

A close-up photograph of a golf club head, likely a driver, positioned on a lush green golf course. The club's shaft is yellow and black, and its head is black. In the lower right foreground, a white golf ball with a dimpled texture sits on the grass. The background is a soft-focus view of a golf course with trees and a building in the distance.

A-align

Directe feedback op de oplijning van een golfers' swing

Deel 4: Hardware ontwikkeling

Marc Soeters

08070954

De Haagse Hogeschool

GVS | Bewegingstechnologie

April 2018

A-align

Directe feedback op de oplijning van een golfers' swing

Deel 4: Hardware ontwikkeling

Marc Soeters

Studentnummer: 08070954

Afstudeerscriptie Gezondheid Voeding en Sport | Bewegingstechnologie

De Haagse Hogeschool

Eerste begeleider: Hubert Meulman

Vervangend eerste begeleider Aad Lagerberg

Tweede begeleider: Joris van Dam

Voorwoord

Voor u ligt een ontwerpverslag dat onderdeel is van het A-lign project. Met het A-lign project wordt een systeem ontwikkeld dat een golfer directe feedback geeft over de oplijning van zijn of haar swing. Binnen het A-lign project is al een prototype ontwikkeld, in het onderdeel dat nu voor u ligt wordt verslag gedaan van een aantal ontwerpen ter aanvulling op dit prototype.

Ik wil hier ook van de gelegenheid gebruik maken om Hubert Meulman, Joris van Dam en Aad Lagerberg te bedanken, respectievelijk eerste, tweede en vervangend eerste begeleiders. Daarnaast wil ik Monique Berger, Hendrik Luchtenburg, Maurits Koelen en Elfrieda Westerbeek bedanken voor hun adviezen. Ook gaat mijn dank uit naar Erik van de Kerkhof en alle proefpersonen die mij hebben geholpen geslaagde metingen uit te voeren. Tot slot wil ik Maarten Geers bedanken, zonder zijn steun was ik waarschijnlijk nooit aan het afstudeertraject begonnen.

Dan rest mij nu niets anders dan u veel leesplezier te wensen.

Marc

Den Haag, maart 2018

Samenvatting

Inleiding

A-align is een trainingshulpmiddel voor golfers dat zich richt op de houding van de golfer in de setup. De setup is het moment, vlak voordat de swing wordt uitgevoerd, waarop de golfer zijn lichaam en golfclub oriënteert ten opzichte van de richting die de bal moet volgen. A-align maakt gebruik van vier zelfstandige sensormodules die de oriëntatie van de voeten, heupen, schouders en golfclub van de golfer meten ten opzichte van de richting die de bal moet volgen. Deze oriëntaties worden in real time via een draadloze verbinding weergegeven op een externe laptop. In deel één en twee van het A-align project is een eerste prototype ontwikkeld.

Het ontwikkelde prototype voldoet nog niet aan alle eisen die zijn opgesteld voor het eindproduct. Het belangrijkste discussiepunt uit deel twee is dat de sensormodules de oriëntatie van de verschillende onderdelen met een precisie van $\pm 5^\circ$ meten, terwijl het eindproduct een precisie van $\pm 1,15^\circ$ vereist. Om deze precisie te kunnen bereiken is een precieze en nauwkeurige oriëntatie van de sensormodule ten opzichte van het te meten onderdeel noodzakelijk. Het ontbreken van een omhulling van de sensormodules en het ontbreken van bevestigingsmethodes worden aangemerkt als factoren die hier een grote bijdrage aan kunnen leveren.

In dit project worden drie ontwerpen gemaakt en in de praktijk getest. Er wordt in de eerste plaats een omhulling voor de sensormodule ontworpen. Vervolgens worden voor deze omhulling twee bevestigingsmethodes ontworpen, één om de sensormodule aan de schouders te bevestigen en één om de sensormodule aan de golfclub te bevestigen. De sensormodules voor de heupen en de voeten worden in dit project buiten beschouwing gelaten. De gemaakte ontwerpen moeten de precisie van de sensormodule verbeteren naar $\pm 1,15^\circ$.

Analyse

Voor elk van de drie ontwerpen zijn aan de hand van deelvragen specifieke eisen en wensen opgesteld. Deze eisen behandelen onder andere de elektronische hardware die omhuld moet worden, de (anatomische) vormen en afmetingen waaraan de sensormodules bevestigd moeten worden, gebruiksgemak van de ontworpen producten en bewegingen van de gebruiker waar rekening mee moet worden gehouden in de ontwerpen. De ontwerpen worden getoetst aan deze eisen.

Ontwerp

In het ontwerpproces is voor alle drie de ontwerpen een ideefase en een conceptfase doorlopen. Voor elk ontwerp zijn deze fases anders ingevuld. Zo is voor de behuizing en de bevestiging aan de golfclub veel gemodelleerd in Solidworks en zijn voor de bevestiging aan het lichaam juist veel spuugmodellen van harnassen gemaakt en geprobeerd. Van alle drie de ontwerpen is een prototype vervaardigd.

Test

Een aantal eigenschappen van de ontwerpen zijn in de praktijk getest. Van deze tests was de test op nauwkeurigheid het belangrijkste. Hierbij is met een 3d camerasysteem getest of de ontworpen bevestigingen de behuizing van de sensormodule in de juiste oriëntatie houden. Met de Bland Altman methode is voor alle metingen de oriëntatie van de sensormodule getoetst op overeenstemming met de gewenste oriëntatie.

Resultaten

Alle gedane metingen zijn gelukt en hebben bruikbare resultaten opgeleverd. Er zijn voor de bevestiging aan het lichaam drie situaties getest: allereerst de verschillen in de oriëntatie van de sensormodule met de gewenste oriëntatie na aantrekken en na bewegen. Daarnaast is ook het verschil in oriëntatie van de sensormodule na aantrekken met de oriëntatie na bewegen getest. De oriëntaties van de sensormodule voor de schouders bleken zowel na aantrekken als na het simuleren van een swing met een zekerheid van 95% geen statistisch significant verband te hebben met de gewenste oriëntaties (respectievelijk $p = 0,008$ $n=105$ $m=-1,22^\circ$ en $p = 0,003$ $n=103$ $m=-1,50$) en er is afgezien van verdere analyse van de gegevens. Er is wel overeenstemming gevonden tussen de oriëntaties van de sensormodule na aantrekken en na het simuleren van een swing. Met een gemiddelde van $m = 0,37^\circ$ liggen de grenzen van overeenstemming op $0,37^\circ \pm 5,05^\circ$. De precisie van deze grenzen is berekend met de sample size $n = 99$ en daaruit volgt dat het 95% betrouwbaarheidsinterval van de grenzen van overeenstemming in het beste geval op $0,37^\circ \pm 3,65^\circ$ en in het slechtste geval op $0,37^\circ \pm 6,45^\circ$ liggen.

Voor de bevestiging aan de golfclub is getest of deze de oriëntatie van de sensormodule behoudt na als er een swing gemaakt wordt. Er is overeenstemming gevonden tussen de oriëntaties van de sensormodule op de golfclub voor en na het maken van een swing. Met een gemiddelde van $m = 0,39^\circ$ liggen de grenzen van betrouwbaarheid op $0,39^\circ \pm 0,49^\circ$. Wederom is de precisie van de grenzen berekend en hieruit volgt dan dat met een sample size $n = 29$ het 95% betrouwbaarheidsinterval van de grenzen van overeenstemming in het beste geval op $0,39^\circ \pm 0,24^\circ$ ligt en in het slechtste geval op $0,39^\circ \pm 0,74^\circ$ liggen. Hiermee voldoet het prototype aan de gestelde marge van $1,15^\circ$.

Discussie

Uit de resultaten blijkt dat er geen statistisch verband is tussen de positie van de sensormodule na aantrekken en na bewegen. Hiermee voldoet het ontwerp voor bevestiging van de sensormodule aan de schouders niet aan de gestelde eisen. Opvallend tijdens de meting was dat de sensormodule niet altijd in de juiste positie werd gebracht voor de meting.

De proefpersonen die meededen aan de meting besloegen niet de volledige doelgroep. Er kan dus niet met zekerheid gesteld worden dat de hele doelgroep de bevestiging aan het lichaam aanpast.

De bevestiging aan de golfclub behield de oriëntatie van de sensormodule na de swing binnen de gestelde marge van $1,15^\circ$. Hierbij moet wel aangetekend worden dat dit slechts voor de eerste swing geldt: de bovengrens van overeenstemming ligt op $1,13^\circ$. De oriëntatie van de sensormodule zal na de tweede swing buiten de gestelde marge vallen.

Conclusie

Er zijn drie prototypes ontwikkeld die de precisie van de A-lign sensormodule moeten verhogen. De het prototype van de behuizing en het prototype van de bevestiging aan de golfclub zijn hierin geslaagd. De bevestiging van de sensormodule aan de schouders voldoet niet aan de gestelde eisen. Hieruit kan worden geconcludeerd dat de doelen van dit ontwerpproject deels zijn behaald.

Inhoud

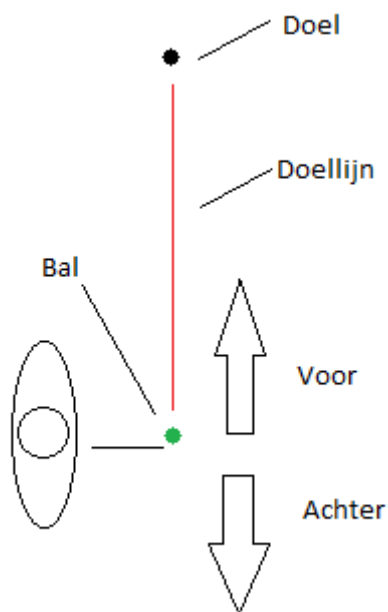
Voorwoord	3
Samenvatting	4
Bewegingsanalyse en anatomische aanduidingen	8
1. Inleiding.....	9
1.1 A-lign	9
1.2 De werking van A-lign	9
1.3 De gebruikte hardware	11
1.4 Aanleiding voor dit ontwerpproject.....	11
1.5 Beperkingen van het huidige prototype van A-lign	11
1.6 Doelstellingen en randvoorwaarden	12
1.6.1 Doelstellingen	12
1.6.2 Randvoorwaarden.....	12
2. Analyse	13
2.1 Vooronderzoek	13
2.2 Deelvragen	13
2.2.1 Elektronische hardware	13
De accu.....	13
De bluetooth module.....	14
Algemeen	14
2.2.2 Anatomie van de golfer en vorm van de golfclub.....	15
2.2.3 Beweging en houdingen	16
2.2.4 Gebruiksgemak	17
2.3. Programma van eisen en wensen	18
2.3.1 Eisen	18
2.3.2 Wensen	18
3. Ontwerp	19
3.1 Behuizing.....	19
3.1.1 Ideeënfase.....	19
3.1.2 Conceptfase	19
3.1.3 Eindontwerp en vervaardiging.....	21
3.2 Bevestiging aan het lichaam	22
3.2.1 Ideeënfase.....	22

3.2.2 Conceptfase	22
3.2.3 Eindontwerp en vervaardiging.....	23
3.3 Bevestiging aan de golfclub	24
3.3.1 Ideeënfase.....	24
3.3.2 Conceptfase	24
3.3.3 Eindontwerp en vervaardiging.....	25
4. Testfase/Evaluatie.....	26
4.1 Bevestiging aan het lichaam	26
4.1.1 In- en exclusiecriteria voor proefpersonen.....	26
4.1.2 Materialen en middelen.....	26
4.1.3 Meetprocedure	27
4.1.4 Uitkomstmaten	27
4.1.5 Te gebruiken statistische methode.....	28
4.1.6 Proefpersonen en sample size	29
4.1.7 Resultaten	29
4.2 Bevestiging aan de golfclub	31
4.2.1 Materialen en middelen.....	31
4.2.2 Meetprocedure	31
4.2.3 Uitkomstmaten	31
4.2.4 Te gebruiken statistische methode.....	32
4.2.5 Sample size.....	32
4.2.6 Resultaten	32
5. Discussie.....	34
5.1 Testresultaten	34
5.1.1 Uitkomstmaten	34
5.1.2 De bevestiging aan het lichaam	34
5.1.3 De bevestiging aan de golfclub	35
5.2 Programma van eisen en wensen	35
6. Conclusie	38
Literatuurlijst.....	39
Bijlagen.....	40
Bijlage 02 Ideeschetsen en kardinale methode rangschikking elektronica in de behuizing.....	40
Bijlage 03 Proefstukken voor de dimensionering van de sluitclips van de behuizing.	41
Bijlage 04 Ideeschetsen en kardinale methode bevestiging aan het lichaam	42

Bijlage 05 conceptontwikkeling bevestiging aan het lichaam	43
Bijlage 06 Ideeschetsen en kardinale methode bevestiging aan de golfclub	47
Bijlage 07 Matlab scripts	48
Bevestiging aan het lichaam	48
Bevestiging aan de golfclub	51
Bijlage 08: Het Projectplan.....	52

Bewegingsanalyse en anatomische aanduidingen

Voor de beschrijving van beweging en locatie van lichaamsdelen wordt uitgegaan van de anatomische houding en wordt de reguliere descriptieve terminologie aangehouden. Uitzondering hierop zijn links en rechts. Golfers staan tijdens de swing met het frontale vlak parallel aan de doellijn. Afhankelijk van de persoonlijke voorkeur van de golfer staat deze met ofwel de linkerzijde of de rechterzijde dicht bij het doel. De zijde dicht bij het doel wordt aangeduid met voor, de andere zijde met achter (Zie Figuur 1).



Figuur 1 Aanduiding van voor en achter.

1. Inleiding

1.1 A-lign

A-lign is een product dat golfers directe feedback geeft over hoe zij staan opgesteld tijdens de setup. Deze opstelling heeft een grote invloed op de richting van de geslagen bal.

De setup is de eerste fase van de swing (zie Figuur 2). In de setup oriënteert de golfer zichzelf ten opzichte van de bal. Hierbij is de opstelling van de golfer ten opzichte van de doellijn belangrijk. De doellijn is de rechte lijn tussen de bal en het punt waar de bal terecht moet komen (zie Figuur 3). De lijnen door de voeten, heupen en schouders van de golfer moeten parallel zijn aan de doellijn. Verder moet het blad (het deel van de golfclub dat de bal raakt) haaks staan op deze doellijn.

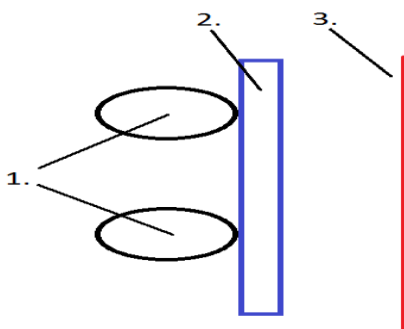
Waar andere technische trainings-hulpmiddelen voornamelijk toegankelijk zijn voor de 'elite' golfer, richt A-lign zich met een prijs van maximaal 500 euro op een veel breder spectrum golfers (de Heus, 2017).

A-lign moet geschikt zijn voor golfers van alle niveaus.

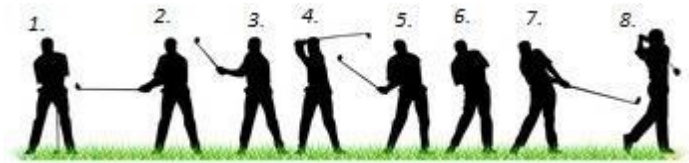
1.2 De werking van A-lign

A-lign maakt gebruik van vier aparte sensormodules. Eén voor de voeten, één voor de heupen, één voor de schouders en één voor de golfclub. Met deze modules worden de oriëntaties van de betreffende lichaamsdelen en de golfclub gemeten. De lijnen door de voeten, heupen en schouders moeten parallel zijn aan de doellijn (zie Figuur 4 en Figuur 5). Het blad moet haaks staan op de doellijn (zie Figuur 6)

De voeten worden met de tenen of de hielen tegen een rechte lat geplaatst (zie Figuur 4). Deze lat ligt parallel aan de doellijn en op de lat is een sensormodule gemonteerd (zie Figuur 7).



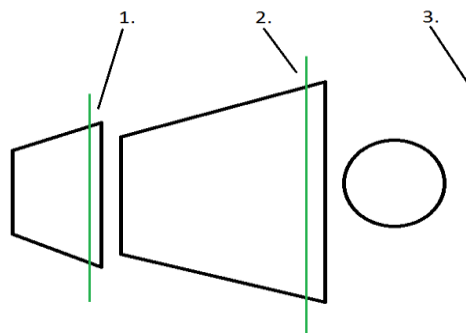
Figuur 4 De voeten (1.) worden met tenen of hakken tegen een lat (2.) geplaatst. Deze lat ligt parallel aan de doellijn (3.).



Figuur 2 Fases in de golf swing: het eerste figuur demonstreert de setup. De overige figuren demonstreren de backswing (2,3 en 4), downswing (5 en 6) en de follow through (7 en 8).

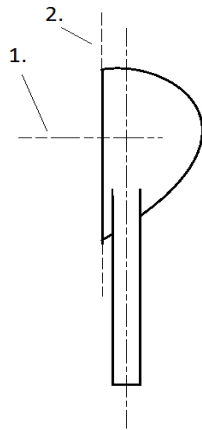


Figuur 3 Oplijning ten opzichte van de doellijn. De oplijning (linker lijn bij elk figuur) moet parallel lopen aan de doellijn (rechter lijn bij elk figuur).

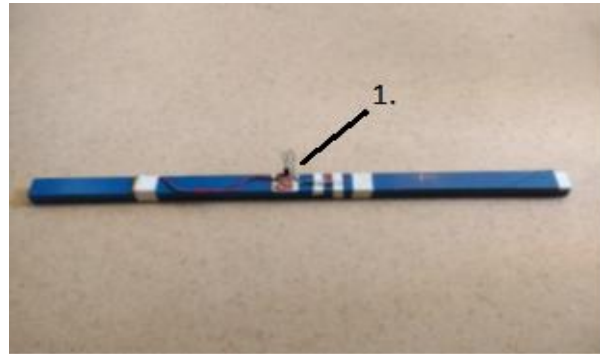


Figuur 5 Lijn door de heupen (1.) en de schouders (2.) parallel aan de doellijn (3.).

De oriëntatie van de heupen wordt gemeten met een sensormodule op het os sacrum (zie Figuur 8). De oriëntatie van de schouders wordt gemeten met een sensormodule op het sternum (zie Figuur 9). De oriëntatie van het blad van de golfclub wordt gemeten met een sensormodule op de shaft (de steel van de golfclub, zie Figuur 10).



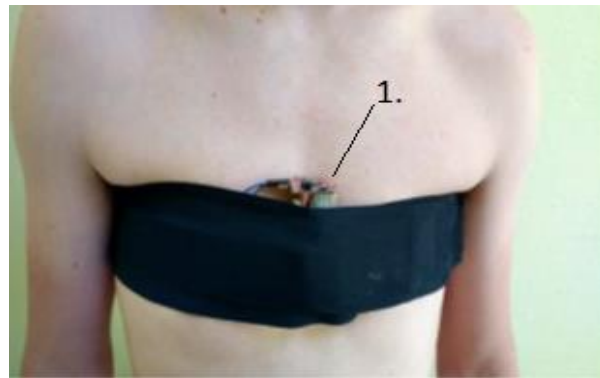
Figuur 6 Het blad van de golfclub (2.) haaks op de doellijn (1.).



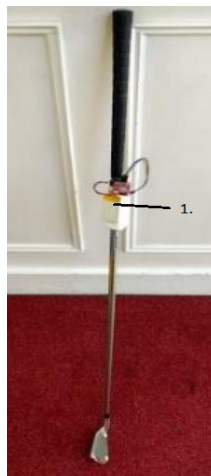
Figuur 7 Lat voor de voeten met daarop de sensormodule (1.) gemonteerd.



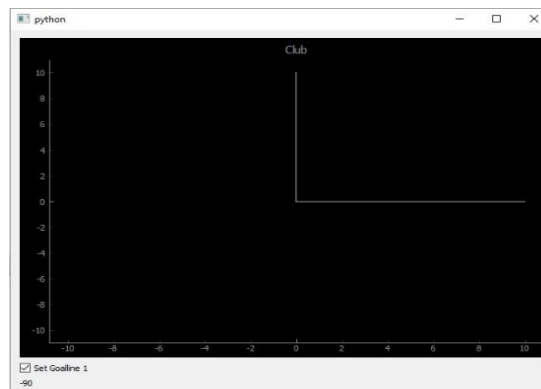
Figuur 8 Sensormodule voor de heupen (1.) bevestigd op het os sacrum.



Figuur 9 Sensormodule voor de schouders (1.) bevestigd op het sternum.



Figuur 10 De sensormodule (1.) wordt met tape bevestigd op de shaft van de golfclub.



Figuur 11 Grafische interface (GUI). De verticale lijn is de doellijn, de horizontale is de gemeten oriëntatie van één van de sensormodules.

De sensormodules zijn gebaseerd op een Inertial Measurement Unit (IMU) en kunnen in real-time worden uitgelezen via een Bluetooth verbinding. Elke module wordt door een eigen accu van elektriciteit voorzien.

De uitlezing van de sensormodules wordt momenteel door een laptop gedaan. Op het beeldscherm van de laptop wordt grafisch de oriëntatie van de afzonderlijke gemeten lijnen (schouders, heupen, voeten en golfclub) weergegeven (zie Figuur 11). Voor het eindproduct is het wenselijk dat de uitlezing ook met een tablet of telefoon gedaan kan worden.

De individuele sensormodules worden elk gekalibreerd aan de gekozen doellijn. Dit wordt gedaan door de sensormodules in een bekende oriëntatie te brengen ten opzichte van de doellijn en dit te bevestigen in de software interface.

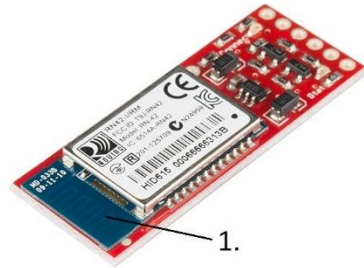
1.3 De gebruikte hardware

Het huidige prototype gebruikt voor alle sensormodules dezelfde hardware. De onderdelen zijn:

- Een Sparkfun Razor M0 (Zie Figuur 12) is het hart van de sensormodule. De Razor bevat de IMU, de microchip die met de externe computer communiceert en de voeding voor de hele sensormodule. Daarnaast beheert de Razor ook het opladen van de accu.
- De Sparkfun Bluesmirf Silver verzorgt het Bluetooth signaal voor de sensormodule. De antenne van het modem is verwerkt op de printplaat (Zie Figuur 13)
- Een LiPo accu voorziet de sensormodule van elektriciteit.



Figuur 12 De Sparkfun Razor M0



Figuur 13 De Sparkfun Bluesmirf. Het blauwe onderdeel is de antenne (1.).

In Figuren 7, 8, 9, 10 en 14 is de sensormodule te zien gemonteerd op een houten balk. Het was ten tijde van de eerste metingen met het prototype vanwege beperkingen in de software nodig om de sensor in een bepaalde oriëntatie te houden. Deze beperkingen zijn inmiddels verholpen, de sensormodule kan nu vanuit elke oriëntatie beginnen met meten.

1.4 Aanleiding voor dit ontwerpproject

De aanleiding voor dit ontwerpproject ligt in de prestaties van het huidige prototype. Dit prototype heeft een meetfout die groter is dan de toegestane meetfout in het eindproduct.

1.5 Beperkingen van het huidige prototype van A-lign

De Heus beschrijft in deel 2 de volgende oorzaken voor deze meetfout:

1. Het ontbreken van een behuizing voor de elektronica. Hierdoor is het lastig om de sensormodule goed op het lichaam/de golfclub te bevestigen. Bovendien zijn de printplaten en vooral de bedrading kwetsbaar.
2. De sensormodules voor de schouders en de heupen worden nu met een elastische band tegen het lichaam aan geklemd (zie Figuur 8 en 9). Hierdoor is het lastig om de sensormodule op precies de juiste plek te positioneren. Verschuiving van de sensormodule door beweging van de gebruiker



Figuur 14 De sensormodule gemonteerd op een houten balk.

wordt met deze methode nauwelijks tegengegaan en de sensormodule wordt na een verschuiving ook niet teruggebracht naar de initiële locatie.

3. De sensormodule van de golfclub wordt momenteel met tape aan de shaft bevestigd (zie Figuur 10). Ook hier is het lastig om de sensormodule op precies de juiste plek te positioneren.
4. Ruis in de meting van $\pm 1^\circ$. In deel 2 heeft de Heus de sensormodule een lange periode laten meten terwijl deze stil lag op een stabiele ondergrond. De gemeten waarden zouden gedurende deze meting niet mogen veranderen, echter vond de Heus tijdens deze test een ruis in de berekende oriëntatie van de sensor van $\pm 1^\circ$.

De bovengenoemde beperkingen kunnen worden ingedeeld in twee categorieën: externe en interne beperkingen. In de externe categorie vallen de beperkingen waarbij externe factoren invloed hebben op de meting van de sensormodule (punten 1, 2 en 3). In de interne categorie vallen de beperkingen waarbij interne factoren invloed hebben op de meting van de sensormodule (punt 4).

1.6 Doelstellingen en randvoorwaarden

In overleg met de opdrachtgever zijn de volgende doelen en randvoorwaarden voor dit project opgesteld:

1.6.1 Doelstellingen

Dit project zal zich richten op de externe beperkingen van het huidige prototype van A-lign zoals beschreven in paragraaf 1.5.

1. Voor de elektronica moet een behuizing worden ontworpen. Er wordt in dit stadium van de ontwikkeling van A-lign vanuit gegaan dat alle sensormodules dezelfde hardware gebruiken en dezelfde behuizing krijgen.
2. Daarnaast moet een bevestigingsmethode voor deze behuizing aan het lichaam en een bevestigingsmethode voor deze behuizing aan de golfclub ontworpen worden.
3. Met deze te ontwerpen behuizing en bevestigingsmethoden moet de huidige fout in de precisie zover mogelijk worden teruggebracht.

1.6.2 Randvoorwaarden

1. Voor een goede setup is voornamelijk de uitlijning van de lijn door de schouders en het blad van de golfclub van belang. (de Heus, 2017) In overleg met de opdrachtgever worden de sensormodules voor de voeten en de heupen in dit ontwerp buiten beschouwing gelaten.
2. Hoewel de doelgroep van A-lign alle golfers omvat zal dit prototype zich richten op de p5 tot p95 van mannen en vrouwen tussen de 20 en 60 jaar oud zonder fysieke beperkingen.

2. Analyse

2.1 Vooronderzoek

In deel 2 van dit project beschrijft de Heus de toegestane fout in de meting. Er wordt geconcludeerd dat als de richting van de bal niet verder afwijkt dan $\pm 1,15^\circ$ van de doellijn, deze bij alle gangbare drive-afstanden op een acceptabele afstand bij de hole in de buurt komt. Aangezien de A-lign ontwikkeld wordt als trainingshulpmiddel voor de houding in de setup, worden alle andere invloeden op de richting van de bal buiten beschouwing gelaten. Op deze basis is een meetfout van $\pm 1,15^\circ$ als maximale meetfout gesteld voor het eindproduct. Door de afzonderlijke kalibratie aan de doellijn van elke aparte sensormodule (zie paragraaf 1.2) zijn de metingen van de sensormodules niet afhankelijk van elkaar. Hierdoor tellen de meetfouten van de afzonderlijke sensormodules niet bij elkaar op. Elke afzonderlijke sensormodule mag dus een maximale meetfout maken van $\pm 1,15^\circ$.

Hieruit kan een nieuwe eis worden opgesteld:

E 0.1	De meetfout van het te ontwerpen prototype mag per sensor maximaal $\pm 1,15^\circ$ zijn
--------------	--

In overleg met de opdrachtgever is naar voren gekomen dat het erg onhandig is voor de gebruiker als deze na de meting alle sensormodules af moet doen voordat er een swing gemaakt kan worden.

Hieruit kunnen nieuwe eisen worden opgesteld:

E 0.2	De gebruiker moet de sensormodules tijdens de swing kunnen laten zitten
E 0.3	De omvang en plaatsing van de sensormodules moeten zo gekozen worden dat deze een minimale invloed hebben op het natuurlijke verloop van de swing

2.2 Deelvragen

2.2.1 Elektronische hardware

1. Welke invloeden hebben de gebruikte elektronische componenten op het ontwerp van de behuizing?

De accu

De kathode en anode van accu's gebaseerd op lithium veranderen in volume tijdens het opladen en ontladen. (Siegert, 2017) Als de passing van de accu in de behuizing te nauw is, zou de accu bij een volumevergroting de behuizing van vorm kunnen doen veranderen. Hierdoor kan de sensor onbedoeld in een andere oriëntatie gebracht worden.

Ter referentie is gekeken naar de passing van de accu in een smartphone. De accu van een Samsung S5 Neo smartphone heeft en aan de randen in de behuizing >1 mm ruimte.

Hieruit kan een nieuwe eis worden opgesteld:

E 1.1	De vormverandering van de accu mag de meting van de sensormodule niet beïnvloeden. Er moet rekening worden gehouden met een vormverandering van $\pm 0,5$ mm in alle richtingen ten opzichte van de door de fabrikant gespecificeerde afmetingen.
--------------	---

De losse passing van de accu heeft als gevolg dat de accu niet alleen ongestoord van volume kan veranderen, maar ook vrij kan bewegen binnen de behuizing. Dit vrije bewegen zou de meting kunnen verstoren.

Hieruit kan een nieuwe eis worden opgesteld:

E 1.2	De accu moet binnen de in E 1.1 gestelde tolerantie van volume kunnen veranderen, maar de oriëntatie binnen de behuizing mag niet veranderen.
--------------	--

De bluetooth module

De distributeur van de gebruikte bluetooth module adviseert om de antenne uit de buurt van grote metalen onderdelen te houden en niet in een kooi van Faraday te plaatsen. (Sparkfun, 2017) De accu is opgebouwd uit meerdere lagen koper en aluminium. Dit kan het radiosignaal van de bluetooth module blokkeren.

Hieruit kunnen nieuwe eisen worden opgesteld:

E 1.3	De accu mag niet tussen de bluetooth antenne en de ontvanger worden geplaatst.
E 1.4	De behuizing van de sensormodule mag niet uit geleidend materiaal bestaan.

Algemeen

Het is voor de meting van de sensormodule van belang dat de IMU een bekende en vaste oriëntatie heeft ten opzichte van de behuizing. Beweging van de IMU binnen de behuizing en alle factoren die bij kunnen dragen aan deze beweging moeten tot een minimum beperkt worden. Dit wordt bereikt door alle onderdelen met een overgangspassing in de behuizing te monteren.

Afmetingen van de gebruikte hardware:

Sparkfun Razor:

- Printplaat: 31,75 mm x 31,75 mm x 1,6 mm
- Hoogte componenten: totaal 8,25 mm
- Hartafstand bevestigingsgaten: 26,7 mm
- Diameter bevestigingsgaten: 3 mm

Sparkfun Bluesmirf:

- Printplaat: 16x 42 mm x 1,60 mm
- Hoogte componenten: 4,2 mm

Cellavia 550mAh LiPo accu:

- 5 mm x 30 mm x 40 mm

De elektrische verbindingen tussen de onderdelen zijn kwetsbaar. Beweging van de elektrische verbindingen kan tot kabelbreuk leiden en moet dus ook tot een minimum beperkt worden.

Hieruit kunnen nieuwe eisen en wensen worden opgesteld:

E 1.5	De elektronische hardware en de onderlinge elektrische verbindingen moeten volledig worden omsloten door de behuizing.
E 1.6	Alle elektronische componenten worden met een overgangspassing gemonteerd in de behuizing
E 1.7	Beweging van de elektrische verbindingen binnen de behuizing moet tot een minimum beperkt worden.

Uit overleg met de opdrachtgever is naar voren gekomen dat het erg wenselijk is om de aan/uit schakelaar van de sensormodule te kunnen bedienen en om de batterij op te kunnen laden zonder de behuizing te openen. De batterij kan via de micro-usb aansluiting van de sensormodule worden opgeladen.

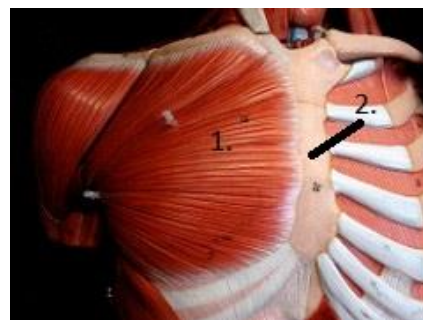
Hieruit kunnen nieuwe wensen worden opgesteld:

W 1.1	Het is wenselijk dat de sensormodule aan- en uitgeschakeld kan worden zonder de behuizing te openen.
W 1.2	Het is wenselijk dat de batterij van de sensormodule kan worden opgeladen zonder de behuizing te openen

2.2.2 Anatomie van de golfer en vorm van de golfclub

2. Welke invloed heeft de anatomie van de torso op het ontwerp van de behuizing?

Het corpus sternii van een volwassene is 2,7 tot 3,5 cm breed, het manubrium kan op het breedste punt wel 7,4 cm breed worden (Mall, Sprinzl, & Koebke, 1991). De mm. pectorali major hechten (onder andere) aan de ventrale zijde van het sternum en zullen tot hier prononceren (zie Figuur 15).



Figuur 15 De rechter pectoralis major (1.) en het sternum (2.). De linker pectoralis major is weggelaten (Teller, 2018).

Het sternum zelf is min of meer vlak en symmetrisch over de lengte.

Er zal een compromis gesloten moeten worden:

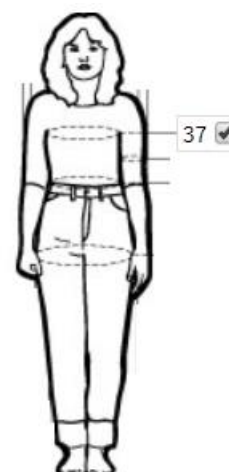
1. Als de mm pectorali major onder de sensormodule door lopen zullen deze voor verschuiving en rotatie van de sensorunit zorgen.
2. Het oppervlak van het sternum is niet perfect vlak; hoe smaller het contactoppervlak van de sensormodule met het sternum is, hoe makkelijker deze door de oneffenheden van het sternum roteert.

Hieruit kunnen nieuwe eisen worden opgesteld:

E 2.1	De sensormodule moet zo min mogelijk contact maken met de mm Pectorali lateraal van het sternum
E 2.2	De sensormodule moet zo veel mogelijk contact maken met het sternum
E 2.3	De sensormodule moet voor de meting midden op de lengteas van het sternum geplaatst worden

3. Welke invloed heeft de anatomie van de torso op het ontwerp van de bevestiging aan het lichaam?

Voor de omvang van de borstkas wordt maat 37 van de Dined database gehanteerd (zie Figuur 16). De doelgroep voor dit te ontwerpen prototype is, zoals eerder beschreven, P 5 tot en met p 95 van mannen en vrouwen tussen de 20 en 60 jaar.



De omvang van de borstkas van de doelgroep is 788 mm tot 1212 mm (Dined, 2018).

Figuur 16 Maat 37 van de Dined database: omvang van de borstkas. (Dined, 2018).

Er moet ook rekening gehouden worden met de aanwezigheid van mammae. Deze kunnen het corpus sterni volledig bedekken.

Hieruit kunnen nieuwe eisen worden opgesteld:

E 2.4	De sensormodule moet op het sternum bevestigd kunnen worden bij een omvang van de borstkas van 788 mm tot en met 1212 mm.
E 2.5	De sensormodule wordt op het manubrium geplaatst.

4. Welke invloed heeft de vorm van de golfclub op het ontwerp van de bevestiging aan de golfclub?

De schacht van een golfclub heeft een ronde dwarsdoorsnede en loopt taps toe vanaf de grip naar de kop.

De schachtdiameter is voor alle golfclubs nagenoeg gelijk en varieert van 15 mm bij de grip naar 8 mm bij de overgang naar de kop (The Golfworks, 2017). Schachtlengtes variëren tussen de 1143 en 864 mm (Fujikura, 2018).

De geschatte lengte van de sensormodule is 50 mm (langste component plus wanddikte en ruimte voor bedrading).

Het verschil in schachtdiameter over de lengte van de sensormodule kan vervolgens berekend worden. Dit is voor de langste schacht 0,6 mm en voor de kortste schacht 0,8 mm. De exacte diameter is afhankelijk van de plek waar de sensormodule geplaatst wordt, dit wordt bij deelvraag 7 behandeld.

Hieruit kan een nieuwe eis worden opgesteld:

E 2.6	De bevestiging aan de golfclub moet op een ronde, taps toelopende schacht gemonteerd kunnen worden.
--------------	--

2.2.3 Beweging en houdingen

5. Welke invloed heeft het maken van een swing op het ontwerp van de behuizing?

Naarmate de behuizing groter wordt, wordt ook de kans groter dat deze hindert in het natuurlijke verloop van de swing.

Hieruit kan een nieuwe eis worden opgesteld:

E 3.1	De behuizing moet zo compact mogelijk worden ontworpen
--------------	---

6. Welke invloed heeft het maken van een swing op het ontwerp van de bevestiging aan het lichaam?

Uiterste houdingen in de swing zijn de overgang van backswing naar downswing en het einde van de follow through.

Voornamelijk in de overgang van de backswing naar de downswing komt de voorste arm van de golfer in de buurt van het sternum (zie Figuur 17). Vanuit de setup (zie Figuur 18) worden de volgende bewegingen gemaakt met de voorste arm: anteflexie in het glenohumerale gewricht en volledige adductie in zowel het glenohumerale als sternoclaviculaire gewricht. In deze houding wordt voor de craniale helft van het sternum de ruimte om een sensormodule te bevestigen sterk beperkt.

De hierboven beschreven beweging zorgt voor een forse prononcatie van de m. pectoralis major van de voorste arm. Het is erg waarschijnlijk dat de sensormodule op het sternum hierdoor verschoven wordt. De positionering van de sensor is echter al in eis E2.3 behandeld.

Hieruit kan een nieuwe eis worden opgesteld:

E 3.2	De sensormodule moet zo min mogelijk prononceren vanaf het sternum
--------------	---

7. Welke invloed heeft het maken van een swing op het ontwerp van de bevestiging aan de golfclub?



Figuur 17 De overgang van backswing naar downswing van Dustin Johnson (SwingMoment, 2017). Links in het rood de positie van het sternum (1.).

De gewichtsverdeling binnen de golfclub is erg belangrijk voor de golfer. Het monteren van een sensormodule op de golfclub heeft invloed op deze gewichtsverdeling. Hoe dichter de sensormodule bij de handen van de golfer wordt gemonteerd, hoe kleiner het moment is dat de massa(traagheid) van de sensormodule veroorzaakt in de handen van de golfer die de club vastheeft.

Hieruit kan een nieuwe eis worden opgesteld:

E 3.3	De sensormodule op de golfclub moet zo dicht mogelijk bij de handen van de golfer gemonteerd worden, op een schachtdiameter die loopt van 15 mm tot 14,2 mm.
--------------	---

2.2.4 Gebruiksgemak

In overleg met de opdrachtgever is naar voren gekomen dat het wenselijk is om de gebruikers de optie te geven de sensormodule van het sternum boven de kleding te dragen. Echter om variabelen in te perken wordt er in het ontwerp van dit prototype uitgegaan van gladde, symmetrische kleding.

Hieruit kan een nieuwe eis worden opgesteld:

E 4.1	De bevestiging op het lichaam wordt ontworpen voor gebruik boven gladde, symmetrische kleding
--------------	--



Figuur 18 houding in de setup met links Dustin Johnson en rechts Kevin Kisner (SwingMoment, 2017).

2.3. Programma van eisen en wensen

2.3.1 Eisen

Tabel 1 Overzicht van de gestelde eisen.

E 0.1	De meetfout van het te ontwerpen prototype mag per sensor maximaal $\pm 1,15^\circ$ zijn
E 0.2	De gebruiker moet de sensormodules tijdens de swing kunnen laten zitten
E 0.3	De omvang en plaatsing van de sensormodules moeten zo gekozen worden dat deze een minimale invloed hebben op het natuurlijke verloop van de swing
E 1.1	De vormverandering van de accu mag de meting van de sensormodule niet beïnvloeden. Er moet rekening worden gehouden met een vormverandering van $\pm 0,5$ mm in alle richtingen ten opzichte van de door de fabrikant gespecificeerde afmetingen.
E 1.2	De accu moet binnen de in E 1.1 gestelde tolerantie van volume kunnen veranderen, maar de oriëntatie binnen de behuizing mag niet veranderen.
E 1.3	De accu mag niet tussen de bluetooth antenne en de ontvanger worden geplaatst.
E 1.4	De behuizing van de sensormodule mag niet uit geleidend materiaal bestaan.
E 1.5	De elektronische hardware en de onderlinge elektrische verbindingen moeten volledig worden omsloten door de behuizing.
E 1.6	Alle elektronische componenten worden met een overgangspassing gemonteerd in de behuizing
E 1.7	Beweging van de elektrische verbindingen binnen de behuizing moet tot een minimum beperkt worden.
E 2.1	De sensormodule moet zo min mogelijk contact maken met de mm Pectorali lateraal van het sternum
E 2.2	De sensormodule moet zo veel mogelijk contact maken met het sternum
E 2.3	De sensormodule moet voor de meting midden op de lengteas van het sternum geplaatst worden
E 2.4	De sensormodule moet op het sternum bevestigd kunnen worden bij een omvang van de borstkas van 788 mm tot en met 1212 mm
E 2.5	De sensormodule wordt op het manubrium geplaatst
E 2.6	De bevestiging aan de golfclub moet op een ronde, taps toelopende schacht gemonteerd kunnen worden waarvan de diameter over de lengte van de sensormodule loopt van 15 mm naar 14,2 mm.
E 3.1	De behuizing moet zo compact mogelijk worden ontworpen
E 3.2	De sensormodule moet zo min mogelijk prononceren vanaf het sternum
E 3.3	De sensormodule op de golfclub moet zo dicht mogelijk bij de handen van de golfer gemonteerd worden, op een schachtdiameter die loopt van 15 mm tot 14,2 mm.
E 4.1	De bevestiging op het lichaam wordt ontworpen voor gebruik boven gladde, symmetrische kleding

2.3.2 Wensen

Tabel 2 Overzicht van de gestelde wensen.

W 1.1	Het is wenselijk dat de sensormodule aan en uitgeschakeld kan worden zonder de behuizing te openen.
W 1.2	Het is wenselijk dat de batterij van de sensormodule kan worden opgeladen zonder de behuizing te openen

3. Ontwerp

3.1 Behuizing

3.1.1 Ideeënfase

In de ideeënfase zijn zoveel mogelijk ideeën gegenereerd voor de rangschikking van de elektronica. Deze is bepalend voor het ontwerp van de behuizing (zie bijlage 02 voor een overzicht van ideeschetsen).

3.1.2 Conceptfase

Het conceptontwerp is van binnen naar buiten in stappen opgebouwd. Eerst is de juiste rangschikking van de elektronica bepaald, daar omheen is de behuizing gedimensioneerd.

Rangschikking van de elektronica

Allereerst is er gekeken naar de rangschikking van de elektronica. Deze moet zo compact mogelijk, waarbij de bluetooth antenne vrij wordt gehouden. Er wordt tussen de onderdelen een speling van 1 mm aangehouden.

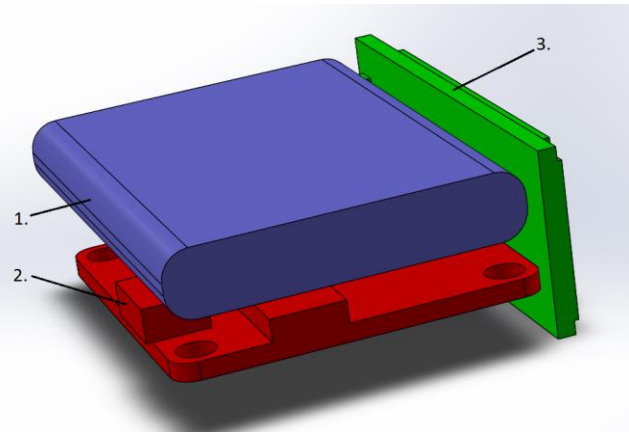
Alle unieke permutaties van compacte rangschikking zijn met de kardinale methode getoetst aan de in hoofdstuk 2 gestelde eisen en wensen die voor dit onderdeel relevant zijn (zie bijlage 02).

Daarnaast is er ook getoetst op complexiteit van de ondersteuning en eenvoud van assemblage. De rangschikking die het beste aan de combinatie van gestelde eisen en wensen voldoet is gekozen en gemodelleerd in Solidworks (zie Figuur 19). De ondersteuning en bevestiging van de componenten is vervolgens in Solidworks om de gekozen rangschikking heen opgebouwd.

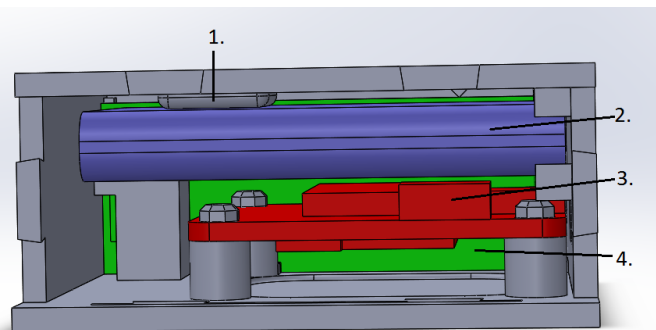
De vormen en afmetingen van de ondersteuning van de elektronica lenen zich erg goed om geprint te worden in een 3d-printer. Om het productieproces te vereenvoudigen wordt de hele behuizing met deze methode vervaardigd. De beschikbare printers op de opleiding printen in PET.

Passing van de elektronica in de behuizing

Alle elektronische componenten worden vormgesloten bevestigd. De accu wordt in beweging beperkt door een schijfje PP-schuim. Hierdoor kan de accu wel van vorm veranderen, maar niet vrij bewegen binnen de behuizing (zie Figuur 20). De Razor wordt in positie gehouden door een schijfje PP-schuim tussen de Razor en de accu.



Figuur 19 Rangschikking van de elektronische componenten: de accu (1.), de Razor (2.) en de Bluesmirf (3.).



Figuur 20 In de opengewerkte behuizing is het stukje schuim dat tegen de accu aan drukt te zien (1.). Verder de componenten: de accu (2.), de Razor (3.) en de Bluesmirf (4.).

Vorm van de behuizing en wanddikte

Voor het prototype zijn geen esthetische eisen gesteld aan de vorm van de behuizing. Er is gekozen voor een rechthoekige vorm vanwege de eenvoud en omdat deze erg functioneel is (zie Figuur 21).

Er is een wanddikte van 2 mm aangehouden. Dit is een afmeting die op verscheidene internetfora voor 3d-printen wordt geadviseerd. Of met deze wanddikte de behuizing stijf genoeg is zal blijken na de daadwerkelijke vervaardiging. De buitenmaat wordt hiermee: 42 mm x 49 mm x 22 mm

Sluiting en assemblage

Om eenvoudig toegang te houden tot de elektronica, de assemblage makkelijk te maken en de afmetingen van de behuizing zo compact mogelijk te houden is ervoor gekozen alle wanden apart te printen. Deze keuze heeft twee bijkomende voordelen:

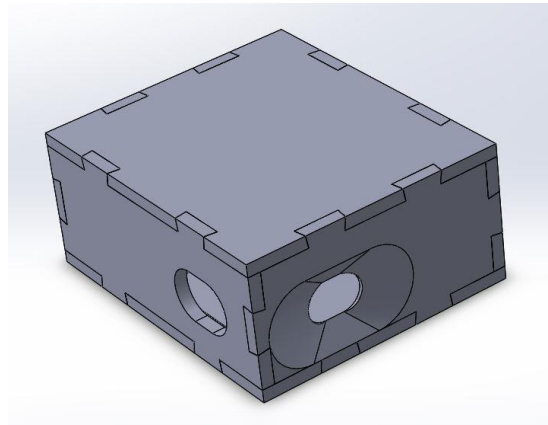
- Er worden nauwelijks nog overhangende structuren geprint (hierdoor wordt de nabewerking van de prints geminimaliseerd)
- De printlagen lopen in de lengterichting van de wanden. Die zijn hierdoor veel sterker en stijver.

Voor de sluiting van de behuizing was er de keuze uit schroeven of een 'klik'-systeem. Hier is gekozen voor het klik-systeem aangezien er voor schroeven extra verdikkingen aangebracht zouden moeten worden en dit ten koste gaat van het compacte ontwerp.

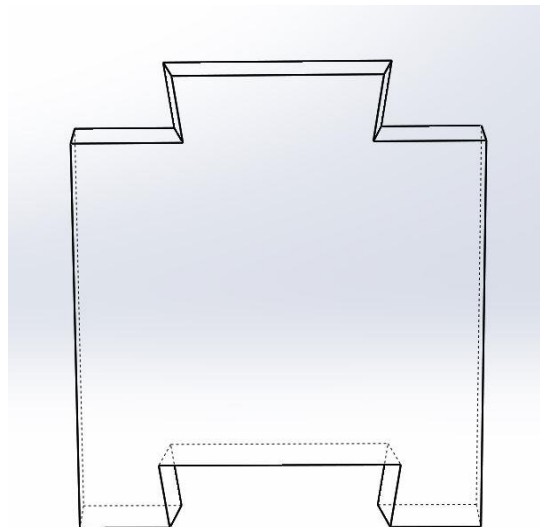
De wanden zijn met 2 mm dik genoeg om een klik-systeem in te verwerken. Omdat het klik-systeem op alle zijden van alle wanden wordt toegepast, is gekozen voor een systeem gebaseerd op nokken en uitsparingen.

Met alleen de nokken en uitsparingen kunnen de wanden niet meer richting elkaar bewegen, maar nog wel uit elkaar. Om dit te ondervangen worden de zijanten van de nokken en uitsparingen in twee richtingen onder een hoek gezet. Hierdoor ontstaat een (in twee richtingen) trapezoïde vorm (zie Figuur 22). Wanneer de nok in de uitsparing wordt geklikt ontstaat een vormgesloten verbinding.

Om de juiste passing te vinden zijn een aantal prints gemaakt van het model in Figuur 22. Hierbij is in stappen van 0,1 mm het verschil in breedte tussen de nok en uitsparing gevarieerd van 0,0 tot 0,5 mm (zie bijlage 03). Hieruit bleek dat wanneer de nok 0,1 mm smaller wordt gedimensioneerd dan de uitsparing, de twee onderdelen goed zijn te assembleren en los te nemen. Daarbij is bij deze passing de verbinding tussen de twee redelijk stijf.



Figuur 21 3d model van de behuizing. Op de voorgrond zijn uitsparingen zichtbaar die toegang geven tot de usb-poort en de aan/uit knop van de Razor.



Figuur 22 Vormstudie van het klik-systeem weergegeven als wireframe. Bovenin de nok en onderin de uitsparing. De gestippelde lijnen zijn eigenlijk onzichtbaar vanuit dit perspectief.

3.1.3 Eindontwerp en vervaardiging

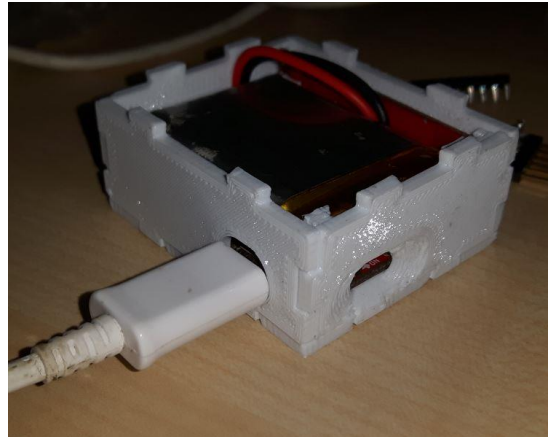
De combinatie van alle onderdelen uit de conceptfase levert een rechthoekige behuizing op waarin de elektronica dicht op elkaar gepakt en vormgesloten is gemonteerd met een overgangspassing.

De wanddikte dicteert de buitenmaten van de behuizing: 42 mm x 49 mm x 22 mm. Na assemblage van de behuizing blijkt deze stijf genoeg, het is moeilijk om de behuizing te vervormen.

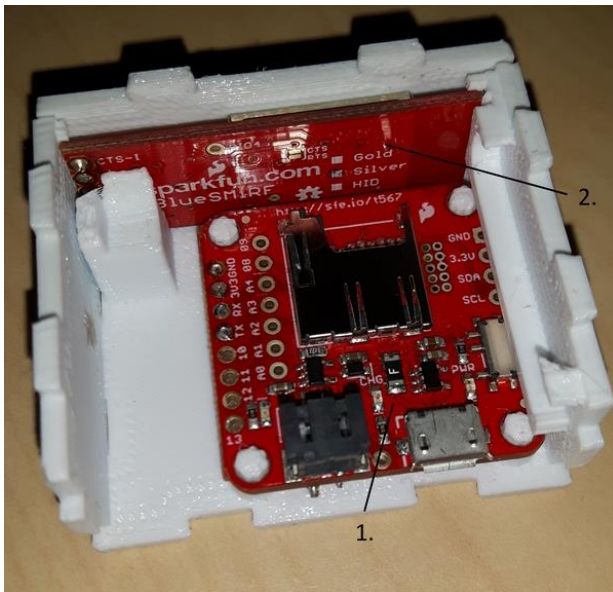
Alle zijden van de behuizing zijn afzonderlijk losneembaar en worden op elkaar gemonteerd met een klik-systeem. Er zijn voor de USB-poort en de aan/uit knop uitsparingen gemaakt zodat deze bediend kunnen worden zonder de behuizing te openen.

Het geheel is geprint in PET door een printer met een nozzlediameter van 0,2 mm en een laagdikte van 0,4 mm.

Met dit ontwerp voldoet de behuizing aan eisen E 0.3, E1.1 tot en met E1.7, E2.1, E3.1, E3.2 (zie Tabel 1) en wensen W1.1 en W1.2 (zie Tabel 2)



Figuur 23 Sensormodule met de USB kabel aangesloten. Rechts is de uitsparing voor de aan/uit knop zichtbaar.



Figuur 24 Opengewerkte behuizing met de Razor (1.) en de Bluesmirf (2.). Aan de randen van de behuizing is het klik-systeem zichtbaar.



Figuur 25 De behuizing in de hand van de ontwerper.

3.2 Bevestiging aan het lichaam

3.2.1 Ideeënfase

In de ideeënfase zijn zoveel mogelijk ideeën gegenereerd voor het ontwerp van de bevestiging aan het lichaam. Er is veel gewerkt met spuugmodellen om de verschillende eigenschappen zoals draagcomfort, eenvoud van aan- en uittrekken en positionering van de sensormodule van het betreffende ontwerp te onderzoeken.



Figuur 26 Het harnas bestaat uit twee lussen die om de schouders van de gebruiker heen gaan. Midden tussen de lussen wordt de sensormodule op het manubrium gepositioneerd.

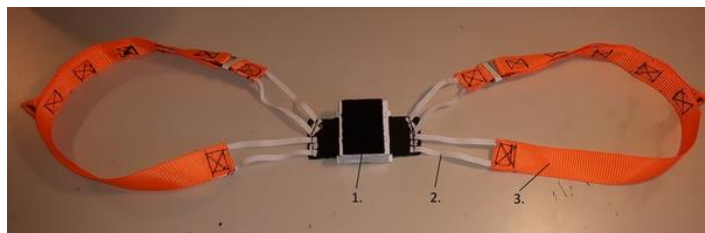
3.2.2 Conceptfase

In de conceptfase worden de beste ideeën geselecteerd en deze worden samengevoegd tot een conceptontwerp.

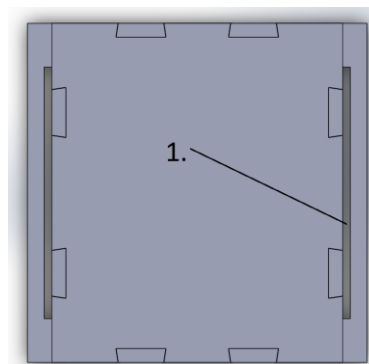
Basisconcept

In de eerste plaats is gekeken naar de positionering van de sensormodule, het draagcomfort en gemak van aantrekken van het harnas. Met de kardinale methode zijn de ideeën getoetst aan deze eigenschappen en de beste is geselecteerd (zie bijlage 04). Het gekozen idee is verder uitgewerkt en zo ver mogelijk versimpeld (zie bijlage 05)

Twee lussen onder de oksels en over de schouders van de gebruiker vormen het basisprincipe van de bevestiging. Midden tussen de lussen is de sensormodule met elastiek opgehangen (zie Figuur 26 en 27). Met deze constructie wordt de sensormodule recht voor het manubrium gepositioneerd zodra het linker en rechter schouderblad van de gebruiker in dezelfde oriëntatie gebracht worden.



Figuur 27 Het harnas met de sensormodule (1.), elastiek (2.) en de schouderband (3.).



Figuur 28 Boven aanzicht van de behuizing. Hier zijn de ophangpunten te zien voor de bevestiging aan het lichaam (1.).

Door toevoeging van het elastiek kan het harnas retractie van de schouderbladen toelaten, dit is belangrijk voor het maken van de swing. Bovendien zorgt het elastiek ervoor dat, bij protractie van de schouderbladen, de banden niet van de schouders af glijden. Met trial and error is de lengte en maximale hoeveelheid elastiek bepaald waarbij het draagcomfort acceptabel bleef.

De verbinding tussen de behuizing en het harnas wordt gemaakt door links en rechts ophangpunten aan de bodemplaat van de behuizing toe te voegen (zie Figuur 28). Door deze ophangpunten wordt een brede band getrokken die wordt dubbelgeslagen en zo dicht mogelijk bij de behuizing wordt dichtgenaaid. De oneffenheden van de naaisteken en van dit brede band worden weggewerkt door er een stuk spinaker doek overheen te plakken (zie Figuur 29). Dit doek heeft een erg lage wrijvingscoëfficiënt en zal helpen bij het positioneren van de sensormodule.

Er is gekozen om de verbinding tussen het harnas en de sensormodule te integreren in de bodemplaat om de hoogte van de sensormodule zo klein mogelijk te houden. Nadat dit basisconcept was samengesteld, is gekeken naar de maten en verstelbaarheid van de schouderbanden.

Maatvoering

Het basisconcept is passend ontworpen op de borstkasomvang van de ontwerper. De minimale en maximale lengte van de schouderbanden is bepaald zodat het harnas passend gemaakt kan worden voor de gehele doelgroep.

De juiste lengtes zijn gevonden door eerst de verhouding te berekenen tussen de lengte van de schouderbanden van het basisconcept en de borstkasomvang. Daarna is met deze verhouding aan de hand van de minimale en maximale borstkasomvang van de doelgroep de minimale en maximale lengte (respectievelijk 575 mm en 884 mm, gemeten tussen de verste punten van de dubbelgeslagen schouderbanden) van de schouderbanden te berekenen.

Vervolgens zijn de breedte van de sensormodule, lengte van het elastiek en standaard uittrekking van het elastiek met deze maten verrekend. Dit geeft de lengte van de schouderbanden; minimaal 265 mm en maximaal 574 mm.

De twee aparte schouderbanden hebben elk een eigen afstelmechanisme nodig. Om het symmetrisch afstellen van de schouderbanden te vereenvoudigen is er gekozen voor een verstelmechanisme met discrete stappen. Als sluiting voor het verstelmechanisme is klittenband gekozen (zie Figuur 30). Dit is makkelijker te bedienen voor de gebruiker dan knopen en beter geschikt voor het beoogde materiaal van de schouderbanden (geweven band).



Figuur 29 Spinakerdoek bevestigd op de achterzijde van de sensormodule (1.).



Figuur 30 Verstelmechanisme van de schouderbanden.

3.2.3 Eindontwerp en vervaardiging

De combinatie van alle onderdelen uit de conceptfase levert een harnas bestaande uit twee schouderlussen op dat de sensormodule midden op het manubrium van de gebruiker positioneert. De schouderlussen zijn in discrete stappen verstelbaar in grootte tussen 575 mm en 884 mm, dit maakt het harnas geschikt voor de hele doelgroep.

Het grootste deel van de vervaardiging van het harnas wordt met de naaimachine gedaan, alleen de aangepaste bodemplaat van de behuizing wordt geprint in de 3d printer in PET en het spinakerdoek wordt bevestigd met de lijmlaag die al aanwezig is op het doek.

Met dit ontwerp voldoet de bevestiging aan het lichaam aan eisen E 2.1 tot en met E 2.5, E 3.2, E 3.3 en E4.1 (zie Tabel 1).

3.3 Bevestiging aan de golfclub

3.3.1 Ideeënfase

In de ideeënfase zijn zoveel mogelijk ideeën gegenereerd voor het ontwerp van de bevestiging aan de golfclub. Hierbij is voornamelijk aandacht besteed aan de sluiting rond de golfclub en het contactoppervlak tussen de golfclub en de bevestiging.

3.3.2 Conceptfase

In de conceptfase worden de beste ideeën geselecteerd en deze worden samengevoegd tot een conceptontwerp.

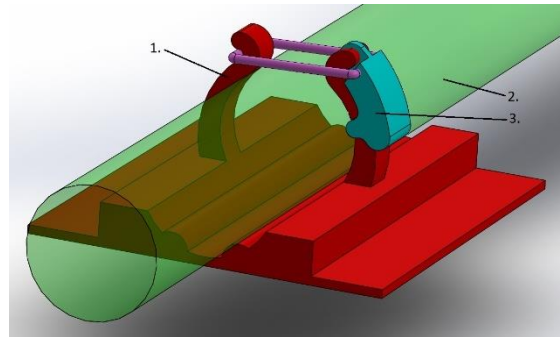
Als eerste is gekeken naar de sluiting rond de golfclub. Er werd snel duidelijk dat een sluiting die de golfclub volledig omsluit de voorkeur heeft. Dit om te voorkomen dat de sensormodule los schiet tijdens een swing.

De enige eis met betrekking tot de sluiting rond de golfclub die is opgenomen in het programma van eisen en wensen stelt dat de bevestiging geschikt moet zijn voor een taps toelopende shaft. Naast dit punt zijn ook het onderdeel gebruiksgemak en levensduur sluiting toegevoegd aan de scorelijst van de kardinale methode waarmee de ideeën zijn getoetst.

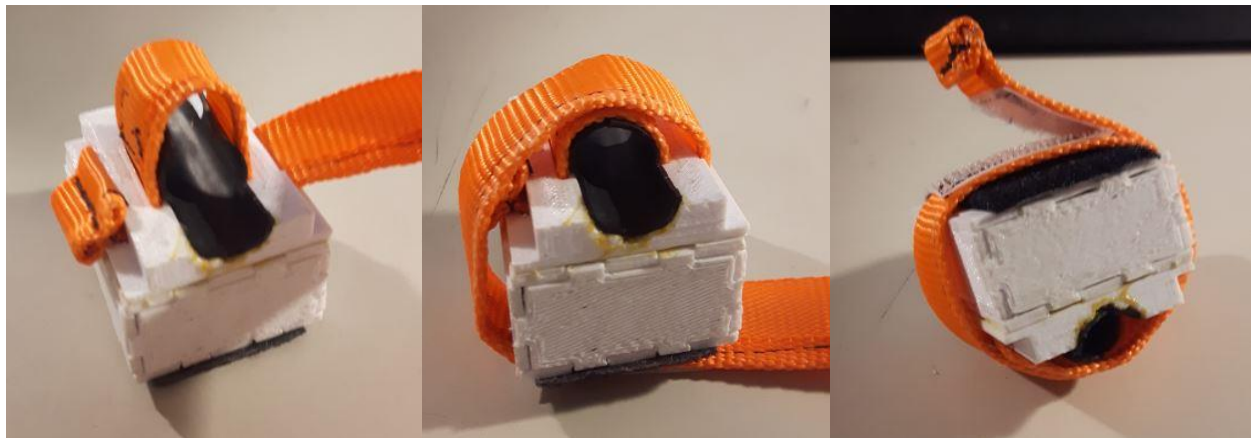
Een omsluiting met een klem en een sluitclip (zie Figuur 31) werd het hoogste gescoord (zie bijlage 06). Echter bleek bij de eerste keer bevestigen aan de golfclub de klem niet te zijn opgewassen tegen de benodigde klemkracht. Daarnaast bleek het mechaniek van de sluitclip te fijn gedimensioneerd voor de beschikbare productiemethoden.

Na een heroverweging is gekozen een band te gebruiken als sluiting rond de golfclub. Deze band zal de club tegen een basisplaat aan trekken en is lang genoeg om ook de volledige sensormodule te omsluiten. De band wordt gesloten met klittenband (zie Figuur 32).

Een basisplaat vormt het ankerpunt voor de sluiting rond de golfclub, een punt van inklemming voor de golfclub en de interface met de behuizing van de sensormodule. Er is gezocht naar een ontwerp waarbij



Figuur 31 Bevestiging aan de golfclub met de klem (1.), schacht van de golfclub (2.) en sluitclip (3.).

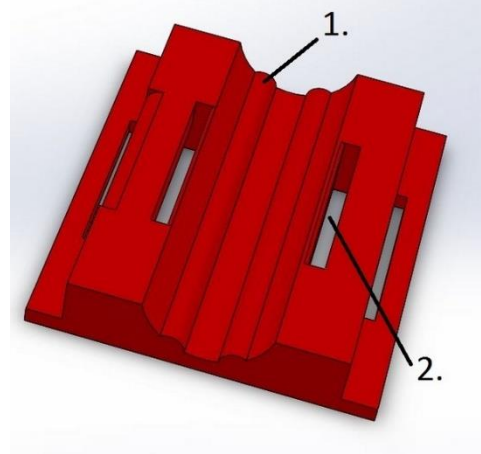


Figuur 32 Sluiting rond de golfclub van links naar rechts: eerst om de golfclub heen, daarna in tegenovergestelde richting om de hele sensormodule heen en ten slotte vastzetten met klittenband.

beweging van de sensormodule rond en langs de shaft zoveel mogelijk vormgesloten beperkt. Dit omdat een krachtsluiting de betrokken onderdelen belast en het gebruiksgemak niet ten goede komt.

Aan weerszijde van de shaft worden richels toegevoegd (zie Figuur 33). Deze richels beperken, samen met de sluiting rond de golfclub, de bewegingsmogelijkheden van de sensormodule tot translatie langs en rotatie om de lengteas van de shaft voor alle schachtdiameters tussen de 14,2 mm en 15 mm.

De klemkracht van de sluiting rond de golfclub moet voldoende wrijving veroorzaken om translatie langs, en rotatie om de lengteas van de shaft tegen te houden. Om de wrijvingscoëfficiënt te verhogen met de golfclub wordt het hele contactoppervlak van de basisplaat verlijmd met een laag rubber. Dit is vanuit praktisch oogpunt gedaan: vuil, stof en vet kunnen de wrijvingscoëfficiënt negatief beïnvloeden en hoe groter het oppervlak, hoe langer het duurt voordat het hele oppervlak verontreinigd is. Tot slot wordt de basisplaat verlijmd met de bodemplaat van de sensormodule.



Figuur 33 Basisplaat van de bevestiging aan de golfclub met richels (1.) en ankerpunt voor de sluiting rond de golfclub (2.).

3.3.3 Eindontwerp en vervaardiging

De combinatie van onderdelen uit de conceptfase levert een ontwerp op waarmee de sensormodule met een combinatie van een kracht- en vormgesloten verbinding aan de golfclub bevestigd kan worden.

De vervaardiging van dit prototype omvat verschillende onderdelen. De basisplaat wordt, net als de behuizing, geprint in een 3d printer uit het materiaal PET. Er is voor gekozen om de basisplaat als los onderdeel te printen en niet als één geheel met de bodem of deksel van de sensormodule om het gebruik van support-materiaal door de printer te minimaliseren. Het is vrij arbeidsintensief om dit weg te halen en laat een minder mooi oppervlak achter. De afwerking van de band wordt met een naaimachine gedaan.

Met dit ontwerp voldoet de bevestiging aan de golfclub aan eisen E 2.6 en E 3.4 (zie Tabel 1)

4. Testfase/Evaluatie

Er zijn een aantal eisen gesteld aan de prototypes die in de praktijk getest moeten worden. Dit hoofdstuk doet voor elk prototype verslag van deze praktijktesten.

4.1 Bevestiging aan het lichaam

De eisen gesteld aan de bevestiging aan het lichaam behandelen de positie en oriëntatie van de sensormodule ten opzichte van de gebruiker, de antropometrische maten van de gebruiker en het draagcomfort van de sensormodule tijdens de swing. De test is zo ontworpen dat het prototype aan alle relevante eisen wordt getoetst, dit zijn eisen E0.1, E0.2, E0.3, E2.3, E2.4 en E4.1 (zie Tabel 1).

Er wordt voor drie situaties getest of de bevestiging aan het lichaam de sensormodule in de juiste oriëntatie houdt. Het betreft hier dus een test op precisie en accuratesse. De situaties zijn:

- Direct nadat de sensormodule is aangetrokken
 - o Oriëntatie ten opzichte van de juiste oriëntatie
- Na het maken van een swing.
 - o Oriëntatie ten opzichte van de juiste oriëntatie
 - o Oriëntatie ten opzichte van 'net aangetrokken'

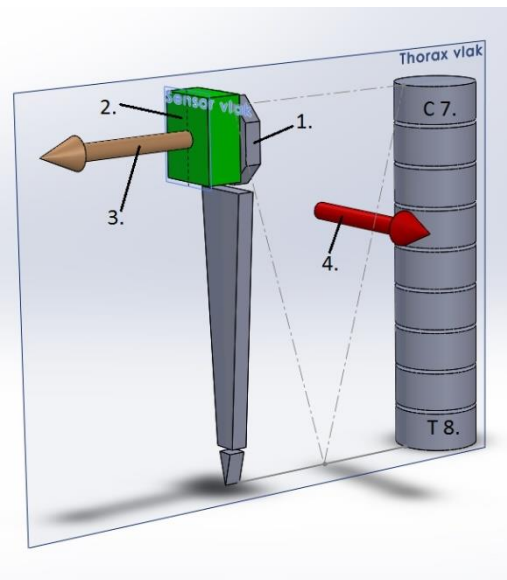
De juiste oriëntatie wordt als volgt gevonden: Een referentievlak van de sensormodule moet haaks staan op het sagittale vlak van de thorax van de gebruiker. Het vlak waarin de deksel van de sensormodule ligt wordt gekozen als referentievlak (zie Figuur 34). Deze situaties behandelen eisen E0.1 en E0.2. De eisen E2.3 en E4.1 worden getoetst door gedurende de test op het oog te bepalen of de sensormodule in de juiste positie wordt gebracht en voor eis E0.3 wordt geobserveerd tijdens het maken van de swing of de sensormodule hindert in het maken van de beweging. Tot slot wordt eis E2.4 getoetst door de borstkasomvang van de proefpersonen te meten.

4.1.1 In- en exclusiecriteria voor proefpersonen

Naar aanleiding van de doelgroep waar dit prototype zich op richt (zie 1.6.2 Randvoorwaarden, punt 2) zijn er een aantal in- en exclusiecriteria opgesteld die maat geven aan de geschiktheid van een proefpersoon om mee te doen met dit onderzoek. Zowel mannen als vrouwen met een leeftijd van 20 tot 60 jaar kunnen meedoen aan dit onderzoek. Het is belangrijk dat de borstkas omvang van de proefpersonen tussen de 788 mm en 1212 mm (maat 37 in de Dined database, zie Figuur 16) ligt en dat de proefpersonen geen fysieke beperkingen hebben. Alle personen die aan deze criteria voldoen kunnen meedoen aan dit onderzoek.

4.1.2 Materialen en middelen

Om de meting aan het prototype te kunnen doen zijn een aantal materialen en middelen gebruikt. De proefpersonen krijgen het bovenstuk (vest) van een motion capture suit. Op dit vest worden 7 body-markers bevestigd. Daarnaast wordt de sensormodule voorzien van een eigen markercluster met 4 markers. Het tracken van alle markers gebeurt in een optitrack systeem met 16 camera's, opgezet in een



Figuur 34 Vlakken van de thorax en de sensormodule. Rechts C7 tot en met T8 van de wervelkolom. Links het manubrium (1.), de sensormodule (2.), de normaalvectoren van de sensormodule (3.) en het vlak door de thorax (4.).

klein volume (vloeroppervlak 4 m x 4 m). Het optitrack systeem is een 3d camerasysteem en wordt gezien als de huidige gouden standaard. De manier waarop deze materialen en middelen worden gebruikt wordt in de volgende paragraaf beschreven.

4.1.3 Meetprocedure

De meetprocedure is vooraf vastgesteld zodat alle metingen op dezelfde wijze verlopen en maakt gebruik van de in de vorige paragraaf beschreven materialen en middelen.

Allereerst markeert de onderzoeker bij de proefpersoon de incisura jugularis, de processus xiphoidus en de processus spinosi van C7, T2, T4, T6 en T8 met de 7 bodymarkers (zie Figuur 35 en 36) en wordt het aparte markercluster op de deksel van de sensormodule bevestigd (zie Figuur 35). Hierna kan de test beginnen.

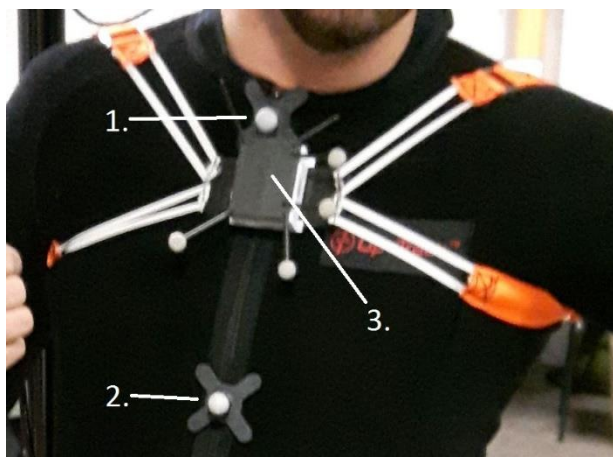
De test bestaat uit twee metingen die na elkaar worden uitgevoerd. Deze set van twee metingen wordt vervolgens tien maal herhaald. De proefpersoon trekt de sensormodule aan en gaat in de setup staan. In deze houding wordt er een meting van 5 seconden gedaan met het optitrack systeem. Vervolgens doet de proefpersoon de beweging van een swing na en gaat daarna weer in de setup staan. In deze houding wordt er een meting van 5 seconden gedaan met het optitrack systeem. De verwerking van de data die met deze metingen wordt verzameld wordt in de volgende paragrafen beschreven.

4.1.4 Uitkomstmaten

Optitrack geeft niet de hoeken tussen twee vlakken maar wel de positievectoren van de markers als output. Om van deze markerposities naar de hoek tussen de vlakken van de thorax en de sensormodule te komen worden vanuit sets van markerposities normaalvectoren berekend van het vlakken waarin de individuele sets liggen.

Er worden sets van drie markers gebruikt. Per set van drie liggen de markers in één vlak. Door twee positievectoren van elkaar af te trekken krijg je een vector die in hetzelfde vlak ligt als de markers. Het kruisproduct van twee van deze vectoren levert de normaalvector van het betreffende vlak op en met de cosinusregel kan dan de hoek tussen twee (normaal)vectoren worden berekend.

In de ideale wereld zou een set van drie markers voor de sensormodule en een set van drie markers voor de thorax afdoende moeten zijn. Echter om meetfouten te ondervangen wordt voor de markerposities het gemiddelde genomen van 40 samples uit het optitrack systeem. Daarnaast is ervoor gekozen om voor zowel de thorax als de sensormodule meer markers te gebruiken. Uit deze markers worden eerst voor zowel de markers op de thorax als op de sensormodule alle unieke permutaties van 3 markers berekend.



Figuur 35 Vooraanzicht van de markerlocaties: Incisura jugularis (1.), processus xiphoidus (2.) en de sensormodule met een markercluster van vier markers (3.).



Figuur 36 Achteraanzicht markerlocaties. Van boven naar beneden de markers op respectievelijk C7, T2, T4, T6 en T8.

Vervolgens wordt voor alle individuele sets van 3 markers de normaalvector berekend. Daarna wordt uit deze normaalvectoren voor zowel de thorax als de sensormodule een gemiddelde normaalvector berekend.

Tot slot wordt met de cosinusregel de hoek tussen de twee gemiddelde normaalvectoren berekend. Deze berekening wordt voor elke meting gedaan en levert dus voor elke meting één enkele hoek op. Hoe deze gevonden hoeken statistisch onderzocht worden wordt beschreven in de volgende paragraaf.

De Matlabscripts voor de dataverwerking zijn terug te vinden in bijlage 07.

4.1.5 Te gebruiken statistische methode

Om twee meetmethoden met elkaar te vergelijken wordt vaak gekeken naar correlatiecoëfficiënten, maar dit kan zeer misleidend zijn. De meetresultaten kunnen namelijk sterk van elkaar verschillen terwijl er toch een hoge correlatiecoëfficiënt gevonden wordt tussen de twee methoden. (Bland & Altman, 1986)

Om beter te toetsen of de meetresultaten van twee metingen met elkaar overeenstemmen zet de Bland & Altman methode per datapunt het gemiddelde van de twee meetmethoden uit tegen het verschil tussen de twee meetmethoden. Het bereik van deze waarden binnen een betrouwbaarheidsinterval van 95% wordt als maat genomen voor de overeenstemming tussen de twee meetmethoden.

In dit geval kijken we echter niet naar twee verschillende meetmethoden, maar bestuderen we of het ontworpen harnas de sensormodule op de juiste plek brengt in drie verschillende situaties. Om de BlandAltman analyse te kunnen gebruiken wordt op de plek van de tweede meting de gestelde juiste hoek (90°) ingevuld. Daar waar in volgende alinea's wordt geschreven over twee metingen, doet de gestelde juiste hoek dienst als tweede meting voor de situaties die de gemeten oriëntatie vergelijken met de gestelde juiste oriëntatie.

Per datapunt wordt eerst het verschil tussen de twee metingen bepaald, vervolgens wordt met een one-sample t-test onderzocht of deze verschillen significant afwijken van 0. Als deze t-test een significant verschil meet kan het niet zo zijn dat er overeenstemming is tussen de gemeten en de bekende waarde. De resultaten worden in een scatterplot weergegeven met de bekende waarde op de horizontale as en de verschillen op de verticale. Uit dit scatterplot kan worden afgelezen in hoeverre de twee metingen overeenstemmen. Voor dit onderzoek is de overeenstemming acceptabel als de verschillen niet groter zijn dan $\pm 1,15^\circ$, binnen het betrouwbaarheidsinterval van 95%. De grenzen van dit betrouwbaarheidsinterval worden berekend met de volgende formule:

$$\text{gemiddelde verschil} \pm 1,96 * \text{standaarddeviatie}$$

De nauwkeurigheid van dit betrouwbaarheidsinterval is afhankelijk van het aantal datapunten: de standaardfout van het gemiddelde is $\sqrt{s^2/n}$, waarbij s de standaarddeviatie van het verschil is en n het aantal datapunten. De standaardfout van de grenzen van het betrouwbaarheidsinterval wordt benaderd door $\sqrt{3 \times s^2/n}$.

Voor deze grenzen en het gemiddelde wordt wederom een 95% betrouwbaarheids- interval berekend. De juiste t-waarde voor n-1 graden vrijheid wordt opgezocht. Het betrouwbaarheidsinterval loopt dan van de (grens)waarde min t standaardfouten tot de (grens)waarde plus t standaardfouten. Er wordt gerekend met de strengste situatie; het betrouwbaarheidsinterval wordt zo klein mogelijk genomen. Deze grenzen mogen niet verder afwijken dan $\pm 1,15^\circ$. Voor alle beschreven situaties wordt een aparte statistische analyse gedaan.

4.1.6 Proefpersonen en sample size

Er hebben 11 proefpersonen aan dit experiment meegedaan die aan de inclusiecriteria voldeden. De proefpersonen hebben de situaties 'na het aantrekken van de sensormodule' en 'na het maken van een swing' tien maal herhaald. Door verstoringen in de meting van het Optitrack systeem konden niet alle metingen gebruikt worden. Voor de situatie 'na aantrekken' geldt een sample size van $n = 105$ en voor de situatie 'na bewegen' geldt een sample size van $n = 103$ voor de situatie 'na bewegen', oriëntatie ten opzichte van 'net aangetrokken' geldt een sample size van $n = 99$.

4.1.7 Resultaten

Het doorlopen van de metingen en statistische methode heeft voor alle drie de situaties resultaten opgeleverd. In deze paragraaf worden voor elke situatie de resultaten beschreven.

Situatie 'na aantrekken', oriëntatie ten opzichte van de juiste oriëntatie

De One-sample t-test wijst met een zekerheid van 95% uit dat de verschillen tussen de gemeten oriëntaties van de sensormodule na aantrekken en de gewenste oriëntatie van de sensormodule significant afwijken van 0 ($p = 0,008$ $n=133$). Dit gegeven samen met het gemiddelde van $-1,23^\circ$ en een standaardafwijking van 4,63 suggereert dat er geen overeenstemming tussen de twee is en er wordt afgezien van verdere analyse van de gegevens.

Situatie 'na bewegen', oriëntatie ten opzichte van de juiste oriëntatie

De One-sample t-test wijst met een zekerheid van 95% uit dat de verschillen tussen de gemeten oriëntaties van de sensormodule na bewegen en de gewenste oriëntatie van de sensormodule significant afwijken van 0 ($p = 0,003$ $n=103$). Dit gegeven samen met het gemiddelde van $-1,50^\circ$ en een standaardafwijking van 4,99 suggereert dat er geen overeenstemming tussen de twee is en er wordt afgezien van verdere analyse van de gegevens.

Situatie 'na bewegen', oriëntatie ten opzichte van 'net aangetrokken'

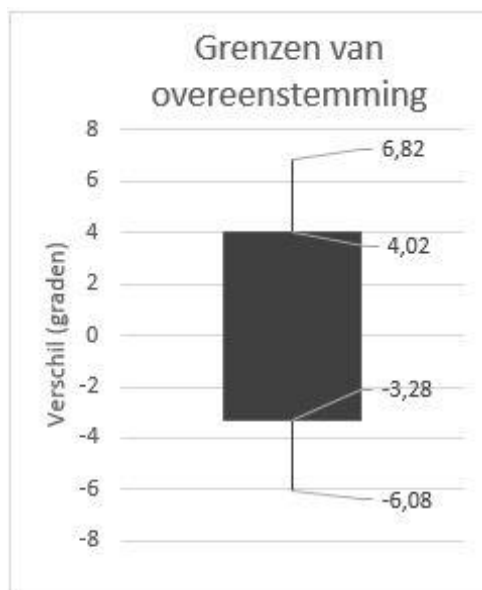
De One-sample t-test wijst met een zekerheid van 95% uit dat de verschillen tussen 'na aantrekken' en 'na bewegen' niet significant afwijken van 0 ($p = 0,153$ $n=99$). De standaardafwijking is $2,58^\circ$ en het gemiddelde verschil $0,37^\circ$. De grenzen van overeenstemming zijn $0,37^\circ \pm 5,05^\circ$. Het betrouwbaarheidsinterval loopt dus van $-4,68^\circ$ tot $5,42^\circ$.

In het meest gunstige geval liggen de grenzen van overeenstemming op

$$0,37^\circ \pm (5,05^\circ - 0,51^\circ - 0,89^\circ) = 0,37^\circ \pm 3,65^\circ$$

In het minst gunstige geval liggen de grenzen van overeenstemming op

$$0,37^\circ \pm (5,05^\circ + 0,51^\circ + 0,89^\circ) = 0,37^\circ \pm 6,45^\circ$$

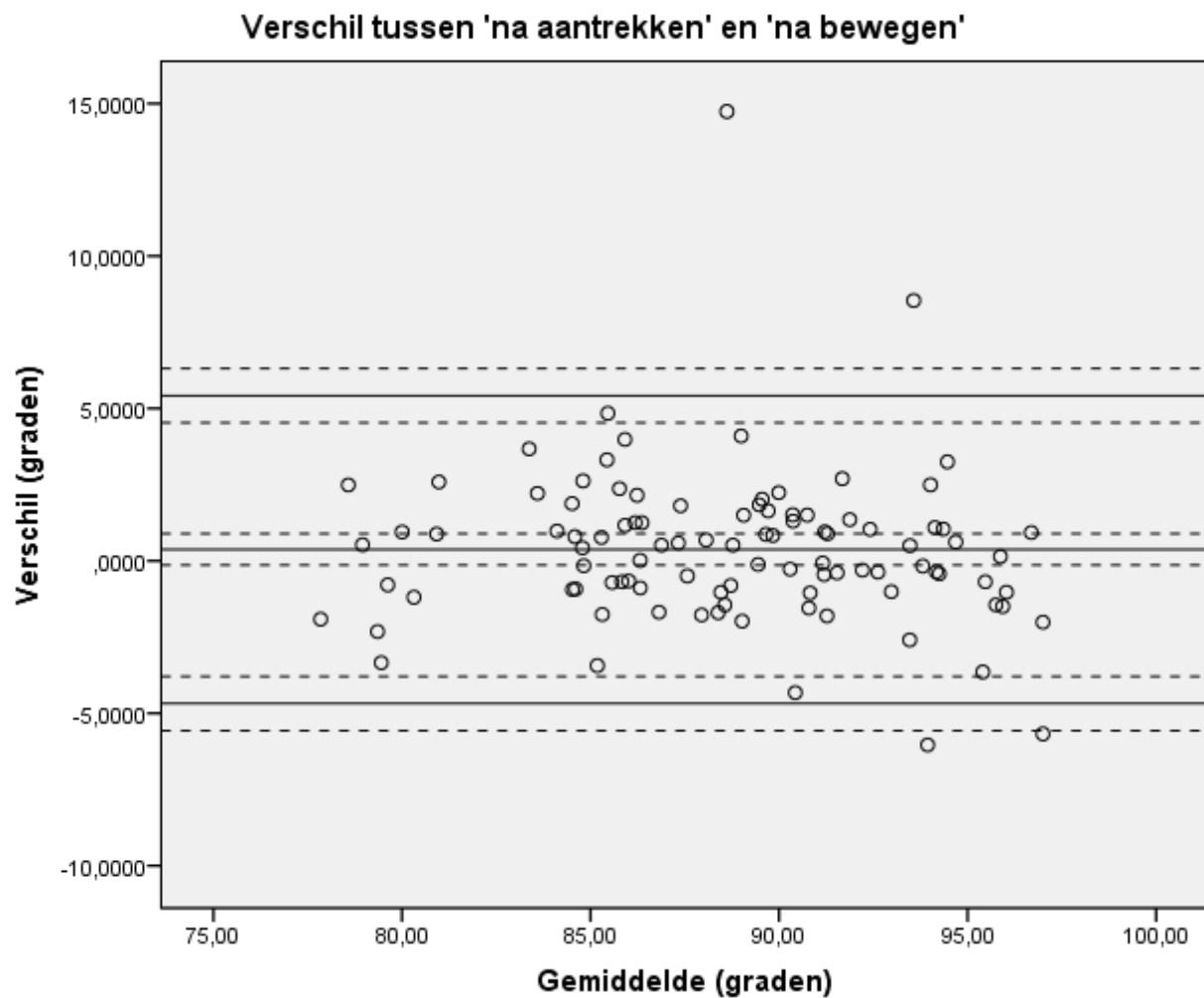


Figuur 37 Grafische weergave van de grenzen van overeenstemming in het beste en slechtste geval van de situatie 'na bewegen', oriëntatie ten opzichte van 'net aangetrokken'.

In Tabel 3 wordt een overzicht gegeven van de grenzen en betrouwbaarheidsintervallen, Figuur 37 geeft een grafische weergave van de grenzen van overeenstemming in het beste en slechtste geval. In Figuur 38 is het BlandAltman plot te zien.

Tabel 3 overzicht van de grenzen van overeenstemming en hun betrouwbaarheidsinterval.

Gemiddeld verschil	Betrouwbaarheidsinterval gemiddelde	Grenzen van overeenstemming	Betrouwbaarheidsinterval grens
0,37°	$0,37^{\circ} \pm 0,51^{\circ}$	$0,37^{\circ} \pm 5,05^{\circ}$	$5,05^{\circ} \pm 0,89^{\circ}$



Figuur 38 Dit BlandAltman plot geeft de grenzen van overeenstemming en hun betrouwbaarheid weer van de situatie 'na bewegen', oriëntatie ten opzichte van 'na aantrekken'.

Een lineaire regressieanalyse wijst uit dat met een zekerheid van 95% geen proportionele bias aanwezig is ($p = 0,325$), de data hoeft niet verder bewerkt te worden.

De interpretatie van de hierboven beschreven resultaten wordt in de discussie behandeld.

De positie van de sensormodule

Gedurende de metingen is de positie van de sensormodule geobserveerd. In lang niet alle gevallen is de sensormodule door het harnas op de juiste positie gebracht tijdens de meting. Daarnaast viel het op dat sommige proefpersonen na het aantrekken van de sensormodule actief controleerden of de sensormodule in de juiste positie zat en anderen juist helemaal niet.

Bewegingsvrijheid

Er is geen beperking in de beweging tijdens de swing geobserveerd. Ook heeft geen van de proefpersonen aangegeven te worden gehinderd in de beweging door de sensormodule.

Omvang van de borstkas

Van de proefpersonen die aan het onderzoek hebben meegedaan was de kleinste borstkasomvang 890 mm en de grootste 1040 mm. De schouderbanden hoefden bij zowel de kleinste als de grootste borstkasomvang niet in een uiterste stand te worden afgesteld.

4.2 Bevestiging aan de golfclub

De eisen gesteld aan de bevestiging behandelen de oriëntatie van de sensormodule ten opzichte van de golfclub en het schachtdeel waaraan de sensormodule bevestigd moet worden. De test is zo ontworpen dat het prototype aan alle relevante eisen wordt getoetst. De relevante eisen zijn E0.1 en E0.2, deze worden in dit onderdeel getoetst door te testen of de bevestiging aan de golfclub de sensormodule in dezelfde oriëntatie houdt als er een swing gemaakt wordt. Het betreft hier dus wederom een test op validiteit.

4.2.1 Materialen en middelen

Om deze test uit te kunnen voeren zijn een aantal materialen en middelen nodig. De sensormodule krijgt een markercluster van drie markers en wordt bevestigd aan een golfclub. Daarnaast worden een blokje en markeertape gebruikt om de positie van de golfclub tijdens de meting te bepalen. Het tracken van de markers wordt gedaan met de optitrack bar. Dit is een klein camerasysteem van optitrack dat bestaat uit drie camera's in één behuizing. De manier waarop deze materialen en middelen worden gebruikt wordt in de volgende paragraaf beschreven.

4.2.2 Meetprocedure

De meetprocedure is vooraf vastgesteld zodat alle metingen op dezelfde wijze verlopen en maakt gebruik van de in de vorige paragraaf beschreven materialen en middelen.

De sensormodule wordt aan de golfclub bevestigd. Op de deksel van de sensormodule wordt een markercluster bevestigd. De golfclub wordt in de optitrack op de grond gelegd. De shaft steunt bij de kop van de golfclub op een blokje. Met tape wordt de positie van de golfclub gemarkeerd (zie Figuur 39). Met de Optitrack wordt van deze positie een meting van 5 seconden gedaan. Vervolgens wordt met de golfclub een swing gemaakt. De golfclub wordt daarna weer teruggelegd in de gemarkeerde positie. Er wordt wederom een meting van 5 seconden gedaan. Dit geheel wordt 30 keer herhaald.

4.2.3 Uitkomstmaten

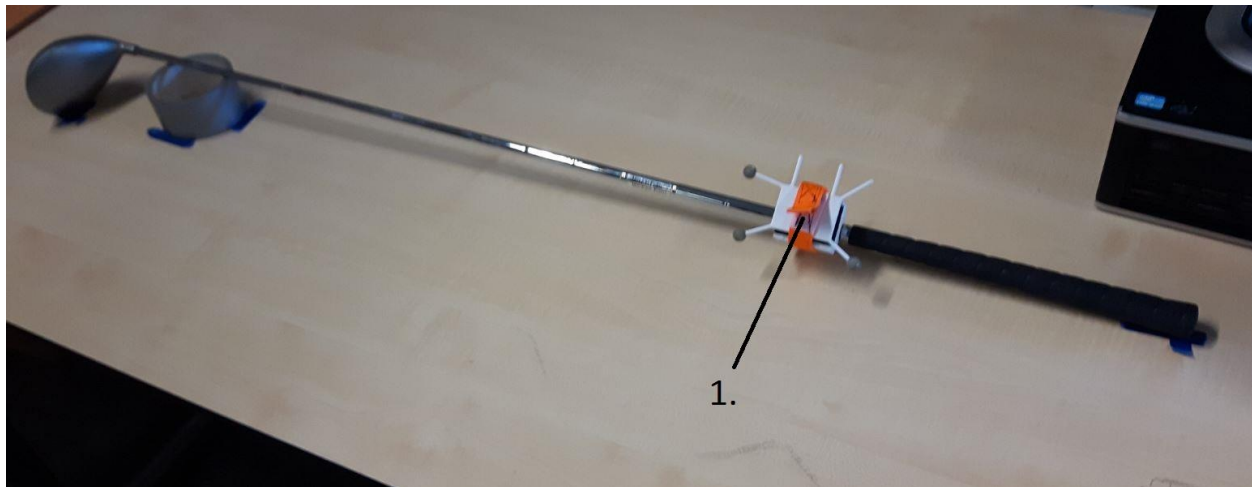
De uitkomstmaten zijn vergelijkbaar met die in paragraaf 4.1.4. Van de positievectoren die het optitrack systeem als output geeft wordt een gemiddelde van 40 samples genomen. Aangezien er geen meetfout kan ontstaan door verkeerd positioneren van de markers is een marker set van drie in dit geval afdoende om een normaalvector voor het vlak van de sensormodule te berekenen. Wederom wordt de cosinusregel

gebruikt om de hoek tussen de normaalvectoren te berekenen van voor en na de swing. Dit geeft dus het verschil in oriëntatie van de sensormodule voor en na de swing. Deze verschillen in oriëntatie worden vervolgens in de statistiek onderzocht.

De Matlabscripts voor de dataverwerking zijn terug te vinden in bijlage 07.

4.2.4 Te gebruiken statistische methode

De overeenstemming van de oriëntatie voor en na de swing wordt met de Bland-Altman wordt de overeenstemming tussen de begin en eindrichting van de normaalvector bepaald (zie hoofdstuk 4.1.5 voor een uitgebreide beschrijving van deze methode). De grenzen van overeenstemming mogen binnen het 95% betrouwbaarheidsinterval in het slechtste geval niet groter zijn dan $\pm 1,15^\circ$.



Figuur 39 Golfclub in gemarkeerde positie en de sensormodule met een markercluster (1.).

4.2.5 Sample size

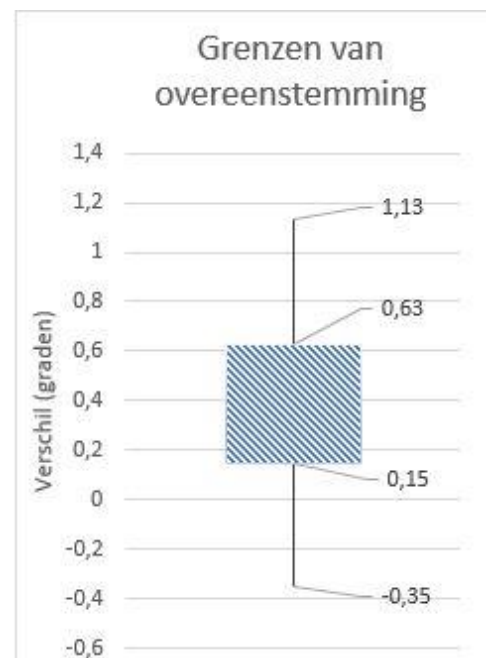
De meting is 30 keer herhaald. Dit geeft dus een sample size van $n = 29$.

4.2.6 Resultaten

Het doorlopen van de metingen en statistische methode heeft resultaten opgeleverd. In deze paragraaf worden de resultaten beschreven.

De One-sample t-test wijst met een zekerheid van 95% uit dat de verschillen tussen de gemeten oriëntaties van de sensormodule voor en na de swing significant afwijken van 0 ($p = 0,000$ $n = 29$). Hoewel deze statistiek suggereert dat er geen overeenstemming is tussen de twee, wordt er vanwege het gemiddelde verschil dat dicht bij 0 ligt ($m = 0,39^\circ$) toch verder gegaan met de BlandAltman analyse.

De standaardafwijking is $0,25^\circ$ en het gemiddelde verschil $0,39^\circ$. De grenzen van overeenstemming zijn $0,39^\circ \pm 0,49^\circ$. Het betrouwbaarheidsinterval loopt dus van $-0,10^\circ$ tot $0,88^\circ$.



Figuur 40 Een grafische weergave van de grenzen van overeenstemming in het beste en het slechtste geval.

In het meest gunstige geval liggen de grenzen van overeenstemming op

$$0,39^\circ \pm (0,49^\circ - 0,09^\circ - 0,16^\circ) = 0,39^\circ \pm 0,24^\circ$$

In het minst gunstige geval liggen de grenzen van overeenstemming op

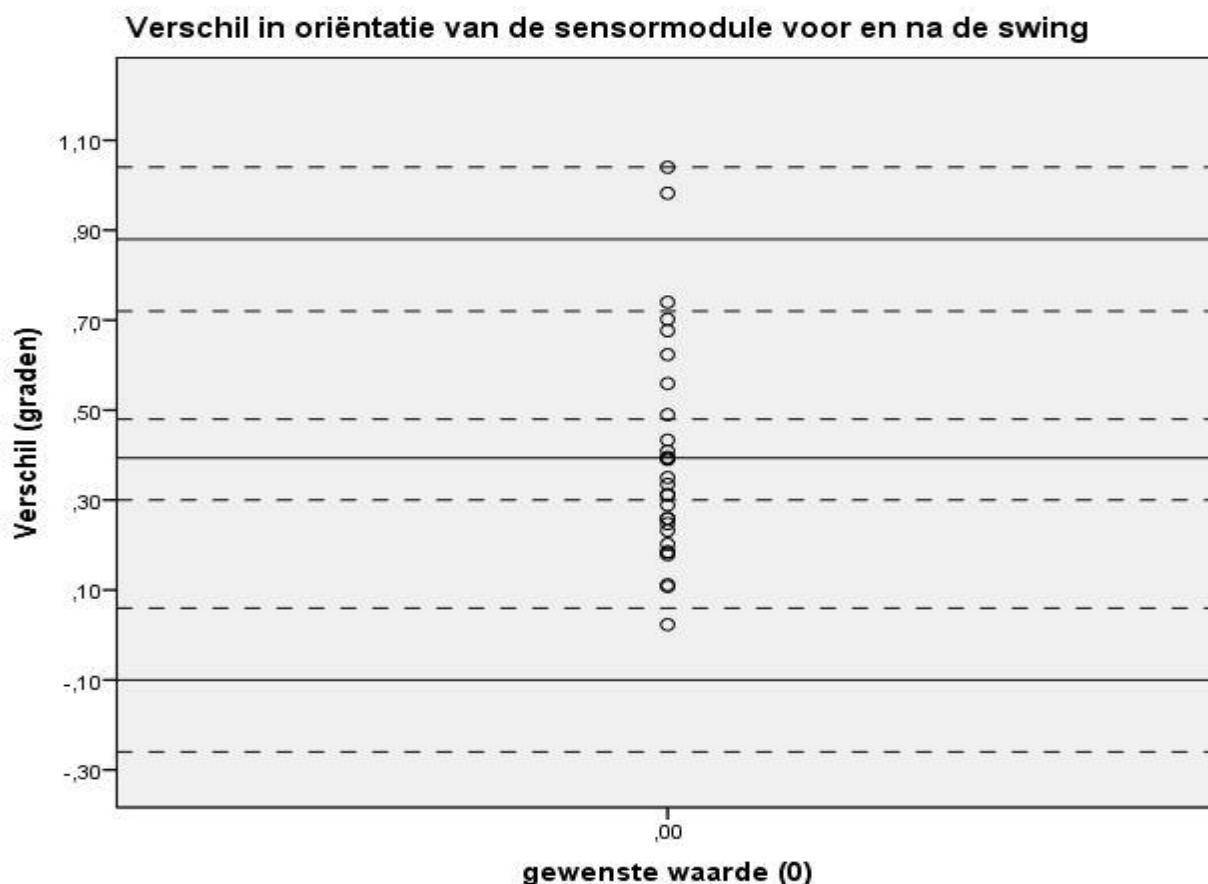
$$0,39^\circ \pm (0,49^\circ + 0,09^\circ + 0,16^\circ) = 0,39^\circ \pm 0,74^\circ$$

In tabel 4 wordt een overzicht gegeven van de grenzen en betrouwbaarheidsintervallen, Figuur 40 geeft een grafische weergave van de grenzen van overeenstemming in het beste en slechtste geval. In Figuur 41 is het BlandAltman plot te zien

Tabel 4 overzicht van de grenzen van overeenstemming en hun betrouwbaarheidsinterval.

Gemiddeld verschil	Betrouwbaarheidsinterval gemiddelde	Grenzen van overeenstemming	Betrouwbaarheidsinterval grens
0,39°	0,39° ± 0,09°	0,39° ± 0,49°	0,49° ± 0,16°

Omdat de gewenste waarde een constante is, kan er geen lineaire regressieanalyse worden uitgevoerd. De interpretatie van de hierboven beschreven resultaten wordt in de discussie behandeld.



Figuur 41 Dit BlandAltman plot geeft de grenzen van overeenstemming en hun betrouwbaarheid weer van het verschil in oriëntatie van de sensormodule voor en na de swing.

5. Discussie

In dit ontwerpverslag zijn drie onderdelen voor het A-align project ontworpen, gemaakt en getest. De resultaten van deze tests worden in paragraaf 5.1 besproken. In de daaropvolgende paragrafen worden verscheidene zaken behandeld waar in de loop van het project tegenaan is gelopen.

5.1 Testresultaten

5.1.1 Uitkomstmaten

De gebruikte opzetten voor de metingen met de optitrack zijn, hoewel afdoende voor het doel van de meting, beperkt. Er wordt vanuit normaalvectoren een hoek tussen twee vlakken berekend. De opzet van de meting bepaald in welk vlak deze hoek ligt. Zolang de opzet correct is en de meting juist wordt uitgevoerd is er dus bekend welke hoek gemeten wordt. Deze methode 'ziet' alleen de hoek waarvoor de meting is opgezet. Hierdoor zijn fouten in de opzet en uitvoering van de meting achteraf moeilijk te zien.

Dit had voorkomen kunnen worden door voor de sensormodule en de thorax een apart coördinatenstelsel te definiëren. Met Euler hoeken kunnen dan de bewegingen (translaties en rotaties) in alle richtingen van deze coördinatenstelsels ten opzichte van elkaar berekend worden. Dit geeft een completer beeld van de situatie. Echter is het met deze methode wel moeilijker om te bepalen wat de oriëntatie van de thorax is. Er moet dan gewerkt worden met een markercluster, deze zijn vanwege hun formaat lastiger te positioneren ten opzichte van anatomische punten.

5.1.2 De bevestiging aan het lichaam

Voor de bevestiging aan het lichaam zijn een aantal eisen in de praktijk getest. Aan de hand van de testresultaten kunnen de volgende uitspraken worden gedaan:

- Met een zekerheid van 95% ($p = 0,008$ $n=105$ $m=-1,22^\circ$) is er geen overeenstemming tussen de oriëntatie van de sensormodule na aantrekken en de gewenste oriëntatie. Hiermee voldoet het prototype niet aan de geëiste overeenstemming.
- Met een zekerheid van 95% ($p = 0,003$ $n=103$ $m=-1,50$) is er geen overeenstemming tussen de oriëntatie van de sensormodule na bewegen en de gewenste oriëntatie. Hiermee voldoet het prototype niet aan de geëiste overeenstemming.
- Er is overeenstemming gevonden in de oriëntatie van de sensormodule na aantrekken en na bewegen. Met een gemiddelde van $m = 0,37^\circ$ ligt het 95% betrouwbaarheidsinterval van de grenzen van overeenstemming in het beste geval op $0,37^\circ \pm 3,65^\circ$ en in het slechtste geval op $0,37^\circ \pm 6,45^\circ$. Hiermee voldoet het prototype zelfs in het meest gunstige geval niet aan de gestelde maximale afwijking van $1,15^\circ$

Er is tijdens de praktijktest geobserveerd dat het prototype geen invloed heeft op het maken van een swing. Hiermee voldoet het prototype aan de gestelde eis E0.3.

De sensormodule werd niet altijd in de juiste positie gebracht midden op het manubrium. De module bleef haken achter vouwen en de rits van het motion capture vest. De gebruikte elastieken waren niet sterk genoeg om de oneffenheden van het harnas en de sensormodule langs deze obstakels de brengen. Het verdient de aanbeveling om in een herontwerp van de bevestiging aan het lichaam een uniform contactoppervlak zonder oneffenheden tussen het harnas en de gebruiker te realiseren. Daarnaast zullen stijvere elastieken ook helpen bij het positioneren van de sensormodule.

Het onvermogen van de bevestiging aan het lichaam om de sensormodule altijd in de juiste positie te brengen speelt waarschijnlijk een grote rol in de onvoldoende overeenstemming in oriëntatie van de sensormodule met de gewenste oriëntatie.

Tot slot is de pasvorm getest. Alle proefpersonen hebben het harnas zonder problemen kunnen dragen. De kleinste borstkasomvang was 890 mm en de grootste 1040 mm. Met deze gegevens kan niet worden gesteld dat het prototype voldoet aan de eis dat de pasvorm geschikt moet zijn voor een borstkasomvang van 788 mm tot en met 1212 mm. Echter kon het harnas nog kleiner worden afgesteld bij de kleinste proefpersoon en groter bij de grootste proefpersoon. Hiermee kunnen de afmetingen van de pasvorm van het prototype wel als acceptabel worden beschouwd.

Het viel in de praktijktest op dat sommige proefpersonen veel aandacht hadden voor de positie van de sensormodule tijdens het aantrekken, en deze actief in de juiste positie probeerden te brengen. Andere proefpersonen hadden hier juist totaal geen aandacht voor. Het verdient de aanbeveling dat een herontwerp van het prototype de sensormodule op de juiste positie brengt, ongeacht de aandacht die de gebruiker hieraan besteedt.

5.1.3 De bevestiging aan de golfclub

Voor de bevestiging aan de golfclub is getest of deze de oriëntatie van sensormodule binnen de gestelde marge van $1,15^\circ$ houdt na het maken van een swing. Aan de hand van de testresultaten kunnen de volgende uitspraken worden gedaan:

Er is overeenstemming gevonden in de oriëntatie van de sensormodule voor en na de swing. Met een gemiddelde van $m = 0,39^\circ$ ligt het 95% betrouwbaarheidsinterval van de grenzen van overeenstemming in het beste geval op $0,39^\circ \pm 0,24^\circ$ en in het slechtste geval op $0,39^\circ \pm 0,74^\circ$. Hiermee voldoet het prototype aan de gestelde marge van $1,15^\circ$. Echter moet wel aangetekend worden dat in het slechtste geval de bovenste grens van overeenstemming $0,39^\circ + 0,74^\circ = 1,13^\circ$ is. Dit betekent dat de oriëntatie van de sensormodule na de tweede swing wel buiten de marge van $1,15^\circ$ kan vallen.

De beschikbare golfclub had geen taps toelopende shaft, maar verkleinde de schachtdiameter van de grip naar de kop in discrete stappen. De sensormodule is getest op het gedeelte met een diameter van 15 mm. Op deze basis kan niet bevestigd worden dat het prototype dezelfde prestatie levert op een taps toelopende shaft. Echter wordt wel vermoed dat de prestatie vergelijkbaar zal zijn aangezien het gestelde verschil in shaftdiameter slechts 0,8 mm is en de omsluiting van de shaft door het prototype voornamelijk met een flexibele band gedaan wordt. Dus hoewel niet bevestigd kan worden of het prototype voldoet aan de eis, kan het prototype op dit punt wel als acceptabel worden beschouwd.

5.2 Programma van eisen en wensen

In deze paragraaf volgt een overzicht van alle eisen en wensen en wordt voor elk prototype bij de relevante eisen en wensen aangetekend of er voldaan is aan de eis of wens.

Tabel 5 Toetsing van de eisen aan de prototypes. Voldane eisen worden aangegeven met een vinkje, niet voldane met een X. Een - geeft aan dat de eis niet relevant is voor het prototype.

Num.	Eis	Behuizing	Bevestiging Lichaam	Bevestiging Club
E 0.1	De meetfout van het te ontwerpen prototype mag per sensor maximaal $\pm 1,15^\circ$ zijn	-	X	✓*
E 0.2	De gebruiker moet de sensormodules tijdens de swing kunnen laten zitten	-	X	✓*

E 0.3	De omvang en plaatsing van de sensormodules moeten zo gekozen worden dat deze een minimale invloed hebben op het natuurlijke verloop van de swing	✓	✓	✓
E 1.1	De vormverandering van de accu mag de meting van de sensormodule niet beïnvloeden. Er moet rekening worden gehouden met een vormverandering van $\pm 0,5$ mm in alle richtingen ten opzichte van de door de fabrikant gespecificeerde afmetingen.	✓	-	-
E 1.2	De accu moet binnen de in E 1.1 gestelde tolerantie van volume kunnen veranderen, maar de oriëntatie binnen de behuizing mag niet veranderen.	✓	-	-
E 1.3	De accu mag niet tussen de bluetooth antenne en de ontvanger worden geplaatst.	✓	-	-
E 1.4	De behuizing van de sensormodule mag niet uit geleidend materiaal bestaan.	✓	-	-
E 1.5	De elektronische hardware en de onderlinge elektrische verbindingen moeten volledig worden omsloten door de behuizing.	✓	-	-
E 1.6	Alle elektronische componenten worden met een overgangspassing gemonteerd in de behuizing	✓	-	-
E 1.7	Beweging van de elektrische verbindingen binnen de behuizing moet tot een minimum beperkt worden.	✓	-	-
E 2.1	De sensormodule moet zo min mogelijk contact maken met de mm. pectorali lateraal van het sternum	✓	-	-
E 2.2	De sensormodule moet zo veel mogelijk contact maken met het sternum	-	✓	-
E 2.3	De sensormodule moet voor de meting midden op de lengteas van het sternum geplaatst worden	-	X	-
E 2.4	De sensormodule moet op het sternum bevestigd kunnen worden bij een omvang van de borstkas van 788 mm tot en met 1212 mm	-	X**	-
E 2.5	De sensormodule wordt op het manubrium geplaatst	-	✓	-
E 2.6	De bevestiging aan de golfclub moet op een ronde, taps toelopende schacht gemonteerd kunnen worden.	-	-	X**
E 3.1	De behuizing moet zo compact mogelijk worden ontworpen	✓	-	-
E 3.2	De sensormodule moet zo min mogelijk prononceren vanaf het sternum	✓	-	-
E 3.3	De sensormodule op de golfclub moet zo dicht mogelijk bij de handen van de golfer gemonteerd worden, op een schachtdiameter die loopt van 15 mm tot 14,2 mm.	-	-	X**
E 4.1	De bevestiging op het lichaam wordt ontworpen voor gebruik boven gladde, symmetrische kleding	-	✓	-

Tabel 6 Toetsing van de wensen aan de prototypes. Voldane wensen worden aangegeven met een vinkje, niet voldane met een X. Een - geeft aan dat de wens niet relevant is voor het prototype.

Num.	Wens	Behuizing	Bevestiging Lichaam	Bevestiging Club
------	------	-----------	---------------------	------------------

W 1.1	Het is wenselijk dat de sensormodule aan en uitgeschakeld kan worden zonder de behuizing te openen.	✓	-	-
W 1.2	Het is wenselijk dat de batterij van de sensormodule kan worden opgeladen zonder de behuizing te openen	✓	-	-

Zoals in Tabel 5 en 6 te zien is, voldoet het prototype van de behuizing aan alle gestelde eisen en wensen. Het prototype van de bevestiging aan het lichaam voldoet niet aan eisen die de positionering en oriëntatie van de sensormodule behandelen: E0.1, E0.2 en E2.3. Hier is een herontwerp nodig. Eis 2.4 is niet afdoende getest om te kunnen bevestigen. Het herontwerp van de bevestiging aan het lichaam moet hier uitgebreider op worden getest. De bevestiging aan de golfclub moet op een taps toelopende shaft getest worden zodat eisen E2.6 en E3.3 met zekerheid bevestigd kunnen worden.

* Dit geldt slechts voor de eerste swing, na de tweede swing kan de oriëntatie van de sensormodule buiten de gestelde marge vallen.

** Deze eisen konden niet naar voldoening getest worden. In hoofdstuk 5.1 wordt beschreven dat de prestatie van de prototypes op deze punten wel aanvaardbaar is.

6. Conclusie

Nu de prototypes zijn getoetst aan het programma van eisen en wensen kunnen er conclusies worden getrokken over het behalen van de projectdoelen en de geslaagdheid van het project.

Er kan worden geconcludeerd dat er ontwerpen en prototypes zijn gemaakt voor de behuizing van de elektronica, de bevestiging van deze behuizing op het sternum en de bevestiging van de behuizing aan de golfclub.

De behuizing voldoet aan alle gestelde eisen en kan daarom beschouwd worden als een geslaagd ontwerp.

De bevestiging aan het lichaam is niet in staat om de sensormodule op de juiste plek, en daarmee in de juiste oriëntatie te brengen. Dit is een doel dat niet behaald is in dit project. In paragraaf 5.1.1 worden suggesties en aanbevelingen gedaan voor een herontwerp van dit onderdeel. Daarnaast is de passing van het harnas niet over de hele range van de doelgroep getest en kan er dus geen goede uitspraak worden gedaan over het behalen van dit doel.

De bevestiging aan de golfclub presteerde goed en hield de oriëntatie van de sensormodule na een swing binnen de gestelde marge van $1,15^\circ$. Echter is de test uitgevoerd op een shaft met constante diameter en niet op een taps toelopende shaft. Er kan dus niet gesteld worden dat het prototype op alle clubs met een taps toelopende shaft even goed presteert. Dit doel wordt beschouwd als deels behaald.

Gezien de bovenstaande conclusies kan het totale project als een verdeeld succes worden beschouwd. Hoewel niet alle doelen zijn behaald zijn er wel aanbevelingen gevonden voor herontwerp en/of verdere tests van de prototypes. Deze aanbevelingen zijn in hoofdstuk 5 te vinden.

Literatuurlijst

De Heus, J (2017, 10 11). (M. Soeters, Interviewer)

De Heus, J (2017). *A-lign. Direct feedback system for a golfer's swing alignment. Part 2 Improving and validating the prototype of A-lign.*

Dined (2018, 1 15). *Dined*. Opgehaald van Dined 1d database:
<https://dined.io.tudelft.nl/en/database/tool>

Mall, G., Sprinzl, G., & Koebke, J (1991). Clinical morphology of the sternum. *Biomedical Engineering*, 288-9.

Siebert, F (2017, 12 19). Opgehaald van the ampeer: <http://www.theampeer.org/lipo-intro/lipo-intro.html>

Sparkfun (2017, 12 12). *Sparkfun tutorials*. Opgehaald van Sparkfun:
<https://learn.sparkfun.com/tutorials/using-the-bluesmirf>

SwingMoment (2017, 12 14). *Best of golf swing slow motion - online golf lesson*. Opgehaald van Youtube: 2017

Teller, M (2018, 1 11). Opgehaald van Flickr:
https://www.flickr.com/photos/michael_teller/4409144273/in/album-72157623429984269/

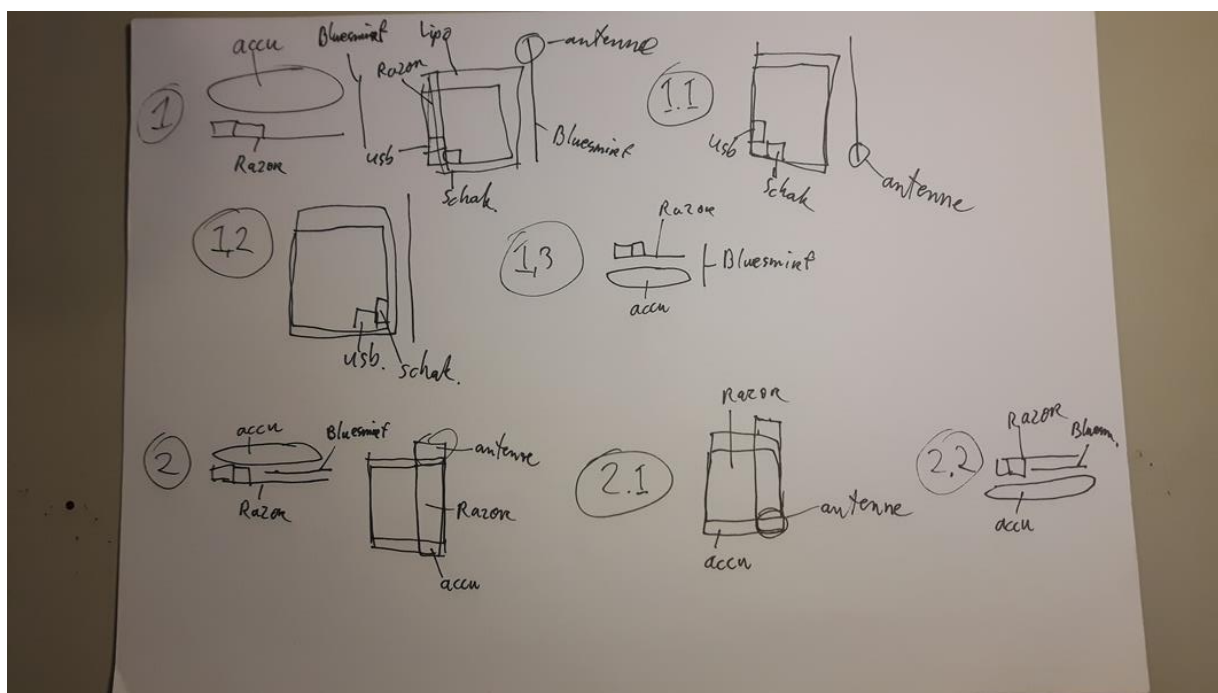
The Golfworks (2017, 12 19). *OEM Shaft Replacement Guide*. Opgehaald van The Golfworks:
<https://www.golfworks.com/oem-shaft-replacement-guide/a/376/>

Bijlagen

Bijlage 02 Ideeschetsen en kardinale methode rangschikking elektronica in de behuizing

Tabel 7 kardinale methode rangschikking elektronica.

model	1	1,1	1,2	1,3	2	2,1	2,2
accu niet tussen ontvanger en antenne	8	8	8	8	7	2	10
compactheid	7	7	7	7	8	8	8
toegankelijkheid usb poort en aan/uit schakelaar	9	9	3	9	9	9	9
complexiteit van de benodigde ondersteuning	8	8	8	6	5	5	4
eenvoud van assemblage	8	9	8	5	8	9	5
Totaal	40	41	34	35	37	33	36



Figuur 42 Ideeschetsen rangschikking elektronica.

Bijlage 03 Proefstukken voor de dimensionering van de sluitclips van de behuizing.

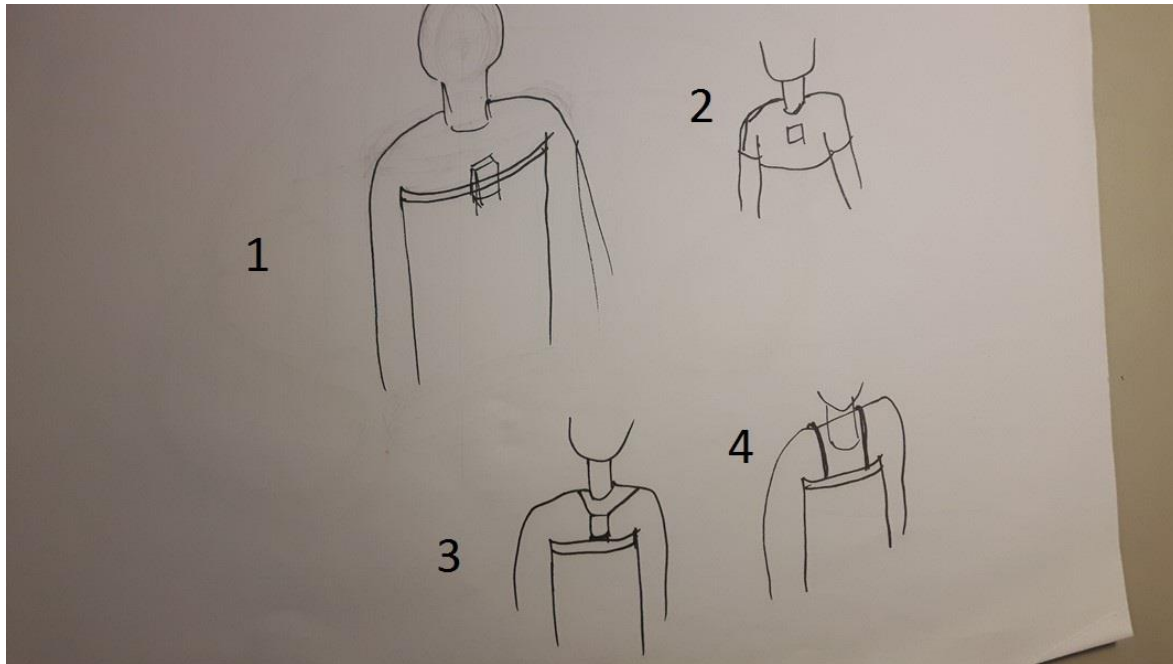


Figuur 43 Proefstukken voor de dimensionering van de sluitclips voor de behuizing.

Bijlage 04 Ideeschetsen en kardinale methode bevestiging aan het lichaam

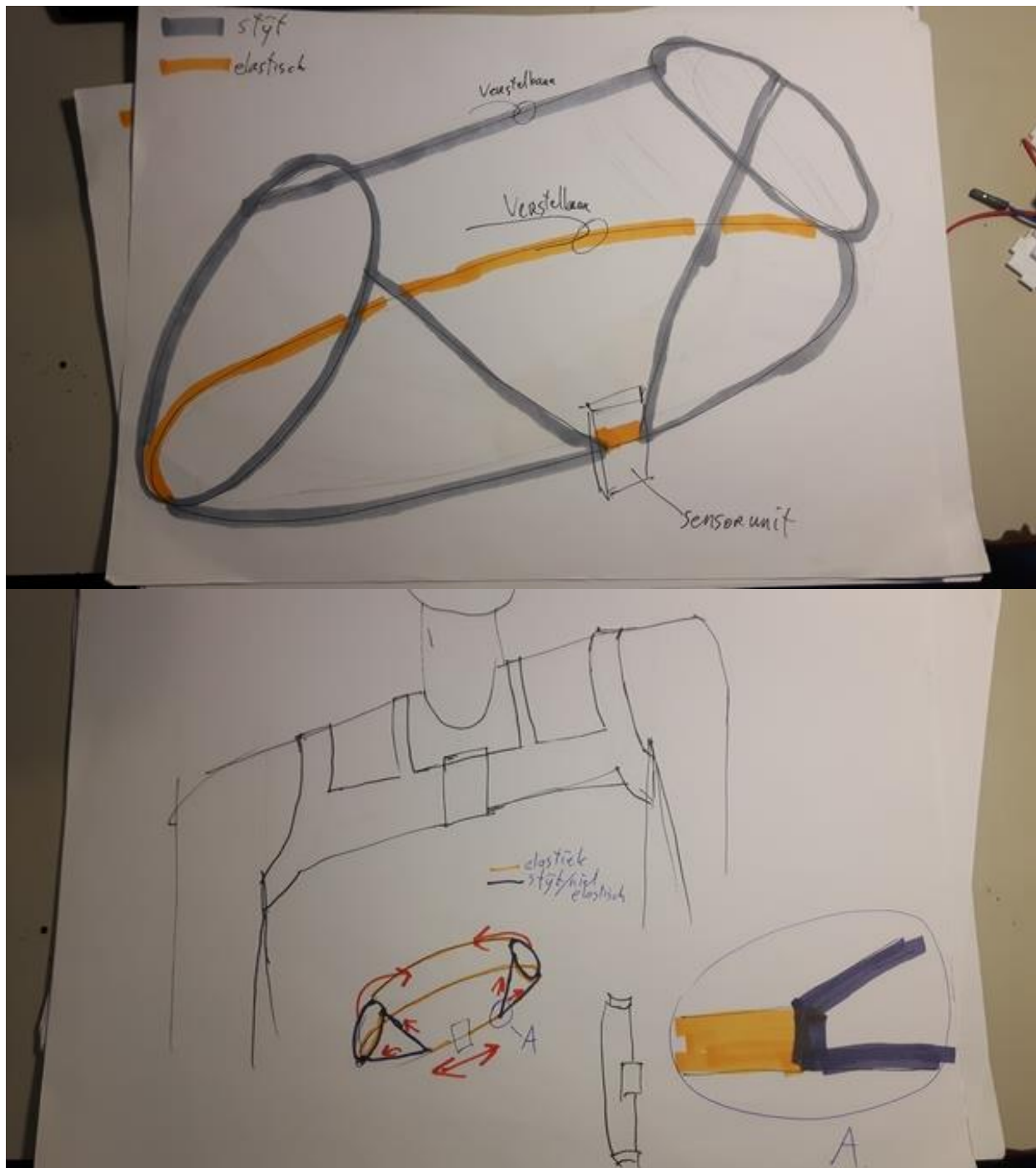
Tabel 8 Kardinale methode bevestiging aan het lichaam.

model	1	2	3	4
positionering sensormodule	2	10	8	7
gemak van aantrekken	8	4	8	8
draagcomfort	7	5	6	6
Totaal	17	19	22	21

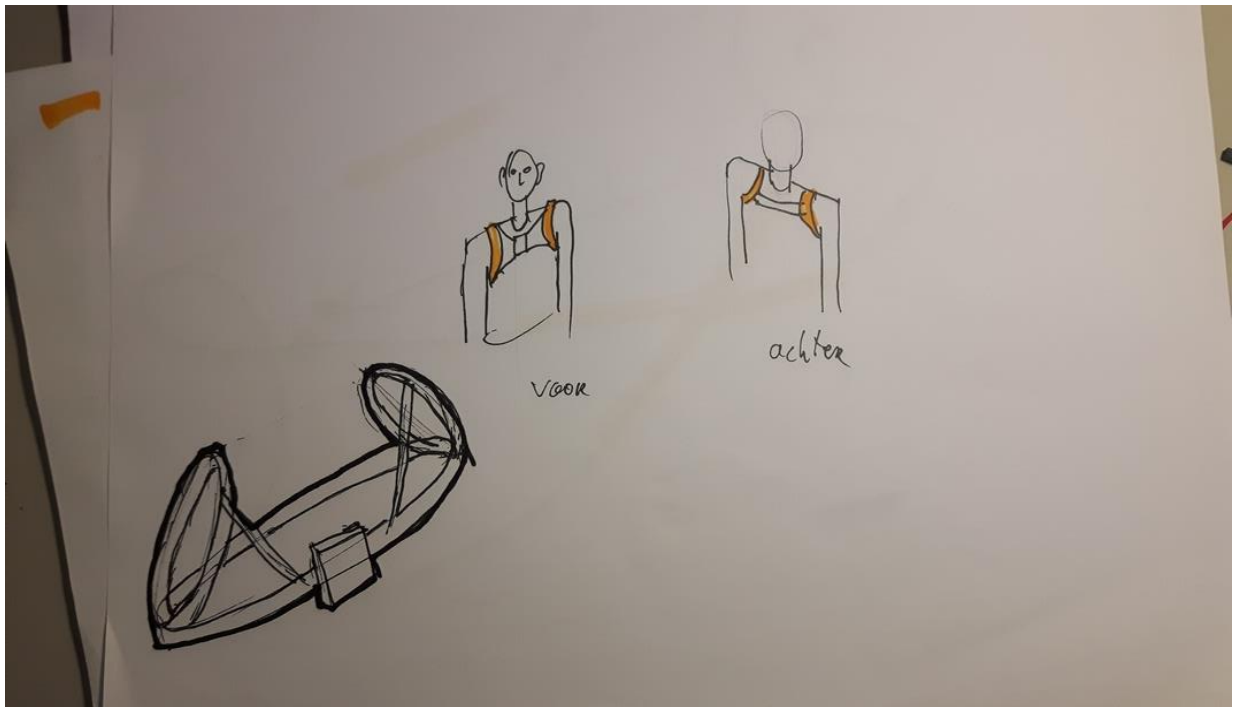


Figuur 44 Ideeschetsen bevestiging aan het lichaam.

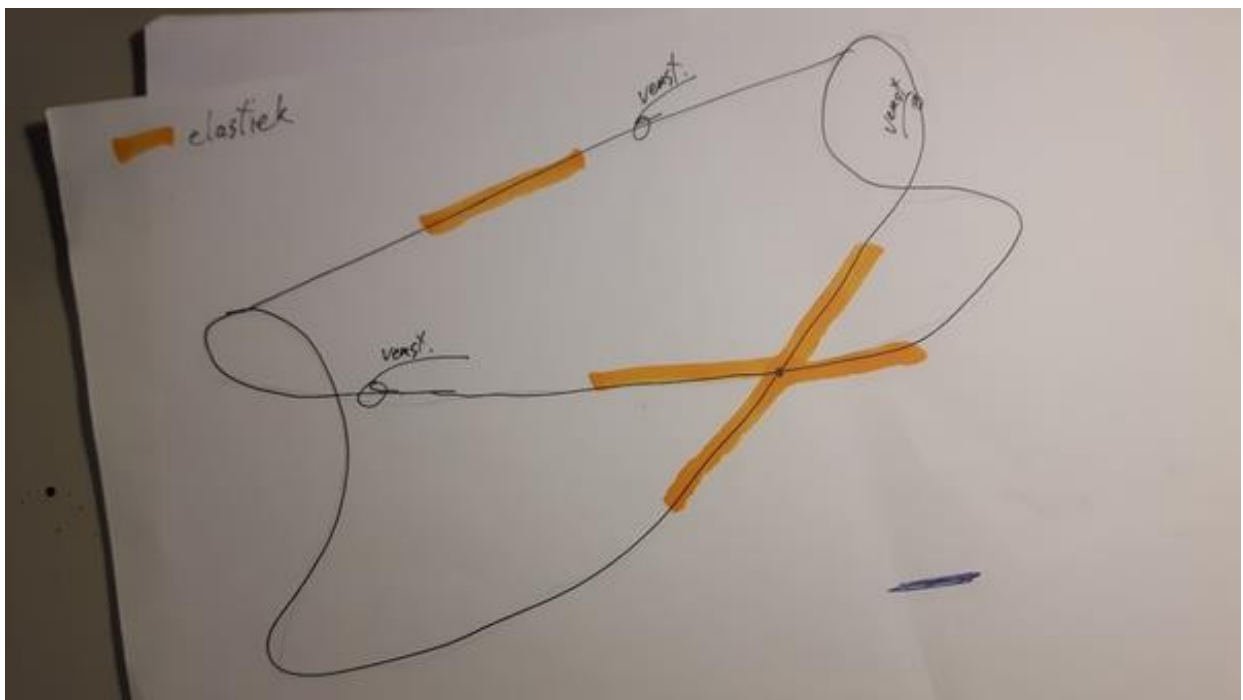
Bijlage 05 conceptontwikkeling bevestiging aan het lichaam



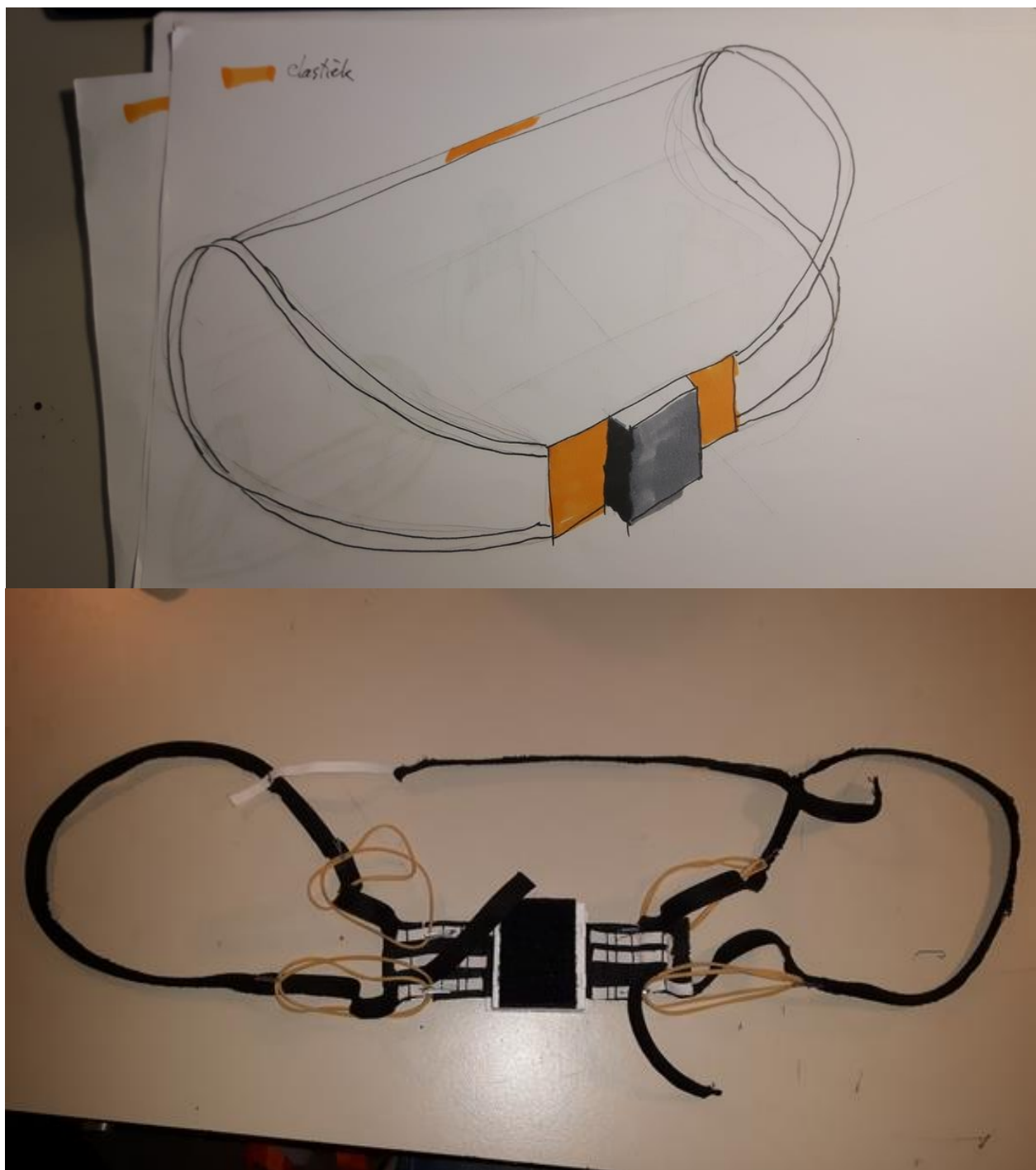
Figuur 45 Uitwerking van idee 3 voor de bevestiging aan het lichaam.



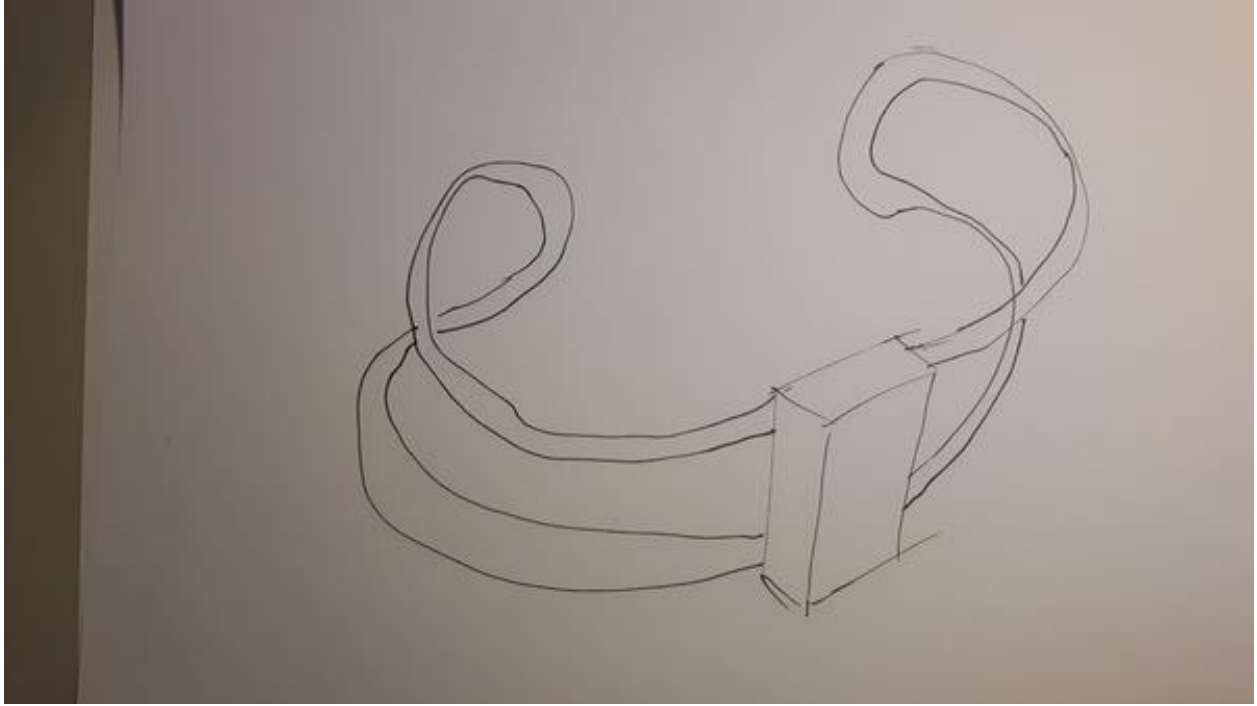
Figuur 46 Optimaliseren concept stap 1: een rugband minder.



Figuur 47 Optimaliseren concept stap 2: schouder 'ring' open en rugband verplaatsten.



Figuur 48 Uitwerken optimalisatiestap 2, boven: schets, onder: spuugmodel.

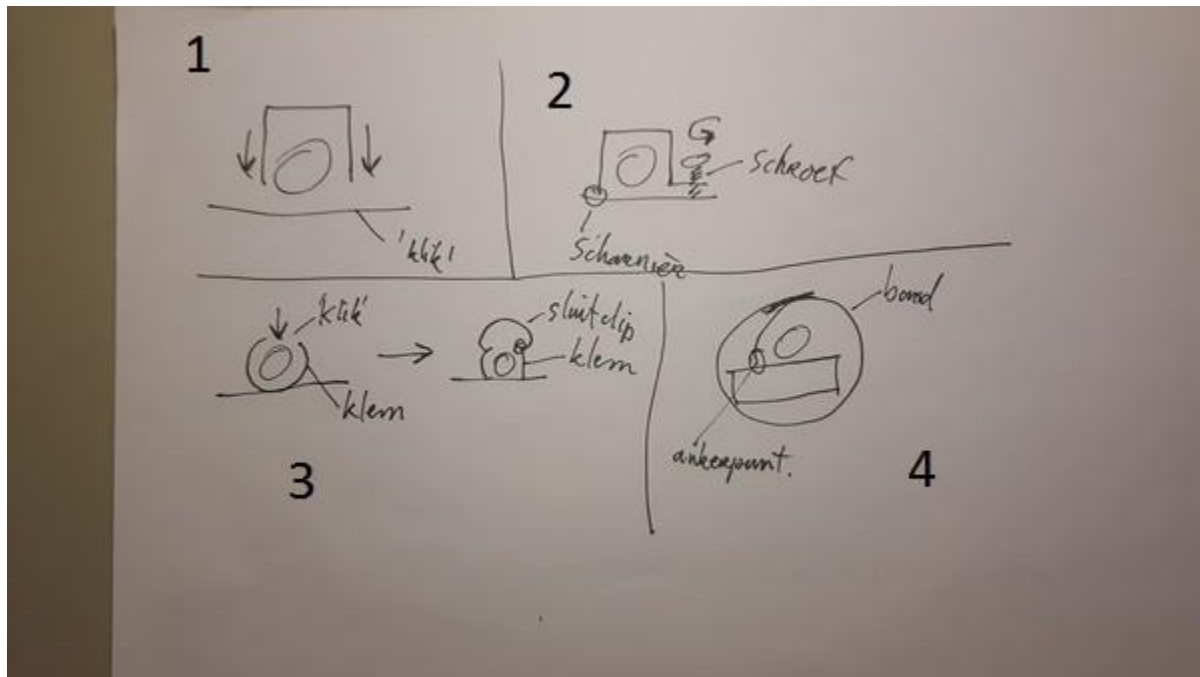


Figuur 49 Optimalisatie stap 3: rugbanden helemaal weg.

Bijlage 06 Ideeschetsen en kardinale methode bevestiging aan de golfclub

Tabel 9 Kardinale methode bevestiging aan de golfclub.

model	1	2	3	4
geschikt voor tapse shaft	9	9	9	9
gebruiksgemak	8	4	7	6
levensduur sluiting	3	9	9	8
Totaal	20	22	25	23



Figuur 50 Ideeschetsen bevestiging aan de golfclub.

Bijlage 07 Matlab scripts

Bevestiging aan het lichaam

```
% % Dit script is gebruikt voor de meting aande bevestiging aan het lichaam
% % en wordt gebruikt om alle meetbestanden in een keer te kunnen
% selecteren
clc;
clear all;
close all;
cd(fileparts(mfilename('fullpath')));
addpath(genpath('..'));
% % alle meetbestanden selecteren
[fileName pathName] = uigetfile(['D:\Dropbox\BT\Afstuderen\Motive\Marc\camiel',
'.c3d'], 'MultiSelect', 'on');
q = size(fileName);
% % elk meetbestand apart door de OptiAlign function halen en alle outputs
% verzamelen in 1 variabele
for i = 1:q(1,2)
    meanAngle(i) = OptiAlign(pathName, fileName{i});
end
meanAngle = meanAngle';
```

[Published with MATLAB® R2017b](#)

```
function [meanAngle] = OptiAlign(pathName, fileName)

[coordinaten, namen, nChan, fs, nSamples, unit, ForcesAndMoments] =...
    ReadC3DOptitrackFunction(pathName, fileName);

%%      plot x-y-z
t = (0:(1/fs):(nSamples/fs)-(1/fs))';
startSample = 2;
eindSample = nSamples;
nUsedSamples = eindSample-startSample;
startCorrectie = startSample-1;
% %      juiste markers selecteren voor thorax

thoraxMarkers = [1 2 3 4 5 6 7];
r = size(thoraxMarkers);
for marker = 1:r(1,2)
    thoraxCoordinaten{marker} = coordinaten{thoraxMarkers(marker)};
end

alignMarkers = [8 9 10 11];
s = size(alignMarkers);
for marker = 1:s(1,2)
    alignCoordinaten{marker} = coordinaten{alignMarkers(marker)};
end

% % alle markercombinaties met 3 markers berekenen uit de afzonderlijke
% markersets
thoraxPermutations = perFunction(r(1,2),0,3);
alignPermutations = perFunction(s(1,2),0,3);
```



```

%% Alle markersets van 3 liggen in een vlak. Hier wordt voor elk vlak de
%% normaalvector berekend : door twee positievectoren van elkaar af te
%% trekken krijg je
%% een vector die in hetzelfde vlak ligt als de punten. Het kruisproduct van
%% twee van deze vectoren levert de normaalvector van het betreffende vlak
%% op.
%% uit de gevonden normaalvectoren wordt een gemiddelde normaalvector
%% berekend
u = size(thoraxPermutations);
thoraxMNVect(1:nSamples,1:3) = zeros;
for i = 1:u
thoraxNormVectors{1,i} = cross(thoraxCoordinaten{1,thoraxPermutations(i,1)}...
    -thoraxCoordinaten{1,thoraxPermutations(i,2)},...
    thoraxCoordinaten{1,thoraxPermutations(i,1)}...
    -thoraxCoordinaten{1,thoraxPermutations(i,3)});

thoraxMNVect = thoraxMNVect+thoraxNormVectors{1,i};
end
thoraxMNVect = thoraxMNVect(:,:)/u(1,1);

v = size(alignedPermutations);
alignMNVect(1:nSamples,1:3) = zeros;
for ii = 1:v
alignNormVectors{1,ii} = cross(alignedCoordinaten{1,alignedPermutations(ii,1)}...
    -alignedCoordinaten{1,alignedPermutations(ii,2)},...
    alignedCoordinaten{1,alignedPermutations(ii,1)}...
    -alignedCoordinaten{1,alignedPermutations(ii,3)});

alignMNVect = alignMNVect+alignNormVectors{1,ii};
end
alignMNVect = alignMNVect(:,:)/v(1,1);

thoraxMag = sqrt(dot(thoraxMNVect,thoraxMNVect,2));
alignMag = sqrt(dot(alignMNVect,alignMNVect,2));

vectorAngle = rad2deg(acos(dot(thoraxMNVect,alignMNVect,2)./(thoraxMag.*alignMag)));

meanAngle = mean(vectorAngle(1:40,1));

end

```

[Published with MATLAB® R2017b](#)

perFunction

Deze functie berekend alle permutaties van de set hele getallen 1:N. 1:N

Sorteer de permutaties en selecteer de unieke permutaties

Error! Bookmark not defined.

selecteer alleen permutaties met een specifieke getal U (>0)

Error! Bookmark not defined.

sorteer de permutaties

Error! Bookmark not defined.

```
function [Permutations] =  
perFunction(numberOfInputElements,specificElementFilter,numberOfOutputElements)
```

Deze functie berekend alle permutaties van de set hele getallen 1:N. 1:N

% aantal getallen kunnen geselecteerd worden voor de grootte van output-sets

```
% % Handzame variabelen toewijzen  
N = numberOfInputElements;  
U = specificElementFilter;  
X = numberOfOutputElements;  
  
% % Alle permutaties van inputelementen berekenen  
c = [1 : N];  
P = perms(c);  
  
% % Aantal elementen terugbrengen naar gewenst aantal output elementen  
if X < N  
    P(:,X+1:end) = [];  
end
```

Sorteer de permutaties en selecteer de unieke permutaties

```
[~, idx] = unique(sort(P,2),'rows','first');  
P = P(idx,:);
```

selecteer alleen permutaties met een specifieke getal U (>0)

```
if U>0  
    [q ~,]=find(P==U);  
    P = P(q,:);  
end
```

sorteer de permutaties

```
P = sortrows(P);  
Permutations = P;  
  
end
```

[Published with MATLAB® R2017b](#)

Bevestiging aan de golfclub

```
% % Dit script is gebruikt voor de dataverwerking van de metingen aan
% % de bevestiging van de sensormodule aan de golfclub
clc;
clear all;
close all;
cd(fileparts(mfilename('fullpath')));
addpath(genpath('..'));
% % elk meetpunt heeft zijn eigen file, hier worden alle files in een keer
% geselecteerd
[fileName pathName] = uigetfile(['D:\Dropbox\BT\Afstuderen\Motive\Marc\camiel',
'.c3d'],'MultiSelect','on');
q = size(fileName);
MNVect(1:q(1,2),1:3) = zeros;
% % van elke file een gemiddelde normaalvector berekenen uit de 3
% markerposities
for i = 1:q(1,2)
    [coordinaten, namen, nChan, fs, nSamples, unit, ForcesAndMoments] =
ReadC3DOptitrackFunction(pathName, fileName{i});

    normVectors = cross(coordinaten{1,1}-coordinaten{1,2},coordinaten{1,1}-coordinaten{1,3});
    MNVect(i,:) = mean(normVectors);
end

% % met de cosinusregel de hoek tussen begin en eindstand berekenen.
% Eindstand van de vorige is beginstand van de volgende.
vectorMag = sqrt(dot(MNVect, MNVect,2));

for ii = 2:q(1,2)
    Angles(ii-1,:) = rad2deg(acos(dot(MNVect(ii-1,:),MNVect(ii,:),2)./(vectorMag(ii-
1,:).*vectorMag(ii,:))));
end
```

[Published with MATLAB® R2017b](#)

Projectplan

Student: Marc Soeters

Studentnummer: 08070954

e-mail: marc.soeters@gmail.com

Datum: 12-10-2017

Studievoortgang

Behaalde studiepunten in de modules 9 t/m 11: **26**

Minor: **Orthopedie** Afgerond? **Ja**

Stage 2 afgerond?: **Ja**

Totaal aantal behaalde vrije STPs : **22**

Openstaande toetsen (+ module):

- **C&M opdracht 1 projectplan (module 10(11))**
- **C&M opdracht portfolio (module 11)**
- **Biodynamica III opdracht registratie (module 11)**
- **Construeren IV opdracht vervorming (module 11)**
- **Keuzevak: toegepaste biomechanica opdracht 1 (module 9)**

A-align

Directe feedback op de oplijning van een golfer's swing.

Deel 4

Hardware ontwikkeling

Werkveld: Trainingshulpmiddelen voor sporters

Beroepsrol: **Ontwerper**

Extern project (J/N): **Ja**

Indien Extern:

- **Naam:** ECBT
- **contactpersoon:** Hubert Meulman
- **email contactpersoon:** H.N.Meulman@HHS.nl

Probleemstelling

Aanleiding

A-align

A-align is een product dat golfers directe feedback geeft over hoe zij staan opgesteld tijdens de setup. De setup is de eerste fase van de swing (zie Figuur 1), hier positioneert de golfer zichzelf ten opzichte van de bal.

Hierbij is de oplijning van de golfer ten opzichte van de doellijn belangrijk. De doellijn is de rechte lijn tussen de bal en het punt waar de bal terecht moet komen (zie Figuur 2). De lijn door de voeten, heupen en schouders van de golfer moet parallel zijn aan de doellijn. Verder moet het blad (het deel van de golfclub dat de bal raakt) haaks staan op deze doellijn.

De werking van A-align

Het huidige prototype meet deze op met vier sensormodules. Eén voor de voeten, één voor de heupen, één voor de schouders en één voor de golfclub.

De voeten worden tegen een rechte lat geplaatst, op deze lat zit een sensormodule (zie Figuur 5).

De positie van de heupen wordt gemeten met een sensor op het os sacrum (zie Figuur 6).

De lijn door de schouders wordt gemeten met een sensor op het sternum (zie Figuur 7).

De positie van het blad van de golfclub wordt gemeten met een sensormodule op de shaft (de steel van de golfclub, zie **Error! Reference source not found.**).

In Figuur 4, Figuur 3, Figuur 6 en Figuur 7 is de sensormodule te zien gemonteerd op een houten balk. Het was ten tijde van de eerste metingen met het prototype vanwege beperkingen in de software nodig om de sensor in een bepaalde orientatie te houden. Deze beperkingen zijn inmiddels verholpen, de sensor kan nu vanuit elke orientatie beginnen met meten.



Figuur 1 Fases in de golf swing: het eerste figuur demonstreert de setup. De overige figuren demonstrenen de backswing (2,3 en 4), downswing (5 en 6) en de follow through (7 en 8)



Figuur 2 Oplijning ten opzichte van de doellijn. De oplijning (linker lijn bij elk figuur) moet parallel lopen aan de doellijn (rechter lijn bij elk figuur)



Figuur 4 De sensormodule wordt met tape bevestigd op de shaft van de golfclub

Figuur 3 De sensormodule gemonteerd op een houten balk

De beperkingen van het huidige prototype van A-lign

Voor de electronica van de sensormodules ontbreekt momenteel de behuizing. Hierdoor is het lastig om de sensormodule goed op het lichaam/de golfclub te bevestigen. Bovendien zijn de printplaten en vooral de bedrading kwetsbaar.

De sensormodules voor de schouders en de heupen worden nu met een elastische band tegen het lichaam aan geklemd (zie Figuur 6 en Figuur 7). Hierdoor is het lastig om de sensormodule op precies de juiste plek te positioneren. Verschuiving van de sensormodule door beweging van de gebruiker wordt met deze methode ook nauwelijks tegengegaan en de sensormodule wordt na een verschuiving ook niet teruggebracht naar de initiele locatie.

De sensormodule van de golfclub wordt momenteel met tape aan de shaft bevestigd (zie Figuur 4). Ook hier is het lastig om de sensormodule op precies de juiste plek te positioneren.



Figuur 5 Lat voor de voeten met daarop de sensormodule gemonteerd

Het ontbreken van een behuizing voor de electronica en beide hierboven beschreven bevestigingsmethoden introduceren samen een fout in de precisie die groter is dan de toegestane fout in het eindproduct.

Doelgroep

Waar andere technische trainings hulpmiddelen voornamelijk toegankelijk zijn voor de 'elite' golfer, richt A-lign zich met een prijs van maximaal 500 euro op de 'gewone' golfer (de Heus, 2017).

Doelstellingen

Een functionele behuizing voor de elektronica, een bevestigingsmethode voor deze behuizing aan het lichaam en een bevestigingsmethode voor deze behuizing aan de golfclub ontwerpen.

Met deze te ontwerpen behuizing en bevestigingsmethoden moet de huidige fout in de precisie ($\pm 5^\circ$) worden teruggebracht naar de maximaal toegestane fout in de precisie voor het eindproduct ($\pm 1,15^\circ$)



Figuur 6 Sensormodule voor de heupen bevestigd op het os sacrum

Randvoorwaarden

- Voor het ontwerp van de behuizing wordt uitgegaan van de huidige hardware.
- Voor een goede setup is voornamelijk de uitlijning van de lijn door de schouders en het blad van de golfclub van belang. (de Heus, 2017) In overleg met de opdrachtgever worden de sensormodules voor de voeten en de heupen in dit ontwerp buiten beschouwing gelaten.



Figuur 7 Sensormodule voor de schouders bevestigd op het sternum

Vooronderzoek

Het huidige prototype van A-lign kan de uitlijning van de verschillende lichaamslijnen en de golfclub meten met een fout in precisie van $\pm 5^\circ$. In het eindproduct mag deze fout maximaal $\pm 1,15^\circ$ zijn. Deze maximale fout is opgesteld in deel 2 van het A-lign project (de Heus, 2017).

In deel 2 van het A-lign project wordt gesteld dat het verschil in precisie wordt veroorzaakt door drift in de sensor, fouten in calibratie en fouten in bevestiging op het lichaam (zowel in initiele bevestiging als door beweging van de gebruiker).

De drift fluctueert binnen $\pm 1^\circ$ (de Heus, 2017), welke aandelen de calibratie en de bevestiging op het lichaam hebben in de precisie is niet bekend.

Analyse

Deelvragen behuizing

- Hoe groot mag de behuizing van de electronica zijn?
 - o Met een bewegingsanalyse van de swing kan worden bepaald hoeveel ruimte er op het sternum is voor de sensormodule. Er wordt aangenomen dat dezelfde behuizing ook gebruikt kan worden voor de sensormodule op de golfclub.
- Hoeveel mag de sensormodule bewegen binnen de behuizing?
 - o met een berekening waarin alle bekende factoren worden meegenomen die invloed hebben op de fout in de precisie van de meting kan worden bepaald welke mate van beweging acceptabel is voor de sensormodule binnen de behuizing.

Deelvragen Bevestiging lichaam

- Het sternum is groter dan de sensormodule. Waar precies op het sternum moet de sensormodule geplaatst worden voor de beste meting?
 - o Met een literatuurstudie en eigen metingen kan worden bepaald binnen welk gebied de sensormodule op het sternum geplaatst dient te worden. Bij de meting wordt gemeten welke invloed het plaatsen van de sensor op verschillende locaties op het sternum heeft op de precisie van de meting.
- Welke eigenschappen moet de interface tussen de sensormodule en de gebruiker hebben?
 - o Met een modelanalyse en eigen meting kan worden bepaald welke eigenschappen de interface tussen de sensormodule en het lichaam van de gebruiker moet hebben.

Ontwerpfase

Beantwoording van de deelvragen geeft een frame van eisen dat beschrijft wat het ontwerp moet doen. In de ontwerpfase wordt uitgezocht hoe er het beste aan deze eisen voldaan kan worden.

De behuizing voor de elektronica zal als eerste ontworpen worden, aangezien de vorm, afmeting en het gewicht hiervan beperkingen stellen aan het ontwerp van de bevestigingsmethode aan het lichaam.

Voor het ontwerp van de behuizing zou advies kunnen worden ingewonnen bij Bert Broeren.

Algemeen ontwerpproces:

1. De ideefase.

Hier worden oplossingen gezocht voor de afzonderlijke gestelde eisen door middel van modelanalyse.

2. De conceptfase

Hier worden de ideeën uit de ideefase geselecteerd en bij elkaar gegroepeerd tot een aantal concepten. Deze concepten zouden aan alle gestelde eisen moeten voldoen.

De meest veelbelovende concepten worden geselecteerd en verder uitgewerkt.

Vervaardiging

Het meest veelbelovende concept wordt uitgewerkt tot prototype

3. Testfase

Hier wordt getoetst of het prototype in de praktijk ook aan de gestelde eisen voldoet.

Vervaardigingsfase

Van zowel de behuizing als de bevestigingsmethode worden prototypes vervaardigd. Voor de vervaardiging hiervan kan gebruik worden gemaakt van de 3D werkplaats en de 3D printers die de opleiding beschikbaar heeft.

Voor de eventuele bewerking van textiel kan de hulp van een kleermaker worden ingezet

Testfase / Evaluatiefase

Voor de validatie van de prototypes wordt de meting van het prototype vergeleken met dezelfde meting van de gouden standaard. Het Optitrack systeem in het bewegingslab van de opleiding Bewegingstechnologie wordt gehanteerd als gouden standaard

Voorlopige literatuurlijst

de Heus, J. (2017, 10 11). (M. Soeters, Interviewer)

de Heus, J. (2017). *A-lign. Direct feedback system for a golfer's swing alignment. Part 2 Improving and validating the prototype of A-lign.*

Bijlage 1: Voorlopige hoofdstukindeling scriptie

1. Titelblad
2. Voorwoord en dankwoord
3. Samenvatting
4. Inhoud
5. Inleiding
6. Aanleiding
7. Doelstelling
8. Analyse
9. Programma van eisen en wensen
10. Prototype iteratie I
 - Ontwerpfase
 - Ideefase
 - Conceptfase
 - Vervaardigingsfase
 - Testfase/Evaluatie
11. Prototype iteratie II
 - Ontwerpfase
 - Ideefase
 - Conceptfase
 - Vervaardigingsfase
 - Testfase/Evaluatie
12. Prototype iteratie III
 - Ontwerpfase
 - Ideefase
 - Conceptfase
 - Vervaardigingsfase
 - Testfase/Evaluatie
13. Prototype iteratie IV
 - Ontwerpfase
 - Ideefase
 - Conceptfase
 - Vervaardigingsfase
 - Testfase/Evaluatie
14. Literatuurlijst
15. Bijlagen

Bijlage 2: Planning afstudeertraject.

maand	week	afstuderen actie	Scriptie onderdeel af
	43		
	44		
november	45	inleveren concept projectplan	
	46	feedback begeleider concept projectplan	
	47	aanmelden deelname projectplanbeoordeling	
	48	inleveren definitief projectplan	
December	49	beoordeling definitief projectplan	
	50	Start uitvoeringsfase Analyse; beantwoording deelvragen	Aanleiding, probleemstelling, doelstelling
	51	beantwoording deelvragen/start ideefase	Analyse; Deelvragen, programma van eisen en wensen
	52 kerstvak	idee generatie	
januari	1 kerstvak	idee generatie	
	2	idee generatie/start conceptfase	ideefase
	3	conceptfase	
	4	conceptfase	conceptfase
februari	5	vervaardiging prototype/opstellen testprotocol	
	6	vervaardiging prototype/opstellen testprotocol	eerste iteratie prototype
	7	Testen prototype/data analyse	
	8	data analyse/aanpassen prototype	inleiding
	9 voorjaarsv	Aanpassen prototype	tweede iteratie prototype
maart	10	testen aangepast prototype/data analyse	
	11	data analyse/aanpassen prototype	
	12	aanpassen prototype, inleveren 0 versie volledige scriptie	samenvatting
	13	Aanpassen scriptie	derde iteratie prototype
april	14	Inleveren scriptie definitief	
	15		
	16	eindgesprekken	