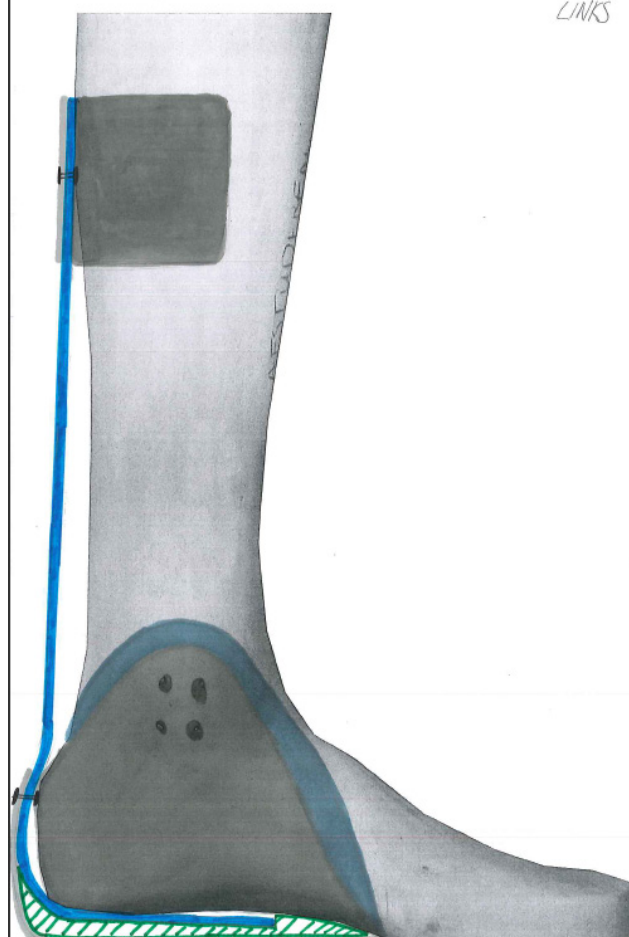
RECHTS



LINKS



LINKS



LINKS



LINKS



Bijlage 9, Vervaardiging mallen

Bij het vervaardigen zijn de benen apart gegipst. Dit omdat het niet mogelijk is twee benen snel achter elkaar in te gipsen in verband met de snelle uithardingstijd. In beide situaties heeft de proefpersoon geprobeerd in dezelfde surfstand te gaan staan terwijl het gips aan het uitharden was. De stappen van de mal vervaardiging staan hieronder stapsgewijs beschreven, voor links hetzelfde als voor rechts:

- 1) Hakverhoging bepalen in de surfstand
- 2) Onderbenen met folie inrollen, om de kleding te beschermen
- 3) Drukplekken aangeven. Hier wordt later gebruik van gemaakt
- 4) Been ingipsen
- 5) In surfstand staan en gips uit laten harden
- 6) Gips van het onderbeen halen, door middel van een inkeping aan de voorkant snijden
- 7) Staaf in gips stoppen, om de mal beter te kunnen gebruiken
- 8) Mal sluiten met gips
- 9) Mal ontvetten met zeepwater, zodat bij de volgende stap het gips niet aan de zijanten blijft kleven
- 10) Gips in de mal gieten en uitharden
- 11) Gips omhulsel verwijderen
- 12) Gipsen been glad schuren
- 13) Drukplekken aangeven met spijkertjes, om een verhoging te creëren
- 14) Op plek van spijkertjes verdikking met gips aanbrengen
- 15) Glad schuren, om van het model een goede kopie te krijgen van het echte been
- 16) Op dezelfde manier nog een model van de onderbenen maken als hierboven beschreven.

Dit extra model wordt gebruikt om de testmodellen op te maken, zodat van het origineel een extra mal van de onderbenen gemaakt kan worden. Zo blijft de kopie het dichtsbij de werkelijkheid.

Aanpassingen mallen

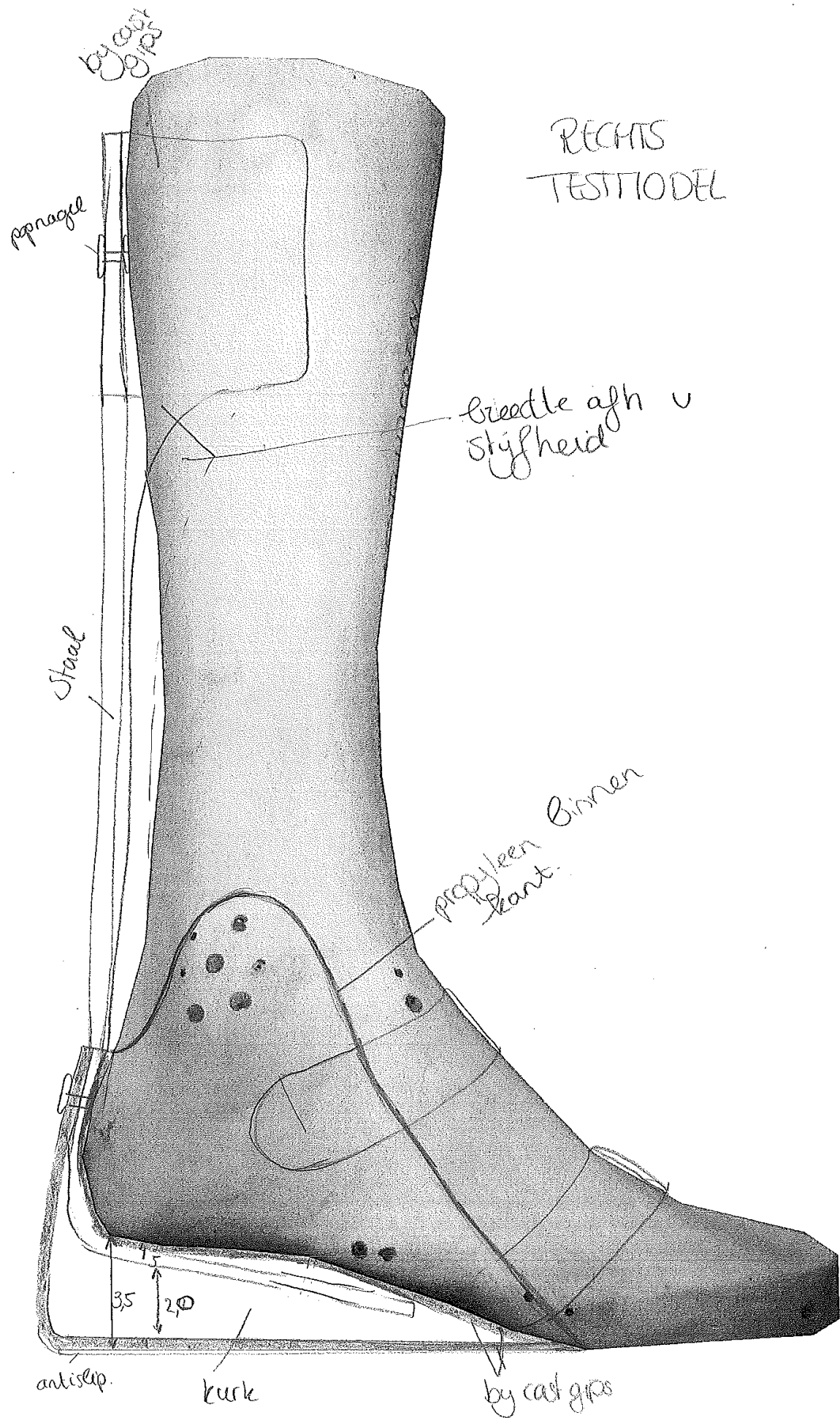
- 1) Goede mal in folie brengen en ingipsen
- 2) Gips van model halen, staander er in en dicht maken
- 3) Door middel van snede van mediale malleolus recht naar achter en aan de voorkant een strook eruit kan het gips naar voren gebogen worden om de kuit in de goede positie te zetten.
- 4) Openingen sluiten
- 5) Gips ingieten
- 6) Model bijschaven en schuren tot model waar nieuwe testmodel op gemaakt kan worden.

Bijlage 10, Vervaardiging testmodel 1+2

Het testmodel is op een aantal dingen aangepast. Hieronder is in stappen beschreven wat er gedaan is om het proefmodel te kunnen maken.

Testmodel 1+2:

- 1) Bandstaal vormen naar achterkant benen
- 2) Bandstaal versterken met koolstof. Omdat het bandstaal vervormbaar is, zorgt de extra koolstof laag voor versteviging van de nieuwe vorm.
- 3) Kurk hakverhoging maken. Deze valt om de bandstaal staander heen.
- 4) Polyform vormen om gipsmodel + vouwen weg trekken + overtollige delen wegknippen. Het polyform dient als zachte binnenkant om het model fijner te laten zitten en scherpe randen af te dekken.
- 5) Model (met polyform) in folie draaien, om het model te beschermen.
- 6) Ingipsen met bycast. 2 lagen met daartussen staander en kurk. Dit is een steviger en waterbestendiger materiaal dan het normaal gebruikte gips.
- 7) Wegsnijden en wegschuren overtollig by cast. Hiermee wordt de vorm van het model gecreëerd. Daarnaast kan er op deze manier voor gezorgd worden dat de proefpersoon het proefmodel kan aantrekken.
- 8) Klittenband aanbrengen. Om geen uitstekende pinnetjes te hebben gebeurt dit voor de volgende stap.
- 9) Polyform inplakken en randen omvouwen
- 10) Antisliplaag onderkant bevestigen, om op het board te kunnen blijven staan



Bijlage 11, Constructie koolstof veren

- 1) Bandstaal buigen in vorm onderbeen
- 2) Zijranden bevestigen als geleider voor koolstoflagen
- 3) Mal inpakken tegen scherpe randen
- 4) 1e laag folie om vacuüm te kunnen zuigen
- 5) 8 lagen koolstof, 16 lagen koolstof/glasvezel, 8 lagen koolstof in mal leggen
- 6) 2e laag folie
- 7) Hars ingieten
- 8) Gelijktijdig vacuüm zuigen en hars door mal heen trekken
- 9) Hars uitharden
- 10) Folie lagen verwijderen
- 11) Lagen die niet uitgehard zijn opnieuw impregneren met hars
- 12) Inwikkelen folie
- 13) Uitharden
- 14) Folie verwijderen
- 15) Scherpe randen afwerken





Bijlage 13, Projectplan

Document projectplan voor een ontwerpproject

Naam: Inge van der Burg
Studentnummer: 09072047
e-mail: ingevandenburg@gmail.com
Behaalde studiepunten in de modules 9 t/m 12: 199
Datum: 15-03-2013

1. Onderwerp: EVO's voor kitesurfer
Werkveld:sport/revalidatie
Beroepsrol: ontwerpen

2. Probleemstelling

Aanleiding:

Daan Groot is een fanatiek kitesurfer en eigenaar van een kitesurfwinkel. Hij kitesurft zelf veel en geeft daarnaast ook les in kitesurfen. Daan is geboren met HMSN type 2 (Hereditaire motorische en sensorische neuropathieën) en op dit moment ervaart hij praktische stoornissen als:

- ☐ Dorsaalreflectoren parese links en rechts
- ☐ Holvoeten links en rechts
- ☐ Sterke varusneiging in de enkel rechts

Op dit moment surft Daan met twee kunststof enkel voet ortheses (EVO's), gemaakt door Frank Jol (Jol Orthopedie, Hoorn). Deze EVO's zijn voorzien van kunststof tamarack scharnieren die dorsaalflexie mogelijk maken, maar een aanslag hebben tegen plantairflexie. Daan gebruikt deze EVO's in combinatie met zijn dagelijkse twin-tip board met footstraps. De EVO's zijn vrij robuust uitgevoerd en het dikke kunststof loopt door onder de voorvoet en tenen. Hierdoor mist Daan het gevoel met het strapless directionele board. Verder is het manoeuvreren op dit board vrij lastig. Verder vindt Daan de hakhoogte van 1,5 cm die in de huidige EVO's verwerkt is iets te laag. Hierdoor moet hij vanuit zijn heupen met zijn romp volledig voorover hangen wanneer hij het board op zijn hielzijde wil kanten. Daan heeft regelmatig drukplekken op de enkels door contact met het harde kunststof. Daarbij heeft hij een drukplek onder zijn rechter voet waar hij regelmatig last van heeft.

Doelgroep:

Kitesurfers (met HMSN type 2) die last hebben van dorsaalreflectoren parese, holvoeten en een sterke varusneiging in de enkels.

Doelstelling:

Binnen 14 weken een paar EVO's ontwerpen die gebruikt kunnen worden door iemand met HMSN type 2 op een strapless directioneel board waarvan de kosten vallen binnen €3000,- per EVO.

Dit budget wordt door de verzekering vrijgesteld. Kostprijs is hierbij niet duidelijk ivm uurprijs per afdeling. 25 euro/uur voor productie, 35 euro/uur voor aanmeter.

In verband met de tijd zal er als eindresultaat van dit project een volledig ontwerp zijn voor een paar EVO's. Omdat de vervaardiging van het eindresultaat ongeveer 5 weken in beslag neemt zal dit buiten het afstudeertraject vallen. Wel zal alle voorbereiding hiervoor binnen de tijd van het afstuderen gedaan worden.

3. Vooronderzoek

Als vooronderzoek voor dit afstudeerproject heeft een interview plaats gevonden met Daan Groot. Uit dit interview met Daan zijn een aantal zaken naar voren gekomen waar rekening mee gehouden dienen te worden tijdens het proces. Deze zullen hieronder kort besproken worden.

Daan geeft in het gesprek aan dat hij wil kitesurfen op een ander board waarvoor zijn huidige EVO's niet meer optimaal werken. Bij dit board wordt tijdens het kitesurfen niet alleen gebruik gemaakt van de wind, maar ook van de golven waarop je kan golfrijden. Het board wat hiervoor gebruikt wordt heeft een voorkant en achterkant (in tegenstelling tot zijn huidige board wat twee voorkanten heeft). Door deze enkele voorkant moet je vrijer op je board kunnen rondlopen om het board te kunnen draaien. Hierdoor is het noodzakelijk dat je los op je board kan staan. Om het board optimaal te kunnen besturen geeft Daan aan dat hij het gevoel met het board mist door de dikke zool van zijn EVO. Hierdoor krijgt hij geen feedback binnen vanuit het board. Daarbij geeft hij ook aan dat voor dit type board hij de huidige EVO's te star vind

Bijlage 13, Projectplan

moet hij compenseren met de rest van zijn lichaam en hij verteld dat wanneer er grotere hakverhoging geplaatst zal worden dit minder het geval zal zijn. Nadeel hiervan is wel dat hierdoor een grotere druk komt te staan op zijn voorvoeten waar hij al regelmatig last van heeft. Dit heeft hij ervaren met een hakverhoging in zijn schoenen. Heeft hij deze hakverhoging wel, dan heeft hij geen last van zijn lichaam maar krijgt hij last van zijn voorvoeten. Heeft hij geen hakverhoging, dan zijn z'n voeten niet het probleem, maar krijgt hij last van de rest van zijn lichaam.

Uit dit gesprek kwam ook naar voren dat het voetbed in zijn huidige EVO's hem bevalen. Daarbij geeft hij ook aan dat deze kleur (zwart) ook zeer gewenst is. Wel moet er bij zijn nieuwe EVO's op gelet worden dat zijn enkels niet om mogen klappen, er gezorgd moet worden voor minder drukplekken rondom zijn enkel. Daarbij moeten de EVO's snel en makkelijk met een hand in het water aan en uitgetrokken worden. Daan heeft soms last van een stekende pijn in zijn voet en om verder te kunnen kiten is het noodzakelijk zijn voeten een paar minuten rust en ruimte te gunnen. Dit moet allemaal kunnen in het water en moet met een hand gedaan kunnen worden. Een probleem waar hij nu tegenaan loopt is dat de (klittenband) sluiting in het water nog wel eens open wil gaan in het water. Dit door al het zand wat erin komt. Dit moet voorkomen worden.

Punten uit het gesprek waar tijdens het ontwerpen op gelet moet worden:

- De EVO's mogen geen belemmering veroorzaken wat betreft het gevoel met het board.
- De stijfheid van de EVO's moet beperkt worden.
- Er moet een hakverhoging in de EVO's komen.
- Het huidige voetbed is goed.
- Drukplekken moeten verminderd worden.
- EVO's moeten gemakkelijk met een hand aan en uitgetrokken kunnen worden (in het water).
- EVO's mogen niet uit zichzelf los gaan.

4. Analyse

Aan de hand van onderstaande punten zal er een analyse uitgevoerd worden. Bij elk punt zal er minimaal een eis volgen wat meegenomen wordt in het vervolg van het proces.

- ☐ Erfelijke Motorische Sensorische Neuropathie (literatuurstudie)
- ☐ Verschil twin-tip board met footstraps versus een strapless directioneel board (literatuurstudie en interview Daan)
- ☐ Bewegingsanalyse tijdens het kitesurfen (bewegingen en hoeken in enkels, knieën en heupen) Daan versus iemand zonder HMSN. (registratie met behulp van video-analyse op het kiteboard).
- ☐ Krachtenspel in en rondom een EVO (tijdens het surfen en lopen). (krachtenberekening).
- ☐ Marktonderzoek (EVO's, EVO's bij soortgelijke sporters, scharnierpunten, hoeveel mensen in deze tak van sport gebruiken een EVO) (literatuurstudie)
- ☐ Materialisatie EVO's voor in zout en zoet water (water, roest en zandbestendig)? (literatuurstudie en kleine testjes wat betreft zand)
- ☐ Manieren goed contact met het board (literatuurstudie, verschillende testen met Daan)
- ☐ Optimale hakverhoging (eigen metingen en testen bij Daan met behulp van verschillende hakhoogtes)
- ☐ Vermindering drukplekken (literatuurstudie, contact Livit)
- ☐ Gevolg dorsaalparese, holvoeten en varusneiging

5. Ontwerpfase

De ontwerpfase zal opgedeeld worden in losse kleinere onderdelen. Per eis zullen er deelproblemen opgesteld worden en hier zullen oplossingen bij bedacht worden. Bij deze fase zal er ook gekeken worden naar oplossingen die er al zijn in combinatie met nieuwe ideeën. Een paar voorbeelden kunnen zijn:

- (Eventueel) scharnier enkel
- EVO-zool (gericht op contact met het board)
- Type ondersteuning en vorm
- Eventuele aanvullingen die volgen uit de analyse
- Vermindering drukplekken

Per onderdeel zullen verschillende mogelijkheden bedacht worden. Dit zal in samenwerking met Daan zijn. Deze losse onderdelen zullen samengevoegd worden zodat er in de vervaardigingsfase modellen gemaakt kunnen worden om te testen.

Bijlage 13, Projectplan

6. Vervaardigingfase

Zoals bij de ontwerpfase aangegeven is zullen verschillende deelproblemen opgelost worden. De oplossingen hiervan kunnen los vervaardigd worden, maar er kunnen ook combinaties tot een hele EVO vervaardigd worden, zodat er op verschillende manieren getest kan worden. Omdat er vrijwel meteen getest gaat worden zal de feedback meteen verwerkt kunnen worden, waarop de aanpassingen meteen verwerkt kunnen worden. Ontwerpfase, vervaardigingfase en testfase zullen dus grotendeels in elkaar overlopen. In de kiteshop van Daan is de mogelijkheid om ideeën te vervaardigen, waarna ze vrijwel direct getest kunnen worden. Daarnaast zal er ook bij Livit een deel van de vervaardiging plaats vinden waar de aanwezige materialen gebruikt mogen worden. Er is geen budget om nieuwe materialen en onderdelen te bestellen, alleen wanneer zeker is dat dit onderdeel/materiaal ook daadwerkelijk in het eindproduct gebruikt gaat worden.

Omdat de vervaardiging van het uiteindelijke ontwerp in totaal (met afwerken) rond de 5-6 weken ligt zal het niet haalbaar zijn de uiteindelijke EVO's voor het eind af te hebben.

7. Testfase / Evaluatiefase

Een groot deel van de testfase zal bestaan uit kleinere testjes waar samen met Daan per onderdeel de meest optimale oplossing gezocht zal worden.

Het uiteindelijke prototype zal getest gaan worden op:

- ☐ de mate van contact met het board.
- ☐ de manier van scharnieren en de optimale vrijheid in plantairflexie van het scharnier
- ☐ de hakverhoging
- ☐ drukplekken
- ☐ aan en uitdoen van EVO met een hand in het water
- ☐ eventuele aanvullingen vanuit de analyse

Ook deze fase zal samenlopen met de ontwerp en vervaardigingfase. Er zal elke keer een terugkoppeling plaatsvinden om tot de beste EVO's voor Daan te komen.

In de evaluatiefase zal gekeken worden naar het kostenplaatje.

8. Voorlopige literatuurlijst

- <http://www.spierziekten.nl/overzicht/hereditaire-motorische-sensorische-neuropathie-typen-1-2-en-x-gebonden/>

9. Planning

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Analyse																
Ontwerpfase																
Vervaardigingfase																
Testfase																
Evaluatie																
Presentatie																