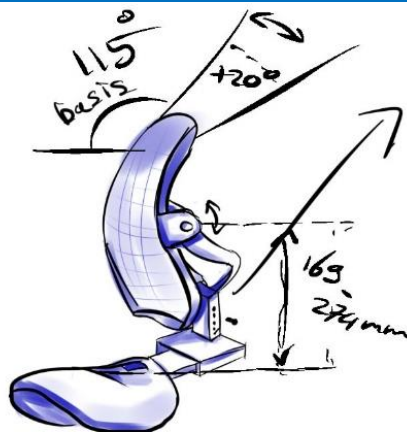


Op Weg naar Comfort: Ergonomische Zitfietsstoel voor Ouderen

Onderzoek en Ontwikkeling van de Duo Fiets,
een Ergonomische Optimalisatie voor Ouderen.

Lotte Boer
Afstudeerproject
Bewegingstechnologie
14 Juni 2023



Op Weg naar Comfort: Ergonomische Zitfietsstoel voor Ouderen

Onderzoek en ontwikkeling van de duo fiets,
een ergonomische optimalisatie voor ouderen

Auteur: Lotte Boer
Studentnummer: 13087509
Opleiding: Mens en Techniek | Bewegingstechnologie, De Haagse Hogeschool
Project: Afstuderen
Opdrachtgever: Van Raam, REHA Bikes BV | De Ideeënfabriek
Datum: 14 juni 2023
Plaats: Den Haag, Zuid-Holland
Versie nummer: 1



Ouderen gebruiken de duo fiets wanneer zij verminderde spierkracht of evenwichtsproblemen ervaren, maar wel beweging en sociaal contact willen onderhouden. In dit project werd onderzoek verricht om de houding van gebruikers te optimaliseren.

The elderly use the duo bike when they experience decreased muscle strength or balance issues, but want to maintain physical activity and social contact. In this project the posture of users got analysed, in order for optimisation.

Voorwoord

U leest de documentatie van mijn afstudeerwerk voor de opleiding Mens en Techniek | Bewegingstechnologie. Dit rapport is geschreven om het project te documenteren ter evaluatie door docenten van de opleiding. Daarvoor zal er inhoudelijk op vakgebied specifieke onderwerpen worden ingegaan. Het rapport is ook bestemd voor de opdrachtgever, De Ideeënfabriek | Van Raam; zodat zij de resultaten van de opdracht kunnen inzien. Tijdens het schrijven van het rapport is geprobeerd de opdracht en het doel duidelijk te houden voor iedere lezer.

Het document is samengesteld door Lotte Boer, 26 jaar oud en student aan de opleiding Bewegingstechnologie aan De Haagse Hogeschool. In de periode van november 2022 tot en met juni 2023 werd het project uitgevoerd voornamelijk in Varsseveld (Gelderland), waar Van Raam en de Ideeënfabriek waren gevestigd. Ondanks het verre rijden en een nieuwe omgeving, ben ik blij dat ik mijn afstuderen heb uitgevoerd bij De Ideeënfabriek bij Van Raam.

Er zijn veel mensen die ik wil bedanken en die hebben bijgedragen aan het voltooien van het project. Ik begin bij mijn mede stagiairs van de Ideeënfabriek. Door mijn afwezigheid tijdens mijn studie is het lastig geweest om een connectie te vormen met studenten van de opleiding. De saamhorigheid tijdens dit project was een geweldige ervaring als laatste periode van mijn studietijd.

Ik wil Maren bedanken voor het samen oriënteren op de Van Raam fietsen en als mijn eerste maatje op stage. Ik wil Sander bedanken de handige tips in Solid Works en in de werkplaats. Ook voor de aanmoediging om nieuwe dingen te proberen, zoals het 3D printen. Ik wil Ian bedanken voor het helpen vervaardigen van mijn prototype. Het was mooi om te zien dat er plezier werd beleefd met het lassen. Ik wil Mitchel bedanken voor de scherpe kritiek punten, voordat het prototype in elkaar werd gezet. Ik wil Vera bedanken voor het tochtje op de duo fiets, (waar we niet waren verdwaald) en als mijn buurvrouw in de laatste weken. Verder wil ik alle stagiaires van De Ideeënfabriek bedanken voor de gezelligheid, openhartige gesprekken, fietstochtjes en de samenwerking.

De vaste medewerkers van De Ideeënfabriek wil ik ook graag bedanken. Luc, voor het beantwoorden van alle vragen, het wijze naar het juiste gereedschap en natuurlijk voor de hulp met het prototype. Ik wil Jolien en Patrick bedanken voor het creëren van een gezellige, creatieve, toegankelijke maar ook ambitieuze omgeving. Jullie passie en oog voor detail was inspirerend om waar te nemen. Ik ben blij dat ik jullie "onderbuik gevoel" heb kunnen toelichten met mijn project. Ik ben erg dankbaar voor deze opdracht en jullie vertrouwen daarbij in mij. Bedankt voor het begrip, professionaliteit en de goede sfeer.

Van de opleiding Bewegingstechnologie wil ik graag Sandra Koens mijn SLB coach, en Damon Golriz mijn afstudeerbegeleider bedanken. Dankzij jullie begrip en betrokkenheid werd het mogelijk voor mij dit project uit te voeren, op een manier die bij mij paste. Ik wil ook docent Aad Lagerberg bedanken voor de tussentijdse feedback en de modellen voor mijn onderzoek. Met nog grote dank aan mijn studiebegeleider Stef, die mij heeft geleerd om op een haalbare en vriendelijke manier (naar mijzelf toe) te plannen.

Mijn dank gaat ook naar de familie Hiddinga, waarbij ik 1 tot 2 nachten per week kon overnachten. Bedankt voor de lekkere kookkunsten en de gastvrijheid.

Als laatste wil ik Thimon bedanken. Mijn partner die altijd in mij heeft geloofd, ook als ik het zelf niet deed. Dankjewel voor je geduld de afgelopen jaren en voor je steun tijdens dit project.

Veel plezier bij het lezen van mijn verslag!

Inhoud

Voorwoord	3
Verklarende Woordenlijst	6
Samenvatting.....	7
Summary	7
1. Inleiding	8
2. Oriëntatie	9
2.1. Van Raam, De Ideeënfabriek en Bewegingstechnologie	9
2.2. Opdracht omschrijving	10
2.3. Te verwachten resultaat	10
3. Analyse	11
3.1. Probleemstelling.....	11
3.2. Doelstelling	11
3.3. Methode	11
3.4. Randvoorwaarden	13
4. Onderzoek	14
4.1. Gebruikersanalyse	14
4.2. Ergonomie	16
4.3. Bewegingsanalyse.....	18
4.4. Marktonderzoek	19
4.5. Materiaalonderzoek	20
4.6. Onderzoek conclusie	21
5. Programma van Eisen (PvE).....	22
6. Ontwerpen	23
6.1. Ontwerpvisie.....	23
6.2. Morfologisch overzicht	24
6.3. Concepten.....	25
6.4. Eindontwerp	26
7. Realisatie	29
7.1. Materiaalkeuze	29
7.2. 3D Ontwerp	30
7.3. Het prototype	30
8. Evaluatie	31
8.1. Ontwerp evaluatie.....	31
8.2. Resultaat.....	32

9. Discussie	33
9.1. Resultaat reflectie.....	33
9.2. Proces reflectie	34
10. Conclusie	35
Bibliografie	36
Bijlagen: ergonomische optimalisatie duo fiets	37
Bijlagen 1. Onderzoek.....	37
Bijlage 2. Programma van Eisen (volledig)	43
Bijlagen 3. Ontwerpfase	45
Bijlagen 4. Realisatie	51
Bijlagen 5. Resultaten.....	55

Verklarende Woordenlijst

Begrip	Definitie/verklaring
Anatomie	<i>Bestuderen van de bouw van het menselijk lichaam.</i>
Anteflexie/Retroflexie	<i>Voorwaartse- en achterwaartse beweging van het been in het heupgewricht over de sagittale as.</i>
Antropometrie	<i>Het vaststellen van afmetingen en verhoudingen van het menselijk lichaam.</i>
Bewegingsapparaat	<i>Het systeem van het lichaam (botten en spieren) die het lichaam doen bewegen.</i>
Biomechanica	<i>Bestudering van de beweging van spieren en gewrichten in het menselijk lichaam.</i>
Dorsaal	<i>Plaatsaanduiding van een lichaamsonderdeel aan de rugzijde.</i>
Ergonomie	<i>Afstemmen van hulpmiddelen en omstandigheden voor het optimaal functioneren van de mens.</i>
Fysiologie	<i>Studie van functies en processen van levende organismes.</i>
Lordose	<i>Natuurlijke kromming van de wervelkolom in voor- achterwaartse richting. (Holle rug).</i>

Samenvatting

De Van Raam duo fiets is een geschikte optie voor mensen met stabiliteitsproblemen tijdens het fietsen. De Ideeënfabriek (innovatie afdeling binnen Van Raam), vermoed dat er een tekort aan ergonomische kennis is om enkele ontwerpkeuzes bij de herontwikkeling te onderbouwen. Door samenwerking met de opleiding Mens en Techniek | Bewegingstechnologie, ziet De Ideeënfabriek de mogelijkheid voor onderzoek. Het doel van het project was om de duo fiets ergonomisch te optimaliseren voor de doelgroep: ouderen.

Uit het onderzoek werd het volgende geconcludeerd: de heuphoek (de hoek tussen de romp en het been) mocht minimaal 95 graden bedragen, om de kans op maximale flexie in de heup te beperken. Op de duo fiets werd de houding van tien ouderen geanalyseerd, bij alle deelnemers werd een kleinere hoek geconstateerd. Na het onderzoek werd het programma van eisen opgesteld, om tot de realisatie van het nieuwe ontwerp te komen.

In de ontwerpfase werd een brainstormsessie gehouden waaruit vier concepten ontwikkeld, die werden beoordeeld aan de hand van de vooraf gestelde criteria. Het gekozen concept omvatte instellingen voor de rugleuning van de fietsstoel, dit bedroeg een hoogte-instelling en een optie om achter over te kantelen. Van het eindontwerp is een prototype vervaardigd in De Ideeënfabriek.

Het nieuwe ontwerp werd geëvalueerd door de eerdere analyse ook op het prototype uit te voeren. Vijf eerdere deelnemers deden hieraan mee en bij alle deelnemers werd de heuphoek vergroot. Voor sommige deelnemers werd door de hoogte instelling een betere lendenwervel ondersteuning aangeboden. De gewenste heuphoek van 95 graden werd bij geen van de deelnemers bereikt. Het wordt aanbevolen om verder onderzoek te verrichten naar de toegepaste instellingen en mogelijk andere factoren die van invloed zijn op de heuphoek, zoals de hoogte van de stoel of de cranklengte.

Summary

The Van Raam duo bike is an important option for people with stability problems while cycling. De Ideeënfabriek, innovation department, suspects a shortage of ergonomic knowledge to defend some of the redesign choices. The department sees as an opportunity for research through a collaboration with a student of Bewegingstechnologie. The goal for the project was to ergonomically optimize the duo bike for the target group, the elderly.

The following conclusion was drawn from the research: the hip angle (the angle between the trunk and the leg) must be at least 95 degrees in order to prevent the risk of maximum flexion in the hip. The posture of ten elderly people was analyzed on the duo bike, a smaller angle was found by all participants. A program of requirements was made in order to make a new design.

A brainstorming session was held in order to kick-off the designphase. Four concepts came out of the morphology that was made. These were assessed according to the program of requirements. The chosen concept has two settings for the backrest of the bicycle seat: this was a height adjustment and an option to recline. A prototype of the final design was made at De Ideeënfabriek.

To evaluate the prototype, the analysis performed earlier was repeated. Five of the previously measured elderly participated again. The hip angle was increased by all participants. For some participants, the height adjustment offers better lumbar vertebra support. However, the desired hip angle of 95 degrees was not achieved in any of the participants. It is recommended to conduct further research into the settings used, or possibly other factors that influence the hipangle.

1. Inleiding

Fietsen is goed voor de gezondheid van ouderen (Oja et al., 2011; Bopp & Piatkowski, 2018). Door te fietsen zijn ouderen minder alleen en meer actief. Uit onderzoek bleek dat fietsen mogelijkheid biedt tot vergroting en uitbreiding van sociaal contact (Whitaker, 2005; Leyland, et al., 2019). Echter kunnen ouderen vermindering van evenwichtsvermogen ervaren (Rimmer & Marques, 2012), waardoor een tweewiel fiets mogelijk niet stabiel genoeg is. Als alternatief zijn er aangepaste fietsen met driewielen, deze bieden meer stabiliteit dan een tweewiel fiets.

Van Raam is ontwikkelaar en producent van aangepaste fietsen. De ergonomische aspecten tijdens de ontwikkeling van de fietsen, is gebaseerd op kennis uit het vakgebied Industrieel Product Ontwerpen en Werktuigbouwkunde. De Ideeënfabriek, innovatie afdeling binnen Van Raam, overwoog het potentieel van diepgaandere ergonomische kennis als aanwinst voor het bedrijf.

De Ideeënfabriek werkt samen met studenten van verschillende opleidingen. Het vraagstuk: hoe kan een Van Raam fiets met de expertise van een Bewegingstechnoloog worden geoptimaliseerd, werd voorgelegd aan een student van de opleiding Mens en Techniek | Bewegingstechnologie. Als onderwerp voor dit project is door de opdrachtgever gekozen voor de "Fun2go" (fun to go) duo fiets.

De duo fiets is een driewieler tandem die beschikt over een lage opstap, trapondersteuning en twee stoelen. De duo fiets is te vinden bij onder andere tehuizen en revalidatiecentra, waar ouderen samen met een begeleider kunnen fietsen. Op deze locaties maken verschillende personen gebruik van één duo fiets. Volgens de opdrachtgever waren de meningen over de houding op de fiets verdeeld. In het algemeen blijkt houdingscomfort een belangrijke factor tijdens het kiezen van een (aangepaste) fiets (Gjessing & Jahnsen, 2021). Om de concurrentie voor te blijven en de gebruikerservaring te verbeteren, is gevraagd om de houding op de fiets te onderzoeken.

Het doel was om de ergonomie op de duo fiets te optimaliseren, met betrekking tot de houding van de doelgroep. Daarmee werd het gewenste resultaat om de ervaring op de duo fiets te verbeteren, zodat ouderen met gemak gebruik kunnen blijven maken van de duo fiets. De hoofdvraag van het project luidde hierbij:

Hoe kan de duo fiets ergonomisch worden geoptimaliseerd?

Uit de literatuur blijkt dat bij de doelgroep sprake is van verminderde flexibiliteit in gewrichten (Rimmer & Marques, 2012). Ook blijkt dat de bewegingsvrijheid van het been in het heupgewricht bij ouderen met 20% is afgenomen in vergelijking met volwassenen (Anderson & Madigan, 2014). Door de lage opstap en naar voren gelegen trappers op de duo fiets (in verhouding met een standaard fiets), is er mogelijk een vergroot risico dat het maximale van de heupflexibiliteit wordt gevraagd tijdens het fietsen. Dit gaf aanleiding tot verder onderzoek naar de bewegingsvrijheid bij ouderen op de duo fiets.

Het resultaat van dit ontwikkelproject bedraagt een analyse op het gebied van ergonomie, in combinatie met een onderzoek waarbij gebruikers zijn betrokken. Samen leverde dit een bijdrage aan het optimaliseren van de duo fiets, door het beter kunnen afstemmen op de behoefte van de doelgroep. Aan de hand van het verrichte onderzoek is een pakket van eisen opgesteld om tot een nieuw ontwerp te komen. Voor de evaluatie van het nieuwe ontwerp is een prototype vervaardigd en geëvalueerd aan de hand van de opgestelde eisen. De methode en de resultaten van het project werden verwerkt in dit verslag.

2. Oriëntatie

In de oriëntatiefase werden de karakteristieken van het bedrijf, de opleiding en de student onderling met elkaar bekend gemaakt en staan beschreven in §2.1. In §2.2 en §2.3 is de opdracht omschrijving en het te verwachten resultaat in de woorden van de student geformuleerd.

2.1. Van Raam, De Ideeënfabriek en Bewegingstechnologie

Het fietsen productiebedrijf Van Raam, beschikte over een breed assortiment aan fietsen. Zo produceerde het bedrijf driewiel fietsen voor mensen met de behoefte aan meer stabiliteit. Voor rolstoelgebruikers waren verschillende modellen ontwikkeld om mee te rijden op de fiets. In tabel 1 bevindt zich een overzicht van enkele fietsen die Van Raam op de markt aanbood in het tijdvak van dit project. Deze modellen werden doorlopend geëvalueerd en verbeterd. Om op een creatieve manier innovatie in het bedrijf te brengen, werd in 2021 de Ideeënfabriek binnen Van Raam opgericht.

In samenwerking met studenten van verschillende opleidingen werkte de Ideeënfabriek aan meerdere projecten, met als doel om bestaande producten te innoveren. Zo werd er ook een project voorgelegd aan de opleiding Mens en Techniek | Bewegingstechnologie op De Haagse Hogeschool. Doordat de opleiding zich richt op hulpmiddelen onderzoeken of ontwikkelen voor mensen met een functiebeperking, sloot de opdracht bij de Ideeënfabriek bij Van Raam goed aan op het vakgebied van Bewegingstechnologie.

De opleiding Bewegingstechnologie was gevestigd op De Haagse Hogeschool in Den Haag. De student van de opleiding Lotte Boer, 26 jaar oud, woonde ook in Den Haag. In 2022-2023 besloot zij haar afstudeeropdracht uit te voeren bij De Ideeënfabriek bij Van Raam, gelegen in Gelderland. Onder leiding van opdrachtgever Jolien Heeman, oprichter van- en Creative Lead in de Ideeënfabriek, ging het project van start in november 2022 en liep tot en met juni 2023.

Tabel 1: Beschikbare fietsen bij Van Raam (2023).

 Easy Rider	 Maxi	 OPair
 VeloPlus	 Chat	 Fun2Go

2.2. Opdracht omschrijving

Het fietsen productiebedrijf Van Raam, beschikte over een groot assortiment aan verschillende type fietsen. De fietsen werden ontwikkeld op basis van kennis van het vakgebied Industrieel Product Ontwerpen (IPO) en werktuigbouwkunde (WB). Hierbij werd voornamelijk gericht op (serie)productie. Door het bedrijf werd onderzoek verricht voor de ontwikkeling van de producten. Hierbij werd de ergonomie beperkt tot de antropometrie; diepere kennis over het bewegingsapparaat ontbrak. De Ideeënfabriek bij Van Raam, stelde vraagtekens over de ergonomische kennis tijdens de ontwikkeling van de fietsen. Naar aanleiding van gebruikers feedback leek er mogelijkheid tot ergonomische optimalisatie. De vraag was, hoe dit kon worden bereikt voor de doelgroep van de duo fiets?

2.3. Te verwachten resultaat

Het verwachte resultaat bedraagt een ergonomisch aangepast ontwerp van de duo fiets, met nadruk op de optimalisatie van de houding van de gebruiker. Hiervoor zal een gebruikers onderzoek worden verricht. Na het verrichte onderzoek zal er een ontwerp worden gecreëerd waarvan een prototype kan worden vervaardigd. Dit ontwerp zal worden geëvalueerd aan de opgestelde eerder opgestelde eisen en ook door middel van een onderzoek met de doelgroep.

Het resultaat bedraagt een onderzoek met documentatie, een geoptimaliseerd (3D) ontwerp en een prototype, om het ontwerp te demonstreren en tevens de mate van ergonomische optimalisatie te evalueren.

Voor verdere toelichting wordt verwezen naar het Plan van Aanpak van dit project. De toegepaste methode staat verder beschreven in §3.3.

3. Analyse

Ter verdieping van de opdracht werden de probleem- en doelstelling geanalyseerd, ook zijn deelvragen opgesteld om mijlpalen vast te stellen. Verder in §3.3, bevindt zich de methode van dit project. De uitvoering staat beschreven vanaf hoofdstuk 4.

3.1. Probleemstelling

Tijdens het fietsen op de duo fiets is mogelijk veel flexibiliteit vereist in de heup, vanwege de lage opstap, naar voren gelegen trappers en rechtop-zittende houding. De gevraagde anteflexie van het been heeft mogelijk een negatief effect de houding van de gebruiker. De vraag is: wat bedraagt de huidige bewegingsuitslag van het been op de duo fiets, wat is de invloed daarvan op de houding en wat zijn de behoeftes vanuit de doelgroep voor de ergonomische optimalisatie?

3.2. Doelstelling

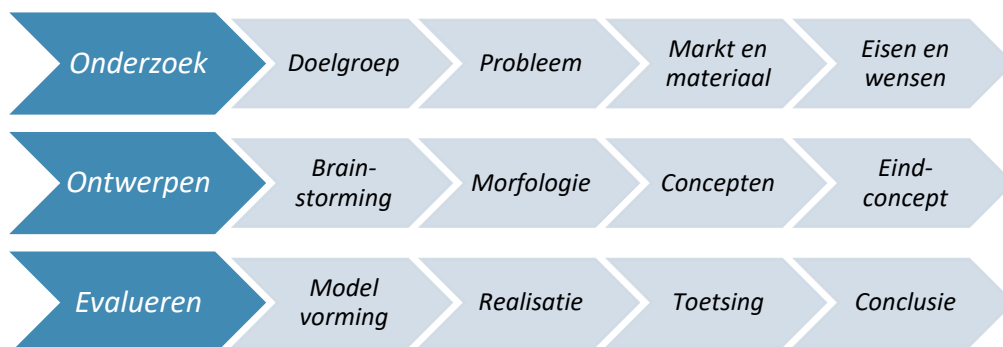
Het doel van het project is om de houding op de duo fiets te onderzoeken en dit te koppelen aan de ergonomische eisen gesteld vanuit de literatuur, om zo tot een ergonomisch gericht ontwerpadvies te komen voor de doelgroep. Verder was het doel om dit nieuwe ontwerp te demonstreren en de mate van optimalisatie te evalueren door middel van een prototype. Ter ondersteuning van de hoofdvraag zijn de volgende deelvragen opgesteld:

1. *Wat zijn de ergonomische eisen voor de houding van de doelgroep?*
 - 1.1. *Hoe ziet het gebruikers profiel eruit van de doelgroep van de duo fiets?*
 - 1.2. *Wat is de optimale bewegingsuitslag van het bovenbeen voor de doelgroep?*
 - 1.3. *Wat is de bewegingsuitslag van het bovenbeen bij de doelgroep op de duo fiets?*
 - 1.4. *Wat zijn bestaande toepassingen voor houding optimalisatie?*
 - 1.5. *Welke materialen voor de zitfietsstoel zijn geschikt voor de doelgroep?*
2. *Wat zijn de eisen aan het nieuwe ontwerp?*
 - 2.1. *Wat zijn de ontwerpvisies van de opdrachtgever?*
 - 2.2. *Hoe wordt de conceptkeuze tot verricht?*
 - 2.3. *Welke materialen worden gekozen voor het ontwerp?*
3. *Hoe kan het ontwerp worden geëvalueerd?*

Voor de ergonomische optimalisatie is het te verwachten resultaat een prototype van het nieuwe ontwerp, om de ergonomische optimalisatie te evalueren.

3.3. Methode

In dit hoofdstuk staat de methode beschreven die is gebruikt om de deelvragen te beantwoorden. In figuur 1 is het proces schematisch weergegeven. In de volgende paragrafen zal per deelvraag de methode worden beschreven.

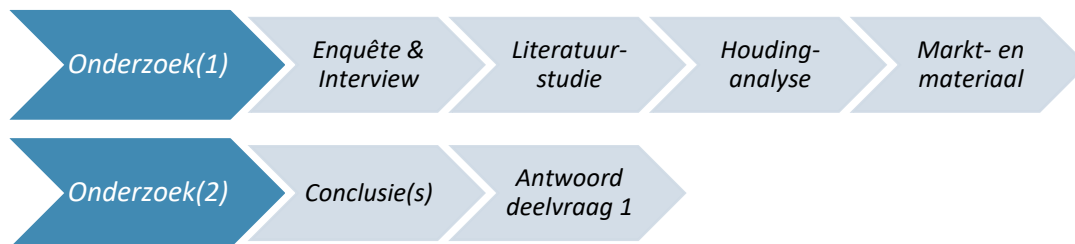


Figuur 1: Methode ontwikkelproject ergonomische optimalisatie duo fiets, hoofdstappen met deeltappen.

3.3.1. Deelvraag 1: Het onderzoeksproces

Deelvraag 1: Wat zijn de ergonomische eisen voor de houding van de doelgroep?

Om de methode van de beantwoording te beschrijven, is deelvraag 1 verder onderverdeeld. De onderdelen zijn weergegeven in figuur 2 en zullen in de stukken eronder worden toegelicht.



Figuur 2: Stappen van de onderzoeksfase, voor de beantwoording van deelvraag 1.

Deelvraag 1.1: Hoe ziet het gebruikers profiel eruit van de doelgroep van de duo fiets?

Het Research and Development team bij Van Raam heeft een enquête uitgebracht om de ervaring van gebruikers op de duo fiets te scoren. Echter zijn alleen de technische mankementen aan de fiets verwerkt. Om de eisen van de doelgroep te onderzoeken is de enquête opnieuw geëvalueerd. Door een interview met fietsorganisatie De Fietsmaatjes (2020), is de leeftijd en het gebruik van de fiets (hoe vaak en waarom) onderzocht. Door het uitvoeren van een literatuuronderzoek is onderzocht welke beperkingen mogelijk voorkwamen bij de doelgroep.

Deelvraag 1.2: Wat is de optimale bewegingsuitslag van het bovenbeen voor de doelgroep?

Door het uitvoeren van een literatuurstudie, werden richtlijnen voor de houding tijdens het zitten en bewegingsvrijheid van de doelgroep onderzocht. Dit was van belang om later te koppelen aan de onderzochte houding en bewegingsvrijheid op de duo fiets.

Deelvraag 1.3: Wat is de bewegingsuitslag van het bovenbeen bij de doelgroep op de duo fiets?

Voor de houdinganalyse is gekozen om een (2D) video-analyse te verrichten, daardoor is de data te koppelen aan het beeldmateriaal en blijft mede voor de opdrachtgever inzichtelijk. Er zijn tien ouderen uitgenodigd, waarbij reflecterende markers op enkele botpunten werden bevestigd. Hiermee is de beweging in het heupgewricht geregistreerd en gefilmd met een highspeed videocamera. De achterwielen van de fietst zijn hiervoor opgehoogd door een klein frame onder de fiets te plaatsen, daardoor fietste de deelnemers als het ware "in de lucht". De video's zijn verwerkt in het programma Kinovea, om vervolgens de heuphoek te kunnen berekenen in het programma Matlab. Met de heuphoek kon de bewegingsuitslag in de heup op de duo fiets worden bepaald. Het volledige meetprotocol is te lezen in Bijlage 1.3.1.

Deelvraag 1.4: Wat zijn bestaande toepassingen voor houding optimalisatie?

Vanwege het zittend fietsen op de duo fiets, is onderzoek verricht naar de markt voor opties om de (zit)houding te optimaliseren op soortgelijke producten. Zo is inspiratie opgedaan voor de ontwerpfase.

Deelvraag 1.5: Welke materialen voor de zitfietsstoel zijn geschikt voor de doelgroep?

Als laatste onderdeel van de onderzoeksfase is een materiaalonderzoek verricht. Hier is onderzoek verricht naar de voor- en nadelen van een aantal materialen die mogelijk geschikt waren voor de zitfietsstoel. Daaruit kon in de ontwerpfase een keuze worden gemaakt.

Met de resultaten van de onderzoeksfase kan worden bepaald, of/wat en hoe de duo fiets kan worden geoptimaliseerd voor de doelgroep. In §4.6 zijn de conclusies van het onderzoek beschreven.

3.3.2. Deelvraag 2: Het ontwerpproces

Deelvraag 2: Wat zijn de eisen aan het nieuwe ontwerp?

Met de conclusies uit de onderzoeksfase is het programma van eisen (PvE) opgesteld in hoofdstuk 5. Voor de realisatie van het nieuwe ontwerp zijn de volgende vragen behandeld.

Deelvraag 2a: Wat zijn de ontwerpvisies van de opdrachtgever?

In overleg met de opdrachtgever zijn de ontwerpvisies voor het nieuwe ontwerp bepaald, hierop volgde het creëren van ontwerp ideeën. 5. Programma van Eisen Zes collega's bij de Ideeënfabriek werden uitgenodigd voor een brainstormsessie. Onder leiding van de studente Bewegingstechnologie is 5 minuten genomen om de probleemstelling voor te leggen, waarop vervolgens in 10 minuten individueel ideeën zijn geschetst. Op het laatst zijn 15 minuten genomen om alle ideeën te evalueren.

Deelvraag 2b: Hoe wordt de conceptkeuze verricht?

Omdat de oplossing van het project verschillende functies kan bevatten, is voor de verwerking van de ideeën gekozen voor een morfologisch overzicht. Hierin zijn aan de hand van de ontwerpvisies vier concepten geformuleerd. De conceptkeuze is gemaakt door middel van een score systeem, gebaseerd op het programma van eisen. Om de prioriteiten te verdelen over de eisen is een weegfactor toegekend van 1-3. De concepten zijn ook gescoord op 1-3, waarbij, 1: voldoet weinig aan de eis, 2: voldoet redelijk aan de eis, en 3: voldoet het meest aan de eis. Dit is weergegeven in §6.3.

Deelvraag 2c: Welke materialen worden gekozen voor het eindontwerp?

Voor het eindontwerp is een keuze gemaakt uit de onderzochte materialen en is beschreven in §7.1. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen de geschikte materialen voor het eindontwerp en die voor het prototype. Het concept voor het prototype is uitgewerkt in een 3D ontwerp in het programma Solid Works en is weergegeven in §7.2. Aan de hand van de antropometrische data is bepaald wat de hoeveelheid kracht bedraagt die de constructie moet toelaten. Hiermee is in Solid Works het 3D ontwerp (met het materiaal) geanalyseerd op buigspanning en vervorming.

3.3.3. Deelvraag 3: Het evaluatieproces

Dv3: Hoe kan het ontwerp worden getoetst?

Het prototype werd vervaardigd aan de hand van het 3D ontwerp in de werkplaats van De Ideeënfabriek. Het prototype is geëvalueerd aan de hand van de opgestelde eisen, dit is beschreven in §8.1. Voor de evaluatie van de ergonomische optimalisatie zijn (een deel van de) proefpersonen uit het gebruikersonderzoek uitgenodigd voor de analyse met het prototype. De resultaten van beide metingen konden met elkaar worden vergeleken voor de evaluatie, dit is beschreven in §8.2.

3.4. Randvoorwaarden

De opdrachtgever gaf enkele belangrijke eisen op voor het project, deze staan benoemd in tabel 2.

Tabel 2: Randvoorwaarden project duo fiets

Onderwerp	Randvoorwaarden
Onderzoek	Breng de doelgroep in kaart voor de ergonomische optimalisatie.
Ontwerp	Het fietsframe mag meegenomen worden in het ontwerpadvies.
Ontwerp	Geschikt voor zo groot mogelijk percentage van de gebruikers (p5 – p95 Nederlandse bevolking (ouderen)).
Realisatie	Het ontwerpadvies is te toetsen door middel van een model.

4. Onderzoek

4.1. Gebruikersanalyse

4.1.1. De Doelgroep

Voor de doelgroep analyse van de duo fiets werden de gebruikers in drie categorieën verdeeld, hieronder staan deze samengevat.

- Type 1: de bestuurder, deze is actief op de fiets. Fietst vaak of minimaal een uur. De bestuurders zijn zowel vrijwilligers of begeleiders. Of personen die de duo fiets zelf aanschaffen. Leeftijd vanaf ongeveer 45 jaar.
- Type 2: de actieve rijder, levert een bijdrage tijdens het trappen. Fietst regelmatig of minimaal een half uur. Leeftijd vanaf ongeveer 60 jaar.
- Type 3: de passieve rijder, deze levert minimale bijdragen tijdens het fietsen. Fietst niet vaak, of minimaal 10 tot maximaal 30 minuten. Dit heeft verschillende redenen; sommige hebben beperkingen of zijn snel vermoeid. Soms zijn ze afhankelijk van het aantal beschikbare vrijwilligers bij fietsorganisaties. Deze gebruikers komen vaak voor bij fietsorganisaties of zorginstanties. Leeftijd vanaf ongeveer 60 jaar.

De leeftijdscategorie van de rijders werd aangenomen hoger te zijn dan die van de bestuurder. Zoals vermeld in de inleiding, kan door ouderdom de flexibiliteit van spieren zijn afgenomen. In overleg met de opdrachtgever werd gekozen de duo fiets te optimaliseren voor de type 3 gebruikers: de passieve rijder. Mogelijk ervaart deze groep de meeste nadelen van (eventuele) beperking van flexibiliteit in combinatie met mogelijk andere fysieke beperkingen. Het doel was, door een goed afgestemde houding aan te bieden aan gebruikers, de fiets ervaring (mogelijk) te verbeteren zodat fietsen uitnodigend blijft voor deze groep. In tabel 3 bevindt zich de persona van de geselecteerde doelgroep (passieve rijders). De volledige tabel met persona's is te vinden in Bijlage 1.1.

Tabel 3: Persona's gebruikers duo fiets

Sanne en Berend (type 3 gebruikers)

88 en 90 jaar oud. Door last van stijfheid in de knieën zijn ze minder actief dan ze wellicht willen zijn. Door goede motivatie van fysiotherapeuten en activiteitenbegeleiders in het zorgcentrum blijven zij in beweging. Helaas kost dit veel inspanning, maar zijn tevreden met de stabiele, elektrisch ondersteunde duo fiets.

[1,72m, 10 minuten fietsen, beperkt, gast, man/vrouw.]



In §4.1.3. Antropometrie zal verder worden verdiept in de ergonomische eisen van de doelgroep. Hieronder werd de eerste deelconclusie van het onderzoek geformuleerd. De deelconclusies worden gebruikt om deelvraag 1 te beantwoorden.

Deelconclusie 1.1: doelgroep, passieve rijder (ouderen).

In revalidatie of zorgcentra maken ouderen vaak gebruik van de duo fiets. Er is bepaald om de fiets te optimaliseren voor de passieve (ouderen) rijder. Deze gebruikers ervaren mogelijk verminderde flexibiliteit in de gewrichten en hebben wenselijk een passieve rijstijl.

4.1.2. Gebruikerservaring

Tijdens het project werd het nieuwe model van de duo fiets ontwikkeld door Van Raam, hierover werd feedback gevraagd aan een groep gebruikers. Door de eigenschappen van de nieuwe en de oude stoel te vergelijken, kon samen met de feedback de verschillende eisen worden onderzocht.



Figuur 3: Links, oude model duo fiets (Van Raam, 2023). Rechts, nieuwe model duo fiets.

In figuur 3 zijn het oude en het nieuwe model weergegeven. Bij het oude model was vering in de rugleuning aanwezig, maar is in het nieuwe model verwijderd. De reden hiervoor is echter niet duidelijk aangegeven door het team van Research and Development. Sommige gebruikers ervaarde de vering in de rugleuning als prettig, terwijl andere aangaven de vering niet te missen bij de nieuwe stoel. Belangrijk hierbij was dat de gebruikers verschillende wensen hadden aan de stoel.

In oktober 2022 deden 40 paren (bestuurder en rijder) mee met een gebruikers enquête over de (nieuwe) duo fiets. Voor dit project zijn de opmerkingen door de student Bewegingstechnologie opnieuw geëvalueerd. Hieruit zijn de volgende opmerkingen genoteerd:

1. Het zitvlak was te kort. (27% gaf dit aan)
2. Instelling voor de rugleuning ontbreekt. (20% gaf dit aan)
3. Niet geschikt voor langere gebruikers (vanaf 1,80m). (13% gaf dit aan)
4. Anders of geen opmerking (40% van de deelnemers)

4.1.3. Antropometrie

De gekozen doelgroep was: oudere personen van 60+ jarige leeftijd. De antropometrische data van ouderen is onderzocht aan de hand van de Dined Tool van de TU Delft (Dutch Adults (60+), Dined2004). De waarden in tabel 4 waren relevant voor de (uiteindelijk) gekozen optimalisatie van de stoel. In Bijlage 1.2 is de volledige tabel van de onderzochte antropometrische data weergegeven.

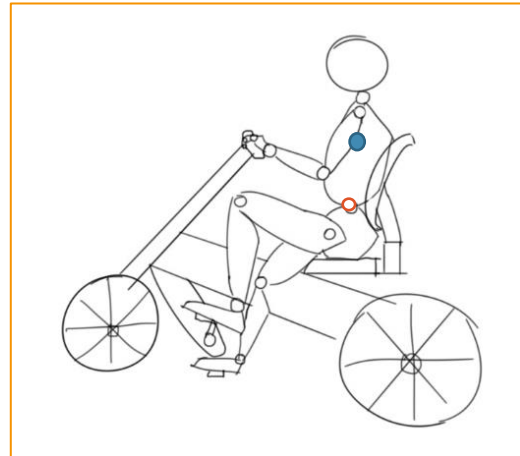
Tabel 4: Antropometrie Dined 2004 ouderen bevolking Nederland

	Maat [mm] ouderen (m + v)			Figuur 4: Nederlandse Bejaarden (Molenbroek et al., 1984)	
Nummer	P5	P50	P95		
8	1517	1665	1813		
22	1	26	71		
23	503	569	635		
27	176	225	274		
28	114	137	160		
32 b	851	937	1023		

4.2. Ergonomie

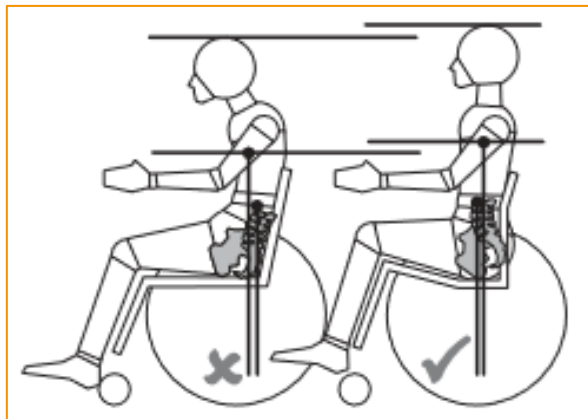
Op de duo fiets werd zittend in een stoel gefietst; dit was anders dan op een tweewieler met een zadel. De gebruiker zit dicht bij de grond en de trappers bevinden zich meer naar voren dan onder het lichaam.

In Figuur 5 is de situatie geschetst op de duo fiets in het zijaanzicht (het sagittale vlak). Aan de hand van het voorbeeld van Staarink (2014), werden lichaamsdelen opgedeeld in segmenten. Elk segment in het figuur is verbonden door een rotatiepunt. Deze cirkels weergeven op een eenvoudige manier enkele gewrichten. De rode cirkel in het figuur weergeeft het scharnierpunt van de lumbale wervels (L4-L5), ter hoogte van de rand van het bekken. Het gezamenlijke zwaartepunt van de romp en het hoofd (de blauwe cirkel in figuur 5), beschikt (door de zwaartekracht versnelling) over een kracht naar beneden gericht. Hierdoor vormt zich een moment rondom het rotatiepunt van de lumbale wervels. De armen konden rusten op het stuurframe van de duo fiets of op (optionele) armsteunen. Hierom werden de armen buiten de belasting beschouwd.



Figuur 5: Schematische tekening gebruiker op duo fiets, zij aanzicht. Rode cirkel: scharnierpunt lumbale wervels. Blauwe cirkel: gezamenlijk zwaartepunt romp en hoofd.

Voor een goede zithouding is het volgende van belang. Het gezamenlijk zwaartepunt van de romp en het hoofd, moet dorsaal van het rotatiepunt van de lumbale wervels van de gebruikers te krijgen. Een voorbeeld van de situatie is weergegeven in figuur 6 en komt uit het onderzoek van Van Breukelen (2010). Doordat de naar beneden gerichte kracht zich dorsaal van het rotatiepunt bevindt, blijft de natuurlijke kromming van de wervelkolom (de lordose van de lumbale wervels) behouden. Zo wordt belasting op bepaalde spieren van de rug beperkt gehouden (Staarink, 2014).

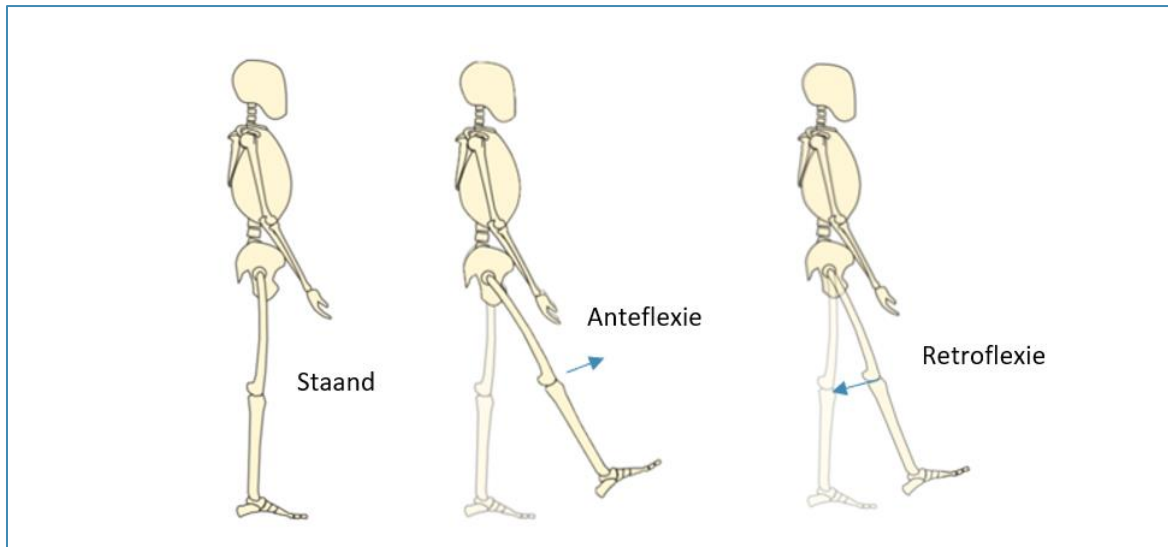


Figuur 6: Biomechanisch model voor ergonomische rolstoelzitting. Weergeeft de invloed van de stoel op het lichaams-zwaartepunt (Van Breukelen, 2010)

Op de stoel van de duo fiets werd de rugleuning ten opzichte van het zitvlak onder een hoek van 115 graden geplaatst. Door deze hoek groter te maken dan 90 graden kan het eerder benoemde zwaartepunt meer richting dorsaal verplaatsen. Echter garandeert het niet de gewenste houding voor iedere gebruiker. De plaatsing van het zwaartepunt hangt af van de lengte, het gewicht of eventuele beperkingen in gewrichten van de gebruikers.

Bovenstaand onderzoek zal worden betrokken bij de optimalisatie voor de passieve rijder. Het doel is om de gebruiker niet voorover, maar (licht) achteroverleunend in de stoel te laten zitten, zodat de natuurlijke vorm van de rug mogelijk kan worden ondersteund.

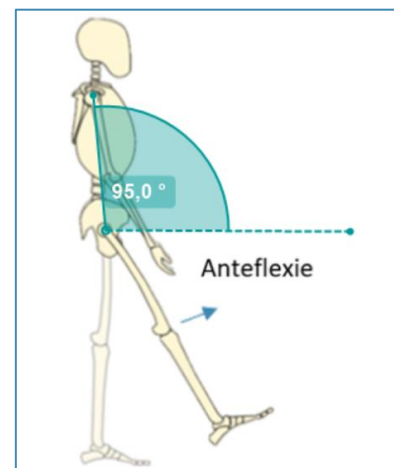
In de probleemstelling werd aangenomen dat door het ontwerp van de duo fiets, mogelijk de kans is vergroot dat bij ouderen de maximale anteflexie in de heup wordt benaderd. Anteflexie en retroflexie zijn de voor- en achterwaartse beweging van het bovenbeen uitgevoerd in de heup vanuit een staande positie, dit is afgebeeld in figuur 7. Tijdens het fietsen op de duo fiets worden ante- en retroflexie in de heup uitgevoerd tijdens het trappen.



Figuur 7 Skelet model in Inkscape (A. Lagerberg 2023). Staande houding, anteflexie en retroflexie in de heup.

Bij minder soepele heupen zoals bij ouderen, zal het maximaal anteflecteren eerder worden bereikt dan bijvoorbeeld bij gezonde volwassenen. Wanneer de maximale anteflexie wordt benaderd, resulteert dit mogelijk tot deelname van het bekken tijdens de beweging. Deelname van het bekken veroorzaakt mogelijk een voorovergebogen houding bij gebruikers op de duo fiets. Ook is het van belang dat de uiterste anteflexie stand wordt vermeden, omdat dit bij mensen als oncomfortabel of zelfs als pijnlijk kan worden ervaren.

Uit het onderzoek van Anderson (2014) is bij ouderen een hoek van 87 graden gevonden van het bovenbeen, ge-anteflecteerd vanuit staande positie. In het onderzoek van Elson (2008), werd onderzocht tot hoeveel graden het been kon anteflecteren voordat het bekken mee kantelt. Gemiddeld werd hier 85 graden genoteerd vanuit een staande positie (Elson RA & Aspinall GR, 2008). De waardes van beide onderzoeken werden als richtlijn gebruikt voor het onderzoek naar de houding op de duo fiets. Omgerekend naar de hoek tussen het been en de romp (de heuphoek) bedraagt dit ongeveer 95 graden, deze hoek is afgebeeld in figuur 8.



Figuur 8: De heuphoek aangeven in het skeletmodel met een boog van 95 graden. Deze waarde diende als richtlijn voor optimalisatie van de houding op de duo fiets.

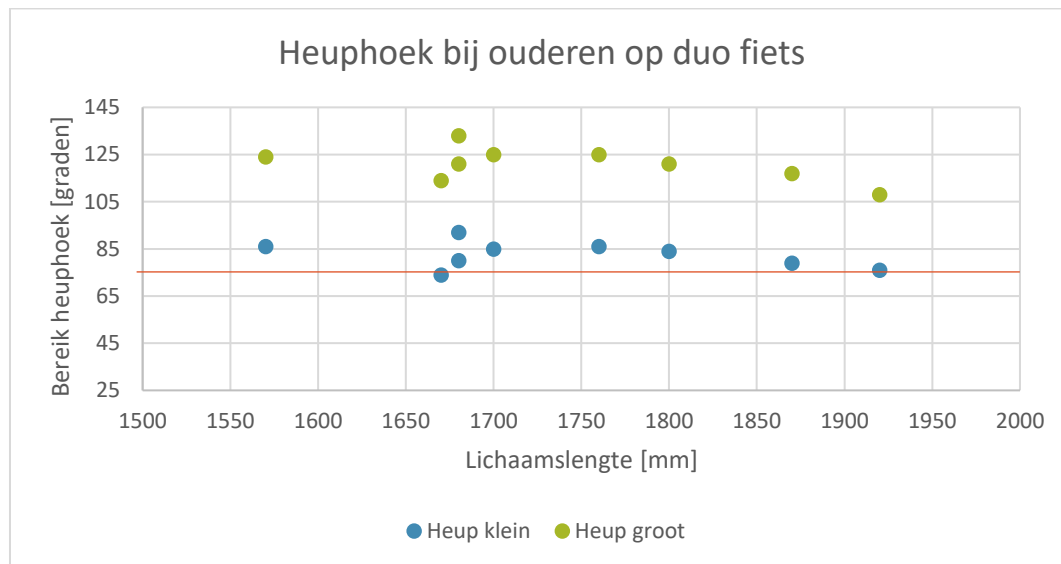
Deelconclusie 1.2:

Voor de ergonomische optimalisatie voor ouderen is bepaald dat de minimale heuphoek 95 graden moet bedragen, om de kans te verlagen dat de maximale flexibiliteit in de heup wordt benaderd. Daarbij is het doel de gebruikers niet voorover (richting het stuur) te laten leunen tijdens het fietsen, maar licht leunend naar achter (van het stuur af).

4.3. Bewegingsanalyse

Er werden tien proefpersonen uitgenodigd om deel te nemen aan een bewegingsanalyse op de duo fiets. Er deden vijf mannen en vijf vrouwen aan mee. Bij de analyse werd de bewegingsuitslag van de heup geregistreerd, de resultaten zijn weergegeven in figuur 9. De heuphoek was de hoek tussen de romp en het bovenbeen, dit werd uitgedrukt in graden.

De lichaamslengtes van de proefpersonen bedroegen tussen de 1570 en 1920 mm. Dit viel binnen het percentiel 10 - 99,9% van de Nederlandse ouderen bevolking. Dit werd berekend aan de hand van de antropometrische data uit §4.1.3, de berekening is beschreven in Bijlage 1.2.



Figuur 9: Bewegingsuitslag van het bovenbeen, uitgedrukt in de hoek tussen been en romp (heuphoek) in graden. Per proefpersoon staan twee bolletjes op dezelfde verticale lijn.

De kleinste gevonden minimale heuphoek bij de deelnemers bedroeg 73 graden, weergegeven met de rode lijn in figuur 9. De volgende variabelen hebben (mogelijk) invloed op de heuphoek tijdens het fietsen op de duo fiets:

- Zithoogte/zitafstand tot trapper (zit hoogte bij een normale fiets, zit afstand bij de duo fiets)
- Cranklengte, in verhouding tot binnen beenlengte.
- Zithoek, de hoek tussen het zitvlak en de rugleuning

Voor de zitafstand worden richtlijnen gegeven aan gebruikers voor de strekking van de knie tijdens het fietsen. In overleg met een binnendienstmedewerker bij Van Raam, is besloten dit niet mee te nemen tijdens het onderzoek omdat het niet zou kunnen worden toegepast in de praktijk.

De invloed van de cranklengte werd kort onderzocht. Bij een proefpersoon met lichaamslengte 1680 mm werd gemeten met de standaard cranklengte van de duo fiets en een ingekorte crank (20mm korter). Door de verkorte crank nam de grootste heuphoek af met 7 graden, de kleinste heuphoek bleef echter gelijk.

In Bijlage 1.3.2 staan meer visualisaties van de resultaten uit deze analyse gedocumenteerd. Aan de hand van het verrichte onderzoek kon de deelconclusie 1.3 worden geformuleerd.

Deelconclusie 1.3: Bewegingsanalyse bij ouderen

De kleinste heuphoek bedroeg 73 graden. Voor de ergonomische optimalisatie is bepaald om deze hoek rond de 95 graden, of groter te stellen voor de duo fiets.

4.4. Marktonderzoek

In het marktonderzoek is onderzoek verricht naar bestaande mogelijkheden voor de ergonomische optimalisatie. De volgende punten zijn onderzocht: vergroting van de heuphoek, kanteling voor de rugsteun en ondersteuning van de lumbale wervelkolom.

Om instelling voor verschillende gebruikers evenredig te houden, maakt de fiets van Huka gebruik van een schuin frame. Ook op de Easy Rider werd gebruik gemaakt van een diagonaal-verstelbare zitting. Daarbij zit de gebruiker lager bij de grond dan op de duo fiets. Het schuine fietsframe is weergegeven in figuur 10.



Figuur 10: fietsen met een schuin naar beneden gerichte stoel verstelling. (Huka en Van Raam).

Voor de ondersteuning van de lumbale wervels zijn voor bureaustoelen opzetbare lendenondersteuning op de markt. Belangrijk hierbij is dat de ondersteuning de juiste positie blijft behouden. In figuur 11 is een ondersteuning weergegeven die kan worden toegepast op bureaustoelen.



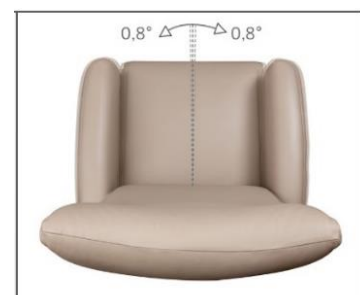
Figuur 11: Lenden ondersteuning bij bureaustoelen.



Figuur 12: Kanteling van de rugleuning bij bureaustoelen

In figuur 12 werd de optie tot het kantelen van de rugleuning onderzocht. Het kantelen van de rugleuning kan mogelijk de heuphoek vergroten. Deze optie is toegepast op bureaustoelen om zoveel mogelijk gebruikers te voorzien van de bijpassende heuphoek.

Fitform beschikt over stoelen die om de aantal seconden (minimaal) horizontaal heen- en weer verplaatsen. Deze stoel is afgebeeld in figuur 13. Deze beweging had mogelijk een positief effect voor gebruikers, door de ontlasting van de tussenwervelschijven.



Figuur 13: dynamische stoel van Fitform.

Deelconclusie 1.4: marktopties

Voor een ergonomische houding bij "zittend" fietsen wordt bij sommige fietsen een meer liggende houding aangeboden. Bij stoelen die moeten voldoen aan ergonomische normen, zoals bureaustoelen, is een optie tot kanteling van de rugleuning een optie.

4.5. Materiaalonderzoek

Er werd een materiaalonderzoek verricht voor de stoel van de duo fiets. De stoel bestond uit twee onderdelen: de rugleuning en het zitvlak. Hiervoor zijn materiaaleigenschappen onderzocht en verwerkt in tabel 5.

Het doel van de ergonomische optimalisatie was om het lichaam van de gebruiker te ontlasten, bewegingsvrijheid te vergroten en om de lumbale wervels te ondersteunen. Hierbij werd voor de materiaalkeuze gezocht op drukverdeling, flexibiliteit (vering en demping) en zachtheid. Echter moet het materiaal ook van eigenschappen worden voorzien, zoals: vochtbestendig, ventilerend, schok dempend en (dynamisch) belastbaar. In tabel 5 staat een overzicht van de onderzochte materialen.

Tabel 5: Eigenschappen van materialen mogelijk geschikt voor de stoel van de duo fiets, Quak (2002)

Materiaal	Benaming	Eigenschap	Voordeel	Nadeel
Stoel Frame				
Kunststof	<i>Polypropeen (PP)</i>	<i>Taai, slijtvast, sterk.</i>	<i>Eenvoudige bewerking, goedkoop, lichtgewicht, milieuvriendelijk.</i>	<i>Niet voor lage temperaturen (-10 graden)</i>
	<i>Polyamide 6 (PA6) *</i>	<i>Taai, hoge demping, geluid en trilling absorberend</i>	<i>Slijtvast</i>	<i>Vocht opnemend, lastig lijmen en lassen</i>
	<i>Polyamide 12 (PA12)</i>	<i>Iets minder sterk dan PA6, veel minder vochtgevoelig</i>	<i>Lage vochtgevoeligheid</i>	<i>Voor onderdelen met grote vormstabiliteit</i>
	<i>PC/ABS</i>	<i>Minimale krimp, splintert niet</i>	<i>Bestand tegen licht,</i>	<i>Wit verkleurd wel in de zon</i>
Composieten	<i>Koolstofvezels (CF)</i>	<i>Grote sterkte, grote stijfheid, trilling demping</i>	<i>Goedkoop, licht gewicht, milieuvriendelijk</i>	<i>Weinig elastisch, tamelijk duur, vrij bros</i>
Aluminium	<i>(Afhankelijk van samenstelling)</i>	<i>Bestand tegen oxidatie, bestand tegen zout en zuur</i>	<i>Verschillende hardheden, goede bewerkbaarheid, licht gewicht in vergelijking met staal</i>	<i>Vermoeien en veroudering, niet milieuvriendelijk</i>
Staal	<i>S235jr</i>		<i>Makkelijk te vormen, goed te lassen,</i>	<i>Zet uit en krimpt, zwaar</i>
Zitvlak vulling (polstering)				
Schuimrubber	<i>Polyether (PU)</i>	<i>Flexibel, zacht, open celstructuur</i>	<i>Keert terug naar originele vorm na indrukken.</i>	<i>Korte levensduur</i>
Schuim	<i>Polyethyleen (PE)</i>	<i>Gesloten celstructuur, waterdicht, schok absorberend</i>	<i>Terugkerend naar originele vorm na indrukken</i>	<i>Krasgevoelig</i>
	<i>Ethyleen Vinyl Acetaat (EVA)</i>	<i>Gesloten celstructuur, flexibel, zacht, schok absorberend</i>	<i>Originele vorm na indrukken, duurzamer dan PE of rubber, antislip</i>	<i>Niet slijtvast</i>
Stoffering				
Badstof	<i>Katoen en polyester</i>	<i>Rekbaar, vocht absorberend, zacht</i>	<i>Soepel</i>	<i>Moeilijk knippen en naaien</i>
Mesh	<i>Polyamide of polyester (PA of PU)</i>	<i>Elastisch, licht gewicht</i>	<i>Vormvast</i>	<i>Polyester zelf niet ademend</i>

4.6. Onderzoek conclusie

De getrokken deelconclusies uit de onderzoeksfase werden gebruikt om deelvraag (DV) 1 te beantwoorden, de antwoorden staan hieronder beschreven.

DV1: De gebruikers van de duo fiets hebben een leeftijd van 60+ jaar oud. Daarmee worden deze mensen geclassificeerd (voor dit project) als oudere personen.

1.1: Ouderen ondervinden verminderde spierkracht en flexibiliteit in gewrichten. Op de duo fiets heeft de doelgroep een passieve rijstijl, daar zal de ergonomische optimalisatie op worden gericht.

1.2: Uit de literatuur is gebleken dat ouderen vanuit een staande positie een hoek van ongeveer 85 graden aan zuivere anteflexie met het been kunnen maken. Omgerekend naar de heuphoek, zal de minimale hoek niet kleiner dan 95 graden mogen bedragen tijdens het fietsen op de duo fiets.

1.3: Bij oudere gebruikers op de duo fiets werd de heuphoek geanalyseerd. De kleinste gevonden hoek bedroeg 73 graden.

1.4: Bestaande oplossingen om de heuphoek te vergroten zijn het verlagen van de stoel (ligfiets) of opties tot kantelen van de rugleuning of de gehele stoel.

1.5: Aangeraden wordt om flexibel materiaal te gebruiken om de bewegingsvrijheid niet te beperken.

Het verrichte onderzoek kon worden gebruikt om het pakket van eisen op te stellen. De materiaalkeuze zal later concreet worden gemaakt, na de conceptkeuze in §7.1.

5. Programma van Eisen (PvE)

In tabel 6 staan de eisen weergegeven die voortkwamen uit de onderzoeksfase van het project, daarmee wordt de tweede deelvraag van het project beantwoord.

Het volledige programma van eisen is beschreven in Bijlage 2. In het volledige programma werden ook aspecten zoals veiligheid, normen en serie grootte opgenomen. Om de toetsing van het prototype binnen het project te realiseren, werd besloten de eisen te beperken tot functies en veiligheid, deze zijn weergegeven in tabel 6.

Tabel 6: Eisen ergonomisch (test) ontwerp duo fiets

Test-model	Aspect	Eis omschrijving	Oorsprong	Test methode
	Gebruik	Functies van product		
x	Zittend	Kan een minimaal 1 gebruiker van 120kg verdragen.	Van Raam (specificaties Fun2Go)	Simulatie /Gebruikerstest
x	Fietsen	Het ontwerp houdt rekening met de trapbeweging vereist op de fiets.	§2.1.	Geen belemmering tijdens het fietsen
	Antropometrie	Afmetingen van het product		
x	Gewicht gebruikers	P95 lichaamsgewicht ouderen 60+ jaar = 91 kg.	§4.1.3.	Gebruikerstest /Simulatie
x	Lumbale wervel ondersteuning	Ter hoogte vanaf het zitvlak P50 (m+v) = 225 mm.	§4.1.3. Tabel 5 (nr.27)	Opmeten aan prototype met meetlint
	Ergonomie	Eisen aan handelen product		
x	Hoek romp-bovenbeen	De kleinste gevonden hoek tussen de romp en bovenbeen ligt boven de 95°.	§4.1.4.	Bewegingsanalyse
x	Hoek rugleuning - zitvlak	Nog ~20 graden achterover te kantelen. Afhankelijk van gebruiker.	§4.1.5	Bewegingsanalyse
x	Lumbale ondersteuning	Op welke hoogte de lenden ondersteuning vanaf zitvlak: P5(v)-P95(m) = 169 – 274 mm.	§4.1.3. Tabel 5 (nr.27)	Opmeten aan prototype met meetlint
	Materialen	Welke wel, welke niet		
x	Verend	Het gebruikte materiaal geeft gebruikers voldoende bewegingsruimte tijdens het fietsen.	§4.1.4.	Geen drukpunten door beweging tijdens het fietsen.
x	Ventilerend	Het gebruikte materiaal zorgt niet voor vochtophoping.	§4.3	Bezichtiging. Vaststelling met tast.

6. Ontwerpen

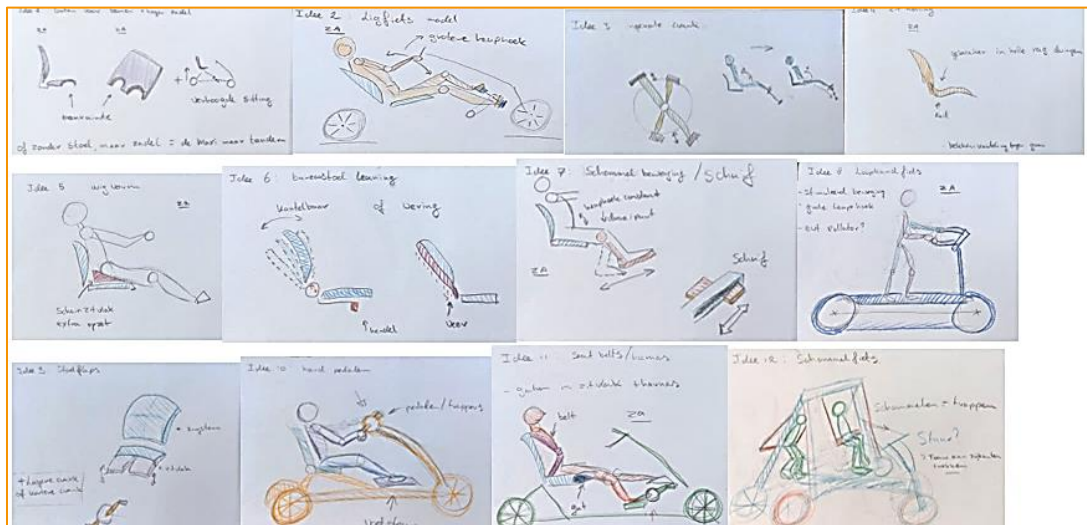
Zoals beschreven in de methode, werden mede stagiairs bij De Ideeënfabriek uitgenodigd om deel te nemen aan een brainstormsessie. Er werd een (korte) uitleg gegeven over resultaten uit het onderzoek en de beweging in het heupgewricht. De volgende stelling stond bij de brainstormsessie centraal:

Hoe kan bij gebruikers van de duo fiets, de anteflexie uitslag van het been worden verkleind?

Sub vraag 1: Hoe kan de kanteling van het bekken worden voorkomen?

Sub vraag 2: Hoe kan de natuurlijke vorm van de wervelkolom worden behouden op de duo fiets?

De schetsen zijn weergegeven in figuur 15, in bijlage 3.1 zijn de schetsen groter weergegeven. Na het vastleggen van de ontwerpvisie werden de ideeën verwerkt in het morfologisch overzicht in §6.2.



Figuur 15: Idee schetsen gekomen uit de brainstormsessie.

6.1. Ontwerpvisie

Voor deelvraag 2.1 is overlegd met de opdrachtgever, hieruit zijn de volgende punten gekomen.

Het eerste punt vanuit de opdrachtgever was dat de oplossing voor het probleem geen andere negatieve gevolgen met zich meebracht. Met als voorbeeld: dat wanneer de heuphoek wordt geoptimaliseerd, dit geen negatieve effecten heeft voor bijvoorbeeld de schouders. Deze visie is gericht op ergonomische optimalisatie van het product.

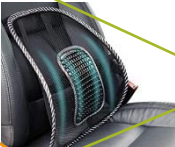
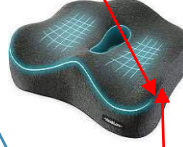
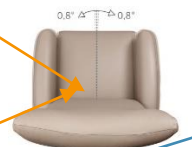
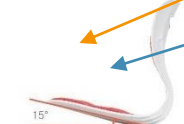
Het tweede punt ging over een mogelijk ontwerp met instel opties. Er moest rekening worden gehouden met het begrip en hanteren tussen de doelgroep en het ontwerp. Dit lag ook in verband met het eerder benoemde punt. Wanneer instellingen verkeerd worden toegepast door gebruikers, kan dit nadelige gevolgen hebben voor de ergonomie. De visie is dat het nieuwe ontwerp begrijpelijk te hanteren is door de doelgroep.

Aan de hand van de ontwerpvisies werden de lijnen getrokken in het morfologisch overzicht.

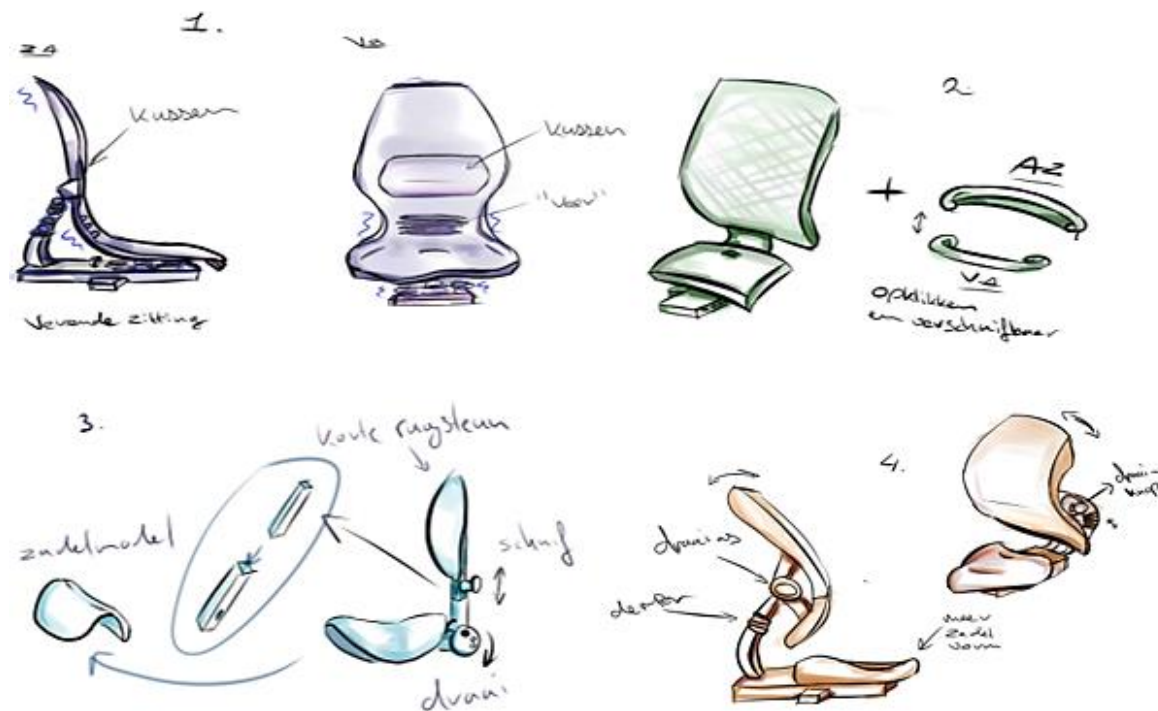
6.2. Morfologisch overzicht

In het morfologisch overzicht werden de ideeën van de brainstormsessie gecategoriseerd en aangevuld, het overzicht is weergegeven in tabel 7. De gekleurde lijnen in het morfologisch overzicht weergeven de verschillende concepten. Deze werden gebaseerd op de ontwerpvisie en de verschillende benaderingen hiervoor. Onder de concept tekeningen in §6.3, is meer toelichting bij de concepten gegeven.

Tabel 7: Morfologisch overzicht. Concept 1: rood. Concept 2, groen. Concept 3: blauw. Concept 4: oranje.

Deel Functies	Deeloplossingen				
Vergroten heuphoek	Crank inkorten	Schuin zitvlak	Fietszadel	Ligfiets model	Schuiven
	Stoel verhogen	Rugleuning kantelen	Balance; maar duo	Dokters stoel	Hand bike
					
Kanteling bekken tegenaa n	Kuiltje in zitting	Rugleuning kantelen	Ondersteuning	Verstelbaar	Contouren
					
Lumbale onder- steuning	Kussen	Beugels	Drukpunt /prikkel	Tril/bewegend zitvlak	Ondersteuning
					
Niet- afglijden stoel	Stoel kantelen	Helling	Kuiltje	Gordels	Antislip
					

6.3. Concepten



Figuur 16: Vier concepten, voortkomend uit het morfologisch overzicht.

In figuur 16 staan de vier concepten weergegeven die voortkwamen uit het morfologisch overzicht. Hieronder zal per concept het idee en de bij behorende visie worden toegelicht.

Concept 1: Hierbij werd gezocht naar een concept waarbij het thema “one size fits all”, centraal stond. Dit was een oplossing voor wanneer de doelgroep mogelijk instel-mogelijkheden niet volledig zou benutten door gebrek aan kennis. Deze kwamen niet aan te pas in dit concept.

Concept 2: Voor het tweede concept werd gericht op een mogelijke toevoeging aan de stoel. Met name om de lumbale wervels voor verschillende gebruikers beter te ondersteunen.

Concept 3: Uit het onderzoek voor de ergonomie is gebleken dat gebruikers baat hebben bij instelbare mogelijkheden. Hier werd het derde concept op gebaseerd.

Concept 4: (oranje): Het vierde concept zou de stoel dynamischer maken zonder gebruik te maken van instellingen. In dit concept werd de focus gelegd op meer vering voor betere drukverdeling.

De tekeningen van de concepten zijn in groter formaat te bezichtigen in Bijlage 3.2.

Zoals beschreven in de methode (§3.3.2.) zijn de concepten gescoord aan de hand van opgestelde criteria en zijn verwerkt in tabel 8 (pagina 26). De criteria zijn gebaseerd het PvE en de ontwerpvisies, deze werden zo beschreven dat de mate van de eis kon worden beoordeeld aan de hand van een score van 1-3. Waarbij: 1 werd toegekend als het concept niet of weinig aan de criteria voldeed; 2 wanneer het deels voldeed; en 3 wanneer het concept het meest voldeed. Er is gekozen voor een score met de cijfers van 1 tot 3 om de kans op het onnodig laag of hoog scoren te voorkomen. Eerst was geprobeerd te scoren met van 1 tot 4 of, 1 tot 5, echter was hierbij de neiging om de concepten onderling vergelijken. Om de functies per concept te beoordelen zijn de scores daarom meer globaal gehouden, zoals hierboven beschreven. De cijferscore van de weegfactor is hetzelfde principe gebaseerd. Op de volgende pagina zijn de scores weergegeven (in tabel 8).

Tabel 8: Score tabel voor de concepten ergonomisch ontwerp zitting duo fiets. Score van 1: het concept voldoet niet of heeft geen invloed. Score 2: Voldoet deels. Score 3: Voldoet volledig aan de eis.

Nr.	Beschrijving van de eis.	Weeg factor (1-3)	Concept 1 Score (1-3)	Concept 2 Score (1-3)	Concept 3 Score (1-3)	Concept 4 Score (1-3)
1	Kan de trapbeweging tijdens het fietsen zo goed mogelijk uitvoeren.	3	2 (6)	2 (6)	3 (9)	3 (9)
2	Kan het product met zo min mogelijk uitleg hanteren.	2	3 (6)	2 (4)	1 (2)	3 (6)
3	Geschikt voor zoveel mogelijk gebruikers.	3	3 (9)	2 (6)	3 (9)	2 (6)
4	Vergroot de hoek tussen de heuphoek zoveel mogelijk.	3	1 (3)	1 (3)	3 (9)	2 (6)
5	Bied lendenondersteuning voor zo groot mogelijke groep gebruikers.	3	2 (6)	3 (9)	3 (9)	1 (3)
6	Instel mogelijkheid bereikt een zo groot mogelijke groep gebruikers.	1	1	2	3	1
7	Voorkomt achterover kanteling van het bekken zo goed mogelijk.	1	3	1	3	2
8	Er treedt zo min mogelijk afglijding op bij de gebruiker.	1	3	1	2	2
9	Ondersteunt zo goed mogelijk de natuurlijke vorm van de wervelkolom.	3	3 (9)	1 (3)	3 (9)	2 (6)
10	Beschikt over zo min mogelijk instelmogelijkheden.	2	3 (6)	2 (4)	1 (2)	3 (6)
Score			52	39	57	47

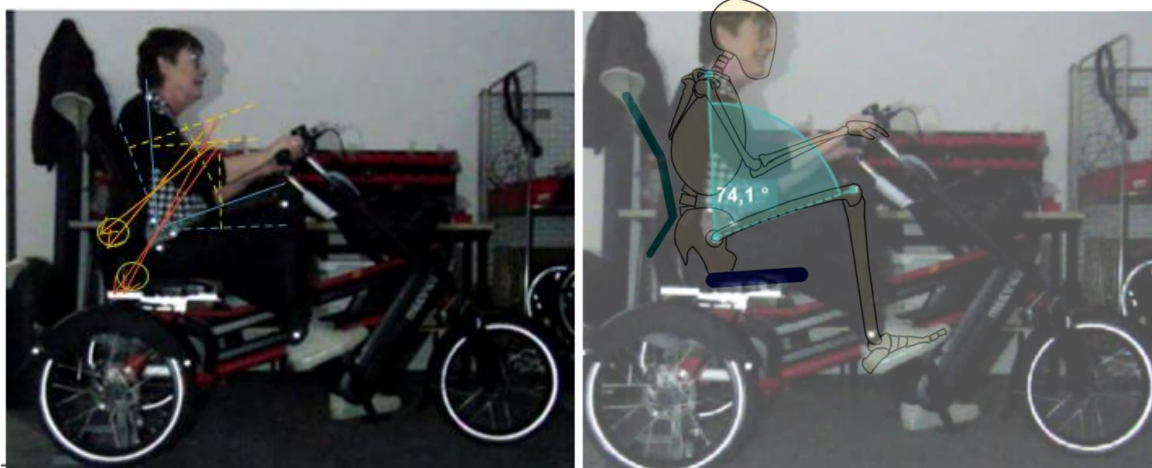
Na het toevoegen van de score had concept 1: 52 punten, concept 2: 39 punten, concept 3: 57 punten en concept 4: 47 punten. Na overleg met de opdrachtgever is besloten verder te werken met concept 3, met 57 punten.

6.4. Eindontwerp

Voor de vorming van het eindontwerp werd eerst het rotatiepunt systematisch bepaald aan de hand van een model en het gebruik van de middelloodlijn.

6.4.1. Rotatiepunt

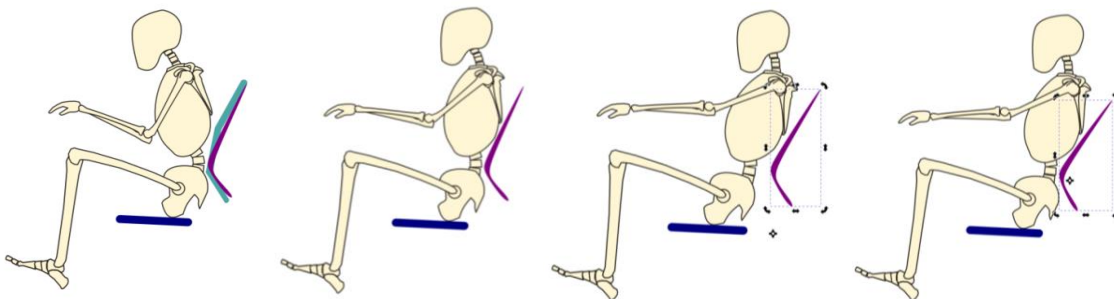
De precieze locatie van het rotatiepunt werd bepaald met behulp van een skeletmodel in het programma Inkscape. Deze representeerde een gebruiker op de (huidige) stoel van de duo fiets, dit is weergegeven in figuur 17 (op pagina 27). Het skeletmodel werd verstrekt door Aad Lagerberg, docent Bewegingstechnologie. Als voorbeeld werd proefpersoon 3 genomen. In overleg met de opdrachtgever is de vorm van de rugleuning op een manier getekend die de werking representeerde. De vorm van de originele rugleuning suggereert namelijk ondersteuning van de lumbale wervels. Echter door het materiaal en de vervorming ervan, bleek dit niet het geval.



Figuur 17a en b: (17a) Proefpersoon 3 van de bewegingsanalyse op de duo fiets gebruikt om de locatie van het draaipunt te schatten met behulp van de middelloodlijn. (17b) Het skelet model over de proefpersoon heen weergegeven, met daarbij een gradenboog om de heuphoek te representeren.

Bij het eindconcept stonden er twee functies centraal, namelijk een draaipunt en een verschuiving. Voor het onderzoek naar de optimale positie van het draaipunt wordt verwezen naar bijlage 3.3. In de volgende alinea zal beknopt het resultaat worden behandeld.

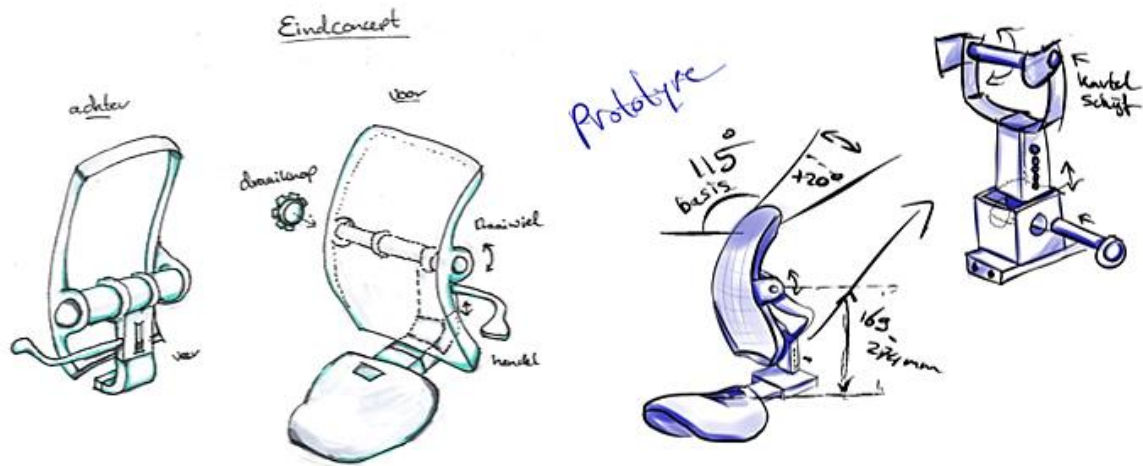
Voor het rotatiepunt werd de locatie gekozen ter hoogte van de lumbale wervels. Er werd aan de hand van het model aangenomen dat deze locatie voordeliger was voor de houding tijdens het fietsen, dit is weergegeven bij het meest rechter skeletmodel in figuur 18. Met het rotatiepunt op deze locatie werd de heuphoek vergroot, terwijl de houding van de nek, het hoofd en de armen geen grote compensatie vereiste. Dit was in tegenstelling met het concept waar het scharnierpunt zich bij het heupgewricht, dit is weergegeven bij het 3^e skelet model (van links) in figuur 18.



Figuur 18: (1) Skelet model op huidige stoel. (2) aangepaste stoel met lenden ondersteuning. (3) 6 graden geroteerd rond het heupgewricht vanuit 2, de gebruiken kan mogelijk niet meer naar het stuur rijden. (4) 10 graden geroteerd om de lumbale wervels vanuit 2.

6.4.2. Eindconcept en Prototype Ontwerp

De bepaling van de locatie van het rotatie punt is verwerkt in het eindconcept en is weergegeven in figuur 20a en 20b. In figuur 20a is het eindconcept weergegeven zoals deze is in eerste instantie is bedacht en in figuur 20b is het eindconcept van het vervaardigde prototype weergegeven.



Figuur 19 a: Eindconcept optimalisatie duo fiets. Met een draaipunt en een hoogte instelling van de rugleuning.

Figuur 20 b: Schets voor de werking van het prototype, gebaseerd op het eindconcept.

In het eindconcept (figuur 20a) kan het draaien van de rugleuning worden gerealiseerd door middel van een draaiknop. De reden hiervoor is dat wanneer er rekening wordt gehouden met de beschikbare hand/knijskracht van ouderen, dit een eenvoudige optie is om de functie toe te passen. De beschikbare knijskracht van de p5-p95 van ouderen bedraagt tussen de 58 en 161 Newton. Deze gegevens zijn terug te vinden in de volledige antropometrische data tabel in bijlage 1.2. Echter is hier geen rekenen mee gehouden voor het ontwerp van het prototype (figuur 20b). Tijdens de evaluatie van de werking van het prototype was het niet vereist dat de doelgroep deze zelf kon hanteren.

De waardes voor de hoogte instelling van de rugleuning in figuur 20b, is gebaseerd op de mogelijke hoogtes van de lumbale wervels van de p5-p95 ouderen bevolking van Nederland. Dit is gehaald uit tabel 4 (§4.1.3). Met deze optie blijft de lumbale ondersteuning op een geschikte hoogte voor verschillende mensen. In het eindconcept kan worden gerealiseerd door middel van een hendel en het toepassen van veren. Voor het prototype kon een oude stoel van de duo fiets worden gebruikt. De rugleuning en het onderdeel om de stoel te monteren aan de duo fiets werden verstrekt door Van Raam, hier omheen werd het idee voor het prototype ontworpen.

In het prototype is de hoogte instelling gerealiseerd door twee buizen over elkaar heen te plaatsen, waarvan de binnenste buis omhoog en omlaag kan schuiven. Door in de buizen gaten te creëren kan de hoogte instelling worden vastgezet door middel van een bout en een moer. De instellingen zijn bepaald door de (afgeronde) hoogte van 270mm -170 mm en te nemen en dit te delen door 5. Met het doel om zoveel mogelijk gebruikers de juiste ondersteuning te bieden.

Het roteren van de rugleuning is gerealiseerd door het toe te passen van een twee karteldraaischijven tegen elkaar aan en te verbinden met een bout en een moer, deze kon vast- en los worden gedraaid door middel van een inbussleutel. De gekozen bouten waren M6 en zijn bepaald aan de hand van de dikte van het materiaal, de (overschatte) belasting op de constructie en de beschikbare middelen in De Ideeënfabriek. De belasting op de buizen (en platen) constructie werd berekend voor het gebruik (met de doelgroep) en is beschreven in bijlage 4.2.2.

7. Realisatie

7.1. Materiaalkeuze

De keuze van het materiaal werd gebaseerd op gebruiksvriendelijke kenmerken, zoals: niet schurend en ventilerend. De eisen vanuit het volledige PvE (Bijlage 2) zijn onderzocht en verwerkt in tabel 9.

Tabel 9: Materiaal eisen voor eindontwerp duo fiets zitting optimalisatie.

Materialen	Welke wel, welke niet		
Ventilerend	Het materiaal van de stoel wat in contact staat met de gebruiker moet vocht doorlatend zijn.	Materiaal-onderzoek §4.3.	Geen vocht opbouw tijdens het fietsen.
Niet schurend	Contact met gebruiker mag niet schuren op het lichaam	§4.3	
Verend	Materiaal van de stoel moet vering in de rugleuning bevatten	§4.2.	De rugleuning vervormt lichtelijk bij indrukking (2cm).
Licht gewicht	Voor onderdelen die geen contact met gebruiker maken	§4.3	Totale gewicht van fiets niet zwaarder dan huidige model
Veilig	Het materiaal mag de gebruiker in zijn functies niet hinderen.	6.1 visie opdrachtgever	Geen drukplekken of schaafplekken.

Wanneer de hoek tussen de rugleuning en het zitvlak te groot wordt, kan er afschuiving ontstaan. Dit kan ook voorkomen wanneer het bekken wilt kantelen, maar de rugleuning niet flexibel genoeg blijkt. Dit kan ervoor zorgen dat de terugwerkende kracht van de rugsteun de gebruiker kan wegduwen van het zitvlak. Door voor het materiaal van de rugleuning te kiezen voor flexibel materiaal kan hier rekening mee worden gehouden.

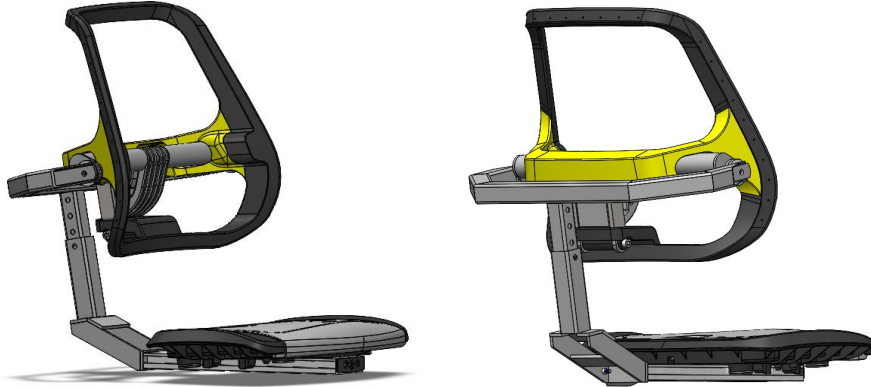
Voor het eindontwerp werden aluminium en kunststof (PA 12) gekozen als geschikte materialen vanwege het lichte gewicht. Voor de realisatie van het prototype werd gekozen voor geschikt materiaal wat op voorraad lag bij Van Raam; hierdoor werd er tijd en kosten bespaard. Voor het prototype werd gekozen voor constructiestaal S235jr, vanwege de mogelijkheid tot lassen van het materiaal. De geleverde rugleuning door Van Raam bestond uit kunststof, PA6. Hieronder in tabel 10, nog een korte samenvatting van de materialen en hun eigenschappen.

Tabel 10: Gekozen materialen. Groen: gekozen voor eindontwerp. Geel: gekozen voor prototype ontwerp.

Materiaal	Benaming	Eigenschap	Voordeel	Nadeel
Stoel Frame				
Kunststof	Polyamide 6 (PA6) *	Taai, hoge demping, geluid en trilling absorberend	Slijtvast	Vocht opnemend, lastig lijmen en lassen
	Polyamide 12 (PA12)	Iets minder sterk dan PA6, veel minder vochtgevoelig	Lage vochtgevoeligheid	Voor onderdelen met grote vormstabiliteit
Aluminium	(Afhankelijk van samenstelling)	Bestand tegen oxidatie, bestand tegen zout en zuur	Verschillende hardheden, goede bewerkbaarheid, licht gewicht in vergelijking met staal	Vermoeien en veroudering, niet milieuvriendelijk
Staal	S235jr		Makkelijk te vormen, goed te lassen,	Zet uit en krimpt, zwaar

7.2. 3D Ontwerp

Door Van Raam werd een (digitaal) model verstrekt van de duo fiets stoel. Dit ontwerp is aangepast om de bestaande verbinding (tussen de rugleuning het zitvlak) te vervangen met het nieuwe ontwerpen is weergegeven in figuur 21. Het 3D ontwerp is in samenwerking gemaakt met Ian Luimes, mede stagiair bij De Ideeënfabriek. Over het 3D ontwerp is meer toelichting in Bijlage 4.2.1.

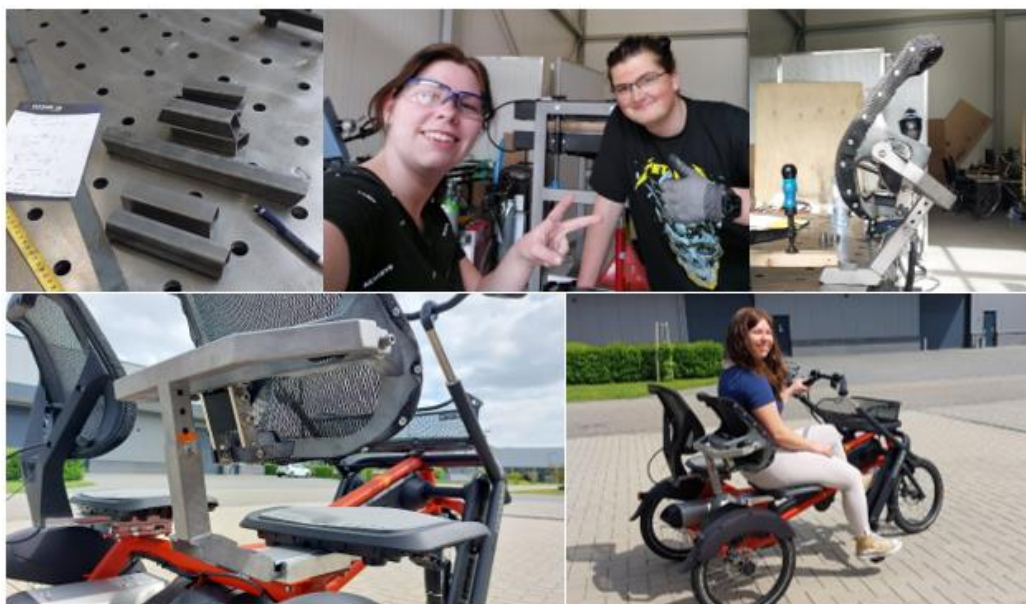


Figuur 20: 3D model van het prototype in Solid Works.

De hoogte instelling is ook in het 3D ontwerp gerealiseerd door twee buisprofielen over elkaar te schuiven. Ook de 5 instellingen voor de hoogte zijn verwerkt in het 3D ontwerp. Optie 1, voor mensen met een lichaamslengte tussen het percentiel (p) 5 en p15; optie 2 voor de p15-25; optie 3 voor de p25-p75; optie 4 voor de p75-p85; en optie 5 voor de p85-p95 lichaamslengtes. Verder is een analyse op buiging en (materiaal) spanning verricht, om te controleren of de constructie voldoende sterkte had voor het uitvoeren van de evaluatie. De analyses zijn beschreven in bijlage 4.2.2.

7.3. Het prototype

Zoals eerder vermeld werd voor het vervaardigen van het prototype gebruik gemaakt van beschikbare materialen en onderdelen bij de Ideeënfabriek. Voor het vervaardigen moesten er buizen en platen worden gezaagd, gaten worden geboord en het frame aan elkaar worden gelast. In figuur 22 staan enkele foto's van het vervaardigingsproces en het eindresultaat weergegeven.



Figuur 21: Vervaardiging proces van het prototype voor de duo fiets.

8. Evaluatie

8.1. Ontwerp evaluatie

De evaluatie van het eindontwerp en het prototype is verricht door de eerdere criteria van tabel 8 hierop toe te passen. Ook het score systeem beschreven in §6.3 is hier gebruikt. Het eindontwerp werd beoordeeld zoals de concepten in §6.3. Het prototype werd zoals benoemd in de methode, geëvalueerd door een analyse met de doelgroep. In tabel 11 staat in de kolom "evaluatiemethode" de methode gebruikt om het prototype te evalueren op de opgestelde criteria.

Tabel 11: Toetsing van het eindontwerp en prototype aan de hand van de score tabel.

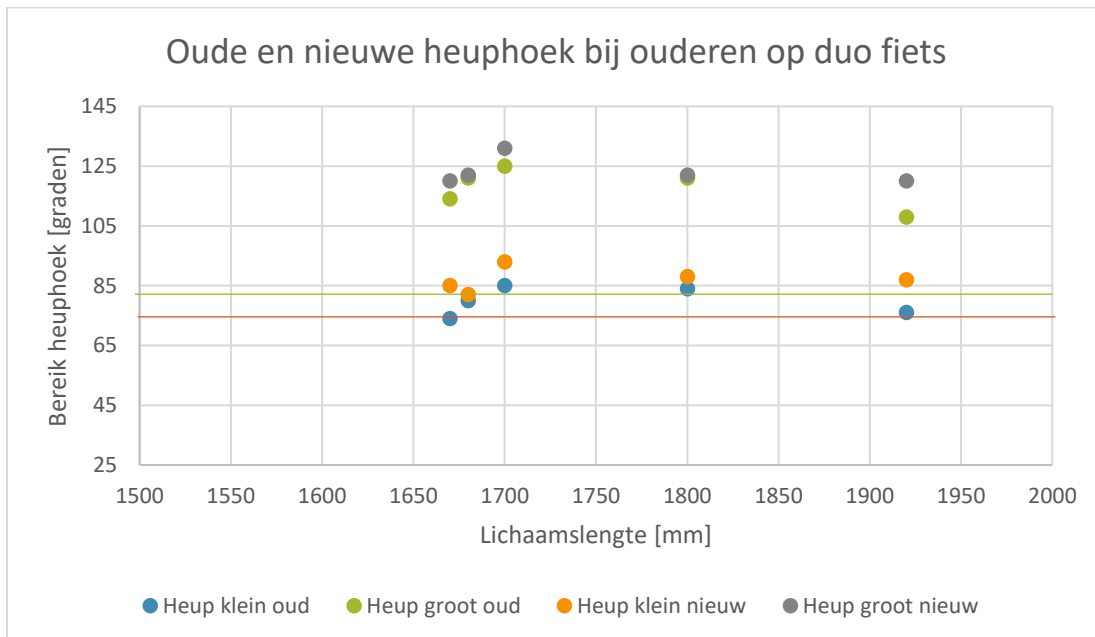
Nr.	Beschrijving van de eis.	Weeg factor (1-3)	Eind ontwerp (1-3)	Prototype (1-3)	Evaluatiemethode
1	Kan de trapbeweging tijdens het fietsen zo goed mogelijk uitvoeren.	3	3 (9)	3 (9)	Bewegingsanalyse
2	Kan het product met zo min mogelijk uitleg hanteren.	2	3 (6)	1 (2)	Test met doelgroep
3	Geschikt voor zoveel mogelijk gebruikers.	3	3 (9)	3 (9)	Opmeting; vergelijking met antropometrische data
4	Vergroot de hoek tussen de heuphoek zoveel mogelijk.	3	3 (9)	2 (6)	Bewegingsanalyse
5	Bied lendenondersteuning voor zo groot mogelijke groep gebruikers.	3	3 (9)	3 (9)	Opmeting; vergelijking met antropometrische data
6	Instel mogelijkheid bereikt een zo groot mogelijke groep gebruikers.	1	3	3	Opmeting; vergelijking met antropometrische data
7	Voorkomt achterover kanteling van het bekken zo goed mogelijk.	1	2	3	Bewegingsanalyse
8	Er treedt zo min mogelijk afglijding op bij de gebruiker.	1	2	2	Bewegingsanalyse
9	Ondersteunt zo goed mogelijk de natuurlijke vorm van de wervelkolom.	3	3 (9)	3 (9)	Bewegingsanalyse
10	Beschikt over zo min mogelijk instel-mogelijkheden.	2	1 (2)	1 (2)	Aantal instellingen

In tabel 11 zijn de punten 3, 4 en 7 dikgedrukt omdat de scores tussen eindconcept en prototype van elkaar verschillen. Bij punt 3 was de eis dat de gebruiker zoveel mogelijk zonder uitleg het product zelfstandig kon hanteren, dit was bij het prototype niet het geval. Bij punt 4 is aangegeven dat het prototype lager scoort dan verwacht, omdat de gewenste minimale heuphoek van 95 graden niet is bereikt bij deproefpersonen. Bij punt 7 werd minder achterover kanteling van het bekken vernomen dan verwacht in het eindconcept. Mogelijk speelt de locatie van het draaipunt hierin een rol, door de kanteling van de rugleuning werd het bekken van gebruikers ondersteund omdat de onderkant van de rugleuning richting het bekken van gebruikers roteerde.

Het PvE werd gebruikt als checklist voor het prototype voordat de test met de doelgroep plaatsvond. Het prototype voldeed aan de opgestelde eisen voor het test model, dit is weergegeven in hoofdstuk 5. Deze eisen richten zich op: de functies van het model, de geschiktheid voor verschillende personen binnen de doelgroep, zitcomfort en veiligheid. Voor veiligheidscontrole werd het prototype bezichtigd (en getest) door de technical lead van de Ideeënfabriek, Patrick Kolenbrander. Ook werd het prototype uitgetest door meerdere personen bij De Ideeënfabriek.

8.2. Resultaat

De resultaten van de analyse op het prototype en de resultaten van de analyse op het originele model zijn samengevoegd in onderstaande grafiek in figuur 23.



Figuur 22: Resultaten van de gemeten heuphoek op de originele stoel van de duo fiets en op het prototype. De rode lijn weergeeft de kleinst geregistreeerde heuphoek op de originele stoel. De groene lijn weergeeft de kleinst gevonden heuphoek op het prototype.

In figuur 24 is een afbeelding van de deelnemer met de kleinst geregistreeerde heuphoek. Op de originele stoel had deze deelnemer een heuphoek van 73 graden, op het prototype werd deze hoek vergroot. Voor de visualisatie werd in de afbeelding een gradenboog geplaatst.



Figuur 23: Bewegingsanalyse van de heup op de duo fiets. Links op de huidige stoel, en rechts op het nieuwe prototype.

De minimale heuphoek was bij deze gebruiker toegenomen met ongeveer 12 graden. Voor deze gebruiker werd de rugleuning 2 cm verlaagd, gebaseerd op de opgegeven lichaamslengte. Omdat bij deze deelnemer een heuphoek van ~73 graden werd gemeten was de aanname dat door de rugleuning ~20 graden meer te roteren daarmee de gewenste hoek van 95 graden werd behaald. Daarmee stond de rugleuning ten opzichte van het zitvlak onder een hoek van 135 graden. Echter werd dit niet behaald; dit punt en andere punten zullen verder worden behandeld in de discussie (§9.2). Afbeeldingen van alle deelnemers (met een graden boog) zijn te bezichtigen in bijlage 5.

9. Discussie

9.1. Resultaat reflectie

Het doel voor de ergonomisch optimalisatie van de houding was om de heuphoek bij gebruikers op de duo fiets te vergroten. Bij iedere deelnemer aan dit project werd de heuphoek op het prototype vergroot ten opzichte van de gemeten heuphoek van de originele stoel. Echter is de gewenste minimale heuphoek van 95 graden niet bereikt bij de deelnemers.

Tijdens het analyseren van de resultaten werd het volgende opgemerkt: doordat het scharnierpunt zich rond de lumbale wervels bevond, maar de hoek gemeten werd rondom het heupgewricht, was het bekken eigenlijk niet meegenomen tijdens de voorspelling van de instellingen. De instellingen werden niet aangepast tijdens de metingen, omdat pas achteraf kon worden bepaald wat de heuphoek bedroeg. De markers op het bekken werden niet meegenomen in de vergelijking, omdat deze tijdens de eerste bewegingsanalyse bij veel gebruikers werden verschoven door kledingstukken. Dit probleem werd opgelost voor de tweede analyse door een band rondom het bekken van de proefpersonen te wikkelen. Echter was de marker data van de eerste analyse niet bruikbaar.

Zoals eerder vermeld in de onderzoeksfase zijn er ook meerdere factoren mogelijk van invloed op de heuphoek tijdens het fietsen op de duo fiets. De hoek van de rugleuning was maar één van de variabelen om de ergonomie op de fiets te verbeteren. Er kan nog verder worden onderzocht wat het effect is op de gebruikers wanneer de rugleuning verder dan de geschatte hoek naar achteren werd gedraaid. Overigens gaven de proefpersonen tijdens de evaluatiefase aan: dat zij zelf verder niks wenste te veranderen aan de ingestelde rugleuning. De gebruikers spraken (subjectief gezien) positief over de instellingen.

Tijdens de bewegingsanalyse werden er geen problemen gevonden met de werking van het prototype. Het model voldeed aan de opgestelde eisen, behalve dat de instellingen niet te hanteren waren door de doelgroep. Nu de werking en het effect van het ontwerp is getoetst, kan verder worden gekeken hoe gebruiksvriendelijke aspecten kunnen verwerkt voor verdere productie. Een opgemerkt verschil tussen de (oude) stoel en het prototype was het doek op de rugleuning. Deze was minder strak gespannen dan bij de oude stoel van de duo fiets. Echter bleken proefpersonen hier wel positief over. Sommige gaven aan dat de rugleuning hierdoor minder "duwend" aanvoelde en meer "ondersteunend".

Het prototype werd ook getest op het wegdek door mede stagiairs. Hierbij werd opgemerkt, dat wanneer de stoel niet correct ingesteld staat voor de gebruiker, de buis aan de achterkant kan worden opgemerkt door de rug. Door het netter wegwerken van het draaimechanisme en de verbinding naar de stoel, kan dit mogelijk worden verholpen. Of door het toevoegen van schuim materiaal op harde onderdelen.

Mogelijk voor het ontwerp is het toevoegen van een indicatie op de hoogte instelling. Door het bereik van lichaamsmaten aan te geven kan het voor de gebruiker eenvoudiger worden om de bijpassende instelling te kiezen. Voor het draaien van de rugleuning kan een beperking worden toegevoegd dat de hoek niet kleiner worden dan 115 graden en niet groter dan 140 graden, om zo incorrect gebruik te voorkomen. Hierbij kan worden aangegeven dat 115 graden de "standaard" is. Hierbij kan wellicht een afbeelding met voorbeeld houdingen worden toegevoegd, die aangeven welke hoek wordt aangeraden per houding.

9.2. Proces reflectie

De samenwerking tussen De Ideeënfabriek bij Van Raam en de opleiding Bewegingstechnologie was voor zowel de opdrachtgever als student een nieuwe ervaring. Het kwam voor dat er verwarring ontstond bij gebruikelijke termen uit de verschillende vakgebieden. Het concreet krijgen van de doelstelling, zodat deze voldeed aan zowel de eisen van school als van de opdrachtgever, nam in het begin veel tijd in beslag. Er was meer tijd nodig voor de oriëntatiefase en daardoor voor het onderzoek, dan was gepland. Hierbij speelde het verre rijden en de nieuwe omgeving voor de student ook een rol.

Dat terzijde was er een goede samenwerking vanuit het bedrijf. Door de toegankelijke omgeving kon er regelmatig over het project worden overlegd. Door de opdrachtgever werd er veel gestimuleerd om hulp te vragen en samen te werken met andere mensen. Ook bij Van Raam zelf stonden er altijd mensen klaar om te helpen bij het project. Hierdoor werd het steeds eenvoudiger om uit te wijken naar andere en daardoor stappen te maken voor het project.

Door het multidisciplinair team van mede stagiairs, werd het mogelijk verschillende taken te coördineren binnen het project. Vanaf de ontwerpfase verliep het proces sneller dan ingeschat door de samenwerking met (onder andere) IPO studenten. Dit was deels besproken voor de aanvang van het project, maar bleek ook goed te werken in de praktijk. De evaluatiefase verliep sneller dan verwacht. Doordat de metingen (en resultaat verwerking) eerder waren verricht in de onderzoeksfase, kon de methode op een snellere manier worden herhaald tijdens de evaluatie.

Overigens werd vanuit het bedrijf een aantal gelegenheden gesteld om de projectvoortgang te presenteren. Hierdoor kon er worden geoefend om informatie over te brengen naar mensen buiten het vakgebied Bewegingstechnologie.

Verder was op persoonlijk vlak van belang om realistisch te plannen, zodat de agenda niet overbelast raakte. Hiervoor moesten sommige verzoeken om verder onderzoek te verrichten worden afgewezen. Belangrijk voor het plannen was ook: om taken meer tijd te geven dan in eerste instantie werd bedacht. Hierdoor werd er op een meer positieve manier omgegaan met de tijdsdruk van het project.

Ondanks het langzame begin was het mogelijk om de vereiste en gewenste stappen in het project te doorlopen.

10. Conclusie

In de inleiding werd de hoofdvraag van het project opgesteld. Verder in §3.2 werden de bijbehorende deelvragen opgesteld, deze werden in de loop van het project beantwoord. In dit hoofdstuk zal antwoord worden gegeven op de hoofdvraag, met de bijbehorende aanbevelingen.

Het doel voor de ergonomische optimalisatie van de duo fiets was om de heuphoek te vergoten om de houding op de duo fiets te verbeteren. Ook is bepaald om een de rugleuning in hoogte instelbaar maken, zodat de lumbale wervel ondersteuning op de hoogte voor de p5-p95 ouderen bevolking kon worden ingesteld. In het vooronderzoek was de heuphoek bij alle deelnemers kleiner dan de gewenste heuphoek van 95 graden. Door de optie toe te voegen om de rugleuning achterover te laten kantelen, kon de heuphoek bij alle poefpersonen worden vergroot; hierdoor werd er bij de deelnemers een meer ontspannen houding gecreëerd in vergelijking met de originele stoel. Echter werd de minimale gewenste heuphoek van 95 graden bij geen van de deelnemers behaald. Door de hoogte instelling op het prototype kon de lumbale ondersteuning aangepast worden per gebruiker, dit werd door de gebruikers ervaren als een goede ondersteuning voor de rug.

Voor het bereiken van de gewenste heuphoek wordt aanbevolen verder onderzoek te verrichten naar het effect van de cranklengte en de hoogte van de gehele fietszitstoel. Voor de optimalisatie van het ontwerp kan worden verdiept in het eenvoudig hanteerbaar maken voor gebruikers.

Bibliografie

Anderson, D. E., & Madigan, M. L. (2014). Healthy older adults have insufficient hip range of motion and plantar flexor strength to walk like healthy young adults. *Journal of biomechanics*, 47(5), 1104–1109. doi 10.1016/j.jbiomech.2013.12.024

Bopp, M., Sims, D., & Piatkowski, D. (2018). Chapter 2 - benefits and risks of bicycling. In M. Bopp, D. Sims & D. Piatkowski (Reds.), *Bicycling for transportation*. ((pp. 21-44).) Elsevier. doi 10.1016/B978-0-12-812642-4.00002-7

Bosch, F. (2009). Kinesiologie: Hamstrings en motorische controle. *Sportgericht*, 63(1), 1-7.

Breukelen, K. van. (2010). *De ergonomische zitting*. In Double Performance: High Performance [brochure]. Verkregen van: <https://www.doubleperformance.nl/media/Artikel-Ergozit.pdf>

De Fietsmaatjes (2020) [internet].; [geciteerd 14 december 2022]. Vergregen van: <https://fietsmaatjes.nl/bereik-van-fietsmaatjes/>

Elson, R. A., Aspinall G. R. (2008). Measurement of Hip Range of Flexion-Extension and Straight-leg Raising. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 466, 281–286. doi 10.1007/s11999-007-0073-7

Gjessing, B., & Jahnsen, R. B. (2021). What fits me? procurement of adapted tricycle for activity and participation. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 0(0), 1-9. doi 10.1080/17483107.2021.1931967

Leyland, L., Spencer, B., Beale, N., Jones, T., & Van Reekum, C. M. (2019). The effect of cycling on cognitive function and well-being in older adults. *Public Library of Science (PLOS)*.doi 10.1371/journal.pone.0211779

Molenbroek, J.F.M., Houtkamp, J.J., Burger, A.K.C. (1983). *Bejaardenantropometrie*. Verkregen van: <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3Accffe1bd-b5f4-41b3-a3ea-aacee934001b>. PDF

Oja, P., Titze, S., Bauman, A., de Geus, B., Krenn, P., Reger-Nash, B., & Kohlberger, T. (2011). Health benefits of cycling: A systematic review. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 21(4), 496-509. doi 10.1111/j.1600-0838.2011.01299.x

Rimmer, J. H., & Marques, A. C. (2012). Physical activity for people with disabilities. *The Lancet*, 380(9838), 193-195.

Staarink, H.A.M. (2014). *Zo zit het! Over zitten, stoelen en rolstoelen*. Assen: Koninklijke Van Gorcum BV.

TU Delft (2020) [internet].; [geciteerd 17 januari 2023]. Verkregen van: <https://dined.io.tudelft.nl/en/database/tool>

Van Raam fietsen (2023) [internet].; [geciteerd 20 maart 2023]. Verkregen van: <https://www.vanraam.com/nl-nl/onze-fietsen/bekijk-alle-modellen/>

Whitaker, E. D. (2005). The bicycle makes the eyes smile: Exercise, aging, and psychophysical well-being in older italian cyclists. *Medical Anthropology*, 24(1), 1-43. doi 10.1080/01459740590905633

Bijlagen: ergonomische optimalisatie duo fiets

Bijlagen 1. Onderzoek

Tijdens de onderzoekfase van het project werd er een gebruikersonderzoek verricht waarbij persona's werden opgesteld. Een deel daarvan werd weergegeven in het hoofddocument. In deze bijlage staan de volledige persona's weergegeven. Verder is in Bijlagen 1 antropometrische data en berekeningen te vinden, het testprotocol voor de bewegingsanalyse(s), en meer resultaten die uiteindelijk niet van belang waren voor het hoofddocument.

Bijlage 1.1. Persona's

Er werden drie verschillende gebruikers getypeerd voor de doelgroep van de duo fiets. Deze zijn te zien in tabel 1.1.

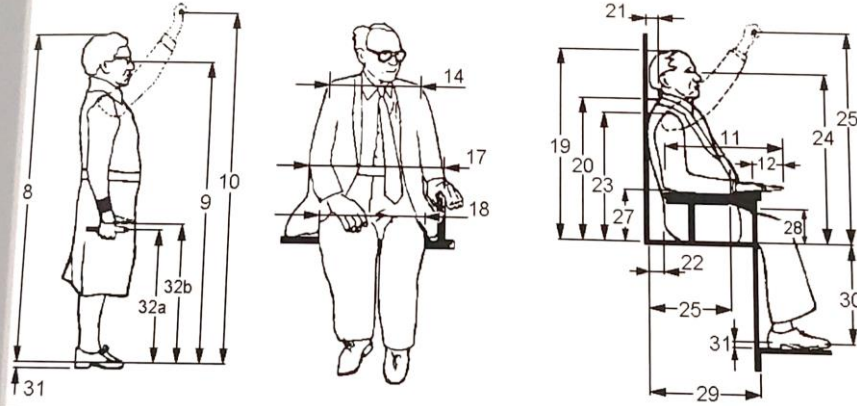
Tabel bijlagen 1.1 Persona's doelgroep duo fiets.

Gerard (type 1 gebruiker) 65 jaar, al jaren vrijwilliger bij fietsorganisatie. Een echt sociaal persoon die graag praatjes maakt met verschillende mensen. Zelf is hij "gewoon" actief door te fietsen. Hij houdt niet van moeilijk doen en houdt ervan als dingen soepel verlopen. [1,84m, 1,5 uur fietsen, gezond, vrijwilliger, man.] bron afbeelding: https://www.extivita.org/conditions/stroke	
	Anoushka (type 2 gebruiker) 76 jaar oud. Moeder en grootmoeder van een grote familie. Ondanks haar fysieke beperking wil zij zo min mogelijk haar familie om hulp vragen, daardoor is ze erg zelfstandig. Ze wil graag haar gezondheid onderhouden door regelmatig te bewegen samen met haar leeftijdsgenoten. [1,64m, 0,5 uur fietsen, beperkt, gast, vrouw.] bron afbeelding: https://www.amsterdamumc.org/nl/vandaag/regelmatig-bewegen-draait-veroudering-van-spiere-terug.htm
Berend en Sanne (type 3 gebruikers) 88 en 90 jaar oud. Door last van stijfheid in de knieën zijn ze minder actief dan wellicht willen zijn. Door goede motivatie van fysiotherapeuten en activiteitenbegeleiders in het zorgcentrum blijven zij in beweging. Helaas kost dit veel inspanning, maar zijn blij met elektrisch ondersteunde fietsen. [1,72m, 10 minuten fietsen, beperkt, gast, man/vrouw.] bron afbeelding: https://nl.dreamstime.com/stock-foto-oudere-mensen-die-samen-zitten-image98865459	

Bijlage 1.2. Antropometrie en berekening

Voor het opstellen van het Programma van Eisen voor de optimalisatie van de duo fiets werden afmetingen van de ouderen populatie van Nederland onderzocht, zie tabel 1.2.

Tabel 8.2 Antropometrische data



Figuur 24: Nederlandse Bejaarden (Molenbroek et al., 1984)

Nr.	Onderdeel	Vrouw			Man			Gemengd		
		P5	P50	P95	P5	P50	P95	P5	P50	P95
8	Lichaamslengte (staand)	1498	1605	1712	1619	1729	1839	1517	1665	1813
23	Schouderhoogte (zittend)	495	544	593	545	596	647	503	569	635
27	Elleboog hoogte (zittend)	169	213	257	189	237	285	176	225	274
25	Buikdiepte (zittend)	249	313	377	260	313	366	254	313	372
29	Kniehoute tot rug (zittend)	448	492	536	458	499	540	452	496	540
30	Kniehoute hoogte (zittend)	384	428	472	427	473	519	392	450	508
32a	Vuist hoogte (staand)	647	716	785	702	769	836	661	1665	823
-	Achterwerk- tot knielengte (zittend)	561	610	659	579	625	671	568	617	666
18	Heup breedte (zittend)	354	410	466	359	398	437	355	404	453
28	Dij-dikte (zittend)	116	139	162	114	135	156	114	137	160
14	Schouder-breedte (bi deltoid, zittend)	375	413	451	413	448	483	384	430	476
32b	Heuphoogte (staand)	840	911	982	888	964	1040	851	937	1023
Uit Molenbroek, et al.:										
22	Rugleuning tot sacrum (zittend)	-	-	-	-	-	-	1	26	71
33	Knijpkracht in Newton	-	-	-	-	-	-	58	100	161

Om te bepalen of de proefpersonen van de bewegingsanalyse binnen de p5 -95 lichaamslengtes van de doelgroep vielen, werden enkele berekeningen verricht.

1. Berekening percentiel van de kleinste lichaamslengte van de proefpersonen.

Gemiddelde lichaamslengte (mannen en vrouwen 60+ jaar), $x = 1665$ mm

Standaarddeviatie (sd) = 90

Lichaamslengte proefpersoon = 1570 mm

$$P = x - z * sd \text{ of } x + z * sd$$

$$1570 = 1665 - z * 90$$

$$z = \frac{1665 - 1570}{90} = 1,055$$

Bij een z waarde van 1,055 hoort een percentiel van 10-15%.

2. Berekening percentiel van de langste lichaamslengte van de proefpersonen.

Gemiddelde lichaamslengte (mannen en vrouwen 60+ jaar), $x = 1665$ mm

Standaarddeviatie(sd) = 90

Lichaamslengte proefpersoon = 1920 mm

$$P = x - z * sd \text{ of } x + z * sd$$

$$1920 = 1665 + z * 90$$

$$z = \frac{1920 - 1665}{90} = 2,833$$

Bij een z waarde van 2,833 hoort een percentiel van 99,5-99,9%.

Bijlagen 1.3. Bewegingsanalyse bij ouderen

Voor de bewegingsanalyse werd voor helhaarbaarheid een testprotocol opgesteld. Zie bijlage 1.3.1. Verder werden er meer parameters gemeten dan uiteindelijk voor het project werden gebruikt, zie bijlage 1.3.2.

Bijlage 1.3.1. Meetprotocol

Inleiding

Op de duo fiets van Van Raam is het momenteel onbekend wat de hoek bedraagt tussen het bovenbeen en de romp. Dit wordt onderzocht door middel van een (2D) video-analyse.

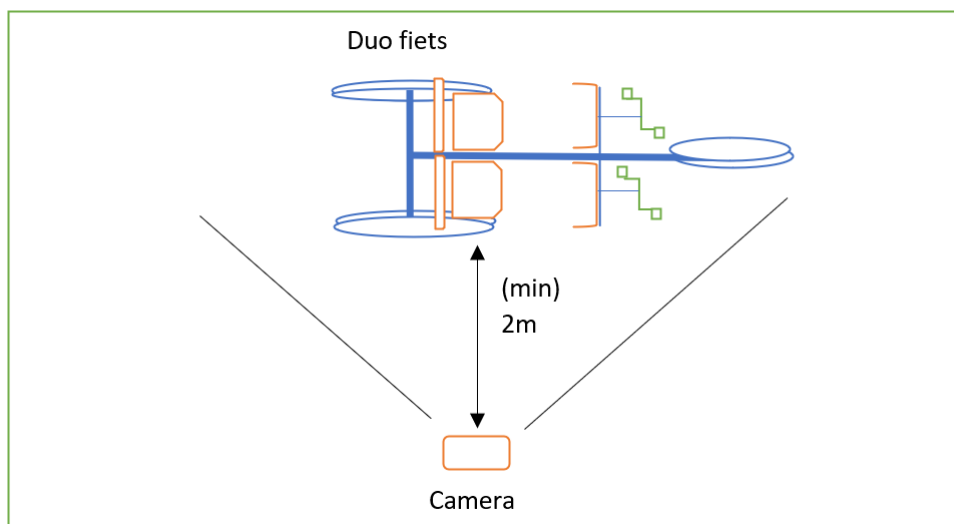
Benodigheden

- Fun2Go duo fiets (1)
- Locatie (1)
- Proefpersonen (6)
- Markers (9)
- Videocamera (1)
- Statief (1)
- Referentie kader (1)
- Meetlint (1)
- Markeertape (1)
- Laptop (1)
- Usb (1)

Methode

Opstelling

De opstelling wordt klaargezet door de studente Bewegingstechnologie. De camera wordt op minimaal 2 meter afstand gezet, loodrecht op het zitje van de Fun2Go duo fiets. Door de camera op een redelijk verre afstand te zetten, zullen de andere gewrichten (buiten de heup) niet zoveel vervormd worden. Als referentie worden markers geplakt op het frame van het stuur of op het spatbord van het achterwiel. Schets van de opstelling in bovenaanzicht.



Proefpersonen

Er zullen minimaal 6 proefpersonen worden gemeten. Deze mensen zijn minimaal 60 jaar oud. In iedere situatie zal de proefpersoon 1 minuut fietsen op een zelfgekozen tempo terwijl de camera loopt.

Bevestiging markers



Linker gele stip naar rechter = 46cm

Op de volgende botpunten zullen markers worden geplakt, erbij staat beschreven hoe deze botpunten worden geïnspecteerd en gepalpeerd (indien mogelijk).

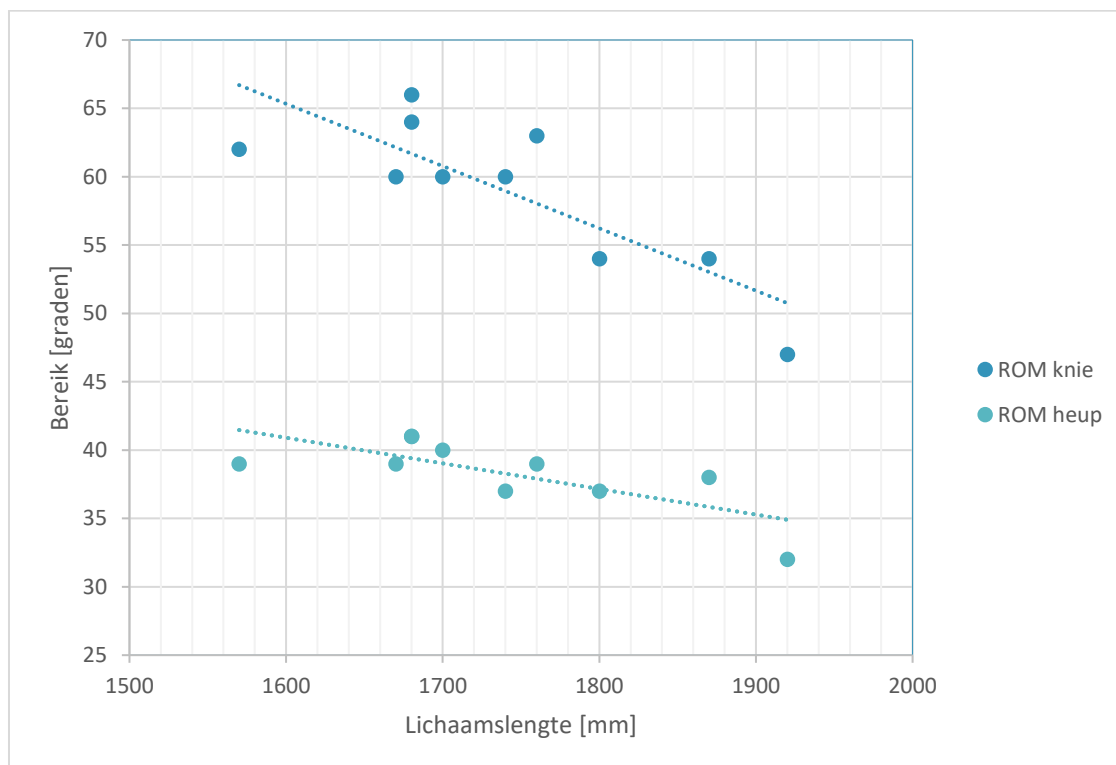
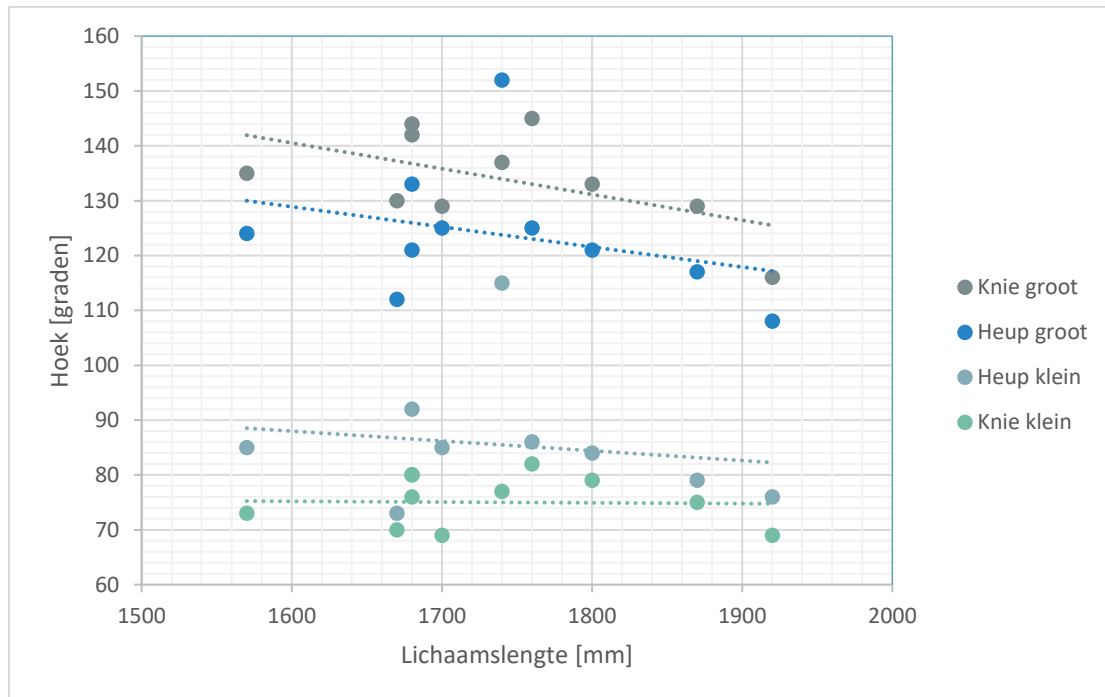
- Op de schouder, het Acromion: Van clavicula naar arm → arm abductie zodat je niet per ongelijk de tuberculum humeri kiest.
- Op het heupgewricht, de crista iliaca, hier komen TWEE markers op de crista iliaca.
- Op het bovenbeen, de top van de top van de Trochanter Major van het femur: soms door inspectie, te palperen door been de adduceren, of m.gluteus maximus te contracteren.
- Op het kniegewricht, de Laterale Epicondyle van het femur: Soms te inspecteren, Te palperen door laterale zijde van het bovenbeen in benedenwaartse richting te strijken kom je de epicondyle tegen.
- Op de enkel: Fibula, Malleolus lateralis: Te inspecteren, van proximaal naar distaal, meest uitstekende punt.

Meting

De meting kan beginnen wanneer de eerste proefpersoon zit op de fiets met alle markers op zijn lichaam geplakt. Het zitje van de fiets wordt ingesteld op een geschikte afstand voor de betreffende persoon. De camera gaat aan. Wanneer de camera minimaal 1 seconden loopt, trapt de proefpersoon gedurende 1 minuut op een zelfgekozen snelheid. 1 minuut is gekozen zodat de proefpersoon tijd heeft om zijn houding te corrigeren tijdens het fietsen. Daarna wordt de camera gestopt en mag de proefpersoon afstappen. De markers worden verwijderd door de studente Bewegingstechnologie.

Bijlage 1.3.2. Resultaten

In deze bijlage zijn resultaten te vinden van de bewegingsanalyse. Hierbij werd ook de kniehoek gemeten. Zie onderstaande figuren.



Bijlage 2. Programma van Eisen (volledig)

Voor de optimalisatie van de duo fiets werd onderscheid gemaakt tussen het eindontwerp en het ontwerp voor het prototype. Het prototype bevat een selectie van de opgestelde eisen aan het eindontwerp. Alle eisen staan hier weergegeven in onderstaande tabel.

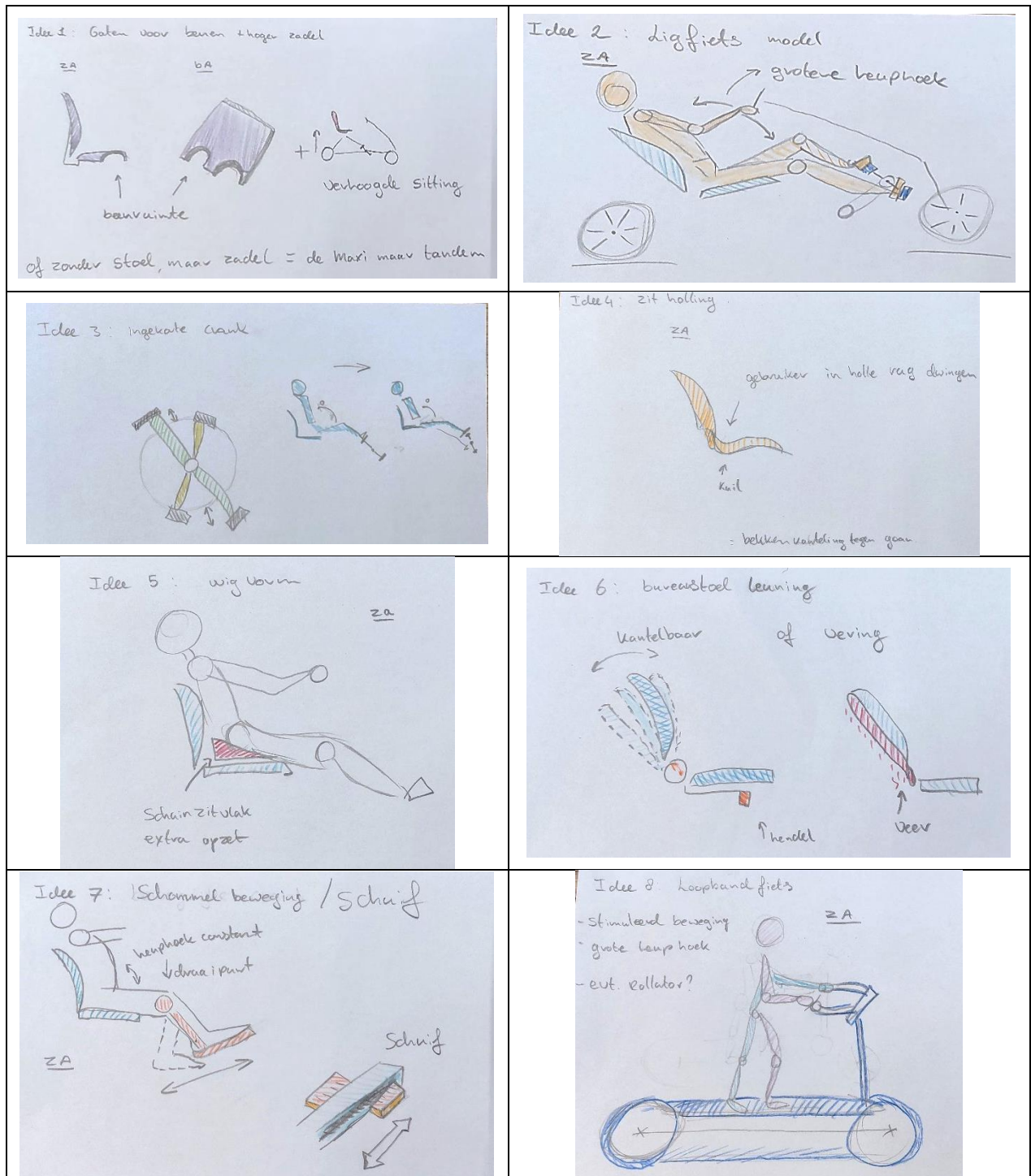
Test-model	Aspect	Eis omschrijving	Oorsprong	Test methode
	Gebruik	Functies van product		
x	Zittend	Kan een minimaal 1 gebruiker van 91 kg houden.	Gewicht p95, §4.2.	Gebruikerstest
x	Fietsen	Het ontwerp houdt rekening met de trapbeweging vereist op de fiets.	§2.1.	Geen belemmering tijdens het fietsen
	Hanteren	Is begrijpelijk te hanteren voor de doelgroep.	§3.4.	Te gebruiken zonder uitleg
	Gebruik	Het ontwerp houdt rekening met de kracht afname van de doelgroep tijdens het gebruik.	Onderzoek	Bruikbaar door doelgroep bij test
	Toegankelijkheid	De gebruiker kan de stoel bedienen terwijl hij/zij erop zit.	§2.1	Erop zitten en bedienen.
	Gebruik	Houdt rekening met de kracht afname van de doelgroep tijdens het gebruik. P50 knijpkracht ouderen = 100 Newton	§4.1.3.	Testen met doelgroep
	Afmetingen	Antropometrie		
x	Gewicht gebruikers	P95 lichaamsgewicht ouderen 60+ jaar = 91 kg.	§4.1.3.	Gebruikerstest
	Rugleuning Lengte	Lengte van de rugleuning bedraagt vanaf het zitvlak: $P50(m+v) = 569\text{mm}$	B 1.2 tabel (nr.23)	Opmeten
x	Lumbale wervel ondersteuning	Ter hoogte vanaf het zitvlak $P50(m+v) = 225\text{ mm.}$	B 1.2 tabel (nr.27)	Opmeten
	Heup Breedte	Het zitvlak heeft een breedte van $P50(m+v) = 404\text{ mm.}$	B 1.2 tabel (nr.18)	Opmeten
	Schouderbreedte	Het ontwerp geeft voldoende ruimte om het zitvlak heen $P95(v) = 466\text{ mm.}$	B 1.2 tabel (nr.14)	Opmeten
	Schouderbreedte	Ondersteund voor $P50(m+v) = 430\text{ mm}$	B 1.2 tabel (nr.14)	Opmeten
	Zit breedte	$P5(v) - p95(v) = 354 - 466\text{ mm}$	B 1.2 tabel (nr.18)	Opmeten
	Zit diepte	$P5(v) - p95(v) = 249 - 377\text{ mm.}$	B 1.2 tabel (nr.25)	Opmeten
	Ergonomie	Eisen aan handelen product		
	Hoek Romp-bovenbeen	De kleinste gevonden hoek tussen de romp en bovenbeen ligt boven de 95° .	§4.1.4.	Bewegingsanalyse
x	Hoek rugleuning - zitvlak	Nog ~20 graden achterover te kantelen. Afhankelijk van gebruiker.	§4.1.5	Bewegingsanalyse
x	Rugleuning lengte instelling	De rugleuning lengte is instelbaar van: $P5(v) - p95(m) = 495 - 635\text{ mm.}$	B 1.2 tabel (nr.23)	Opmeten
x	Lumbale ondersteuning	Op welke hoogte de lenden ondersteuning vanaf zitvlak: $P5(v)-P95(m) = 169 - 274\text{ mm.}$	B 1.2 Tabel (nr.27)	Opmeten

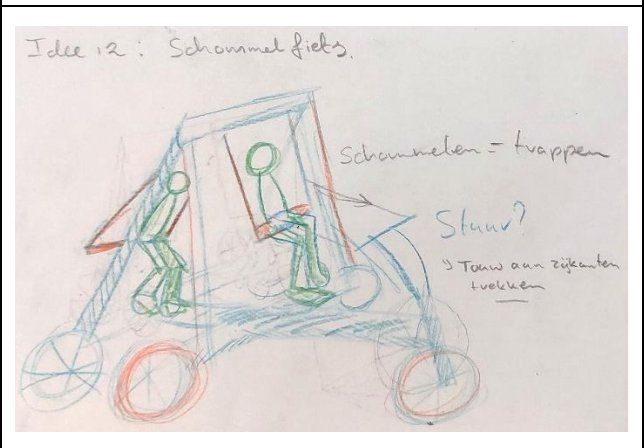
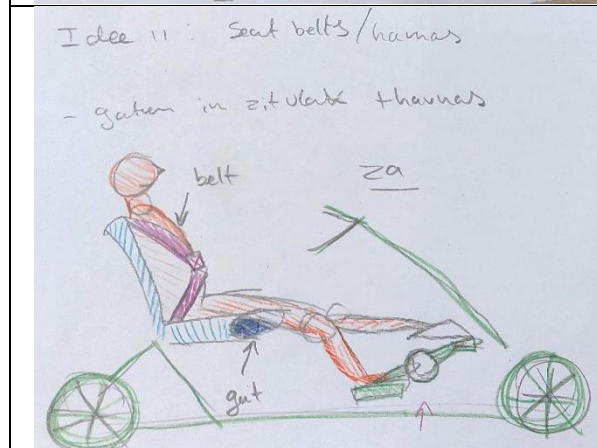
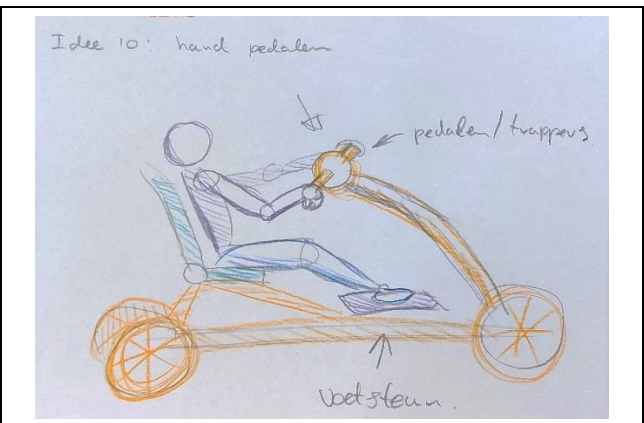
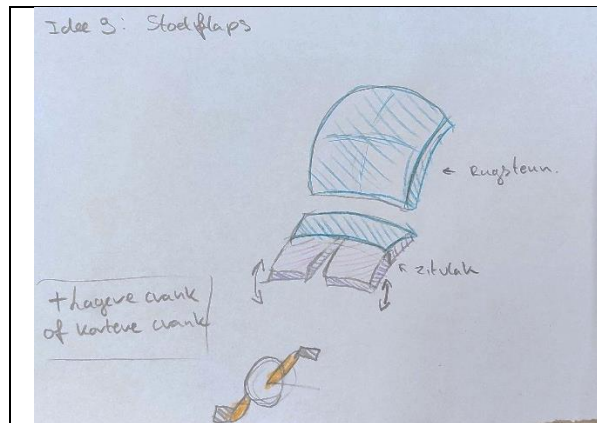
	Wervelkolom	Tijdens het fietsen blijft de natuurlijke lordose van de lumbale wervels behouden.	§4.1.4.	Bewegingsanalyse
	Afschuiving	Er treedt geen afschuiving van gebruikers op het zitvlak.	§4.1.4.	Bewegingsanalyse
	Design	Wat wil doelgroep, omgeving, collega's		
	Kleur	Mogelijk verschillende kleuren voor verschillende functies. Passend bij het frame.		Bezichtiging
	Vorm	Passend bij de andere stoelen bij van Raam fietsen		Bezichtiging
	Materialen	Welke wel, welke niet		
x	Ventilerend	Het materiaal van de stoel wat in contact staat met de gebruiker moet vocht doorlatend zijn.	Materiaal-onderzoek §4.3	Geen vocht opbouw
x	Verend	Materiaal van de stoel moet vering in de rugleuning bevatten	§4.2.	De rugleuning beweegt minimaal (n.t.b.) Graden
	Licht gewicht	Voor onderdelen die geen contact met gebruiker maken	§4.3	fiets niet zwaarder dan huidige model
	Sterkte			Duurtest
	Normen, standards	Welke voor het product		
x	Patent	Geen patent op het bedachte ontwerp	Onderzoek	Onderzoek
	NEN-EN 1335	Bureaustoel goed moet kunnen instellen.	Internet	Instelling op stoel
	NPR 1813 norm	Rekening met antropometrie	Internet	Testfase
	Veiligheid			
x	Afwerking	Geen scherpe delen		
x	Uitsteeksels	Mag geen losse kleding delen aan haken		Geen haken en ogen.
x	Klemming	Hanteerbare delen blijven vingers niet in klemmen		Ruimte opmeten voor vingers
	Levensduur	Intensiviteit gebruik en hoelang		
	In gebruik	Kan gedurende 8 uur per dag dynamische belasting doorstaan.	Gebruiks-onderzoek	Duur test
	Vervanging product	Levensduur van 3-5 jaar.	Geschatte levensduur	Duurtest
	Prototype	Het testmodel moet 10 proefpersonen kunnen doorstaan, die op de plaatst kunnen trappen.	Testprotocol	Evaluatiefase
x	Prototype	Levensduur van 1 maand	Test protocol	Evaluatiefase
	Seriegrootte	Welke fabricagemethodes moet rekening worden gehouden		
	Ontwerp	Serie productie	Opdrachtgever	-
x	Prototype	Er wordt voor dit project een testmodel vervaardigd die niet ontworpen hoeft te worden voor serie productie	Opdrachtgever	-

Bijlagen 3. Ontwerpfase

In de ontwerpfase werden veel tekeningen geproduceerd die in het hoofddocument klein staan weergegeven. Deze bijlage geeft de mogelijkheid de tekeningen beter te bezichtigen.

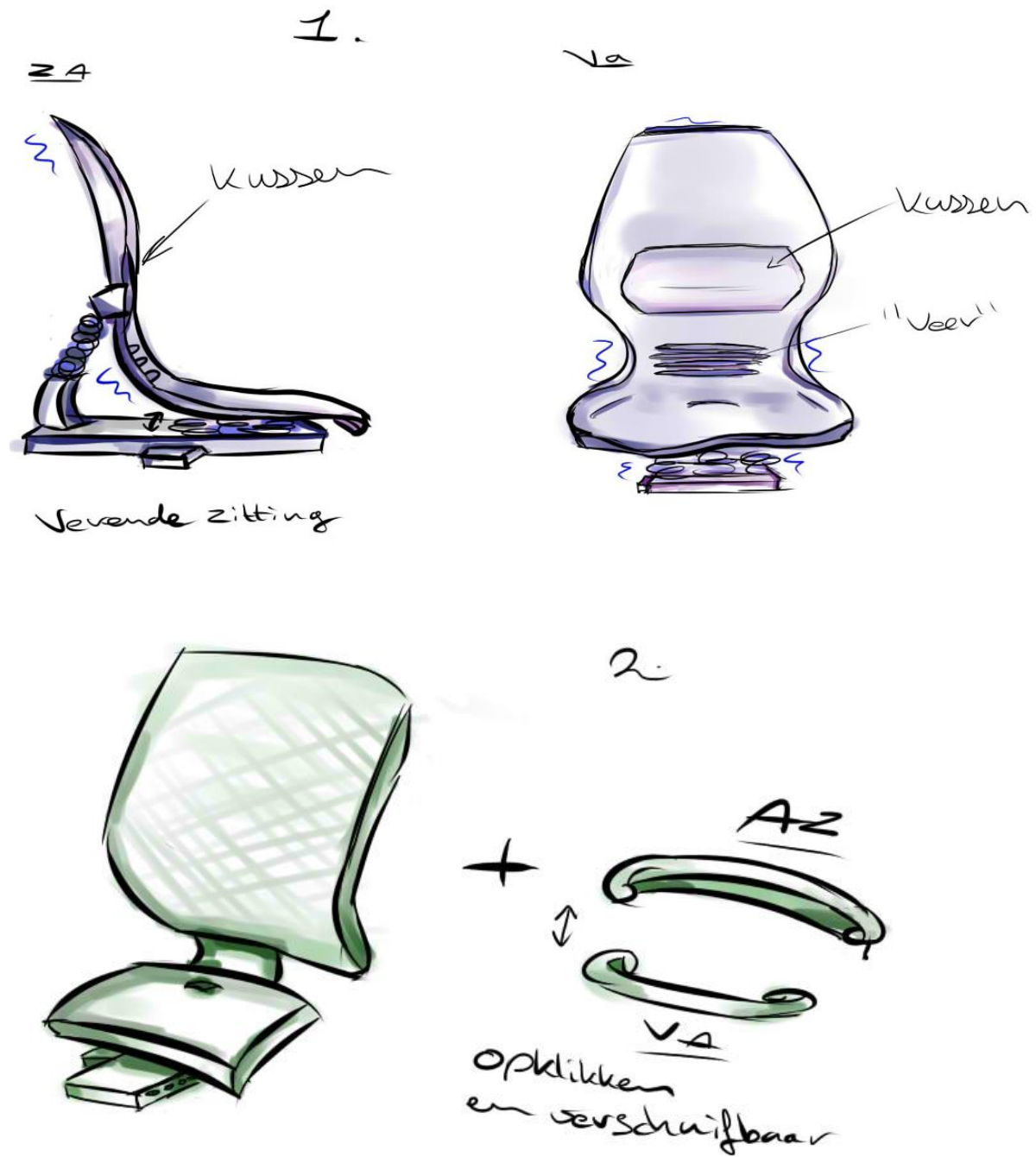
Bijlage 3.1. Idee schetsen (brainstormsessie)

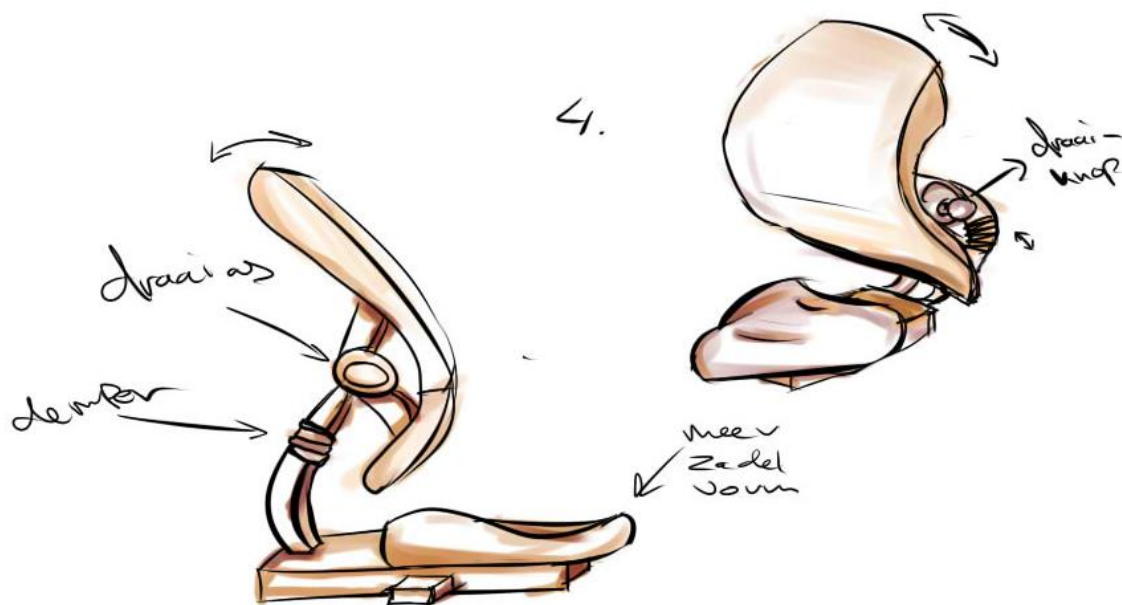
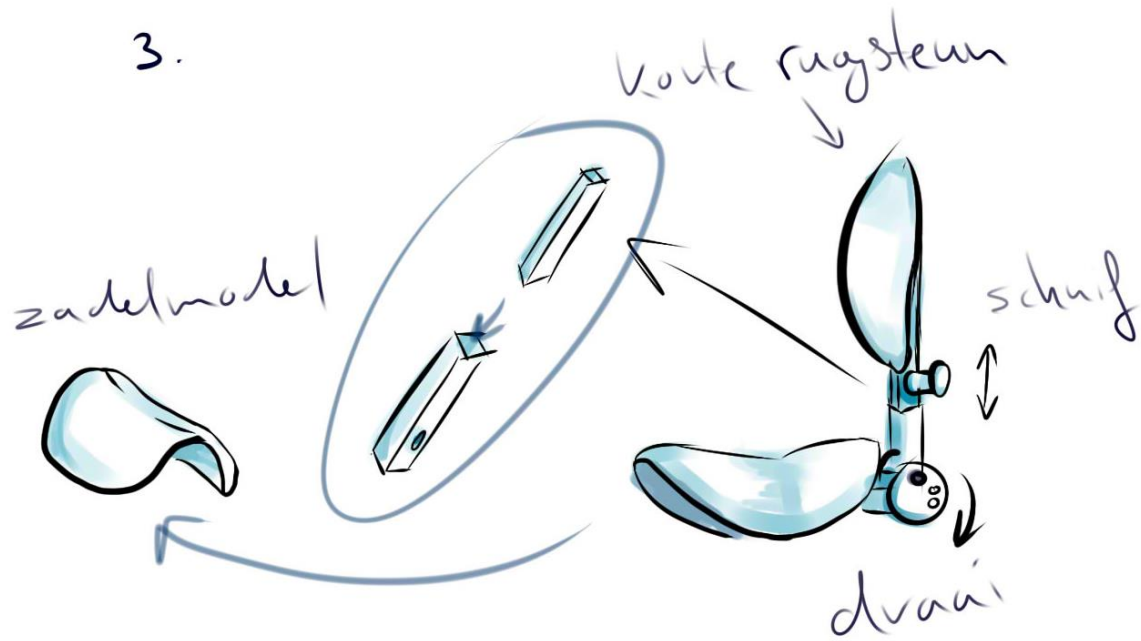




Bijlage 3.2. Concept tekeningen

Hier staan de concept tekeningen nogmaals weergeven, nu groter te bezichtigen dan in het hoofd-document.

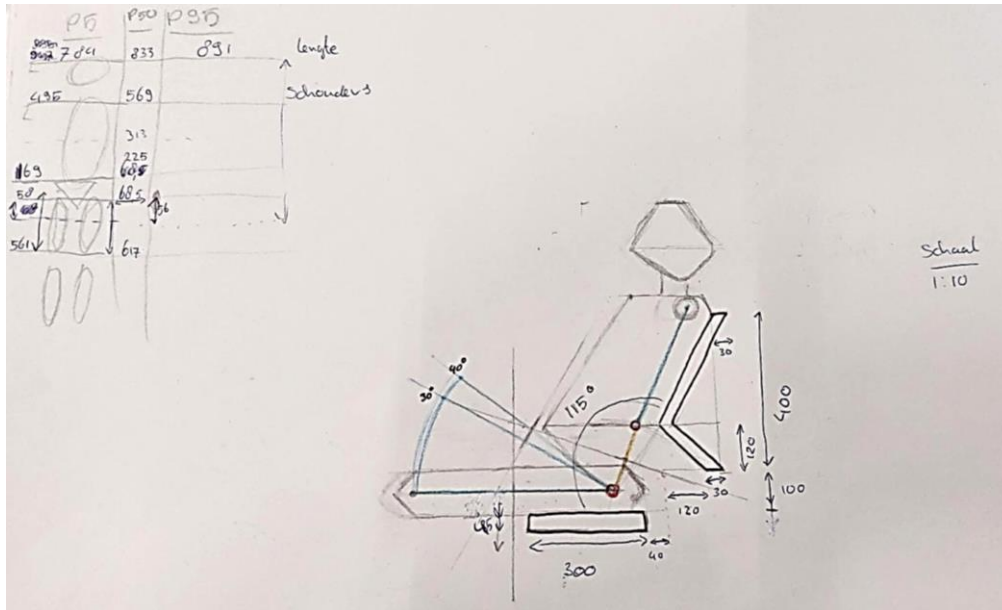




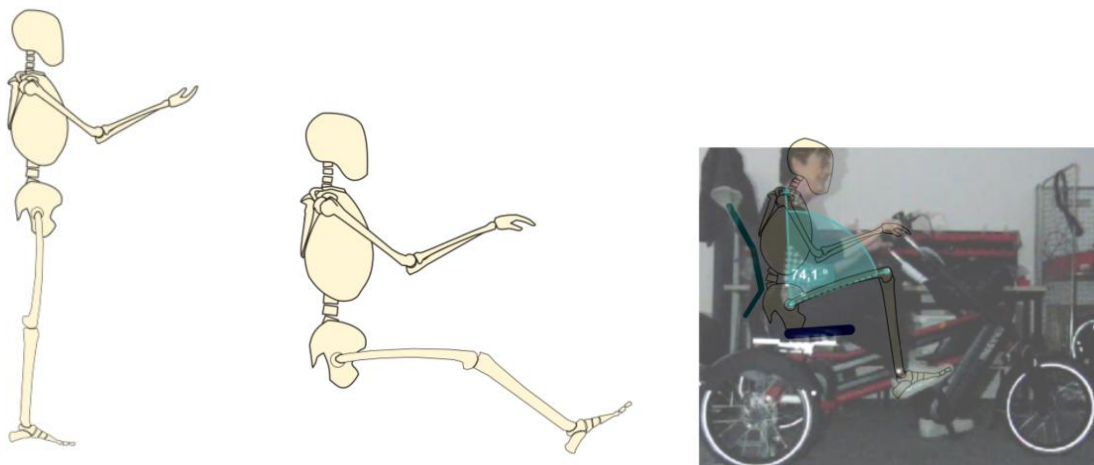
Bijlagen 3.3. Modelering

Voor de bepaling van het draaipunt werd geëxperimenteerd met modellen en schaaltekeningen, om het effect van het gekozen draaipunt op een snelle manier te visualiseren.

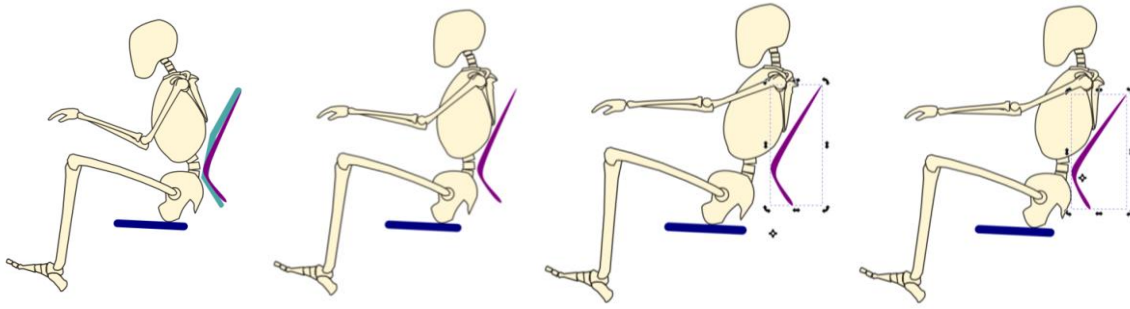
Bijlage 3.3.1. Schets op schaal



Bijlage 3.3.2. Model in Inkscape



Hieronder worden de gevonden verschillen weergegeven. Het eerste model weergeeft de huidige situatie van de gebruiker op de duo fiets. Er werd in het model rekening gehouden met een geoptimaliseerde stoel, omdat hierop de rotatiefunctie moest worden toegepast. 2^e afbeelding is 15 graden rotatie met het scharnier punt bij het heupgewricht. 3^e afbeelding is 15 graden rotatie met het scharnierpunt bij de lumbale wervels. 4^e afbeelding is eerste 10 graden in de heup, dan 5 bij de lumbale wervels. De hoek van 15 graden werd gekozen als geschatte waarde dat de heuphoek voldoende zou toenemen.



Resultaat 1: heup onderuitgezakt, elleboog ver gestrekt, nek voorovergebogen, lumbale ondersteuning verminderd, meer nek kromming, heup hoek vergroot tot 104 graden.

Resultaat 2: Heup minder achterover gekanteld (onderuitgezakt), minder strekking elleboog dan begin bij 1, betere lumbale ondersteuning dan bij 1 en begin positie, minder nek kromming dan bij 1, heup hoek vergroot tot 97,7 graden.

Bijlagen 4. Realisatie

De realisatiefase werd in het hoofddocument zoveel mogelijk visueel gehouden. Echter kwamen er wel berekeningen en analyses bij kijken. In deze bijlage worden meer details gegeven.

Bijlage 4.1. Formuleblad

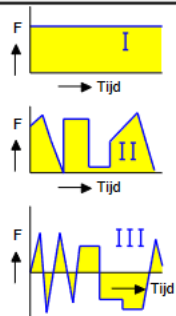
Toelaatbare spanningen uit de reader Construeren 2, Bert Broeren. Voor de constructie van het prototype werd de buigspanning van het materiaal op de belasting van het gebruik berekend aan de hand van de volgende formules.

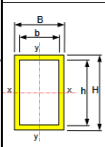
Construeren II

Toegepaste sterkteberekeningen

pag.3. 2

Type belasting en toelaatbare spanningen.

Ontwerpspanningen voor algemeen gebruik. Voor schroeven en bevestigingsartikelen een lage toelaatbare spanning aanhouden, en de belasting hoog inschatten i.v.m. de veiligheid Belastingsfactor zie nevenstaand grafieken. I : statische belasting II : sprong belasting (0-Max) III : wissel belasting (Trek-Druk)						
Toelaatbare-spanningen	Belast. factor	Eenvoudige Bevest. Artik.	S235 Fe360	E295 Fe490.	Alumin. plaat	Al.Profiel Geextrudeerd
Trekspanning $\sigma_t = \frac{F}{A} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	I	90	160	210	60	120
	II	60	100	140	40	80
	III	30	50	70	20	40
Buigspanning $\sigma_b = \frac{M_b}{W_b} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	I	90	160	210	60	120
	II	60	100	140	40	80
	III	30	50	70	20	40
Schuifspanning $\tau = \frac{F}{A} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	I	75	110	150	45	90
	II	50	75	100	30	45
	III	25	35	50	15	25
Wringing $\tau_w = \frac{M_{wr}}{W_{wr}} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	I	60	100	120	35	75
	II	40	65	80	20	50
	III	20	35	40	10	25

Buiging + Wringing. <i>Equivalentente Buiging M_e</i> $M_e = \sqrt{M_b^2 + \frac{3}{4} M_{wr}^2} \left[Nmm \right] \quad \sigma_e = \frac{M_e}{W_b} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$ Combinatiespanning van Buigingsp. + Schuifsp. $\sigma_b = \frac{M_b}{W_b} \left[\frac{N}{mm^2} \right] \quad \tau = \frac{F}{A} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$ $\sigma_c = \sqrt{\sigma_b^2 + 3\tau^2} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$		Buiging			
		Ix mm ⁴	Wx mm ³	Iy mm ⁴	Wy mm ³
		$\frac{BH^3 - bh^3}{12}$	$\frac{BH^3 - bh^3}{6H}$	$\frac{HB^3 - hb^3}{12}$	$\frac{HB^3 - hb^3}{6B}$

Bijlagen 4.2. Solid Works

Bijlage 4.2.1. Prototype

Voor het prototype ontwerp in Solid Works werd gebruik gemaakt van een bestaand model geleverd door Van Raam. Dit model werd eerder gebruikt voor het ontwerp van de stoel van de duo fiets. In dit ontwerp werden de aanpassingen van dit project verwerkt.



Bijlage 4.2.2. Constructie Analyse

Zoals vermeld in het hoofddocument zijn op de constructie van het nieuwe ontwerp enkele analyses toegepast, zodat de buigspanning en eventuele doorbuiging van het materiaal kon worden bepaald. Dit is gedaan om de constructie te controleren, om eventueel verstevigingen toe te passen. De belasting is bepaald door het maximale gewicht van de doelgroep om te rekenen naar een kracht in Newton. Omdat de gebruiker echter niet met zijn volledige gewicht de rugleuning zal belasten, werd dit gewicht van 91 kg door 2 gedeeld, als representatie voor alleen het bovenlichaam. Hieronder is de berekening weergegeven:

$$91 [kg] * 9,81 \left[\frac{m}{s^2} \right] = 892,71 [N]$$

$$\frac{892,71}{2} = 446,36 N$$

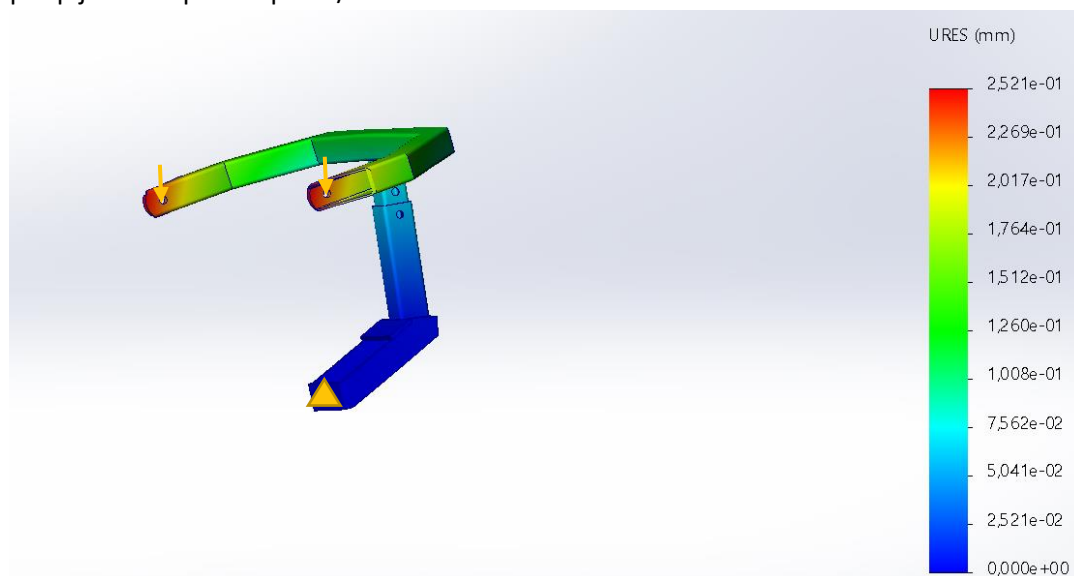
De berekende belasting van 446,36 Newton werd afgerond naar boven naar 450 Newton. De kracht van de rug van de gebruiker tegen de rugleuning staat echter onder een hoek van ongeveer 45° ten opzichte van de verticale lijn. Dit is bepaald wanneer de rugleuning onder een de maximaal bepaalde hoek (ten opzichte van het zitvlak) onder 135° komt te staan. Deze belasting is berekend aan de hand van de som van de (verticale) krachten:

$$\sum Fy = Fn - Fzy$$

$$Fzy = \sin(\alpha) * Fz$$

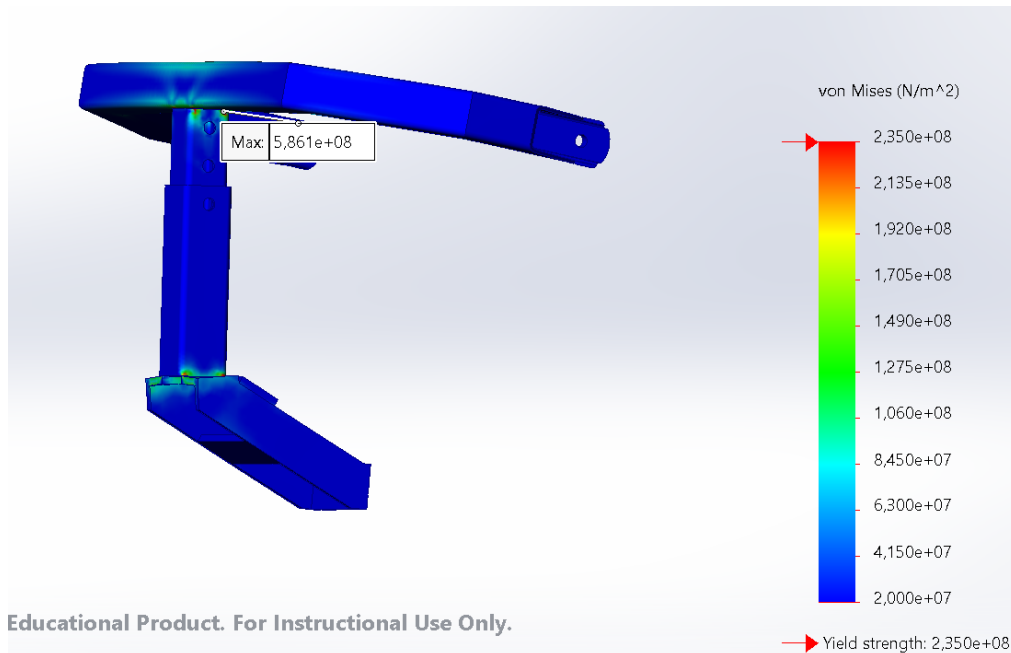
$$Fzy = \sin(45) * 450 = 318,2 N$$

Er werd bepaald om van extreme situaties uit te gaan, zodat de constructies in normale situaties sterk genoeg is, daarom werd gerekend met de naar beneden gerichte belasting (Fz) van 450N. In figuur B4.2.2 is deze belasting gelijkmatig verdeeld over 2 punten, dit zijn de gele pijlen. De belasting per pijl was bepaald op 450/2= 225N.



Figuur B4.2.2a: Analyse op buiging toegepast op de constructie van het prototype.

Het displacement (vervorming van het materiaal door een kracht) berekent door Solid Works, bedroeg 0,25 mm, wanneer het gewicht van de rugleuning en het (maximale) gewicht van een gebruiker werd toegepast. Het aangrijpingspunt van de belasting bevindt zich op de twee gaten (aangeduid met 2 pijlen in figuur B4.2.2a), dit is het aangrijpingspunt in de constructie voor de rugleuning. Onderaan de constructie op de blauwe plaat, is aan de hand van een gele driehoek het vaste punt in de constructie aangeduid, hierop is de constructie bevestigd aan de duo fiets.



Figuur B4.2.2b: De berekende buigspanning van het materiaal S235, op de constructie in Solid Works.

Bij de analyse verricht in figuur B4.2.2b, kwam de buigspanning in het materiaal van de constructie, kwam in de rode gebieden ($586,1\text{N/mm}^2$) boven de toelaatbare buigspanning van 235N/mm^2 . In deze analyse is geen rekening gehouden met de lasnaden die zich op de rode gebieden in figuur B4.2.2b bevinden. In overleg met werkplaats deskundige is aangenomen dat het prototype sterk genoeg was wanneer de verbindingen van de buizen werden gelast.

Bijlagen 5. Resultaten

In deze bijlage worden meer afbeeldingen weergegeven van de evaluatietest dan in het hoofddocument werden weergegeven. Resultaten zijn berekend in Matlab zoals beschreven in het meetprotocol. De afbeeldingen in onderstaande tabel dienen als extra visualisatie bij de verstrekte data uit het hoofddocument.

Proef- persoon nummer	Oude (minimale) heuphoek [graden]	Nieuwe (minimale) heuphoek [graden]	Verskil [graden]
1			
	85,444	92,743	7,3
2			
	80,448	81,573	1,1
3			
	72,723	85,356	12,6
4			
	83,946	87,46	3,5
5			
	75,994	87,141	11,2