

24 aug. 2011

Productarchitectuur en Ergonomie in het Ontwerptraject van de Trigger 2

Eindopdracht uitgevoerd ter verkrijging van de Bachelor of Science

Student: Wybe Pieter Feenstra

Studentnummer: s0144231

Studierichting: Industrieel Ontwerpen

Faculteit: Construerende Technische Wetenschappen

Begeleider Universiteit: Ir. C.M. Beusenberg

Begeleider FOX Industries: K. Vos

2^e Examiner: Prof. Dr. Ir. A.O. Eger

1. Inhoud

1. Inhoud.....	2
2. Samenvatting	4
3. Summary.....	4
4. Projectbeschrijving	5
4.1. Productfamilie.....	5
4.1.1. Trigger 2.0	5
4.1.2. Trigger 2.1	5
4.1.3. Trigger 2.2	5
4.2. De opdracht	6
4.2.1. Productarchitectuur.....	6
4.2.2. Ergonomische analyse	6
5. Product Architectuur (Package).....	7
5.1. Werkwijze FOX.....	7
5.2. Architectuur? Package?	7
5.3. Stakeholders	8
5.4. Concretiseren.....	8
5.5. Trigger.....	9
5.5.1. Ergonomie.....	9
5.5.1. Styling.....	9
5.6. Conclusie	10
6. Chassis.....	11
6.1. Beschikbaar prototype.....	11
6.2. Uittekenen chassis	11
6.3. Bill of Materials (BOM).....	13
7. Ergonomische analyse	14
7.1. Aannames	14
7.2. Definities.....	14
7.3. Achtergrond	15
7.4. Methode	16
7.5. Resultaten	16
7.5.1. Zitpositie	16
7.5.2. Stuur.....	19

7.5.3. Vorm zitpositie	20
7.5.4. Gezichtsvelen	25
7.5.5. Mock-up	27
7.5.6. Gebruikerstest	30
7.6. Aanbevelingen	31
8. Overige activiteiten bij FOX	33
8.1. Ontwerp wielen	33
8.2. Metaalbewerking	33
8.3. Teken carrosserie	34
9. Concluderend	35
10. Referenties	36
11. Bijlagen	37
11.1. Functieanalyse	37
11.1.1. Black box model	37
11.1.2. Functieketens	37
11.1.3. Functioneel blok model	38
11.1.4. Architectuur definiëren	40
11.2. Alternatieve stuurinstelling	43
11.3. BOM	44
11.4. Gebruikerstest	45

2. Samenvatting

Dit verslag is een beschrijving van de activiteiten die zijn uitgevoerd bij Trigger Cars Nederland (onderdeel van FOX Industries, vanaf nu FOX) gedurende vier maanden. Tijdens deze vier maanden is een tweedelige Bachelor eindopdracht uitgevoerd. Ten eerste is getracht FOX een ontwerphulpmiddel te bieden door de package van de Trigger 2 te definiëren. Dit is ten dele gelukt. Ten tweede is een ergonomisch onderzoek gedaan naar de zitpositie van de bestuurder van de Trigger 2. Hieronder viel het ontwerp van de zitvorm, bepaling positie voetsteun, stuur en buitenspiegels. De zitvorm is in polyester gevormd en in een prototype chassis geplaatst zodat de positie getest kon worden.

3. Summary

This report describes the activities over the course of four months at Trigger Cars Netherlands (department of FOX Industries, from now on FOX). During these months a two-part assignment was carried out. The goal of the first part was to offer FOX a design aid by defining the package of the Trigger 2. This was partially successful. The goal of the second part was to design a seat for the driver of the Trigger 2. This included designing the shape of the seat and position of footrest, steer and rear view mirrors. A mock-up of the drivers' position has been made and a small-scale test to determine the comfort has been carried out.

4. Projectbeschrijving

FOX is een bedrijf dat zich al meer dan 20 jaar heeft gespecialiseerd in kunststofproductie en houdt zich sinds een aantal jaren ook bezig met houtbewerking, staalbewerking en verspaning. Daarnaast doet FOX ook productontwikkeling op verschillende gebieden. Een product wat FOX al sinds 2006 op de markt heeft is de Trigger scootcar. Daarvoor deed FOX al delen van de productie. Dit driewielige voertuig is met name geschikt voor de verhuur in toeristische gebieden. De Trigger 50 (originele Trigger) is toe aan vervanging. Niet alleen vanwege de slechte maakbaarheid maar ook wegens de slechte leverbaarheid en prijs van de koopdelen. Daarom is in 2008 begonnen met de ontwikkeling van de Trigger 2. Tot dit jaar was de nood voor het nieuwe model nog niet zo hoog dus dit project heeft gedurende die drie jaar lage prioriteit gekend. In 2010 is er door een student uit Delft een ontwerpstudie gedaan naar de styling van het nieuwe model (Wagenaar, 2010) en dit jaar is begonnen met de uitwerking hiervan tot een produceerbaar product.

4.1.Productfamilie

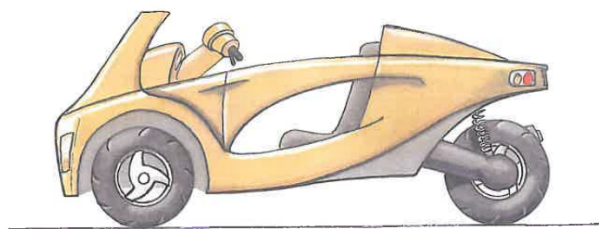
De productfamilie van de Trigger 2 bestaat uit 3 varianten die ieder zowel met een elektrische aandrijving als een brandstofmotor uitgevoerd moeten kunnen worden. Tevens wordt de Trigger 2 geleverd aan Engeland en Australië alwaar het stuur aan de rechterkant (RHD) moet zitten. In totaal zijn er dus twaalf combinaties mogelijk.

4.1.1. Trigger 2.0

De Trigger 2.0 is de uitvoering die de minste luxe zal bieden. Hoewel voor dit model op het moment van schrijven nog geen ontwerp bestaat (styling) is wel bekend dat deze uitvoering een minder uitvoerige carrosserie zal hebben en geen overdekte bagageruimte zal bevatten.

4.1.2. Trigger 2.1

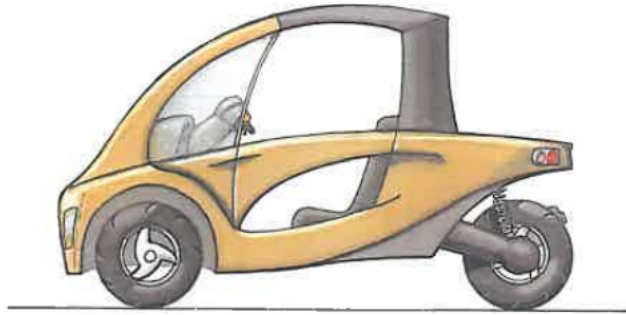
De Trigger 2.1 is de uitvoering waarvan op het moment van schrijven het meest bekend is. Dit is het standaard model met volledige carrosserie en overdekte bagageruimte. Figuur 1 laat het originele ontwerp zien van deze uitvoering.



Figuur 1: Trigger 2.1

4.1.3. Trigger 2.2

De Trigger 2.2 is de overdekte versie van de 2.1. Hiervan is op het moment van schrijven ook nog geen afgerond ontwerp van. Figuur 2 geeft een impressie van hoe dit eruit zou kunnen komen te zien.



Figuur 2: Trigger 2.2

4.2. De opdracht

De opdracht bestond uit twee delen.

4.2.1. Productarchitectuur

Het eerste deel van de opdracht bestond uit het formuleren van de product architectuur, ook wel de package genoemd. Omdat dit niet zo eenvoudig bleek is dit deel in een meer theoretische vorm uitgewerkt waarbij de nadruk heeft gelegen op het ontdekken waarom en hoe in de automobiellindustrie deze term wordt gebruikt.

4.2.2. Ergonomische analyse

Het tweede deel van de opdracht bestond uit het optimaliseren van de zitpositie van de bestuurder (en rijder). Hierbij was de bedoeling uit te zoeken welke vorm de zitting zou moeten krijgen alsmede het bepalen van de gezichtsvelden, zowel door de voorruit als door de buitenspiegels. Uiteindelijk is deze vorm in polyester gemaakt en in een prototype chassis geplaatst om een kleinschalige gebruikerstest mee te kunnen uitvoeren.

5. Product Architectuur (Package)

5.1. Werkwijze FOX

Er is binnen FOX Industries geen vooraf gedefinieerde manier waarop een product wordt ontwikkeld. Soms hebben relaties van het bedrijf een productidee die een exploitant van dat product hebben gevonden en FOX het concept laten uitwerken tot een maakbaar product. Hetgeen FOX vervolgens gaat produceren. Soms zijn dit zeer complexe producten die bestaan uit meerdere modules met een groot aantal interfaces en die zowel productietechnisch als op logistiek gebied veel planning vereisen. Een voorbeeld hiervan is de ASCI Royal Lodge (Figuur 3). Hierbij lag het ontwerpmanagement en de productontwikkeling bij FOX. De verwachting was dus dat FOX heel goed zou weten hoe complexe producten ontworpen dienen te worden.



Figuur 3: ASCI Royal Lodge

5.2. Architectuur? Package?

Bij het ontwerpen van Trigger zijn de invloeden van veranderingen binnen de opbouw van het product (interfaces) niet bewust gedocumenteerd. Hier rust de nadruk op het woord *bewust* aangezien alle interfaces van het product wel degelijk bekend zijn. Deze zijn echter nooit expliciet benoemd en gedocumenteerd, voornamelijk omdat de noodzaak hiervan niet werd ingezien. De noodzaak is ook niet zo groot omdat veel aspecten van het product gemanaged worden door veelal dezelfde mensen. Bij hen zijn de interfaces onbewust evident en houden daar in vroege stadia al rekening mee. Een goed voorbeeld hiervan is het feit dat tijdens het ontwerp van de carrosserie ruimte wordt vrij gehouden voor een brandstoftank, die ook nog verhoogd geplaatst wordt zodat geen brandstofpomp meer nodig is. Een component (brandstofpomp) werd geëlimineerd omdat de interface (transport brandstof van tank naar motor) bekend was bij de ontwerper. Deze interface was bekend omdat FOX natuurlijk een vergelijkbaar product heeft gemaakt in het verleden. Een ontwerper die niet het oude model Trigger heeft bestudeerd zou dit gemakkelijk over het hoofd kunnen zien. Om dit te voorkomen wordt in de automobiellindustrie (en in veel andere ontwerpgebieden) een product architectuur gedefinieerd. Dit is een beschrijving van de auto d.m.v. systemen, subsystemen, componenten en interfaces. Hierbij bestaat de auto uit een aantal subsystemen die worden gevormd door het samenspel van componenten en interfaces, zowel fysiek als non-fysiek. De subsystemen vormen samen het gehele systeem. Een voorbeeld van een subsysteem in een auto is de aandrijflijn. De aandrijflijn loopt vanaf de motor tot en met de banden

en heeft dien ten gevolge interfaces met het chassis (ophanging) wat op zijn beurt ook weer een subsysteem vormt met interfaces met de carrosserie, interieur etc. Dit alles samen vormt het systeem 'auto'.

De product architectuur wordt ook wel de 'Package' genoemd in de automobiellindustrie. Hoewel in theorie de termen hetzelfde betekenen bestaan er toch verschillen in het gebruik ervan. Waar de architectuur vaak puur een functioneel technische beschrijving van het product geeft, is er binnen de package nog ruimte voor het definiëren van minder concrete invloeden zoals esthetiek, beleving en ergonomie. Daarnaast wordt bij het gebruik van de term package vaak de invloed van alle stakeholders in ogenschouw genomen.

5.3.Stakeholders

Stakeholders zijn partijen die iets te maken hebben met het product. Dat is iedereen van ontwerper tot eindgebruiker. Stakeholders bij de Trigger zijn uiteraard de ontwerpers, producent (Trigger Cars), de klant (veelal verhuurbedrijven) en de eindgebruiker. Maar ook de Europese Commissie (regelgeving), dealers, leveranciers van grondstoffen en transporteurs. Een concreet voorbeeld hoe een dergelijke stakeholder (transportbedrijf) invloed heeft op de package is het bepalen van de totaalafmetingen van de Trigger. De totale lengte van de Trigger 2 bedraagt 2320mm. Om zo efficiënt mogelijk de Trigger te kunnen transporteren wordt deze per acht stuks in een container geplaatst die overdwars in stapels van twee worden geplaatst. De deuropening waardoor vracht naar binnen kan is 2340mm. Bij het laden is er dus een speling van slechts 20mm. Tevens is de hoogte van de Trigger 2.1 (model zonder dak) bepalend of deze zonder meer per twee opgestapeld kan worden. Wordt de maximum lengte, breedte of hoogte overschreden, dan zullen sommige delen pas bij aankomst gemonteerd kunnen worden. Voor alle andere stakeholders is deze maximum afmeting niet geldig en functioneel gezien is die ook niet zo specifiek te bepalen (ie. de Trigger functioneert ook als deze bijv. 2350mm lang is). Als het product enkel functioneel bekeken wordt, kunnen dit soort specificaties dus te laat aan het licht komen. Dit vertraagt het ontwerpproces en maakt het traject duurder.

5.4.Concretiseren

Wat het 'definiëren van een package' concreet inhoud is moeilijk te zeggen. De package is een term om een product op meerdere abstractieniveaus te kunnen benoemen. Het documenteren hiervan is een moeilijke kwestie en kan niet worden gedaan in de tijd dat deze opdracht is uitgevoerd. Het concretiseren, of eigenlijk, het kiezen van een architectuur is misschien iets voor de hand liggender. Hiervoor bestaan dan ook verschillende methodes. Rechtin (1992) noemt vier methodieken die worden ingezet bij het bedenken van systemen. Ten eerste is er de **normatieve methodiek** waarbij oplossingen voor vraagstukken worden aangeboden. Hierbij zijn oplossingen: het fysische principe waarop het product berust en in grove lijnen de geometrische uitwerking daarvan. Informatie hiervoor is veelal afkomstig uit handboeken en reglementen. Ten tweede noemt hij de **rationele methodiek** waarbij oplossingen worden afgeleid op basis van deductie. Deze methodiek streeft objectiviteit en optimalisatie na (waar de normatieve methodiek juist niet objectief is in het aanbieden van oplossingen). Ten derde is er de **argumentatieve methodiek** waarbij synergie centraal staat. Rechtin waarschuwt hier dat de beste oplossing vaak niet een compromis is maar een door een kleine groep gedragen idee. Ten vierde noemt hij de **heuristische methodiek** waarbij 'common sense' centraal staat. Uiteindelijk komt het er bij veel systemen op neer dat oplossingen worden gevonden door gebruik te maken van het boerenverstand, ervaring en vuistregels.

Een architectuur kan nu gebruikmakend van bovenstaande methodieken ingedeeld worden in subsystemen, componenten en interfaces. Dit resulteert in een fysieke representatie van het systeem wat geometrisch is vormgegeven door de ontwerpers en constructeurs. De interfaces zijn in de automobiellindustrie vooral mechanisch (hoewel tegenwoordig veel zaken softwarematig worden geregeld).

Binnen de automobiellindustrie (niet uitsluitend) wordt gebruikgemaakt van platforms. Dit betekent dat een deel van de architectuur voor verschillende auto's binnen een familie hetzelfde is (een platform) en dat de producten worden opgebouwd uit modules. Deze modules kunnen, zij het met andere fysieke representaties, worden gebruikt in verschillende auto's. Zelfs tussen verschillende automerken worden platforms uitgewisseld om ontwikkeltrajecten in te korten.

5.5.Trigger

In een vroeger stadium van de opdracht is getracht de gehele architectuur te definiëren alsmede het identificeren van modules. Hiervoor is een functieanalyse van de Trigger uitgevoerd waarna deze functies in een blokdiagram zijn geplaatst. In bijlage 11.1. is hier het resultaat van te zien. Hiermee kon een indeling van de Trigger gemaakt worden met modules, componenten en interfaces. Dit is tot op zekere hoogte ook gedaan door een algemene stuklijst (BOM, paragraaf 6.3) op te stellen. Iets wat FOX voor al haar productontwikkeling doet. Hoewel de BOM een duidelijke structuur in de opbouw van het product weergeeft is het lastig hierin aan te geven hoe de componenten interacties met elkaar hebben. Daarnaast is bij de functieanalyse niet aan de orde gekomen hoe alle stakeholders invloed hebben op het ontwerp.

5.5.1. Ergonomie

De eindgebruiker is een belangrijke stakeholder en het is dan ook van essentieel belang dat hij het eindproduct op een ergonomisch verantwoorde manier kan gebruiken. Het is dan ook vreemd dat een ergonomisch onderzoek naar de zitpositie zo laat in het ontwerpproces plaats heeft gevonden. De Trigger is een product wat om de gebruiker heen ontworpen dient te worden. Bij het ontwerp van het chassis was natuurlijk al rekening gehouden met twee inzittenden. Het zou het ontwerptraject echter enorm vertragen als een ergonomisch onderzoek, zoals dit verslag beschrijft, als uitkomst zou hebben dat er te weinig ruimte is voor de inzittenden.

5.5.1. Styling

Catalano (2007) beschrijft een systeem waarmee esthetische kenmerken van verschillende auto's voor ontwerpers veel makkelijker toegankelijk worden. In het onderzoek wordt een database voorgesteld met multimediale bronnen van referentiemateriaal van verschillende onderdelen van verschillende soorten auto's. Zo kan de snelheid waarmee nieuwe concepten worden geproduceerd verhoogd worden. Mocht een dergelijk systeem beschikbaar zijn geweest op het moment dat de Trigger 2 werd vormgegeven (styling) dan was dit mogelijk een waardevolle aanvulling geweest op het onderzoek wat daarnaar is gedaan. In zijn onderzoek trok Wagenaar (2010) namelijk parallellen met de stiling van personenauto's. Bij de detaillering is ook gebleken dat veel wordt gekeken naar vergelijkbare producten binnen de branche of juist naar afwijkende producten (nog wel binnen de automobiellindustrie). Hoewel het afkijken van oplossingen voor ontwerpproblemen een veelgebruikte methode is dient door het management wel continu worden gekeken of de styling nog wel in lijn ligt met de gewenste uitstraling van het product.

5.6.Conclusie

Hoewel FOX in het verleden heeft bewezen goed om te kunnen gaan met de ontwikkeling van complexe producten is het wellicht verstandig in een volgend ontwerptraject meer expliciet rekening te houden met het product als package (ie. het expliciet definiëren van interfaces). Bij uitval van ontwerpers kan het werk dan sneller worden overgenomen. Bovendien kunnen dan onvoorziene problemen aan het licht komen of nog voor prototyping, optimalisaties worden doorgevoerd. En als de belangen van alle stakeholders zijn geformuleerd kan hier makkelijker op worden ingespeeld.

6. Chassis

In de aanloop van het ergonomisch onderzoek is in samenwerking met J.G. Veurink (medestudent) het chassis getekend. In de fabriek was een prototype van een nieuw chassis beschikbaar. Hiervan waren enkel 2D tekeningen beschikbaar en aangezien het chassis in 3D getekend moest worden voor het ontwerp van de carrosserie (afstudeeropdracht van Veurink) zijn hiervan alle onderdelen in SolidWorks nagetekend. Tevens zijn enkele onderdelen aangepast vanwege de integratie van nieuwe koopdelen. Deze zijn ook allemaal in 3D nagetekend.

6.1. Beschikbaar prototype

Al vanaf het begin van de opdracht was er een prototype chassis beschikbaar wat is getekend door Ing. Drvota (voormalig constructeur/ontwerper FOX) in 2006-2008 (Figuur 4). Dit chassis biedt de rijeigenschappen die FOX wenselijk vindt en houdt rekening met de ophanging van een Piaggio achterbrug welke gebruikt gaat worden voor de 4-takt uitvoering van de Trigger 2. Van dit chassis waren echter geen 3D tekeningen. Bovendien bestond het frame uit kokermateriaal met niet-standaard maten en de herkomst van de koopdelen was soms onduidelijk.

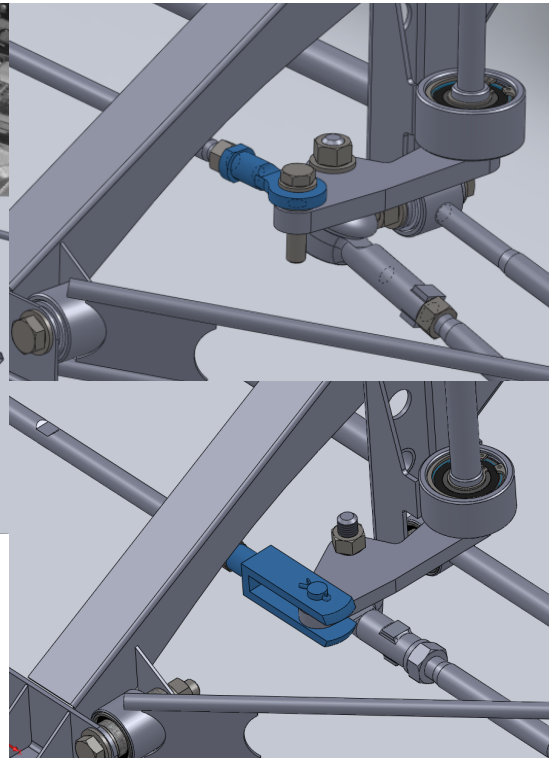
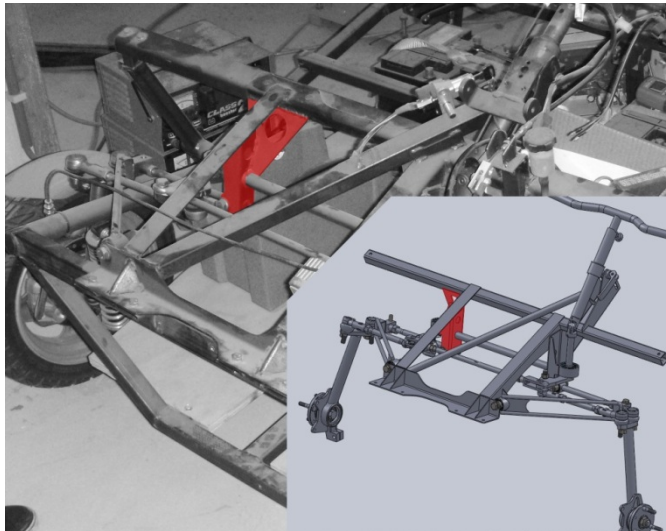


Figuur 4: Prototype chassis met stoelkuip originele Trigger

6.2. Uittekenen chassis

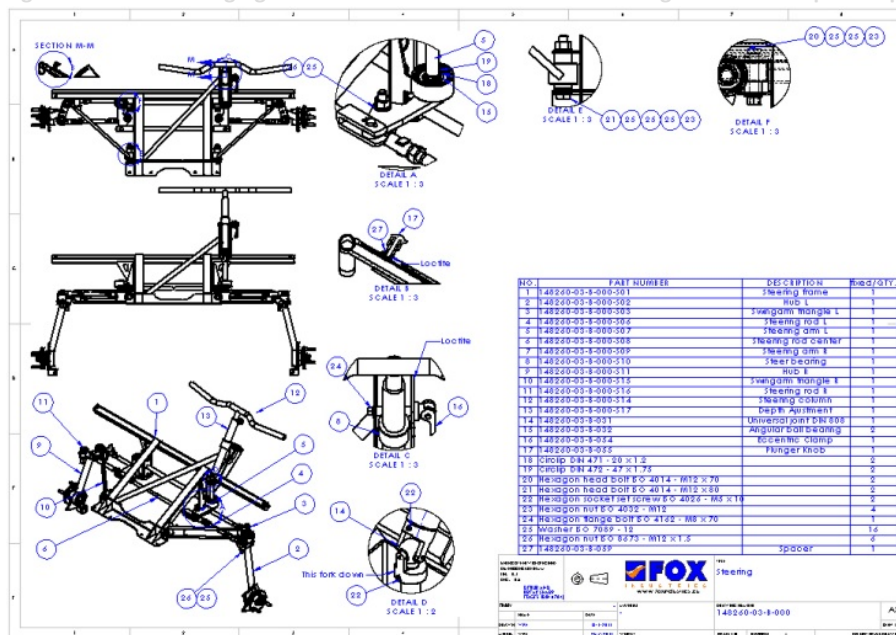
Alle onderdelen zijn met behulp van SolidWorks gedigitaliseerd. Hierbij is meteen rekening gehouden met standaard maten die door de leveranciers van staal (MCB) worden gehanteerd. Hierdoor zijn sommige onderdelen aangepast. Daarnaast zijn sommige onderdelen vereenvoudigd om productietijd terug te dringen. Een voorbeeld hiervan is te zien in (Figuur 5). Alle koopdelen zijn herzien tijdens het tekenen. Een voorbeeld hiervan zijn de gaffels die gebruikt worden om de middelste stuurstang in te stellen (Figuur 6). In het prototype zaten in plaats van gaffels, twee kogelgewrichten die vrij prijzig waren. De gaffels kosten €9.97 (bruto) per Trigger en kogelgewrichten €22.16 (bruto) per trigger. Mogelijk zit er meer speling op de gaffels maar of dat een merkbaar verschil maakt zal een prototype moeten uitwijzen.

Nadat alles in 3D was uitgetekend zijn van alle onderdelen (inclusief koopdelen) werktekeningen gemaakt (Figuur 7, Figuur 8). Deze zijn nagekeken door de projectleider en worden na goedkeuring gemaakt.

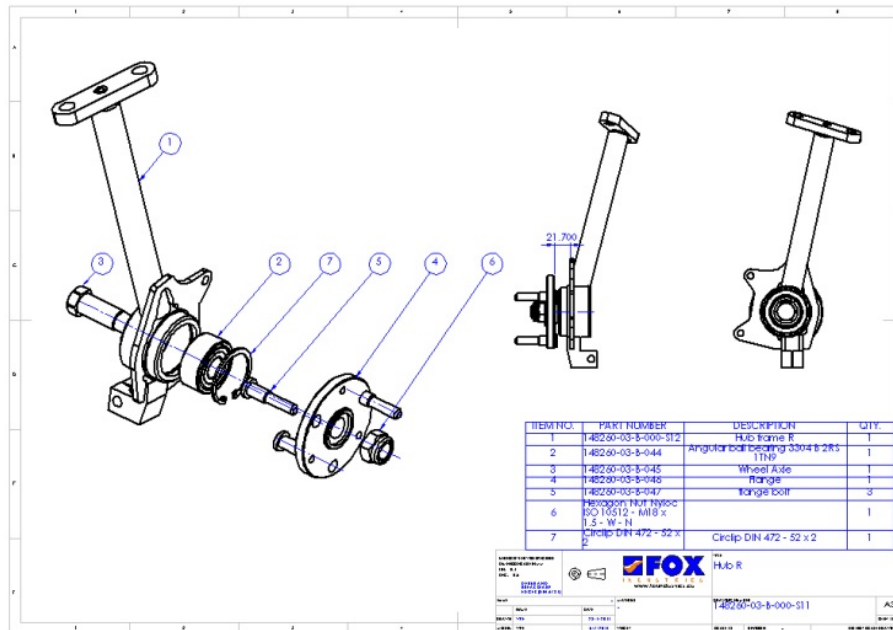


Figuur 5: Vereenvoudiging onderdeel

Figuur 6: Goedkoper koopdeel



Figuur 7: Stuurinrichting



Figuur 8: Flens

6.3. Bill of Materials (BOM)

Tijdens het uittekenen is een algemene BOM bijgehouden waarin alle onderdelen van de Trigger 2 zijn opgenomen. Hierin zijn zij ingedeeld in subsamenstellingen. Per item is aangegeven wat voor onderdeel het is (assemblage, lasgroep, koopdeel (leverancier + bestelnummer), constructie, draaien, frezen, (buis)lasersnijden enz.). Daarnaast is opgenomen uit welk materiaal het is gemaakt, de afzaagmaat en de behandeling. Omdat alle tekeningen in dezelfde map staan was het mogelijk binnen het bestand van de BOM verwijzingen op te stellen naar de tekeningen op basis van de tekeningnummers. Dit maakte het opzoeken en openen van tekeningen een stuk eenvoudiger. De projectmanager heeft het beheer over de BOM overgenomen om ook bestelstatus aan te kunnen geven. In bijlage 11.3 is een afbeelding van de (deels ingeklapte) BOM opgenomen.

7. Ergonomische analyse

Binnen het Trigger project is een ergonomisch onderzoek uitgevoerd naar de zithouding van de bestuurder van het voertuig. Het doel van dit onderzoek is het bepalen van een ergonomisch verantwoorde houding alsook het bepalen van gezichtsvelden.

7.1.Aannames

Antropometrische data die wordt gebruikt bij onderzoeken in de automobiel industrie is afkomstig van Amerikaanse burgers. Aangenomen wordt dat deze data ook toepasbaar is voor de Europese markt.

De antropometrische data is van toepassing op autobestuurders die een rond stuur hanteren. Aangenomen wordt dat deze data ook van toepassing is op het brommerstuur wat in de Trigger 2 wordt gebruikt (Moss, 2000).

7.2.Definities

AMVO: Anthropometry of Motor Vehicle Occupants; ofwel de antropometrie van motorvoertuigbestuurders.

AMVO-dummy: een model met realistische proporties van een gemiddeld menselijk lichaam. Binnen deze studie worden drie verschillende AMVO-dummy's gebruikt (ASPECT programma):

5p ♀: De kleine vrouw; vijf procent van de vrouwelijke bevolking van 16 jaar en ouder is kleiner dan deze dummy. Ter indicatie, de lengte van 5p ♀ is 1512mm (NHANES III)

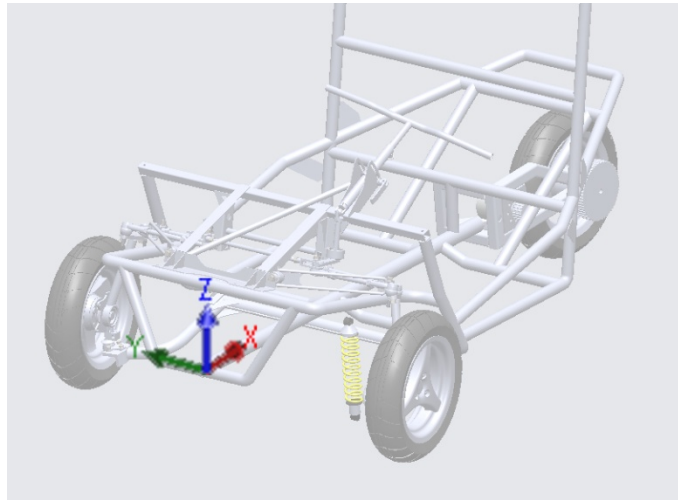
50p ♂: De normale man; vijftig procent van de mannelijke bevolking van 16 jaar en ouder is kleiner dan deze dummy (lengte: 1764mm).

95p ♂: De grote man; 5 procent van de mannelijke bevolking van 16 jaar en ouder is groter dan deze dummy (lengte: 1888mm).

Frankfort vlak: Het vlak wat wordt gedefinieerd door de onderste punt van de linker oogkas en de lijn tussen het hoogste punt van het linker en rechter oorgat. Een mens in staat van rust en balans, houdt dit vlak parallel aan de horizontaal.

Gewrichtshoek: De hoek die twee lichaamsdelen ten opzichte van elkaar maken.

Nulpunt: Het punt van waaruit globale punten in de hoofdsamenstelling gedefinieerd worden. Dit punt ligt op de ondersnijding tussen de centrale chassisbuis en de onderste ligger van de bumper. Figuur 9: Nulpunt en assenstelsel. Figuur 9 geeft weer waar het nulpunt ligt en wat de oriëntatie is van het assenstelsel.



Figuur 9: Nulpunt en assenstelsel.

Bestuurderspositie: De verzameling maten en hoeken die de volgende punten, hoeken en vlakken definiëren:

H-punt (Engels: H-point of hip-point): Het theoretische punt in het sagittale vlak waardoor de as loopt waarom het bovenlichaam ten opzichte van de benen draait.

R-punt (of SgRP): Het punt wat samenvalt met het H-punt op het moment dat de zitplaats in de uiterste stand staat gesteld, ter ondersteuning van de grootste populatie (Europees Parlement en Raad, 2006, pp 490). Dit punt valt samen met het H-punt van de 95p ♂ in de vaste stoelkuip.

Hielpunt: Punt waar de hak van de voet/schoen de bodemplaat raakt.

Zithoogte: De hoogte van het R-punt ten opzicht van het hielpunt.

Zithoek: De hoek tussen de mediaan van het bovenlichaam en de bovenbenen.

Rugleuninghoek: De hoek die de rugleuning maakt met de vertikaal.

Rugleuninglengte: De afstand tussen het R-punt en het bovenste deel van de rugleuning gemeten langs de rugleuninghoek.

Zittinghoek: De hoek die de zitting maakt met de horizontaal.

Zittinglengte: De afstand tussen het R-punt en het punt waar de benen geen contact meer maken met de zitting.

Voetsteunafstand: De afstand van het R-punt tot het hielpunt gemeten langs de horizontaal.

Voetsteunhoek: De hoek die de voetsteun maakt ten opzichte van de vertikaal.

7.3. Achtergrond

Productietechnisch is een niet-instelbare bestuurderspositie natuurlijk ideaal daar instelbaarheid complexiteit in productie en assemblage met zich mee brengt en slijtage- en onderhoudsgevoeliger is. Bovendien is de keuring van de RDW voor een instelbare stoel duurder omdat meerdere

gordeltests uitgevoerd moeten worden. De verwachting is dat minimaal een stuurinstelling vereist zal zijn om de doelgroep te kunnen accommoderen. Er wordt ook gestreefd naar een vooraf te vormen stoelkuip die geïntegreerd is in de carrosserie.

De bestuurderspositie heeft invloed op de locatie van het zwaartepunt van de Trigger, niet alleen de hoogte ervan maar ook hoever deze naar voren ligt. Dit is van belang voor het rijgedrag. Bij sportwagens ligt het zwaartepunt vaak dichterbij de achteras om onderstuur bij het aansnijden van bochten tegen te gaan en om meer grip te genereren bij het optrekken. Nadeel van het achterin plaatsen van de zitplaatsen is het verlies van bagageruimte. Omdat dit niet een sportwagen is maar een praktisch voertuig zal gekozen worden om de bestuurderspositie zo ver mogelijk naar voren te plaatsen.

7.4.Methode

Vanaf het H-punt wordt een dummy in het chassis gepositioneerd met lichaamsmaten van de 50p ♂. Deze dummy is een grof model met variabele gewrichtshoeken. Hieruit worden zithoogte, zithoek en voetsteunafstand bepaald. Zodra dit bekend is worden de AMVO dummy's van de 5p ♀, 50p ♂ en 95p ♂ in deze configuratie geplaatst. Dan wordt bepaald of de gewrichtshoeken dan nog acceptabel zijn, er geen fysieke interferenties zijn en de gezichtsvelden afdoende. Ontstaan hier conflicten, dan wordt voorgaande opnieuw uitgevoerd. Afmetingen van de stoel zijn buitenafmetingen van het zitvlak onder belasting. Zodra deze afmetingen bekend zijn zullen de kussens ontworpen worden die ondersteuning bieden op de plaatsen met de hoogste drukniveaus.

Het eerste deel van de analyse, het bepalen van de zithouding wordt uitgevoerd in het sagittale vlak. Daarna komt het ontwerp van de zitvlakken in 3D waarbij ook naar breedtematen wordt gekeken.

7.5.Resultaten

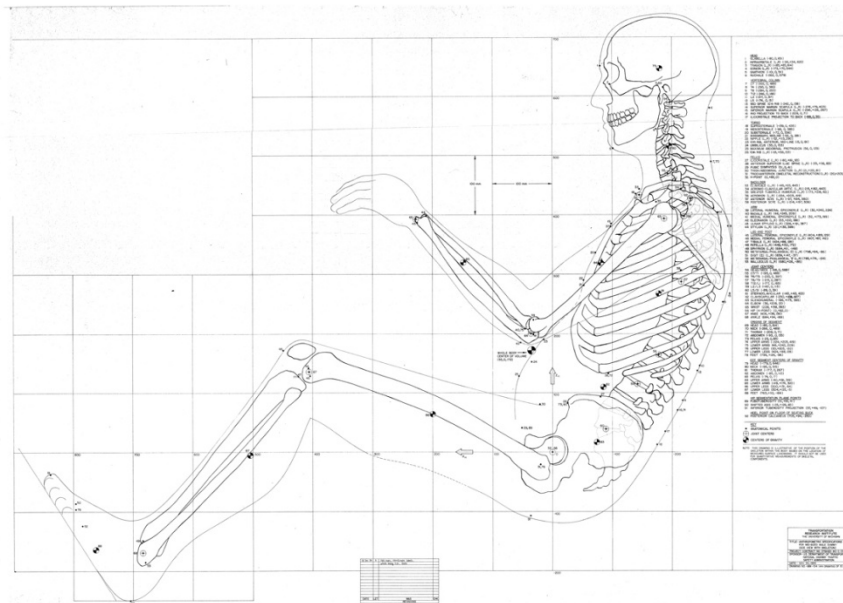
De hierna volgende paragrafen beschrijven welke bevindingen zijn gedaan naar aanleiding van het ergonomisch onderzoek.

7.5.1. Zitpositie

In Figuur 10 is de dummy te zien die met SolidWorks is gemaakt. Maten voor deze dummy zijn uit Figuur 11 afgeleid.



Figuur 10: Dummy met variabele gewrichtshoeken.



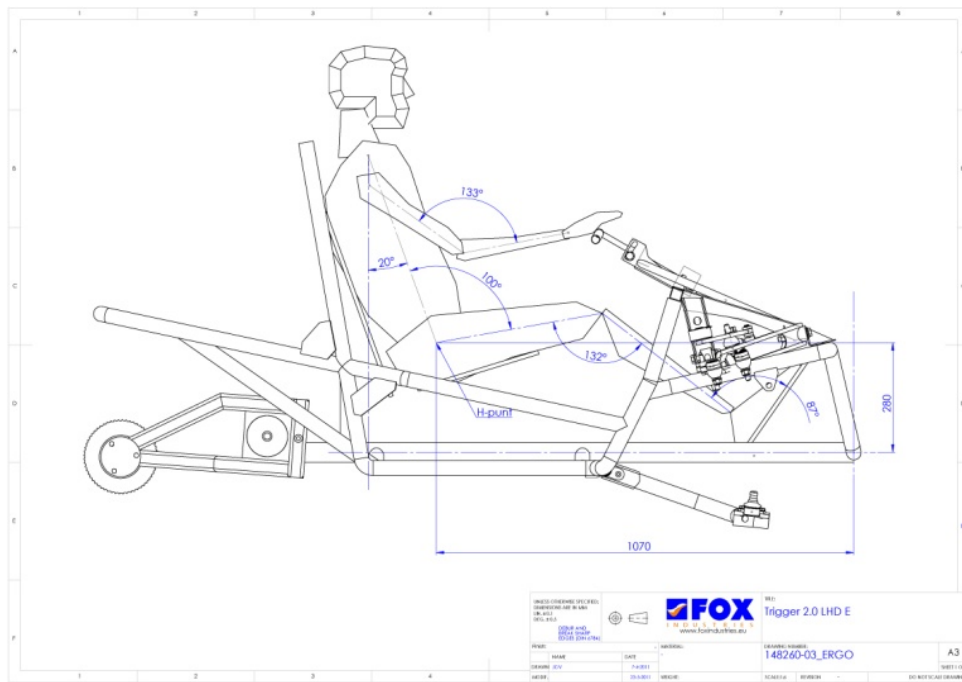
Figuur 11: Anthropometric specifications for mid-sized male dummy, Transportation Research Institute, The University of Michigan (1983)

De dummy is in de Trigger gepositioneerd waarbij de gewrichtshoeken niet buiten de in Tabel 1 gestelde grenswaarden mogen vallen. Deze grenswaarden definiëren het neutrale bereik van de belangrijkste gewrichten waarbij de gewrichtsspieren ongeveer op hun rustlengte zijn. Reed (2000) geeft deze waardes op basis van drie verschillende studies uit 1969, 1980 en 1998. De beschreven flexiebereiken zijn erg ruim en daarom zijn de waardes gecombineerd om de meest beperkende (en dus naar verwachting meest comfortabele) bereiken te vinden.

Gewricht	Gemeten vanaf	Type beweging	Bereik (°)
Rug (rugleuninghoek)	Z-as	-	20-30
Heup (zithoek)	-	Flexie/extensie	95-112
Knie	-	Flexie/extensie	110-130
Enkel	-	Plantairflexie/dorsaalflexie	90-105
Schouder	Rugleuninghoek	Anteflexie/retroflexie	20-40
Elleboog	-	Flexie/extensie	80-120

Tabel 1: Comfortabele gewrichtshoeken.

In Figuur 12 is zichtbaar hoe de dummy in het voertuig is gepositioneerd en dat de gewrichtshoeken (met uitzondering van de enkel) binnen de wenselijke marges vallen. In het chassis zijn drie vlakken geplaatst die de rugleuning, zitting en voetsteun representeren (Figuur 13). Hierin werden vervolgens de 5p ♀, 50p ♂ en 95p ♂ AMVO modellen geplaatst en gekeken of er onvoorziene conflicten zijn.



Figuur 12: Gepositioneerde dummy.



Figuur 13: voetsteun, zitvlak, rugleuning



Figuur 14: 5p ♀ vrouw in de zitpositie



Figuur 15: 50p ♂ man in de zitpositie



Figuur 16: 95p ♂ man in de zitpositie

In Figuur 14, Figuur 15 en Figuur 16 is te zien hoe de verschillende dummy's in de zitpositie passen. Zitpositie is zo gedefinieerd dat de grote man er net in past. Helaas kan hierdoor de kleine vrouw niet meer met de voeten bij de voetsteun en zal noodgedwongen de voeten op de (horizontale) bodemplaat plaatsen. Dit levert een ongewenste gewrichtshoek in de enkels op van 123°. In hoofdstuk 7.5.3.2 staat beschreven hoe dit probleem mogelijk opgelost kan worden.

De bestuurderspositie heeft de in Tabel 2 beschreven waardes aangenomen. Gemeten van het nulpunt.

	Waarde	(X;Y;Z)	∠
R-punt		(1050; -237; 280)	
Hielpunt		(290; -237; 0)	
Zittinghoek			17°
Rugleuninghoek			20°
Rugleuninglengte	410mm		
Zittinglengte	253mm		

Tabel 2

7.5.1.1. Rugleuninglengte

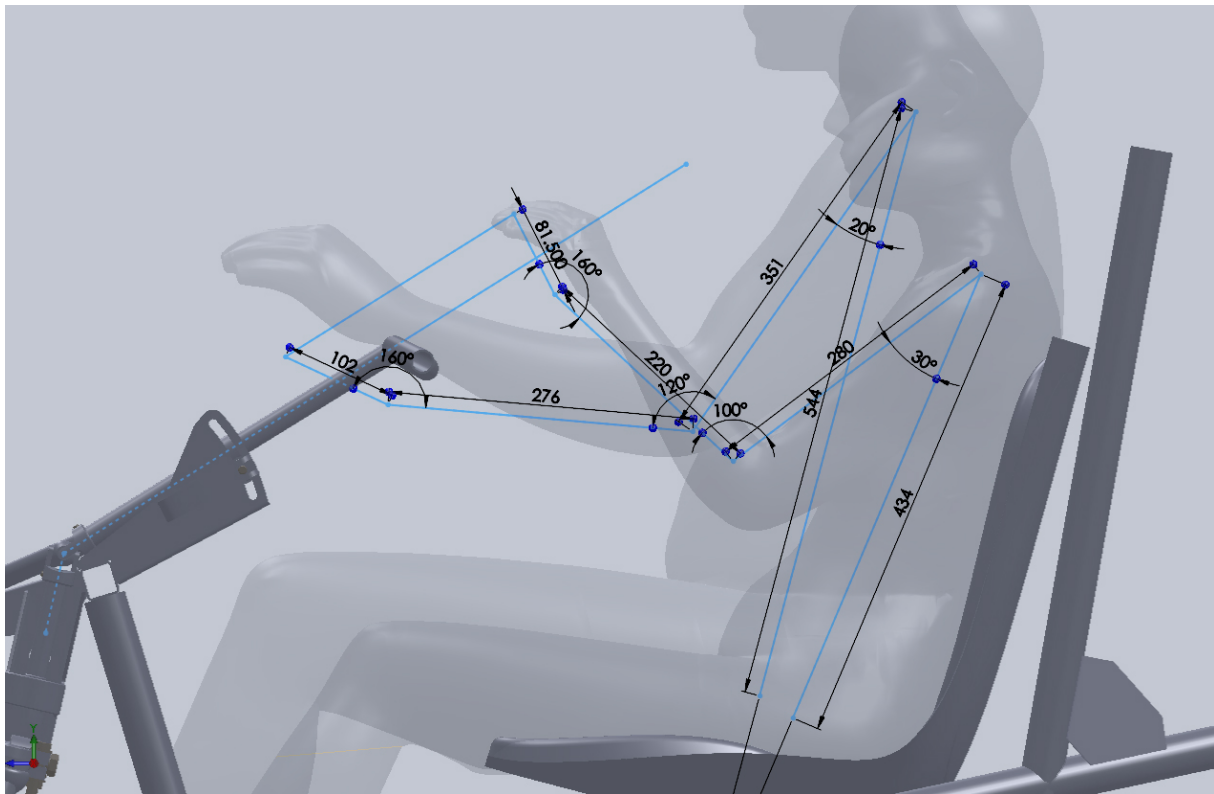
Het is belangrijk dat de rugleuninglengte goed gekozen wordt daar een goede ondersteuning van de rug essentieel is. De rugleuning kan om esthetische redenen echter niet te hoog worden gemaakt. Daarnaast moeten kleine bestuurders nog steeds over hun schouder achterom kunnen kijken. Volgens Reed (2000) moet de rugleuninglengte in ieder geval ondersteuning geven tot de okselhoogte van de 95p ♀ (318mm boven H-punt) omdat dat ongeveer het punt is waar het contact tussen de rug en rugleuning ophoudt in normale zithouding. De schouderhoogte van de 5p ♂ is 410mm boven het H-punt. Om zicht- en bewegingsbelemmering te voorkomen (ooghoogte van de 5p ♂ is 590mm boven H-punt) wordt dan ook een rugleuninglengte van 410-550mm geadviseerd. De rugleuninglengte in Trigger 2 is uit esthetisch oogpunt zo klein mogelijk gekozen.

7.5.1.2. Zittinglengte

Volgens Reed (2000) mag de zittinglengte niet groter zijn dan 305mm gemeten van het H-punt. Indien deze lengte groter genomen wordt, zullen kleine bestuurders last krijgen omdat een kussen in de knieholte als zeer onaangenaam wordt ervaren. Kleine bestuurders zullen tevens voorwaarts worden 'getrokken' waardoor steun in de (onder)rug afneemt. De zittinglengte is daarom ook hier zo klein mogelijk gekozen zonder onvoldoende steun te geven aan de 95p ♀.

7.5.2. Stuur

Tijdens het rijden in het prototype werd duidelijk dat het stuur vrij laag zit. Bij grote bestuurders komt het stuur dan ook tegen de bovenbenen aan bij grote stuuruitslagen. Daarnaast zit het stuur voor kleine bestuurders vrij veraf. Om te bepalen of een stuurinstelling nodig is, is gekeken wat een comfortabele stuurhouding van de armen is voor 5p ♀ en 95p ♂. Vrouwelijke autobestuurders zijn geneigd hun stoel dichter bij het stuur in te stellen dan mannen (Beusenberg, 2011). Voor de 5p ♀ is dus een relatief kleine gewrichtshoek van de elleboog gekozen. In Figuur 17 is weergegeven hoe de armen zijn gepositioneerd. Afmetingen zijn afkomstig uit NHANES III. De afstand tussen de pols en de ondersnijding met het stuur is de helft van de totale lengte van de hand genomen.



Figuur 17: Stuurpositiebepaling

Uit Figuur 17 blijkt dat een lineaire stuurverstelling in de diepte genoeg zou moeten zijn om de doelgroep te accommoderen.

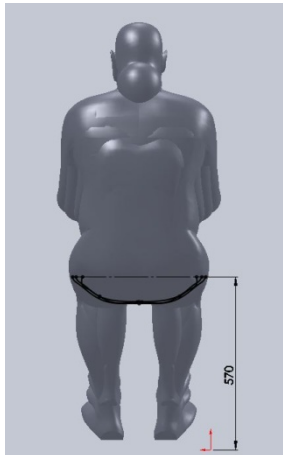
Omdat menselijke armen zoveel bewegingsvrijheid hebben is het onmogelijk om te zeggen dat dit de beste en enige oplossing is voor een stuurinstelling (zo is in Bijlage 11.2 een alternatieve bepaling van de stuurinstelling te zien die is gemaakt voordat bovengenoemd inzicht werd vergaard). Om deze reden en om te achterhalen wat productietechnisch de beste oplossing is, zijn zowel een hoogte als diepte instelling getest in het mock-up (Figuur 43). Meer hierover in hoofdstuk 7.5.5.

7.5.3. Vorm zitpositie

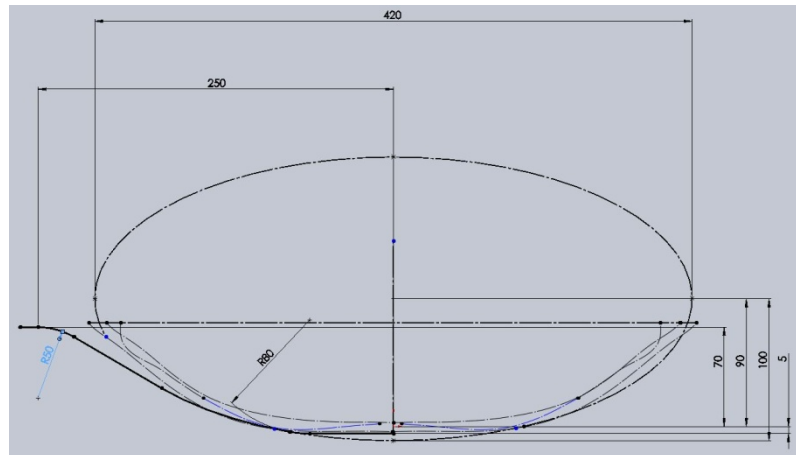
De Trigger is vooral gericht op de toeristische sector waarbij de wagen wordt gebruikt om attracties te bezichtigen. Het is dus van groot belang dat de inzittende(n) gemakkelijk om zich heen kunnen kijken. Bij de zitting zal dus veel ruimte zijn om de benen zijdelings te kunnen bewegen. Bij de rugleuning is het ook belangrijk dat de armen en bovenlichaam niet in de weg worden gezeten. Het is ook belangrijk dat de kracht goed wordt verdeeld dus een vorm die goed aansluit bij de contactvlakken tussen billen/onderrug en zitting.

7.5.3.1. Zitting

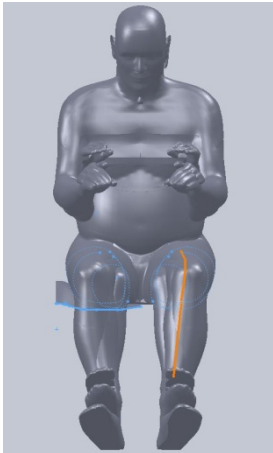
In Figuur 18 staan de doorsneden van het achterwerk ter hoogte van het R-punt van de 5p ♀, 50p ♂ en 95p ♂. In Figuur 19 is de het profiel van het zitvlak ter hoogte van het R-punt zichtbaar (dikke lijn). Ter hoogte van het H-punt wordt geadviseerd (Reed, 2000, pp 15) een breedte van minimaal 500mm aan te houden voor het zitvlak.



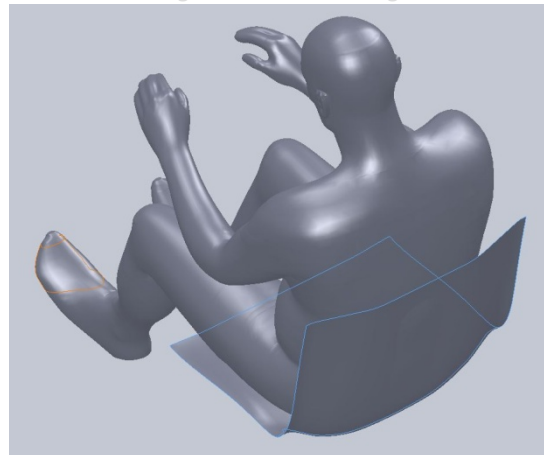
Figuur 18: Doorsnedes zitvlak



Figuur 19: Profiel zitting



Figuur 20: Doorsnedes benen

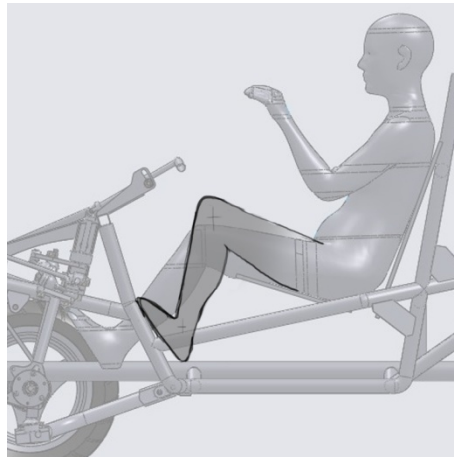


Figuur 21: Stoelkuip

Gebruikmakend van dezelfde methode is ook de rest van de zitting en rugleuning ontworpen zoals te zien in Figuur 21. Deze vorm is in hoofdstuk 7.5.3.4 gebruikt om de kussens vorm te geven. Dit is niet de vorm van de kunststof kuip waarin de kussens zijn gemonteerd.

7.5.3.2. Voetsteun

Zoals gezegd in alinea 7.5.1 ontstaat bij de 5p ♀ een conflict wanneer zij haar voeten op de voetsteun tracht te zetten. De bestuurder (en rijder) geneigd is met de voeten op zoek te gaan naar een oppervlak om zich tegen af te zetten om onderuitzakken tegen te gaan. Kleine bestuurders zullen dan ook de neiging hebben om de linker voet het spatbord te zetten. Dit levert echter gewrichtshoeken op die niet wenselijk zijn, zoals zichtbaar in Figuur 22. Daarnaast zal de kans ook groter worden dat het stuur tegen de bovenbenen komt.



Figuur 22: Kleine bestuurder met linker voet op spatbord

Er zijn twee mogelijkheden om dit probleem het hoofd te bieden zonder de stoel instelbaar te maken:

- Een in de diepte instelbare voetsteun
- Een welving in de bodemplaat waardoor de voetsteunafstand verschilt afhankelijk waar de bestuurder zijn voeten plaatst.

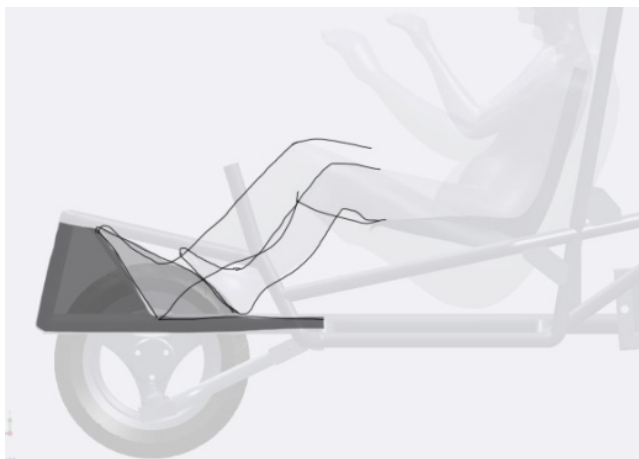
De eerste optie is bij voorbaat al door FOX afgekeurd omdat een instelling extra kosten meebrengt.

Een welving in de bodemplaat zou er zoals in Figuur 23 afgebeeld staat uit kunnen komen te zien. Mogelijke locaties voor de welvingen zijn in Figuur 24 weergegeven waarbij in:

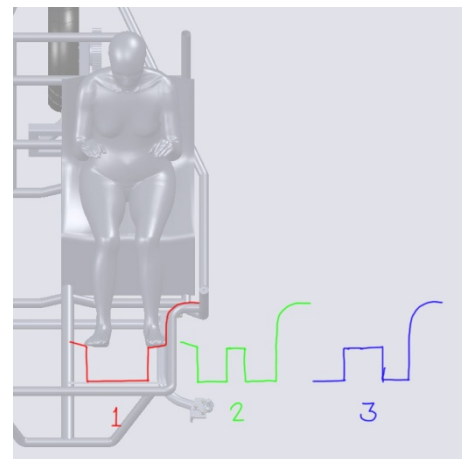
oplossing 1 de kleine populatie wijdbeens zit en de grote populatie de voeten vlak naast elkaar moet hebben.

oplossing 2 de voeten van zowel de grote als kleine populatie even ver uit elkaar staan.

oplossing 3 de grote populatie de benen verder uit elkaar heeft staan dan de kleine populatie.



Figuur 23: Welving bodemplaat



Figuur 24: Mogelijke posities welvingen

7.5.3.3. Hoofdsteun

Ten behoeve van de veiligheid is een hoofdsteun zeer wenselijk; hoewel niet verplicht voor dit type voertuig. Ook al kan de Trigger 2 niet sneller rijden dan 45 km/u, een aanrijding van achteren met

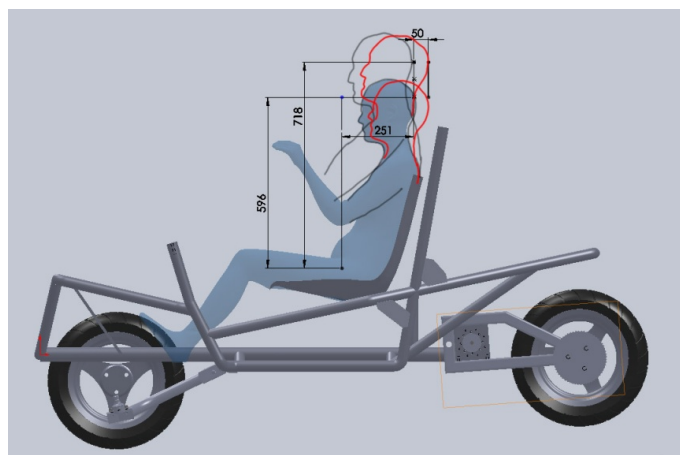
slechts 8 km/u is voldoende om serieus letsel aan zacht weefsel in de nek toe te brengen (Foreman, 2002). Om een whiplash tegen te gaan is het essentieel dat een hoofdsteun de juiste vorm heeft en ondersteuning biedt aan de hele doelgroep in geval van een aanrijding. Daarnaast moet de hoofdsteun het zicht van de bestuurder niet belemmeren.

Reed (2001) beschrijft hoe de positie van het achterste punt van het hoofd van de bestuurder gevonden kan worden. In zijn studie worden de dimensies bepaald met behulp van de zogenaamde seatback angle. Deze is in de nieuwe bestuurderspositie 23° (5p ♂ zit iets verder onderuitgezakt dan de 95p ♀) In Tabel 3 zijn de dimensies weergegeven die locaties van de hoofdsteun definiëren.

	Waardes (mm)
Gemiddelde X-positie	251
5p Z-positie	596
95p Z-positie	718

Tabel 3: Hoofdsteunpositie

Figuur 25 laat zien hoe de in Tabel 3 vermelde maten overeenkomen met de zitpositie en welke beweging het hoofd maakt tijdens een aanrijding.



Figuur 25: Hoofdsteun

Een hoofdsteun kan worden geïntegreerd in de stoelkuip. Dit wordt vaak toegepast in stoelen in sportwagens (Figuur 26). Voordeel van een dergelijke integratie is dat de stoel een sportief uiterlijk krijgt.

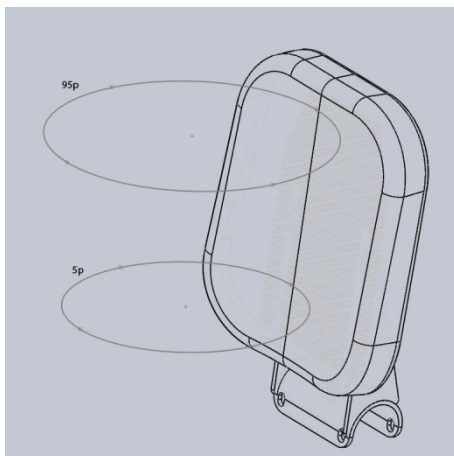


Figuur 26: Kuipstoel

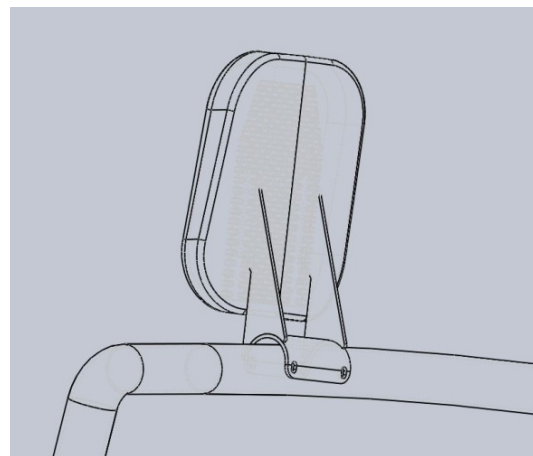
Voor de Trigger is het integreren van de hoofdsteun niet gewenst aangezien FOX de hoofdsteun graag als optie wil aanbieden.

De hoofdsteun is ontworpen door de doorsnede van het hoofd van de 5p ♀ en 95p ♂ in het transversale vlak te benaderen. De lengte/breedte van het hoofd (excl. oren) ligt tussen de 176/137 en de 208/161mm (ANSUR, 1988). De vorm die dit opleverde is te zien in Figuur 27.

In Figuur 28 is de bevestigingsconstructie te zien. Bij de productie zal schuim om een geperforeerde staalplaat worden gespoten die als inzetstuk fungeert. Aan dit inzetstuk is dan al de rest van de beugel vast gelast die vervolgens op de bovenste dwarsbalk bevestigd kan worden.



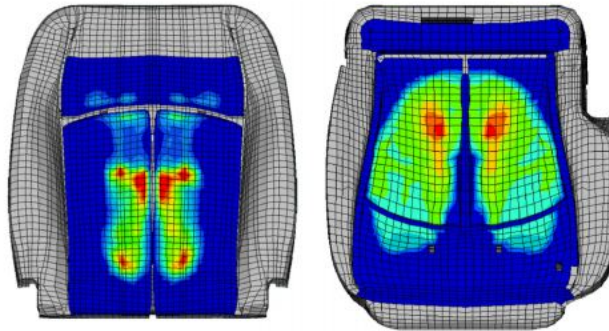
Figuur 27: Hoofdsteun



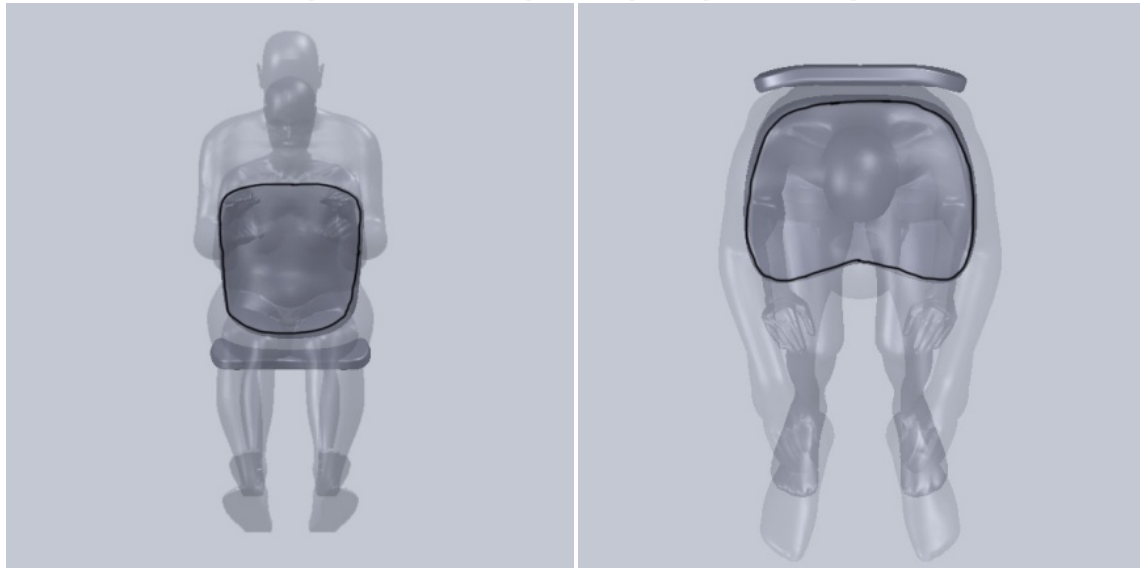
Figuur 28: Hoofdsteun met beugel

7.5.3.4. Kussens

In Figuur 29 is de drukverdeling van een 50p ♀ op een doorsnee autostoel (Siefert, 2007) te zien. De kussens in de Trigger 2 zijn zo ontworpen (Figuur 30) dat ze deze drukk niveaus goed kunnen opvangen. Middels het mock-up zal bepaald moeten worden of deze kussens ook daadwerkelijk voor langere tijd comfort bieden. De vleugels die in autostoelen gebruikelijk zijn, zijn weggelaten om zo veel mogelijk bewegingsvrijheid te garanderen. Helaas wordt hier ondersteuning mee ingeleverd bij het nemen van bochten.



Figuur 29: Drukverdeling (links: rugleuning, rechts: zitting)



Figuur 30: Vorm kussens op basis van drukverdeling

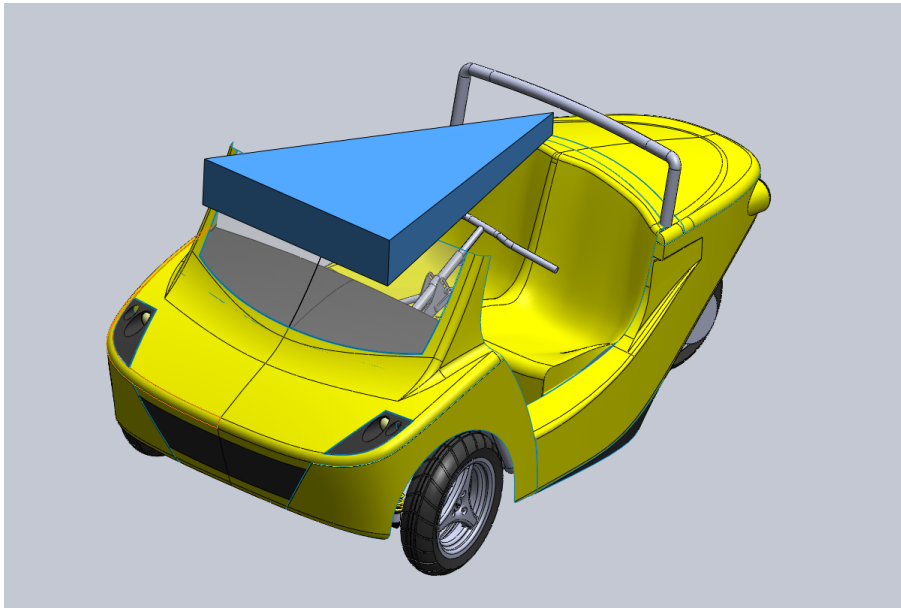
De kussens worden gemaakt van 30mm dik polyetheen schuim (PE) met een dunne laag polyurea om de kussens weerbestendig te maken. Het PE schuim zal worden bevestigd op polyester schalen waar draadeind al bij in gelamineerd is. Deze kunnen zo aan de stoelkuip worden vastgeschroefd.

7.5.4. Gezichtsvelden

Een deel van de opdracht was om te kijken of de (wettelijk vereiste) gezichtsvelden niet worden belemmerd door carrosseriedelen.

7.5.4.1. Voorruit

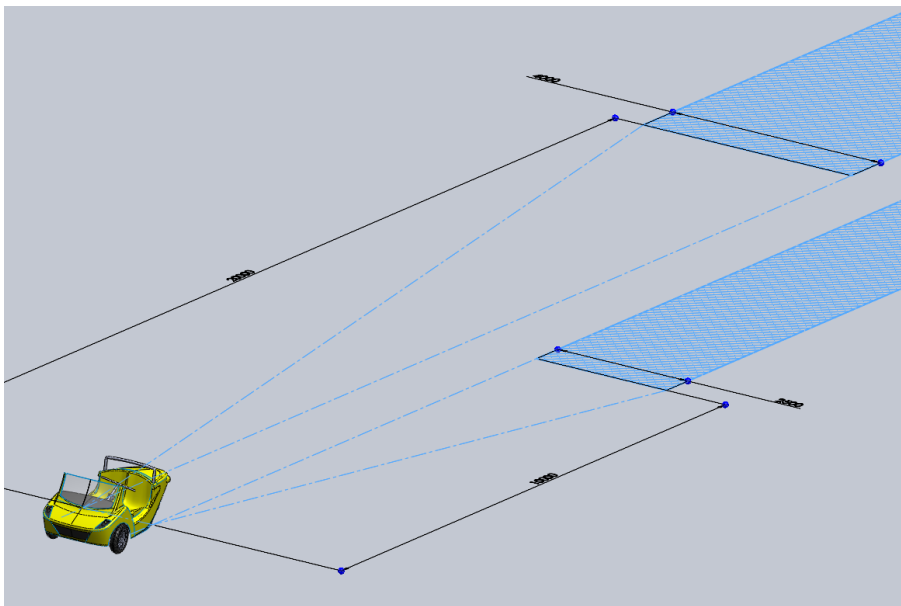
Zoals te zien in Figuur 31 wordt het gezichtsveld wat wordt gespecificeerd in richtlijn 97-24-EG (blauw) niet belemmerd door de carrosserie van de Trigger 2.1. Dit gezichtsveld wordt bepaald aan de hand van twee punten die gerefereerd zijn aan het R-punt. Vanuit die punten worden een viertal vlakken gedefinieerd die samen het gezichtsveld vormen. Het gezichtsveld doorkruist de voorruit niet. Bij de Trigger 2.2 zal dit wel het geval zijn en is bovendien een dak aanwezig waardoor ruitenwissers en ontwaseming gewenst en zelfs verplicht worden. Van de 2.2 was op het moment van schrijven de vormgeving niet bekend maar als de raamlijnen doorlopen in dezelfde lijn als het ontwerp van de Trigger 2.1 zal het gezichtsveld niet worden belemmerd door de raamlijsten.



Figuur 31: Wettelijk vereiste gezichtsveld

7.5.4.2. Spiegels

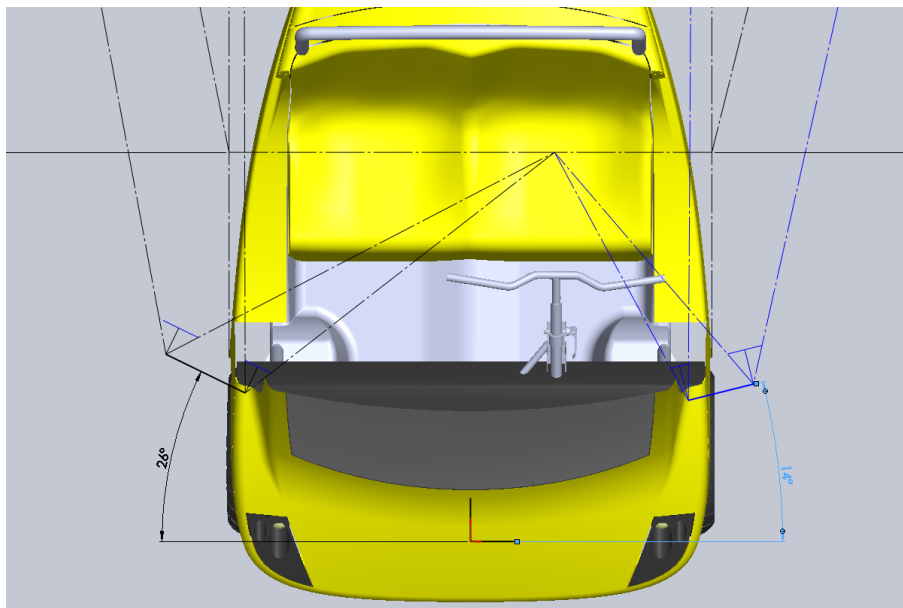
In de Trigger is geen binnenspiegel opgenomen, hierdoor zijn twee buitenspiegels verplicht. De richtlijn specificeert dat links (LHD) van het voertuig gemeten vanaf het uiterste langsvlak een deel van de ondergrond van 2m breed op een afstand van 10m zichtbaar moet zijn via de linker spiegel. Rechts (LHD) van het voertuig is dit deel 4m breed op een afstand van 20m. De gezichtsvelden die deze spiegels moeten bieden zijn zichtbaar in Figuur 32 (blauw).



Figuur 32: Wettelijk vereiste gezichtsvelden buitenspiegels

Figuur 33 laat zien onder welke hoek de spiegels kunnen komen te staan om bovengenoemde gezichtsvelden te kunnen zien. Het spiegelend oppervlak is erg groot vergeleken met bestaande buitenspiegels. Dit is logisch aangezien buitenspiegels (met name die aan de passagiers kant) iets convex worden gemaakt waardoor met een kleiner oppervlak een grotere kijkhoek verkregen kan worden. Met slechts een hele kleine bolling ($r = 1800\text{mm}$) wordt het oppervlak al gehalveerd (bij

gelijk blijvende hoogte). De carrosserie zal geen belemmering zijn voor het plaatsen van de spiegels indien zij worden geplaatst op de in Figuur 33 voorgestelde positie



Figuur 33: Vlakke spiegels

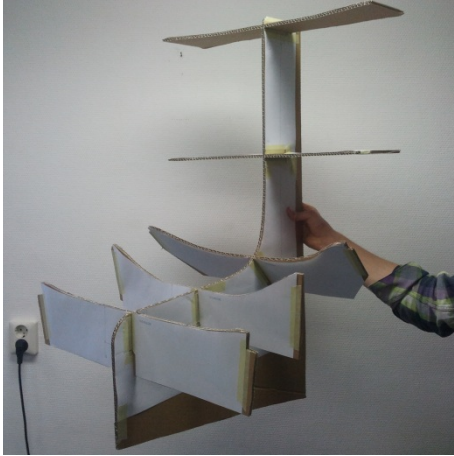
7.5.5. Mock-up

De bovenbeschreven zitpositie is getest middels een mock-up. Hierbij was van belang dat de stoelvorm zo goed mogelijk benaderd werd alsmede de stuurpositie, R-punt en hielpunt volgens tekening werden opgebouwd. Daarom is er een stoelkuip gemaakt met kussens. Deze is geplaatst in een prototype chassis. Ook is een voetsteun in het mock-up geplaatst. Hierin hebben een aantal personen plaats genomen die respectievelijk de lichaamsmaten van de 5p ♀ en 95p ♂ benaderden.

7.5.5.1. Stoelkuip

Van de zitpositie is een mock-up gemaakt. Hierbij is eerst een polyester kuip gemaakt. Er was een mal beschikbaar (Figuur 35) die voor een andere zitkuip was gebruikt die is bewerkt om naar de gewenste vorm te werken. De gewenste vorm is m.b.v. een kartonnen mal (Figuur 34) uitgezet. Zoals te zien was de originele mal te smal en had een andere zithoek. Door gebruik te maken van polyester schuim en plamuur is de mal naar de nieuwe kuip gevormd (Figuur 36). Deze mal is ingesmeerd met lossingswas en polyvinyl alcohol (PVA) ter preventie van het hechten van het product aan de mal. Hierna is een gepigmenteerde laag, gelcoat, over de mal gespoten (Figuur 37) en vervolgens gelamineerd met glasvezel en polyesterhars (Figuur 38). Dit leverde een stoelkuip op die later eventueel kon worden gebruikt om een nieuwe mal te maken (Figuur 39).

Daarna is, om de kussens verzonken in de zitvorm te kunnen plaatsen, een verdieping in de kuip (extrusie op de mal) gemaakt van 10mm (Figuur 40). Hier is op dezelfde manier een product vanaf gehaald en in het chassis geplaatst (Figuur 44).



Figuur 34: Kartonnen mal



Figuur 35: Originele mal



Figuur 36: Nieuwe mal



Figuur 37: Gelcoat spuiten



Figuur 38: Laminaat



Figuur 39: Afgewerkte stoelkuip



Figuur 40: Extrusie op de mal



Figuur 41: Aftekenen kussens



Figuur 42: Detailopname kussens



Figuur 43: Detailopname stuurverstelling



Figuur 44: Complete mock-up

7.5.5.2. Kussens

In de stoelkuip zijn een tweetal kussens geplaatst. Deze kussens zijn gesneden naar de vorm die in paragraaf 7.5.3.4 is beschreven en zijn gemaakt van 30mm dik polypress (vlokkenschuim bestaande uit vermalen snijrestanten polyether en koudschuim) met een dichtheid van 120 kg/m³ (Wolbink, 2011). Deze zijn in de verdieping van de stoelkuip bevestigd (Figuur 42).

7.5.5.3. Stuur

Een deel van de stuurinrichting is al voor het mock-up opgebouwd. Hierbij is de hoogte-instelling mogelijk gemaakt middels het inklemmen van het stuurlager. Hierop is een vleugelmoer gedraaid om met de hand de hoogte te kunnen instellen. De diepte-instelling is ook volgens tekening gemaakt met uitzondering van de instelknop. Voor het mock-up is een aluminium knop gedraaid waarmee een stelbout los en vast gedraaid kan worden.

7.5.6. Gebruikerstest

Met het mock-up is een gebruikerstest uitgevoerd. Er waren een drietal vragen die overbleven na de ergonomische analyse:

1. Is de zitvorm comfortabel vormgegeven?
2. Kan worden volstaan met (g)een enkele stuurverstelling?
3. Biedt de voetsteun ook steun voor kleine personen?

Om deze vragen te beantwoorden is een gebruikerstest uitgevoerd. Deze test is kleinschalig uitgevoerd omdat er zeer weinig tijd voor was. Uiteindelijk hebben een zestal personen met verschillende lichaamsbouw in het mock-up plaatsgenomen (Bijlage 11.4). De lichaamslengte varieerde van 164cm tot 191cm en het lichaamsgewicht varieerde 49kg tot 93kg. Helaas is het niet gelukt een proefpersoon te vinden die kleiner is dan 164cm. De lichaamslengte van de 5p ♀ is namelijk 1512mm en een proefpersoon met die lengte zou beter illustreren waar het ontwerp tekort schiet.

7.5.6.1. Methode

Om vast te stellen of er geen, één of twee stuurinstellingen nodig zijn om de hele doelgroep te accommoderen is bij elke proefpersoon het stuur in eerste instantie in de hoogte vastgezet zodat enkel een diepte-instelling mogelijk was. Die positie is vervolgens gefotografeerd. Daarna werd het stuur in de diepte vastgezet zodat enkel een hoogte-instelling mogelijk was. Ook die positie werd gefotografeerd. Daarna werden beide instelling vrijgegeven. Tevens werd aan mensen gevraagd waarbij de gewrichtshoek van de knie te groot (>130°) werd om tijdens de test voor de instelling van het stuur de voeten op de horizontale bodemplaat te zetten. Dit was vooral het geval bij mensen met een kleine lichaamslengte. Na die test werd gevraagd om de voeten in de positie te brengen waar zij de voetsteun zouden willen hebben voor voldoende steun. Ook dat is gefotografeerd.

Proefpersoon	Lichaams-lengte	Lichaams-gewicht	Voorkeur instelling	Opmerkingen
1	164	49	Diepte	Comfortabele stoel; beter dan de vorige
2	168	70	Diepte	Lekker zittende stoel
3	178	90	Diepte	Lekker zittende stoel, goede

				ondersteuning rug
4	186	93	Hoogte	Goed comfort, genoeg steun
5	190	80	Hoogte	
6	191	71	Hoogte	

Tabel 4: Bevindingen gebruikerstest

7.5.6.2. Bevindingen

Tabel 4 geeft de bevindingen weer van de gebruikerstest. Opmerkelijk is dat de voorkeur voor de stuurinstelling afhankelijk lijkt te zijn van de lichaamslengte. Een verklaring hiervoor is dat lange mensen het liefst het stuur ver van hun bovenbenen willen en dat kleine mensen Het stuur vooral dichtbij willen. Dit lijkt de aanname te bevestigen die gedaan is in paragraaf 7.5.2. Die stelde dat vrouwen, vaak kleiner dan mannen, liever het stuur dicht bij de borst instellen.

De vorm van de stoelkuip en kussens wordt unaniem als comfortabel bestempeld.



Figuur 45: Hieelpunt kleine mensen

Figuur 45 illustreert hoe ver de voetsteun voor kleine mensen naar voren verplaatst dient te worden voor comfortabele ondersteuning. De oplossingen aangedragen in paragraaf 7.5.3.2 lijken hier zeker van toegevoegde waarde.

7.6. Aanbevelingen

Hoewel het gebruiksonderzoek een positieve uitslag gaf over het comfort wat de zitpositie biedt kan nog niet met zekerheid worden gezegd of dit comfort ook verzekerd is onder dynamische omstandigheden. Daarom wordt aanbevolen om het mock-up met een complete stuurinrichting uit te rusten en een aandrijving toe te voegen om de zitvorm ook rijdend te kunnen testen. Dan zal met name gekeken moeten worden of de kussens genoeg steun geven bij het nemen van bochten en of de zitpositie ook gehandhaafd kan worden bij het afremmen.

Er was geen tijd meer om te testen hoe een welving (zoals beschreven in paragraaf 7.5.3.2) er uit zou moeten komen te zien. Puur uit esthetisch oogpunt wordt daarom oplossing 1 aanbevolen. Dit verdient echter nader onderzoek omdat uit de test al wel bleek dat het op de bodemplaat laten rusten van de voeten voor kleine mensen niet aangenaam is. Als kleine mensen toch hun voeten op de voetsteun laten rusten nemen zij automatisch een onderuitgezakte houding aan. Hier is de zitvorm niet voor ontworpen en dit is dus ook niet wenselijk.

Het gebruiksonderzoek geeft aan dat vooral lange mensen een stuurinstelling in de hoogte wenselijk vinden en kleine mensen juist een diepte-instelling prefereren. Mocht FOX ervoor kiezen een instelling te maken wordt een instelling in twee richtingen aanbevolen. Er is een gevaar bij de diepte-instelling dat het stuur losschiet als de stelknop helemaal wordt losgedraaid (of lostrilt). In het eindproduct moet dan ook (bijv. middels een spie) worden voorkomen dat dit kan gebeuren.

8. Overige activiteiten bij FOX

Buiten de ergonomische analyse en de package om zijn er nog andere activiteiten uitgevoerd binnen FOX. Deze activiteiten waren niet noodzakelijk om de opdracht te kunnen uitvoeren maar hebben wel bijgedragen aan een grotere werkervaring.

8.1.Ontwerp wielen

Omdat de Trigger twee wielen voor heeft worden deze wielen niet meer ingesloten door een voorvork; zoals bij een scooter. Ze worden dus opgehangen zoals dat bij auto's. 12" autowielen zijn echter niet gebruikelijk. Hierom wilde FOX een zelf ontworpen wiel gaan gebruiken. Tussen de bedrijven door zijn een aantal wielen ontworpen die in Figuur 46 te zien zijn.



Figuur 46: Drie-, vijf-, en zes-spaaks velgen

De twee ontwerpen die vooraan zijn afgebeeld, zijn op een schaal van 1:2 gefreesd om op vorm te beoordelen. Uiteindelijk zal één van deze twee ontwerpen worden gegoten en massaal worden geproduceerd.



Figuur 47: Vijf- en drie-spaaks velgen (de imperfecties op de vijf-spaaks zijn ontstaan door een te grote stapgrote bij het frezen op de CNC freesmachine)

8.2.Metaalbewerking

Een grote aanpassing in het chassis ten opzichte van het prototype wat er al stond was het omzetten van in het frame gebruikte kokerprofiel naar buisprofiel. Daarnaast worden bijna alle delen van het basisframe gebogen en buis lasergesneden. Bij de eerste levering van de gebogen delen bleken

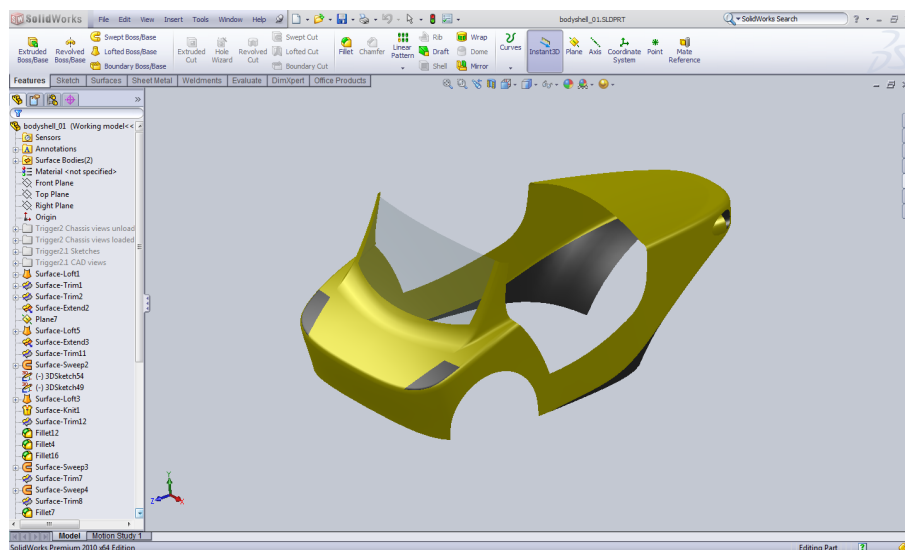
sommige onderdelen niet (zoals op tekening stond) uit één stuk buis gemaakt te zijn omdat opgegeven radii niet gehaald konden worden. Bij het monteren van het frame moesten veel geleverde delen nog op maat geslepen en gefreesd worden. In samenwerking met een collega (W. Vos) is het eerste basisframe in elkaar gelast. Dit frame is gebruikt om de mock-up van de zitpositie in op te hangen.



Figuur 48: Basisframe chassis

8.3. Teken carrosserie

Medestudent Veurink had bij het beginnen van de opdracht minder ervaring met het tekenen van dubbel gekromde oppervlakken in SolidWorks. Toen de vorm van de carrosserie zo goed als getekend was is het model nogmaals opgebouwd voor betere continuïteit in kromming en makkelijker aan te passen features (Figuur 49).



Figuur 49: Model carrosserie

9. Concluderend

In dit verslag heb ik geprobeerd te laten zien waarom het belangrijk is in voertuigontwerp rekening te houden met de invloed van stakeholders op de package. Er zijn een aantal voorbeelden aan de orde gekomen waaruit dit blijkt. Daarnaast is een ergonomisch onderzoek uitgevoerd naar de zitpositie van de bestuurder. Dit onderzoek heeft een ontwerp opgeleverd wat invloed heeft gehad op het ontwerp van het voertuig maar wat tevens werd gelimiteerd door randvoorwaarden gesteld door andere stakeholders. Zo was het ontwerp voor het chassis al klaar voordat het onderzoek begon. Dit limiteerde de ontwerpruimte.

Het opstellen van de BOM is een goede manier geweest om de structuur van het product in kaart te brengen. De BOM laat helaas niet zien hoe de componenten onderling invloed op elkaar hebben. Zo heeft bijvoorbeeld het verplaatsen van de brandstoftank niet alleen invloed op de locatie van de benzinedop en de gewichtsverdeling maar ook op het wel of niet nodig hebben van een brandstofpomp. Dat het expliciet maken van deze interfaces een ontwerptraject kan verkorten is duidelijk. Ik heb dit geprobeerd te doen door middel van een functieanalyse maar merkte dat daarbij voorbij wordt gegaan aan belangrijke, minder concrete invloeden. Hoe deze abstracte invloeden toch in het ontwerpproces opgenomen kunnen worden verdient dan ook nader onderzoek.

10. Referenties

Army Anthropometry Survey, (1988), U.S. Army

ASPECT, Automotive Seat and Package Evaluation and Comparison Tool programma, (1999), University of Michigan Transportation Research Institute

Beusenberg, C. M., (2011), Twente University, Enschede

Catalano, C.E., Giannini, F., Monti, M., Ucelli, G., (2007), *A framework for the automatic annotation of car aesthetics*, Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing, Cambridge University

Dahmus, J. B., Gonzalez-Zugasti, J. P., Otto, K. N., (2001), *Modular product architecture*, Design Studies Vol 22 No. 5

Europees Parlement en Raad, (2006), Richtlijn 97-24-EG betreffende bepaalde onderdelen of eigenschappen van motorvoertuigen op twee of drie wielen

Foreman, S. M., Croft, A. C., (2002), *Whiplash Injuries*, Lippincott Williams & Wilkins, (pp 79)

Maertens, D., (1993), *Seat comfort*, Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, Inc., Seat System Comfort and Safety, (pp. 1-5)

Moss, S., Wang, Z., Salloum, M., Reed, M., Ratingen van, M., Cesari, D., Scherer, R., Uchimura, T., Beusenberg, M., (2000) *Anthropometry for WorldSID, A World-Harmonized Midsize Male Side Impact Crash Dummy*, Gov./Ind. Meeting, Washinton DC, June 2000, SAE paper: 2000-01-2202,

NHANES III, Natioan Health and Nutrition Examination Survey III, (2003-2006), Centers for Desease Control and Prevention, United States of America

Otto, K.H., (2005), *Modular product platform design*, Helsinki University of Technology

Rechtin, E., (1992), *The Art of Systems Architecting*, University of Southern California

Reed, M.P., (2000), Survey of Auto Seat Design Recommendations for Improved Comfort, University of Michigan

Reed, M.P., (2001), Modeling Vehicle Occupant Head and Head Restraint Positions, University of Michigan

Siefert, A., Pankoke, S., Wölfel H.-P., (2007), *Virtual Optimisation of Car Passenger Seats: Simulation of Static and Dynamic Effects on Drivers' Seating Comfort*, International Journal of Industrial Ergonomics, Vol 38 – 5-6, (pp. 410-424)

Stone, R. B., (2000), *A heuristic method for identifying modules for product architectures*, Elsevier, Design Studies Vol 21 – 1 (pp 5-31)

Wagenaar, H.E., (2010), *Design of the new Trigger scooter*, Technische Universiteit Delft

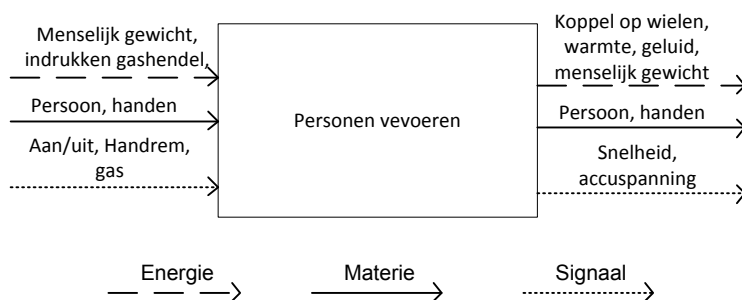
Wolbink, R., (2011), VIKING Seats, Dedemsvaart (27-07-2011)

11. Bijlagen

11.1. Functieanalyse

11.1.1. Black box model

Figuur 50 geeft de hoofdfunctie van de Trigger weer samen met de stromen van energie, materie en signalen.



Figuur 50: Black box model

11.1.2. Functieketens

Dahmus (2001) pleit er voor om voor elk lid in de productfamilie opnieuw alle functieketens op te stellen. Hoewel dit een goede methode is om diversiteit in de familie op te vangen is het voor de Trigger overbodig omdat gedeelde functies tussen de modellen heel duidelijk zijn. Daarom zijn alle ketens voor de Trigger 2.0 opgesteld en daarna alleen de ketens die daarbij komen voor de 2.1 en 2.2.

De hoofdfunctie van de Trigger 2 kan worden opgedeeld in deelfuncties die van toepassing kunnen zijn op de 6 varianten (Tabel 5). Of het een LHD of RHD betreft laten we hier buiten beschouwing omdat de verschillen hier functioneel gezien verwaarloosbaar zijn.

Deelfunctie	Trigger 2.0E	Trigger 2.0F	Trigger 2.1E	Trigger 2.1F	Trigger 2.2E	Trigger 2.2F
1. Personen (en bagage) vervoeren	x	x	x	x	x	x
1.1. Trigger inschakelen	x	x	x	x	x	x
1.2. Trigger aandrijven	x	x	x	x	x	x
1.2.1. Aandrijven dmv brandstofmotor		x		x		x
1.2.1.1. Warmteontwikkeling (wrijving) reduceren		x		x		x
1.2.2. Aandrijven dmv electromotor	x		x		x	
1.2.2.1. Warmteontwikkeling reduceren	x		x		x	
1.2.3. Afremmen	x	x	x	x	x	x
1.2.3.1. Afremmen dmv schijfremmen	x	x	x	x	x	x
1.2.3.2. Afremmen dmv electromotor	x		x		x	
1.2.4. Accu laden	x	x	x	x	x	x
1.3. Trigger van richting veranderen	x	x	x	x	x	x

1.4. Bestuurder en bijrijder in positie houden	x	x	x	x	x	x
1.5. Bestuurder informeren	x	x	x	x	x	x
1.5.1. Snelheidsindicatie	x	x	x	x	x	x
1.5.2. Brandstofindicatie		x		x		x
1.5.3. Indicatie acculading	x		x		x	
1.5.4. Verlichtingsindicatie	x	x	x	x	x	x
1.5.5. Signaleringsindicatie	x	x	x	x	x	x
1.5.6. Indicatie remolie	x	x	x	x	x	x
1.6. Bestuurder beschermen tegen weersinvloeden					x	x
1.6.1. Verwijderen regen voorruit					x	x
1.7. Bagage in positie houden	x	x	x	x	x	x
2. Veiligheid inzittenden en omgeving waarborgen	x	x	x	x	x	x
2.1. Zithouding accommoderen	x	x	x	x	x	x
2.2. Positie kenbaar maken dmv verlichting en reflectoren	x	x	x	x	x	x
2.3. Omgeving verlichten	x	x	x	x	x	x
2.4. Richtingsignalering	x	x	x	x	x	x
2.5. Remlichten aansturen	x	x	x	x	x	x
2.6. Auditief waarschuwen omgeving	x	x	x	x	x	x
2.7. Trigger afremmen dmv handrem	x	x	x	x	x	x
2.8. Hoofd afremmen bij plotselinge versnelling (achterwaardse aanrijding)*	x	x	x	x	x	x
3. Trigger aan wet- en regelgeving laten voldoen	x	x	x	x	x	x
3.1. Stuur blokkeren wanneer uitgeschakeld	x	x	x	x	x	x
3.2. Verlichten nummerbord	x	x	x	x	x	x
4. Mogelijkheid bieden voor onderhoud	x	x	x	x	x	x
4.1. Brandstof tanken		x		x		x

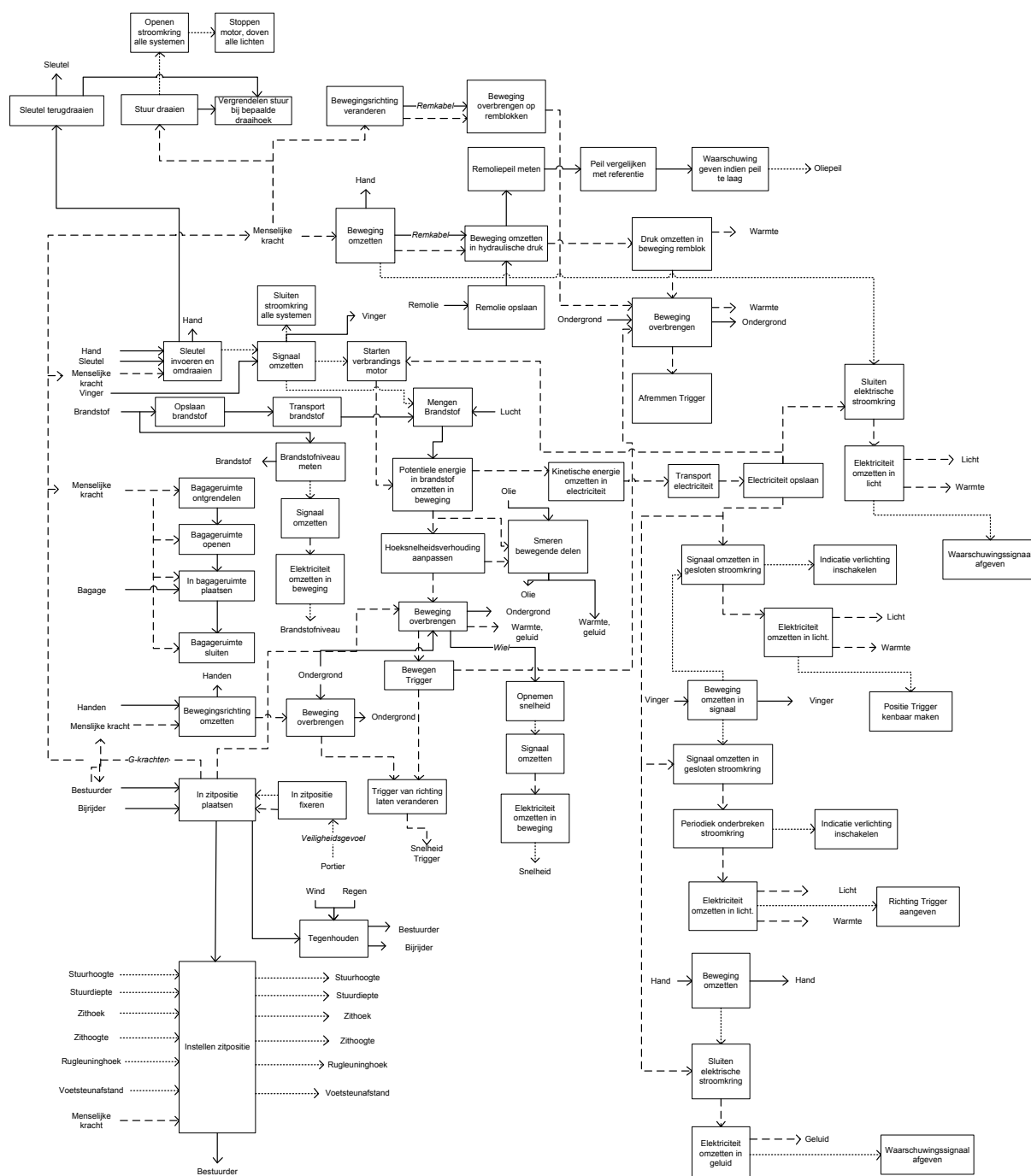
Tabel 5: Functionele decompositie. *optionele functie

In **Tabel 5** is zichtbaar dat de verschillende Trigger modellen functioneel gezien heel weinig van elkaar verschillen. Hierdoor zullen zij veel gemeenschappelijke modules moeten kunnen hebben.

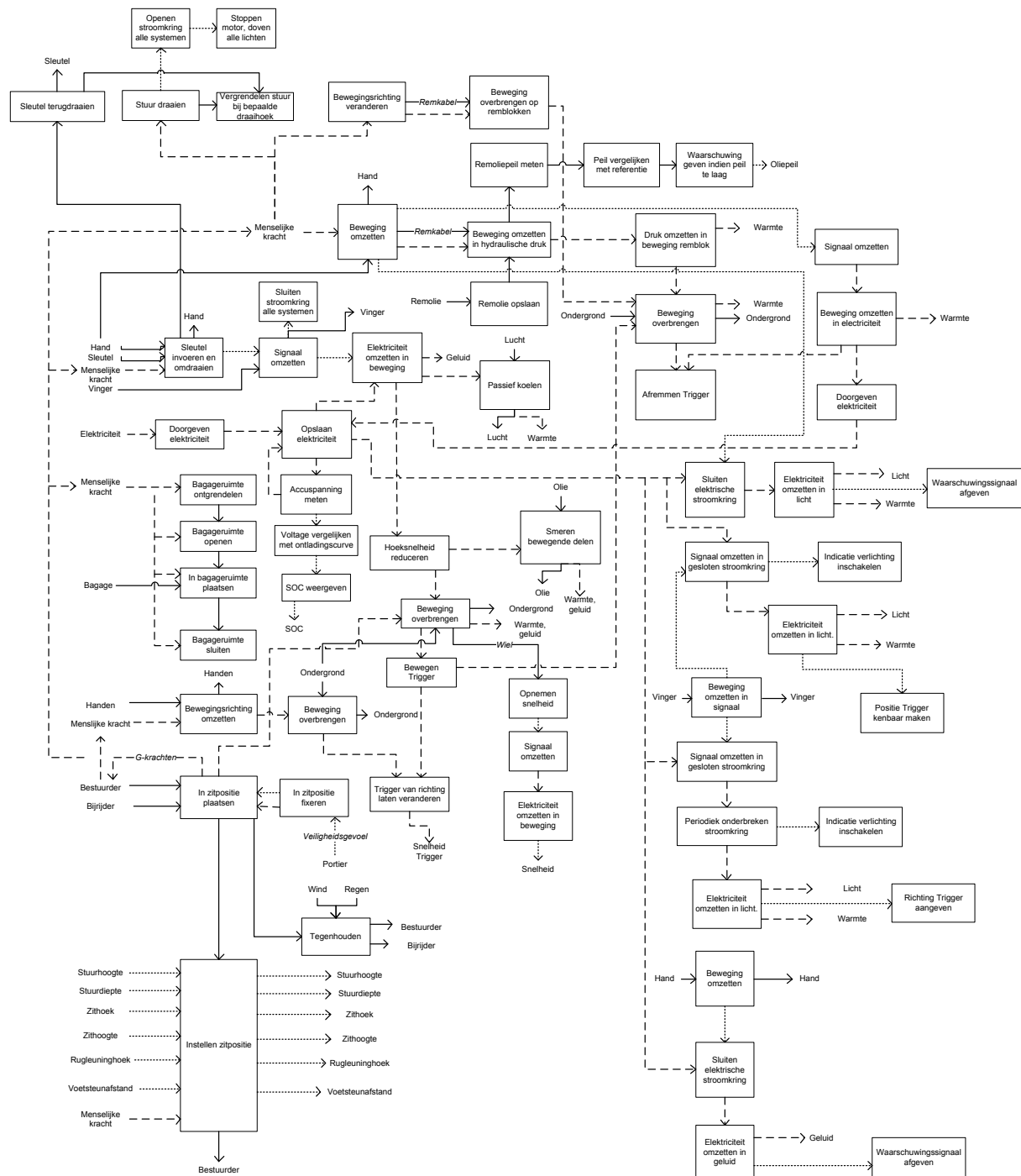
11.1.3. Functioneel blok model

In het functioneel blok model (FBM) zijn de functieketens uit paragraaf 11.1.2 samengevoegd. Tevens is aangegeven welke functies tussen de verschillende leden van de productfamilie worden gedeeld.

Het FBM van de Trigger 2.0F ziet er dan uit zoals weergegeven in Figuur 51. Het FBM van de Trigger 2.0E is zichtbaar in Figuur 52.



Figuur 51: FBM Trigger 2.0F



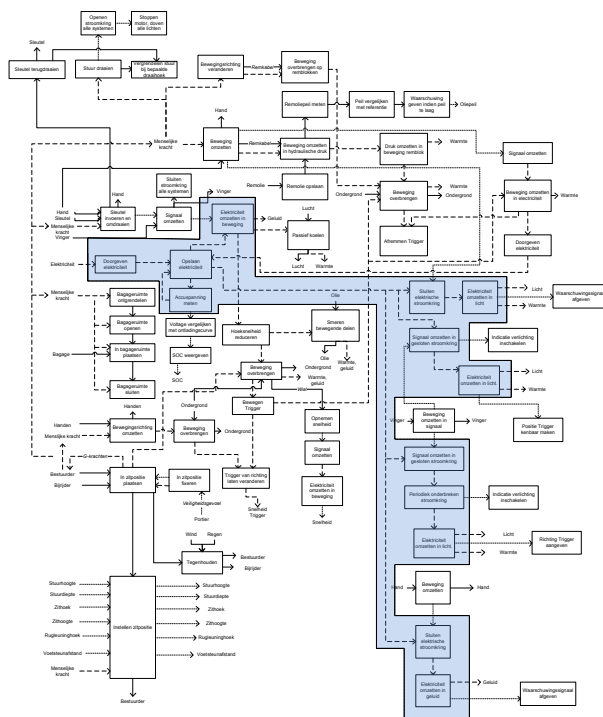
Figuur 52: FBM Trigger 2.0E

11.1.4. Architectuur definiëren

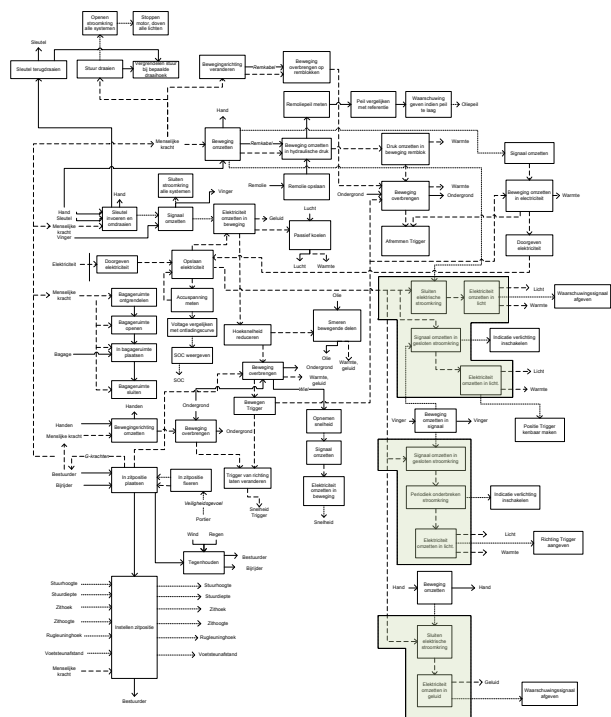
11.1.4.1. Heuristieken toepassen

Stone (2000) beschrijft drie heuristieken om tot een indeling te komen. Ten eerste is er de dominante flow-heuristiek. Wanneer deze heuristiek wordt gehanteerd wordt het functioneel blokdiagram opgedeeld aan de hand van stromen van materie of energie die serieel door een aantal functies lopen. Daar waar de materie of energie het systeem verlaat of over gaat in een andere flow

wordt een interface tussen subsystemen gedefinieerd. Figuur 53 illustreert hoe deze heuristiek een subsysteem definieert die verantwoordelijk is voor het transport, de opslag en het omzetten van elektriciteit.



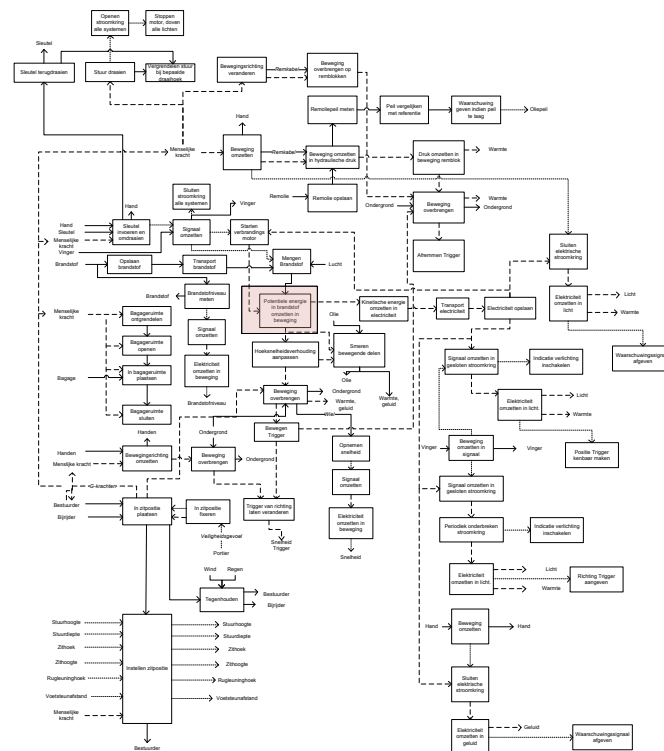
Figuur 53: Dominante flowheuristiek (Trigger 2.0E)



Figuur 54: Dominante flowheuristiek (Trigger 2.0E)

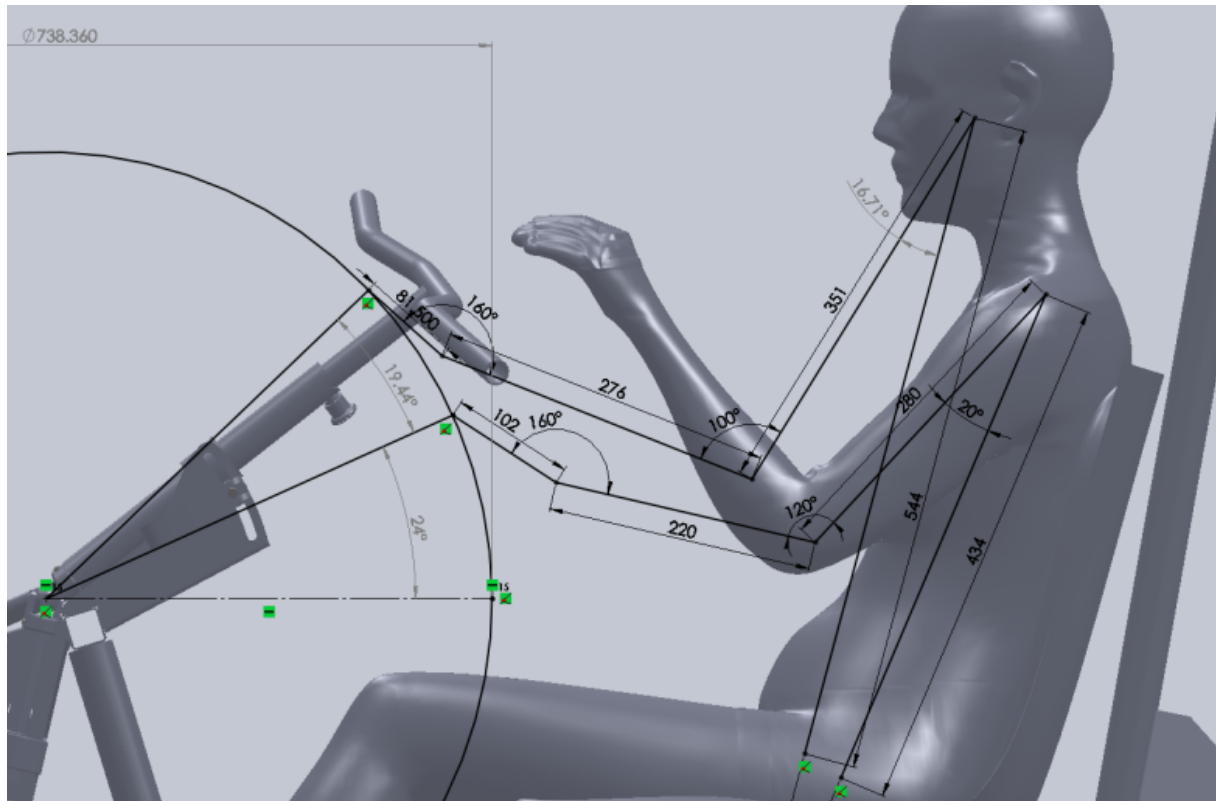
Daarnaast is er de vertakte flowheuristiek die het FBM opdeelt wanneer de flow van energie, materie of informatie zich opdeelt in meerdere subflows. In Figuur 54 is zichtbaar hoe op hetzelfde deel van het FBM deze heuristiek een andere opdeling veroorzaakt waarbij de subsystemen enkel verantwoordelijk zijn voor het omzetten van de energie (i.e. lamp, claxon).

Als laatste is er nog de transmissie/conversieheuristiek welke het FBM opdeelt bij functies die een flow van massa of energie omzetten in een andersoortige flow. Een goed voorbeeld hiervan is het omzetten van potentiële energie uit brandstof in beweging bij de Trigger 2.0F (Figuur 55). Deze functie wordt uiteraard vervuld door een verbrandingsmotor.



Figuur 55: Transitie-/conversieheuristiek (Trigger 2.0E)

11.2. Alternatieve stuurinstelling



Figuur 56: Radiale instelling

11.3. BOM

16	Articlecode	3D	Draw	PQ	Omschrijving	#	Materiaal	Lengte	Som lengte	Finish	Type	Type 2	Supplier	Art.nr	Bestelstatus p	Opmerking	no
17	148260-03	Asm	Dwg	PDF	Trigger 2.0 E LHD	1			0.0		ASSY				nvt		1
18	148260-03-A-000	Asm	Dwg	PDF	Chassis	1			0.0		ASSY				nvt		2
52	148260-03-B-000	Asm	Dwg	PDF	Steering	1			0.0		ASSY				nvt		46
63	148260-03-B-000-501	Asm	Dwg	PDF	Steering frame	1			0.0		WELD				nvt		47
64	148260-03-B-001	Prt	Dwg	PDF	Anchor plate	1	1.0038/ST 37-2 Plate 3mm		0.0	POWDERCOATRAL 9005					Besteld		48
65	148260-03-B-002	Prt	Dwg	PDF	Crossbeam	1	1.0038/ST 37-2 Square tube 3l	1100.0	1100.0		STEEL				Besteld		49
66	148260-03-B-003	Prt	Dwg	PDF	Crossplate R	1	1.0038/ST 37-2 Plate 2mm		0.0		LASER-BEND				Besteld		50
67	148260-03-B-004	Prt	Dwg	PDF	Crossplate L	1	1.0038/ST 37-2 Plate 2mm		0.0		LASER-BEND				Besteld		51
68	148260-03-B-005	Prt	Dwg	PDF	Small anchor plate	2	1.0038/ST 37-2 Plate 2mm		0.0		LASER				Besteld		52
69	148260-03-B-006	Prt	Dwg	PDF	Angle support	2	1.0038/ST 37-2 Plate 2mm		0.0		LASER				Besteld		53
70	148260-03-B-007	Prt	Dwg	PDF	Bearing support	2	1.0547/ST 37-2 Tube 57x7.1	28.0	56.0		MACH-TURN				Besteld		54
71	148260-03-B-008	Prt	Dwg	PDF	Lateral support R	1	1.0038/ST 37-2 Plate 3mm		0.0		LASER-BEND				Besteld		55
72	148260-03-B-009	Prt	Dwg	PDF	Pipe	1	1.10308/ST 37-2 Tube 20x2	359.0	359.0		STEEL				Besteld		56
73	148260-03-B-016	Prt	Dwg	PDF	Support beam	1	1.10308/ST 37-2 Tube 20x2	635.0	635.0		STEEL				Besteld		57
74	148260-03-B-017	Prt	Dwg	PDF	Lateral support L	1	1.0038/ST 37-2 Plate 3mm		0.0		LASER-BEND				Besteld		58
75	148260-03-B-018	Prt	Dwg	PDF	Steer adjustment	1	1.0038/ST 37-2 Plate 3mm		0.0		LASER-BEND				Besteld		59
76	148260-03-B-020	Prt	Dwg	PDF	Reinforcement plate	1	1.0038/ST 37-2 Plate 2mm		0.0		LASER				Besteld		60
77	148260-03-B-000-502	Asm	Dwg	PDF	Hub L	1			0.0		ASSY				nvt		61
91	148260-03-B-000-503	Asm	Dwg	PDF	Swingarm triangle L	1			0.0		ASSY				nvt		75
106	148260-03-B-000-506	Asm	Dwg	PDF	Steering rod L	1			0.0		ASSY				nvt		90
110	148260-03-B-000-507	Asm	Dwg	PDF	Steering arm L	1			0.0		WELD				nvt		94
114	148260-03-B-000-508	Asm	Dwg	PDF	Steering rod center	1			0.0		ASSY				nvt		98
120	148260-03-B-000-509	Asm	Dwg	PDF	Steering arm R	1			0.0		WELD				nvt		104
124	148260-03-B-000-510	Asm	Dwg	PDF	Steering arm R	1			0.0		ASSY				nvt		108
129	148260-03-B-000-511	Asm	Dwg	PDF	Hub R	1			0.0		ASSY				nvt		113
143	148260-03-B-000-514	Asm	Dwg	PDF	Steering column	1			0.0		WELD				nvt		127
146	148260-03-B-000-515	Asm	Dwg	PDF	Swingarm triangle R	1			0.0		ASSY				nvt		130
161	148260-03-B-000-516	Asm	Dwg	PDF	Steering rod R	1			0.0		ASSY				nvt		145
165	148260-03-B-000-517	Asm	Dwg	PDF	Steering depth adjustment	1			0.0		WELD				nvt		149
169	148260-03-B-031	Asm	Dwg	PDF	Universal joint DIN 808	1			0.0		BUY		MACH-MILL	Maedler	630 629 00		153
170	148260-03-B-032	Asm	Dwg	PDF	Angular ball bearing	2			0.0		BUY		INA/FAG	32048 2RSR TVH		Besteld	154
171	148260-03-B-054	Asm	Dwg	PDF	Eccentric Clamp	1			0.0		BUY		Maedler	665 782 20			155
172	148260-03-B-055	Asm	Dwg	PDF	Plunger knob	1			0.0		BUY		Systematic	22110.0048			156
173	Internal Circlip DIN 471					2			0.0		FAST						157
174	External Circlip DIN 471					2			0.0		FAST						158
175	Bolt ISO 4014 - M12 x 7l					2			0.0		FAST						159
176	Bolt ISO 4014 - M12 x 8l					1			0.0		FAST						160
177	Socket setscrew flange					2			0.0		FAST						161
178	Nut ISO 4032 - M12					4			0.0		FAST						162
179	Flange bolt ISO 4162 - M					1			0.0		FAST						163
180	Washer ISO 7089 - M12					16			0.0		FAST						164
181	ISO 8673 M12 x 1.5					6			0.0		FAST						165
182	148260-03-C-000	Asm	Dwg	PDF	Rear suspension	1			0.0		ASSY				nvt		166
193	148260-03-E-000	Asm	Dwg	PDF	Wheel	3			0.0		ASSY				nvt		177
196																	

Figuur 57: BOM

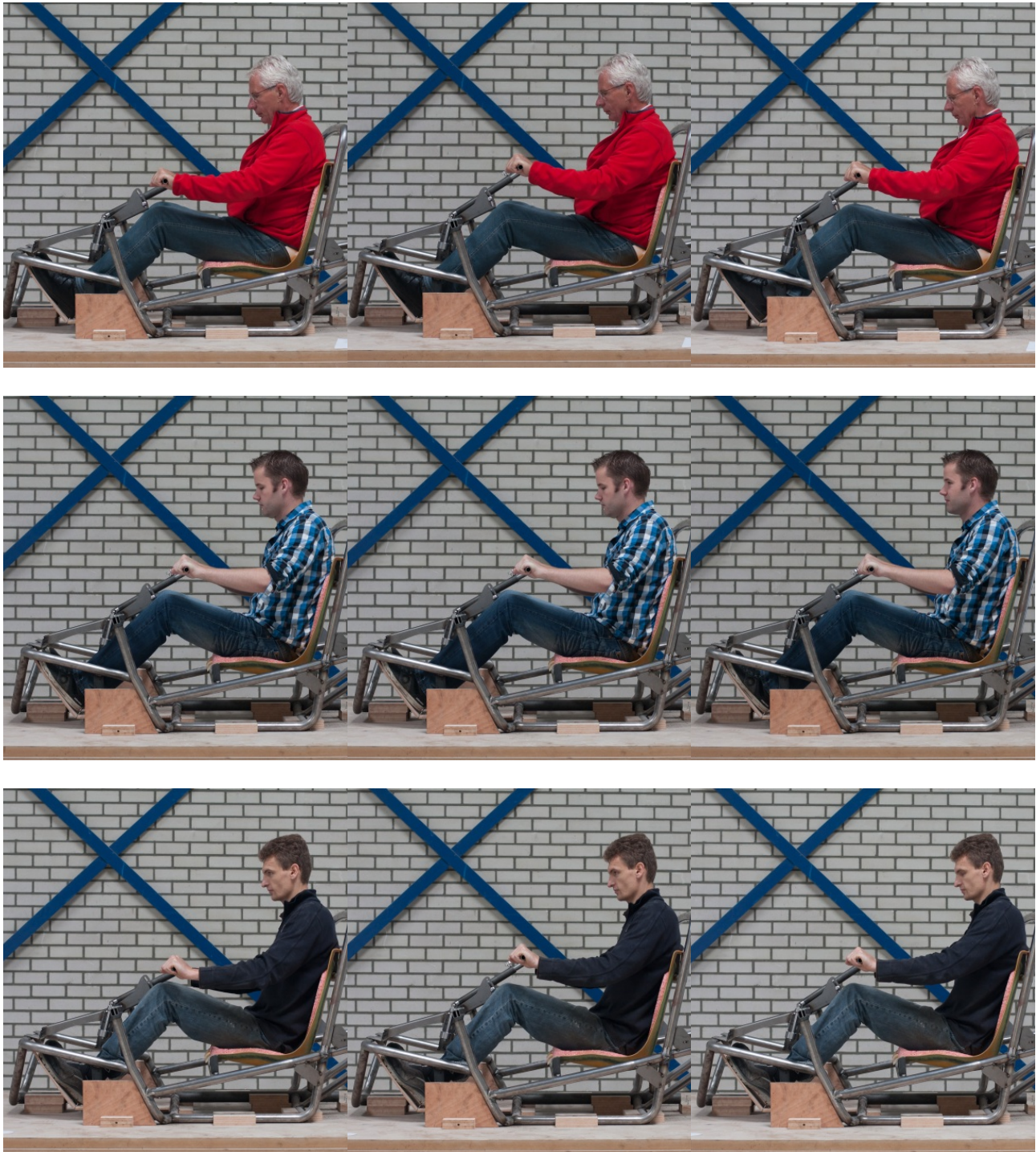
11.4. Gebruikerstest

Vaste hoogte-instelling

Vaste diepte-instelling

Vrije instelling





Figuur 58: Proefpersonen in zitpositie