Het ontwerpen van een composiet vouwfiets om de gebruikservaring van pendelaars te verbeteren

Thomas Vervisch

Promotor: prof. Jan Detand
Begeleider: dr. ir. Joachim Vanwalleghem

Masterproef ingediend tot het behalen van de academische graad van
Master of Science in de industriële wetenschappen: industrieel ontwerpen

Vakgroep Industriële Systemen en Productontwerp
Voorzitter: prof. dr. El-Houssaine Aghezzaf
Faculteit Ingenieurswetenschappen en Architectuur
Academiejaar 2016-2017

UNIVERSITEIT GENT

Het ontwerpen van een composiet vouwfiets om de gebruikservaring van pendelaars te verbeteren

Thomas Vervisch

Promotor: prof. Jan Detand
Begeleider: dr. ir. Joachim Vanwalleghem

Masterproef ingediend tot het behalen van de academische graad van
Master of Science in de industriële wetenschappen: industrieel ontwerpen

Vakgroep Industriële Systemen en Productontwerp
Voorzitter: prof. dr. El-Houssaine Aghezzaf
Faculteit Ingenieurswetenschappen en Architectuur
Academiejaar 2016-2017

UNIVERSITEIT GENT

VOORWOORD

Deze thesis is een prachtige, ambitieuze en uitdagende finale ontwerpopdracht van mijn studies Industriële Wetenschappen: Industrieel Ontwerp. Ruim een jaar na het kiezen van mijn thesisonderwerp interesseert en intrigeert dit ontwerp me nog meer dan toen ik eraan begon. Ik kan deze thesis dan ook trots afsluiten met een full-size functioneel prototype van mijn innovatief ontworpen vouwfietsconcept. Ik stond er het voorbije jaar gelukkig niet alleen voor en wil graag even stil staan bij de mensen die mij het afgelopen jaar doorheen dit ontwerpproces gesteund, geholpen en kennis bijgebracht hebben.

Allereerst gaat mijn dank uit naar mijn promotor Prof. Jan Detand voor zijn deskundige kennis en kritische blik die een duidelijke meerwaarde betekend hebben bij het ontwerpen van de vouwfiets. Daarnaast waren de tweewekelijkse consults van onschatbare waarde om het ontwerpproces goed te structureren en om nieuwe inzichten te verwerven en zo het ontwerp te verbeteren en te sturen tot een disruptief eindresultaat.

Ik zou ook mijn begeleider Dr. Ir. Joachim Vanwalleghem willen bedanken voor de goede begeleiding en de inspirerende aanzet van het ontwerpproces tijdens het eerste deel van mijn stageperiode in het Technologiepark Zwijnaarde. De resultaten van de testen op bestaande vouwfietsen waren dan ook van cruciaal belang voor het verdere verloop van het User Centered Design proces doorheen mijn thesis. Bedankt ook aan Ir. Ruben Sevenois en Prof. Wim Van Paepegem voor de deskundige begeleiding gedurende het tweede deel van mijn stage in het composietlab in het Technologiepark Zwijnaarde.

Uiteraard wil ik zeker ook mijn docent Ir. Yannick Christiaens bedanken. Ondanks zijn drukke planning kon ik steeds beroep doen op zijn deskundige kennis en ervaring in de fietsindustrie. Bedankt voor het eindeloze geduld wanneer een 3D-print na 20 uur printen nog maar eens faalde door het loskomen van support of het einde van het filament en wanneer de zoveelste nieuwe iteratie van dezelfde lug geprint moest worden.

Ook fietsenmaker Dominique Dupont wil ik bedanken voor de vakkundige uitleg en hulp tijdens het samenstellen van de wielen en het uitkiezen van de standaardcomponenten voor de vouwfiets.

Verder zou het onderzoeksgedeelte van deze thesis niet veel om het lijf gehad hebben zonder de talrijke mensen die deelgenomen hebben aan de vele gebruikerstesten doorheen het ontwerpproces. Bedankt voor de fijne samenwerking en de constructieve feedback.

Mijn vrienden wil ik ook bedanken om op tijd en stond voor de nodige ontspanning te zorgen.

Last but not least wil ik zeker mijn familie bedanken voor de steun en empathie, niet alleen tijdens deze thesis, maar ook tijdens mijn volledige opleiding. Dankjewel mama en papa voor jullie onuitputtelijk geduld wanneer de keukentafel voor de zoveelste keer vol lag met schetsen, prototypes en werkmateriaal. Zonder jullie steun, zowel moreel als financieel, was noch deze thesis, noch mijn volledige opleiding mogelijk geweest. Een speciale dank gaat ook uit naar mijn zus Elise om me steeds opnieuw een hart onder de riem te steken. Dit jaar maakten we beiden onze thesis, wat een extra motivering was om samen de eindstreep te halen.

Bedankt!

Thomas Vervisch

De auteur geeft de toelating deze masterproef voor consultatie beschikbaar te stellen en delen van de masterproef te kopiëren voor persoonlijk gebruik.
Elk ander gebruik valt onder de bepalingen van het auteursrecht, in het bijzonder met betrekking tot de verplichting de bron uitdrukkelijk te vermelden bij het aanhalen van resultaten uit deze masterproef.

The author gives permission to make this master dissertation available for consultation and to copy parts of this master dissertation for personal use.
In the case of any other use, the copyright terms have to be respected, in particular with regard to the obligation to state expressly the source when quoting results from this master dissertation.

02 juni 2017

ABSTRACT

Het ontwerpen van een composiet vouwfiets om de gebruikservaring van pendelaars te verbeteren

Multimodaal transport is een alledaagse realiteit geworden en raakt de laatste jaren steeds meer ingeburgerd. Daardoor neemt de populariteit van vouwfietsen bij pendelaars toe. Ze gebruiken de vouwfiets als aanvulling op het openbaar vervoer. Ondanks deze toename hebben vouwfietsen nog heel wat gebreken en beperkingen, waardoor het gebruiksgemak van vouwfietsen en de gebruikservaring van pendelaars niet optimaal zijn. Bij de aanvang van het ontwerpproces werden deze gebreken en beperkingen samen met de eisen en wensen van de pendelaars aan het licht gebracht aan de hand van een aantal gebruikerstesten.

Op basis van die bevindingen werd een vouwfiets voor pendelaars ontworpen vanaf nul. De focus van het User Centered Design proces ligt op het verbeteren van de gebruikservaring van pendelaars die een vouwfiets gebruiken voor multimodaal transport.

Dit ontwerpproces leidde tot een disruptief vouwfietsontwerp, waarbij het voor- en achterwiel enkelzijdig zijn opgehangen met een offset. De main value propositions van het vouwfietsontwerp zijn het intuïtieve en snelle vouwmechanisme, waarbij de fiets dichtvouwt door een opwaartse hefbeweging te maken, het licht gewicht, de zeer goede rijprestaties, het aangenaam rijcomfort en het algemene gebruiksgemak.

Naast het ontwerpproces en het prototypen van de vouwfiets werd in dit ontwerpdossier ook dieper ingegaan op de uitgevoerde gebruikerstesten met bijhorende resultaten. Dit gaat van het testen van de impact op de rijervaring van wielen die niet in lijn staan tot comparatieve testen van de intuïtiviteit en de vouwsnelheid van het vouwmechanisme. Deze testen werden uitgevoerd om bepaalde hypothesen omtrent het vouwfietsontwerp te testen, maar ook om de stakeholders in het ontwerpproces te betrekken en zo het gebruiksgemak en de gebruikservaring zo optimaal en relevant mogelijk te maken.

Dit onderzoek toont aan hoe de studie omtrent een product en het herontwerpen van een product vanaf nul, in deze case study een vouwfiets, tot een disruptief ontwerp kan leiden dat het gebruiksgemak en de gehele gebruikservaring van stakeholders kan verbeteren . Dit gebeurt door een User Centered Design methodologie toe te passen en te vertrekken vanuit gebruikerstesten in de correcte context.

Trefwoorden: Vouwfiets, User Experience Design (UXD), User Centered Design (UCD), Composieten, Prototypen, Pendelen, Multimodaal transport

The design of a composite folding bike
to improve the user experience of commuters

Vervisch Thomas / Department of Industrial System and Product Design, Ghent University / vervischthomas@gmail.com
Prof. Detand Jan / Department of Industrial System and Product Design, Ghent University / jan.detand@ugent.be

***Abstract* — Over the last years, the popularity of folding bikes has been increasing as a result of the rise of multi-modal transport. They are used by commuters as a complement to public transport. Despite the increasing popularity, the current market offer of folding bikes still represents quite some restrictions and downsides which decrease their usability.**

This paper shows a user-centered process of designing and prototyping a composite folding bike with the aim of improving the user experience of folding bike using commuters. By improving the usability and ease of use of folding bikes, their full potential can be unlocked. The design process led to a disruptive folding bike design with front and rear single-sided offset wheel mounting. The concept excels in its intuitive and quick folding mechanism, superior riding performance and comfort, adjustability and overall ease of use.

In addition to the design process and prototyping of the folding bike, this extended abstract elaborates on the performed user tests and its results. These tests range from the impact of offset wheels to the intuitiveness of the folding mechanism and were performed in order to prove different aspects of the design.

This research shows how rethinking and redesigning a bike concept (product) from scratch, using a user-centered design process and taking into account the three aspects — business, technology and people — can lead to a disruptive design that improves usability and the overall user experience of the stakeholders.

***Keywords* — Folding bike, User Experience Design (UXD), User-Centered Design (UCD), Fibre Reinforced Plastic, Composite production, Prototyping, Design Thinking, Commuting, Multi-modal transport**

I. Introduction

Despite the recent increasing research and innovation in the world of folding bikes [1][2], current market offer does not meet the desires of commuters using them for multimodal commute. The need for a folding bike that is designed to fulfil the demands and wishes of present-day commuters initiated this design process. The project started with initial user tests in which test subjects had to execute each aspect of a folding bike commuter's customer journey. These tests revealed several shortcomings of the current market offer of folding bikes. The first main deficiency is the complexity of the folding mechanisms with safety locks. This leads to a lack of intuitiveness of the folding mechanisms. In addition, the need for skilled and precise handling leads to a bike that does not fold fast and easy enough for the rushed daily use while commuting. A second important drawback is that most folding bikes are chunky and too heavy, making them uncomfortable and a big burden to carry. This is because they are made out of traditional bike-building materials, such as aluminium and steel alloys. A third flaw is the abundance of exposed or poorly incorporated parts, such as exposed brake cables or externally mounted lights and reflectors. These elements obstruct the ease of use. A last main weakness of folding bikes is the small wheels. Folding bikes often have 20" or even 16" wheels. This results in a lack of comfort and even sketchy riding characteristics, especially at higher speeds.

This extended abstract explores solutions to these shortcomings and the user-centered design process of a concept folding bike, while taking into account the three design thinking aspects: business, technology and people. It furthermore elaborates on comparative user tests of the intuitiveness, the folding speed and the riding experience of the concept. These tests were performed in order to improve the usability of the folding bike and the user experience of the commuter, but also to prove various aspects and hypotheses of the concept [3][4].

II. State of the art

A. Multi-modal folding bike commuting

When it comes to multi-modal transport, cycling as a complement to public transport has various environmental, health, and traffic-reduction benefits [5][6][7], but it also has its challenges. For example the relatively insecure parking at the station has its drawbacks [8]. It encourages the use of low-value, expendable bikes with often poor riding characteristics and a lack of safety and comfort [8]. In most cases, a commuter is required to have two bikes, one on both the departure location and one on the arrival location [6]. The perfect solution to these drawbacks is the use of folding bikes, enabling a commuter to retain the bicycle at all times as an item of personal luggage.
However, besides the clear benefits of folding bikes, the current market offer still has several downsides, such as the uncomfortable small wheel size [8], the oversized volume when folded and their excessive weight [9]. In literature, only very few studies were found concerning the user friendliness of folding bikes [9][10] or the user experience of folding bike using commuters. Nevertheless, the downsides mentioned above were demonstrated and reported by the multiple test subjects during the initial user tests.

B. Folding bike design

As regards the innovation and design of folding bikes, some literature studies can be found concerning folding bikes that have been commercialised, such as the design process of the Strida folding bike [11], concept studies that remained concepts, such as 'The Intermodal Bike' project [9] and more specific studies, such as the correct use of materials and production techniques for folding bikes [12].
An interesting study was conducted on the optimal direction of the pivot axis of the hinge of a folding bike [13]. An alternative was sought for the classic single lateral pivot type folding mechanism, which causes significant troubles in folding dimensions and the front and rear wheels end up arranged in a slanted way. The research shows for the need of a folding mechanism that aligns both the front and rear wheel in parallel, which would result in excellent usability and smaller folding width. A commonly occurring and remarkable phenomenon in patent research is the use of single-sided suspension, both for the front and rear wheel. In this way both wheels are positioned adjacently to each other with minimal width when the bike is folded [14][15][16][17].

III. Method

A. Methodology

Although inspiration was gained through several design methodologies, such as design thinking and user-centered design, an own method and structure was followed throughout the design process. First of all, the three aspects of design thinking (Fig. 1), necessary for innovative design: business, technology and people were all constantly taken into account throughout the entire process [18].
The executed design process can be divided into three main phases. First there is the **problem definition** phase, in which market research and initial user tests are performed and the scope and research question of the thesis is defined. This is then followed by the **developing** phase that includes various iterative steps of ideation and prototyping. The final phase of the design process is the **testing** phase, in which several user tests were performed.

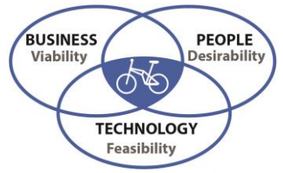


Figure 1. 3 phases for innovative design

B. Problem definition

The problem definition was initiated with market research on the current offer of folding bikes, from which the market opportunity was derived (Fig. 2). Besides, a specific target group was chosen, namely young commuters, aged between 25 and 45, since this is the target group that matches best with the found market potential. In order to achieve the folding bike that works best for these users, User Experience Design techniques were used [19] [20]. Personas were made to summarise the findings and research about the stakeholders [21]. A customer journey was drafted to get a better understanding of the specific context in which folding bikes are used by commuters and the actions that are performed in each part of this customer journey (Fig. 3) [22] [23]. Both the persona and customer journey were used as guidelines throughout the whole design process and the user tests. This contextual design lead to a better implementation of the specific demands and wishes of the stakeholders during each aspect of the customer journey [24].
All findings of the market research and the initial user tests were then summarized and converted to the focus of the concept bike to be designed.

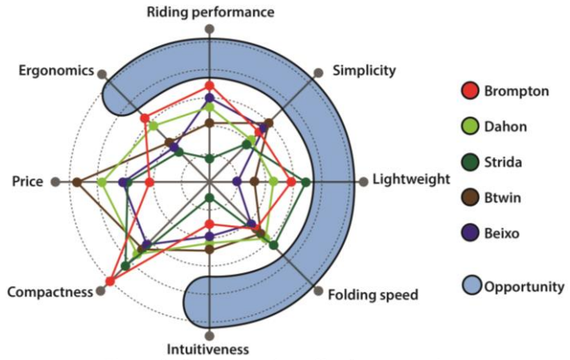


Figure 2. Current market offer & opportunity

Figure 3. The customer journey of a folding bike using commuter

C. Developing

The first ideation phase started by brain-sketching ideas and solutions for sub-problems found in the problem definition phase. From there several concepts were derived, with the focus on the overall shapes of the bikes and a corresponding rough idea of compacting/folding the bike. Through further sketching and the use of quick and dirty scale models, the abundance of ideas was narrowed down to three main concepts, of which one main concept was chosen in consultation with the stakeholders. After further developing, prototyping and optimising the folding mechanism, a first quick and dirty full-size prototype was made as a proof of concept. The goal of this prototype was to get a better way of testing and communicating the complete folding mechanism, dimensions and the usability with the stakeholders (Fig. 4). The development of the full-size prototypes always started in CAD, in which first the standard components and the overall geometry were drawn and from there the folding bike's frame and fork were designed (Fig. 5).

Figure 4. First quick and dirty full-size proof of concept

Based on the learning outcomes of this first prototype, a second full-size prototype was made. The focus of this prototype was to optimise the dimensions and shape of the folding bike for structural rigidity, the incorporation of standard components and the overall ergonomics. Special attention was paid to make sure crucial bike geometry, such as the fork rake,

the trail, the head tube angle and the bottom bracket height, are as optimal as possible in order to achieve the best bike handling characteristics. The goal of this prototype was to have a functioning bike, containing all the necessary standard components, enabling usability and user tests. Doing so, the strived improvement of the user experience of commuters and the usability can be researched. With the intent of fast, low budget easily adaptable prototyping, the frame and front fork were built out of carbon fibre tubes connected with 3D printed lugs.

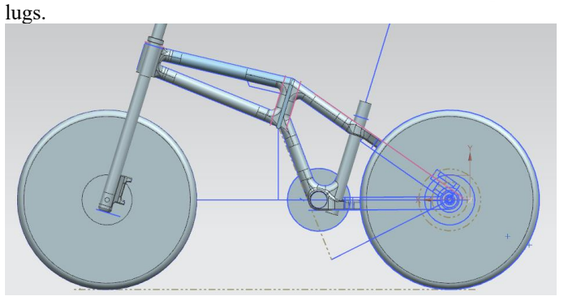


Figure 5. CAD drawing of the final prototype

D. Testing

Test offset wheels: One main aspect of the concept is that the front and rear wheels are both mounted with an opposing offset, so the two wheels are not perfectly aligned, but positioned in parallel to one another. This results in the two wheels coming right next to and against each other when folding the bike perfectly vertically, keeping the overall width minimal and enabling the folded bike to be dragged like a trolley on its two wheels. The influence of the opposing offset of the two wheels on the riding experience was tested through several pilot tests and a user test.

Pilot test 1: In the first test the offset between the front and rear wheel was obtained by mounting the front wheel of a bike next to the front fork, resulting in an offset of 90mm (Fig. 6).

Pilot test 2: The goal of the second test was to create offset wheels, but with the head tube and thus the pivot point of the fork straight above the front wheel, as is normally the case in a bicycle. Now the parallel offset wheels are achieved by splitting a bike frame in half and mounting it with the desired 55mm offset (Fig. 7).

Figure 6. Test 1

Figure 7. Test 2

User test: After the successful initial findings of the second pilot test, a blind user test was conducted on 25 random test subjects without any foreknowledge of the design project (Fig. 8). The user test was a comparative test between two very similar bikes, of which one bike was not adapted and one was adapted with parallel offset wheels. The frames of both bikes were identically wrapped so the offset, located in the frame of one of the bikes was not visually noticeable. The test subjects were asked to ride a given circuit with both bikes. Which bike they started with was randomly chosen. Afterwards a short interview was conducted with each participant on their findings about the riding experience with both bikes.

Figure 8. Test subjects executing the user test

One of the main aspects of improving the user experience of the commuters is to enhance the usability and ease of use of folding and unfolding the bike. This was tested with two new user tests.

Intuitiveness test: The first way this was analysed was by testing the intuitiveness of folding and unfolding the bike. This test is a comparative user test in which 20 test subjects, who had never seen the folding concept bike and had no association with it, have to fold and unfold three folding bikes for the first time, without any instructions or outside help (Fig. 9). The three folding bikes consist of the concept folding bike and two commercial bikes (Brompton and Dahon) that represent the market offer. To get a broader view on the intuitiveness, half of the test subjects started with folded bikes and the other half started with unfolded bikes. The time it took to fold and unfold each bike was timed to be able to compare and analyse the test results. Besides that, the folding and unfolding of the concept folding bike was analysed during the test to gain insights in how users interpret the concept folding bike and to be able to improve intuitiveness and usability of the folding mechanism afterwards. A time limit of three minutes was determined through pilot tests.

Folding speed test: The second way to test the usability of folding and unfolding the bike was by performing a comparative test on the speed of folding and unfolding the bike. This test was executed by 20 test subjects after they had been demonstrated the correct way of folding each bike and once they got the hang of the folding motion (Fig. 9). This test was also a comparative test between two commercially available folding bikes (Brompton and Dahon) and the concept folding bike. The folding and unfolding was timed to be able to compare and analyse the test.

Figure 9. Intuitiveness and folding speed user tests

Research was done to define which aspects determine the user experience of using a folding bike for commuting. The user experience and usability and all the different aspects combined, appeared to result in the overall complete user experience. This cannot be tested or judged through individual aspects alone; therefore a fifth test was conducted.

Customer journey test: The fifth test is a user test focussing on the overall user experience of the stakeholder using the folding bike throughout the complete customer journey. In this test, three test subjects went through their complete commute, using the folding bike prototype (Fig. 10). The full test was observed to analyse the test subjects proceedings and the think-aloud protocol was applied to gain insights in the test subjects thoughts [25]. Afterwards an interview was conducted to get a better understanding of participants' overall user experience of the folding bike during the commute.

Figure 10. Usability test during customer journey commuter

IV. Results

A. Developing

The result of the design project is a functional prototype with which the usability, the handling and the folding of the concept bike can be tested and the user tests can be executed (Fig. 11). Despite the fact that cycling with the bike is not possible due to the production method used for this prototype, this aspect of the concept has been thoroughly tested in **Test offset wheels**.

Figure 11. Final prototype of the concept folding bike

A **first main feature** is the 24 inch ETRTO 507mm sized wheels, which are an intermediate size between the traditional 20 inch folding bike wheels and the classical 26 inch city bike wheels. This results in the ultimate balance between comfort, stable handling characteristics on rough roads, high speeds and compactness after folding.

A **second main feature** is the simplicity and speed of frame folding. This is achieved by lifting the bike vertically on the provided handle. Thanks to this lifting motion, the lever is being squeezed and the locking mechanism unlocks. Once the locking mechanism is unlocked, the same upwards lifting motion causes the wheels of the bike to ride towards each other and the bike frame to fold without having to lift the complete weight of the bike (Fig. 12). Unfolding the bike frame is operated by taking the handlebar and the seat post and by moving them towards each other. This results in the wheels of the bike riding away from each other and the bike locking mechanism closing and automatically locking. An additional advantage of this folding mechanism is the resilience. The weight of the bike and the weight of the rider push the locking mechanism closed. This way there is no need for an additional safety lock on the locking mechanism, resulting in a faster, more user-friendly and intuitive locking mechanism.

A **third main feature** is the trolley function. After folding the bike frame and if desired also sliding in the seat post, the bike can be pulled like a trolley on the wheels, using the handlebar as a handle. That means the bike does not have to be carried when transported by foot.

A **fourth main feature** is the adjustability of the handlebar height that is integrated in the compacting mechanism of the handlebar and stem. This is done by sliding the telescopic stem into the front fork. In the first part of the movement, the stem slides straight into the fork. This makes the handlebar adjustable in height. In the second part of sliding in the stem, the handlebar makes a 90° turn, causing the handlebar to end up against and parallel to the frame (Fig. 12). This keeps the width of the folded bike as minimal as possible. A pin on the top of the front fork and the slot in the stem is used to guide the stem straight in the first section and then into a spiral curve.

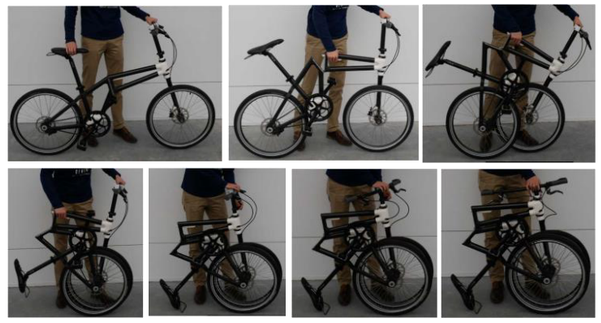


Figure 12. Sequence folding the concept folding bike

B. Testing

Pilot test 1 offset wheels: The first test shows that if the wheel is mounted on the right side of the fork, the bike has a tendency to turn left and vice versa. This can be explained by the bikes head tube, and thus the steering pivot point that is not straight above the front wheel. This results in the stable position not being straight forward, but a bike that constantly pulls to one side. Despite this, the test shows positive results regarding the riding experience, both riding straight and cornering.

Pilot test 2 offset wheels: This pilot test shows a perfectly stable bike, the offset of which does not impact the riding characteristics; it is even possible to ride no handed.

User test offset wheels: None of the 25 test subjects experienced a difference in riding experience or characteristics between the two test bikes caused by the 55mm offset located in the frame of one of the test bikes. Furthermore this offset was

only noticed by 1 out of the 25 test subjects because of the offset being located in the middle of the frame, resulting in a slightly crooked riding position.

Intuitiveness test: The intuitiveness test shows an average folding speed of 105s for the Brompton, 96s for the Dahon and 61s for the concept and an average unfolding speed of 116s for the Brompton, 72s for the Dahon and 33s for the concept bike. During this intuitiveness test 3 out of the 20 test subjects succeeded in folding the Brompton correctly, 6 out of 20 folded the Dahon correctly and 19 out of 20 folded the concept bike correctly (Fig. 13).

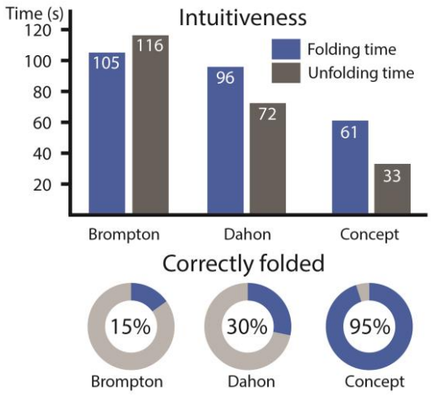


Figure 13. Test results user test intuitiveness

Folding speed test: The folding speed test results in an average folding speed of 37s for the Brompton, 37s for the Dahon and 17s for the concept bike and an average unfolding speed of 38s, 33s and 12s respectively (Fig. 14). All test subjects experienced the concept bike to fold and unfold the quickest. 11 out of the 20 test subjects experienced the Dahon to fold and unfold second quickest and the Brompton the slowest, while the other 9 test subjects experienced the opposite.

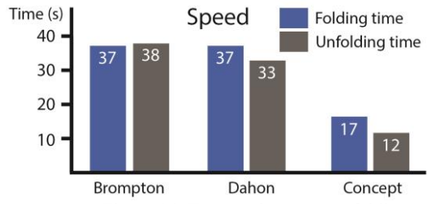


Figure 14. Test results user test folding speed.

Customer journey test: During the usability test in which the customer journey of a folding bike commuter was completed, some of the aspects allowing room for improvement were highlighted. For example, the magnet that keeps the wheels closed must be a lot stronger and custom wheels, of which the non-supported side is completely flat, are required for improved compactness and overall rigidity when folded. As expected, a telescopic seat post is required for smaller folding. Resting the bike on the seat instead of the extended handlebar when folded proved to be a more intuitive and better way to put down the bike when folded. Therefore a bracket was designed and added to the seat. Moreover the unique selling propositions of this bike, such as the fast and easy folding and the minimal weight, were valued by the test subjects as expected. Compared to the test results of the initial user test, an overall improvement of the user experience and the usability of using the folding bike was experienced by the stakeholders (Fig. 15).

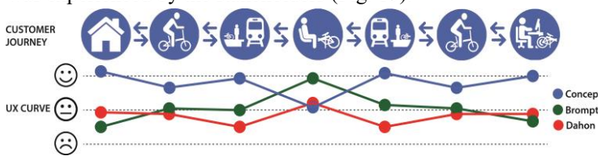


Figure 15. UX curve throughout the customer journey

V. Discussion

Tests show that wheels aligned in parallel have no noticeable impact on the riding characteristics of a bike, provided the opposite offset mounted wheels are properly integrated in the bike's overall design. The offset was noticed by one test subject due to the crooked riding position caused by the offset being located in the frame. In the designed folding bike concept, the offset is located in the wheel mounting instead of in the bike frame and the riding position of the rider is thus straight and the offset unnoticeable.

The intuitiveness test shows that folding and especially unfolding the concept bike is a lot more intuitive than its two benchmarks. In addition, more participants succeeded in correctly folding the concept bike, which shows that it is more error-proof. The folding speed test shows that the concept bike is a lot quicker to fold and unfold than both benchmarks. All participants also experienced the concept bike to fold quicker. The participants however had limited practice time to master the folding movement. The folding speed of each bike can increase a little with more practice.

The results of both the intuitiveness test and the folding speed test indicate the folding and unfolding of the concept to be more user friendly and improve the user experience of folding the bike.

The fragile prototype with 3D printed PLA lugs had a negative impact on the intuitiveness test, the folding speed test and the usability test since the participants were afraid of handling the prototype incorrectly and of damaging the frame. Apart from that, the prototype also presents room for improvement. Therefore the executed user tests are no complete statistical tests, yet rather explorative tests performed in order to orient the design process. Further statistical tests require fully functional and properly constructed prototypes, of which the prototyping effort and costs should not be underestimated.

VI. Conclusion & Future Work

The design of an innovative folding bike concept can be seen as a big puzzle of standard components and self-designed components, in which certain traditional bicycle geometry aspects and rules have to be taken into account. A lot of foreknowledge is required to be able to select the right combination of standard components or universal dimensions. Not collaborating with a bicycle or folding bike company worked to the detriment of this aspect, but it enabled the design to be a lot more disruptive. During the design process, the consideration between custom wheels and standardised wheels was made. Due to time limitations of the thesis and the ease of use of standardised components, both for prototyping and in real life for bike repair, the preference was given to standardised wheels. The final prototype and design process however shows that a standard bicycle hub is still too wide for this application with offset wheels and single-sided suspension, resulting in the need for a very wide and thus custom bottom bracket and crank shaft. This, combined with the wide front fork and rear wheel mount, the overall folded prototype bike is a lot wider than initially intended. Therefore custom bike rims with very narrow hubs and an inside mounted rear sprocket are a must for further development and improvement of this bike concept. Custom rims will also enable the inside of the bike wheel to be completely flat, so no hub protrudes. This will enable the two wheels to rest completely flat against each other without space for motion when the bike is folded.

A second suggestion for future work is researching and exploring the alternatives for production methods for the folding bike concept. Aspects such as the durability, weight and cost of different production techniques have to be compared. The weigh-up has to be done between composites or other bike building materials such as aluminium, titanium or steel. The material choice also influences the folding bike design, which will have to be fine-tuned according to the chosen material and production technique. There are two main suggestions for material choice and production technique to produce the concept bike's frame.

The first possibility is a traditional monocoque frame, that will have to be divided in a front and a rear part, isolated by the central locking mechanism. This central hinge and locking mechanism could be an aluminium milled or forged insert or a composite BMC insert in the monocoque frame. Moulding this monocoque frame will be easier than traditional bike frames due to the single sided rear wheel mount. This means only two mould halves are required for the rear part of the bike frame.

A second and cheaper variant to produce the bike frame, is a welded aluminium bike frame. The frame could be a combination of hydroformed panels with CNC-milled or forged aluminium inserts for the locking mechanism. The main selection criterion will be the cost versus the weight of the frame.

There are also several potential materials to produce the custom bike rims, such as magnesium alloys, carbon fibre rims or other fibre reinforced plastics. In all variants, the bike rim would be bolted to a CNC-lathed wheel hub.

In this design process, the focus was on the user aspect of the folding bike design. When further developing this bike, attention will have to be paid to the safety standards and regulations. This will necessitate additional tests, such as the standardised fatigue tests, strength tests, corrosion tests etc. These mechanical tests require fully functional and correctly constructed prototypes. This entails high prototyping effort, costs and foreknowledge. To conclude, for these next steps in the development process, a collaboration with an established bicycle manufacturer would be highly recommended.

References

[1] The Folding Cyclist, "Folding Bike News," 2017. [Online]. Available: http://www.foldingcyclist.com/. [Accessed: 03-May-2017].

[2] L. Cooke, J. Roderiguez, M. Chino, L. Wang, J. Fehrenbacher, C. Cameron, J. Dloffa, K. Lofgren, L. Cowan, P. Rebecca, L. Evelyn, A. Schwartz, M. Chino, and J. Chapa, "Folding Bike | Inhabitat - Green Design, Innovation, Architecture, Green Building." [Online]. Available: http://inhabitat.com/tag/folding-bike/. [Accessed: 03-May-2017].

[3] M. F. Story, "Maximizing Usability: The Principles of Universal Design," *Assist. Technol.*, vol. 10, no. 1, pp. 4–12, Jun. 1998.

[4] D. J. Mayhew, "The Usability Engineering Lifecycle," in *CHI '99 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, 1999, pp. 147–148.

[5] K. J. Krizek and E. W. Stonebraker, "A Marriage Unrealized," pp. 161–167, 2010.

[6] P. Rietveld, "Non-motorised modes in transport systems: a multimodal chain perspective for The Netherlands," *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 5, no. 1, pp. 31–36, Jan. 2000.

[7] Y.-H. Cheng and K.-C. Liu, "Evaluating bicycle-transit users' perceptions of intermodal inconvenience," *Transp. Res. Part A Policy Pract.*, vol. 46, no. 10, pp. 1690–1706, Dec. 2012.

[8] P. Cox, "The Role of Human Powered Vehicles in Sustainable Mobility," vol. 34, no. 2, 2005.

[9] F. Tosi, A. Belli, A. Rinaldi, and G. Tucci, "The Intermodal Bike : multi-modal integration of cycling mobility through product and process innovations in bicycle design," vol. 41, pp. 1501–1506, 2012.

[10] M. Arunachalam, "A Typical Approach in Conceptual and Embodiment Design of Foldable Bicycle," vol. 87, no. 19, pp. 9–16, 2014.

[11] R. Roy, "Case studies of creativity in innovative product development," *Des. Stud.*, vol. 14, no. 4, pp. 423–443, 1993.

[12] M. A. Maleque, M. S. Hossain, and S. Dyuti, "Material Properties and Design Aspects of Folding Bicycle Frame," vol. 265, pp. 777–782, 2011.

[13] J. Hyeong, J. Roh, and S. Kim, "Optimization of pivot obliquity for a foldable bicycle," *Int. J. Precis. Eng. Manuf.*, vol. 17, no. 7, pp. 931–936, 2016.

[14] M. C. Chen, "Bicycle foldable to align front and rear wheels along a transverse direction of the bicycle." Google Patents, 2005.

[15] P. P. M. }ik, "Universal folding bicycle." Google Patents, 09-Mar-2004.

[16] M. A. Jayasuriya, J. C. Cheng, and K. M. Schondorf, "Klapprad Folding bike." Google Patents, 2015.

[17] D. K. De Jong, "Foldable bicycle." Google Patents, 31-Jul-2001.

[18] T. W. Brown Jocelyn, "Design Thinking for Social Innovation," *Dev. Outreach*, vol. 12, no. 1, pp. 29–43, Jul. 2010.

[19] D. Norman, "Emotion & Design: Attractive Things Work Better," *interactions*, vol. 9, no. 4, pp. 36–42, 2002.

[20] M. MAGUIRE, "Methods to support human-centred design," *Int. J. Hum. Comput. Stud.*, vol. 55, no. 4, pp. 587–634, 2001.

[21] J. E. Nieters, S. Ivaturi, and I. Ahmed, "Making Personas Memorable," in *CHI '07 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, 2007, pp. 1817–1824.

[22] S. Nenonen, H. Rasila, and J. Junnonen, "Customer Journey – a method to investigate user experience," no. Schmitt 1999.

[23] "Experience-Maps-Using-Customer-Journey-Maps-to-Improve-Customer-Experience.pdf." .

[24] H. Beyer and K. Holtzblatt, "Contextual Design," *interactions*, vol. 6, no. 1, pp. 32–42, 1999.

[25] J. Nielsen, T. Clemmensen, and C. Yssing, "Getting Access to What Goes on in People's Heads?: Reflections on the Think-aloud Technique," in *Proceedings of the Second Nordic Conference on Human-computer Interaction*, 2002, pp. 101–110.

LIJST VAN AFKORTINGEN

ABS	Acrylonitril Butadieen Styreen
BB	Bottom Bracket
BMC	Bulk Moulding Compound
CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer AIded Engeneering
CNC	Computer Numerical Control
EPS	Expanded Polystyreen
IDC	Industrial Design Center
IO	Industrieel Ontwerp
MTB	Mountain bike
PLA	Poly Lactic Acid
PU	Polyurethaan
RVS	Roestvast staal
SMC	Sheet Moulding Compound
UCD	User Centered Design
UXD	User Experience Design

INHOUDSTAFEL

1/ INLEIDING 1
- 1.1 Stakeholders 3
- 1.2 Methodologie 4

2/ PROBLEEMDEFINITIE 9
- 2.1 Markt 10
  - Benchmarkonderzoek vouwfietsen
  - Marktopportuniteit
- 2.2 Technologie 15
  - Vouwmechanisme
  - Materiaalkeuze en productiemethoden
  - Composieten
  - Standaardcomponenten
- 2.3 Gebruiker 20
  - Keuze doelgroep
  - Customer journey
  - Gebruikerstesten
  - Persona
- 2.4 Focus 27
  - Eisen en wensen
  - Features
  - Onderzoeksvraag

3/ UITWERKING 31
- 3.1 Ideegeneratie 32
  - Schetsen
  - Foamboard schaalmodellen
  - Ontwerpen vergrendelmechanismen kader
  - Ontwerpen vouwmechanisme stuurpen
  - Uitwerken verkozen concept
- 3.2 Prototypen 44
  - Full-size proof of concept
  - Finaal prototype

4/ TESTEN 67
- 4.1 Offset wielen 68
  - Piloottest 1
  - Piloottest 2
  - Gebruikerstest
- 4.2 Intuïtiviteitstest 73
- 4.3 Snelheidstest 75
- 4.4 Gebruikerstest Customer journey 77

5/ CONCLUSIE 83

6/ TOEKOMSTWERK 89

REFERENTIES 95

BIJLAGEN 99

HOOFDSTUK 1/
INLEIDING

"The bicyle is a simple solution
to some of the world's most complicated problems."
- UNKNOWN -

Sinds het uitvinden van de fiets proberen mensen de fiets compacter te maken voor transport door ze enigszins opvouwbaar of demonteerbaar te maken. Echter rond de jaren 1895 werd de eerste 'echte vouwfiets', de Captain Gérard, gebruikt in het Franse leger om al dragend te worden meegenomen door de soldaten (Fig. 1). Gelijkaardige vouwfietsen werden ook gebruikt in andere landen door het leger en de parachutisten[1].

Figuur 1. Captain Gérard militaire vouwfiets

De eisen voor militair gebruik waren goede draagbaarheid en vlotte rijeigenschappen, ook op slecht wegdek en onverhard terrein. Daaraan voldeden de vouwfietsen van toen niet en zo bleef het gebruik beperkt.

De vouwfietsen die gebruikt werden voor kleinbehuisden, voldeden beter aan hun doel, omdat de eisen geringer waren. De vouwfiets was al nuttig als hij kleiner kon worden gemaakt, maar omwille van de extra kosten en de kwetsbare constructie tegenover een fiets met een vast frame, bleven ook deze vouwfietsen beperkt. Een noemenswaardige serieproductie was niet aan de orde.

In de jaren '50 was er plots wel een potentiële kopersgroep voor de vouwfiets. Dit kwam door de opkomst van de auto, waardoor het aantal automobilisten in die jaren sterk groeide. De eisen voor zo'n fiets waren kleine wielen en een klein frame met uitschuifbare stuur- en zadelpen.

Sinds de jaren '80 is de vouwfiets aan een sterke opmars bezig[2,3]. Dit komt grotendeels door het opkomen van het multimodaal transport in en tussen grootsteden in Europa, Azië en Amerika. De grootste en nog steeds toenemende groep vouwfietsgebruikers zijn de pendelaars die een vouwfiets gebruiken als aanvulling op het openbaar vervoer [1][2][3]. Zij hebben hun specifieke eisen en wensen wat betreft het open- en dichtvouwen, fietsen, dragen, opbergen… Hieraan voldoen hedendaagse vouwfietsen, gemaakt uit klassieke materialen, zoals staal en aluminium, meestal niet [4][5][6].

Vanuit deze tekortkoming in het huidige marktaanbod ontstond binnen het IDC het idee voor een ontwerpopdracht omtrent het ontwerpen van een vouwfiets die op deze opportuniteit inspeelt. Het doel was om bij het ontwerpen van de vouwfiets te vertrekken van de vormvrijheid die moderne composietverwerking biedt. Hieruit ontstond dan in samenwerking met het composietlab van de onderzoeksgroep 'Mechanics of Materials and Structures' het masterproefonderwerp: 'Het ontwerpen van een composiet vouwfiets'.

[1] http://www.foldingcyclist.com/folding-bike-history.html
[2] http://www.foldingcyclist.com/
[3] http://inhabitat.com/tag/folding-bike/

1.1 Stakeholders

Ondanks het feit dat deze masterproef, het ontwerpen van een composiet vouwfiets, een interne masterproef binnen de UGent is, zijn er meerdere stakeholders betrokken, gaande van de onderzoeksgroepen van de UGent tot de fietsmarkt.

Stakeholders in verband met de ontwerpopdracht

De masterproef werd uitgevoerd aan de **Universiteit Gent** campus Kortrijk. Naast de Universiteit Gent in het algemeen zijn meer specifiek het **Industrial Design Center van de onderzoeksgroep Industrial Systems Engineering and Product Design** en het **composietlab van de onderzoeksgroep Mechanics of Materials and Structures** in het Technologiepark Zwijnaarde belangrijke stakeholders.

Daarnaast is spin-off **Bikelabs International** (Ugent) ook een stakeholder binnen deze ontwerpopdracht. Een deel van de stage dat voorafging aan deze masterproef, werd gedaan bij Bikelabs International waar gedurende de stageperiode testen werden uitgevoerd op een selectie vouwfietsen uit het huidige marktaanbod in opdracht van Testaankoop. Dit waren technische testen omtrent de normen van vouwfietsen, veiligheidstesten, kwaliteitstesten en gebruikerstesten. Vooral deze gebruikerstesten waren een goede aanzet voor deze ontwerpopdracht.

De promotor van deze masterproef is **Prof. Jan Detand** van de onderzoeksgroep 'Industrial Systems Engineering and Product Design'.

De begeleider is **Dr. Ir. Joachim Vanwalleghem** van de onderzoeksgroep 'Materials, Textiles and Chemical Engineering' en daarenboven oprichter van Bikelabs Internat**ional.**

Stakeholders in verband met vouwfietsen

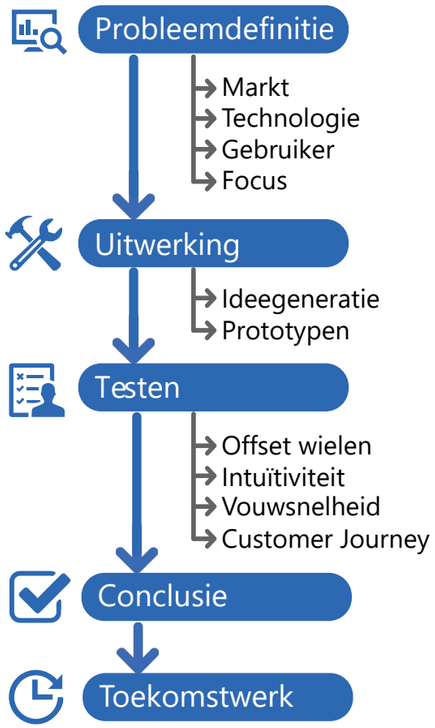
Naast de stakeholders gelinkt aan de Universiteit Gent zijn er bij deze ontwerpopdracht ook de stakeholders gelinkt aan vouwfietsen. Deze kunnen opgesplitst worden in directe stakeholders, die rechtstreeks met de vouwfiets in aanraking zullen komen en indirecte stakeholders, die niet rechtstreeks met de vouwfiets in aanraking zullen komen, maar er wel door beïnvloed kunnen worden.

Direct:
- Vouwfietsgebruikers (doelgroep)
- Fietsenmaker / -verkoper

Indirect:
- Mede pendelaars
- Mede weggebruikers
- Werknemers openbaar vervoer

1.2 Methodologie

Het ontwerpdossier wordt gestructureerd volgens de drie grote stappen die tijdens het ontwerpproces doorlopen werden, namelijk de **probleemdefinitie**, de **uitwerking** van het concept en de **testen** die uitgevoerd werden. Daarna volgt de **conclusie** met de verworven inzichten tijdens het ontwerpproces en het **toekomstwerk** (Fig. 2).



Figuur 2. Structuur thesis

PROBLEEMDEFINITIE

In de probleemdefinitie werd in het 'markt' aspect het huidige marktaanbod van vouwfietsen geanalyseerd. In het 'technologie' aspect werden productiemogelijkheden van zowel bestaande vouwfietsen als andere fietssoorten en composieten in het algemeen bekeken. In het 'gebruiker' aspect werd een specifieke doelgroep gekozen en werden technieken zoals een customer journey en persona gebruikt om een beter zicht te krijgen op de gekozen doelgroep. Er werden ook gebruikerstesten uitgevoerd met een selectie van het huidige marktaanbod van vouwfietsen. Uit deze verworven inzichten werden dan in het 'focus' aspect de specifieke eisen en wensen van de doelgroep en de focuspunten van het ontwerpproces bepaald.

UITWERKING

De uitwerking is gericht op zowel het vormgeven als het technisch ontwerpen van een vouwfiets vanaf nul op basis van de inzichten die verworven werden in de probleemdefinitie.
In de ideegeneratie-fase werden oplossingen voor de deelproblemen gezocht die dan gecombineerd werden in verschillende concepten waarvan schetsen gemaakt werden. Vanuit deze conceptschetsen werden foamboard schaalmodellen en prototypes van vouw- en vergrendelmechanismen gemaakt. Van zodra het concept, de vormgeving van de vouwfiets en het vergrendelmechanisme vastlagen, werd overgegaan naar de prototype-fase. Het volledig uitwerken en optimaliseren van de concept vouwfiets werd in CAD gedaan. Hierbij werd steeds vertrokken vanuit de standaard componenten en de standaard verhoudingen van een fiets, waarrond het kader en de voorvork van het concept werden gemodelleerd. Deze CAD-tekeningen werden dan gebruikt om uiteindelijk de full-size prototypes te maken.
Doorheen de hele uitwerking werden concepten en prototypes telkens afgetoetst met de stakeholders om zo de juiste gebruikersgerichte ontwerpbeslissingen te kunnen maken.

TESTEN

De belangrijkste testen die uitgevoerd werden om hypothesen in verband met de ontworpen vouwfiets te onderzoeken, maar ook om de usability van de vouwfiets en de gebruikservaring van pendelaars na te gaan, werden beschreven [7][8].
Een heel belangrijk aspect hierbij is de context waarin het product gebruikt wordt. Zo beschrijft de ISO 9421-11 norm 'usability' als: "The extent to which a product can be used by specified users to achieve specified goals, with effectiveness, efficiency and satisfaction in a specified context of use."[4] Daarom werden ook gebruikerstesten uitgevoerd doorheen de volledige customer journey van de pendelaars [9].
De usability kan op basis van vijf criteria onderzocht worden: Effectiveness, Efficiency, Engaging, Error Tolerance en Easy to Learn. Naast de algemene test doorheen de volledige customer journey van pendelaars werden ook intuïtiviteitstesten en testen omtrent de vouwsnelheid van de fiets uitgevoerd.
Bij deze testen werd telkens de gebruikte methode, de testresultaten en de conclusie van de testresultaten besproken.

CONCLUSIE

In de conclusie werden de vergaarde inzichten van het ontwerpproces, maar vooral ook het finaal prototype en de testen besproken.

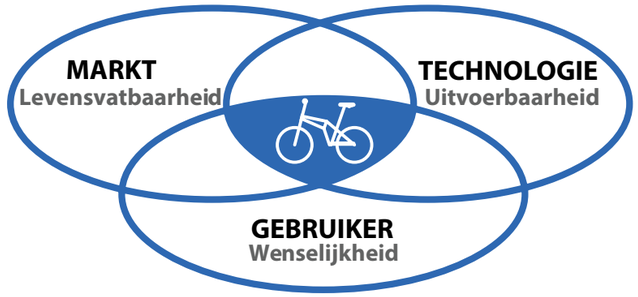
TOEKOMSTWERK

Het toekomstwerk geeft aan welke aspecten aangepast moeten worden en wat de verdere te ondernemen stappen zijn in het ontwerpproces van het ontwikkelen van een composiet vouwfiets.

[4] https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9241:-210:ed-1:v1:en

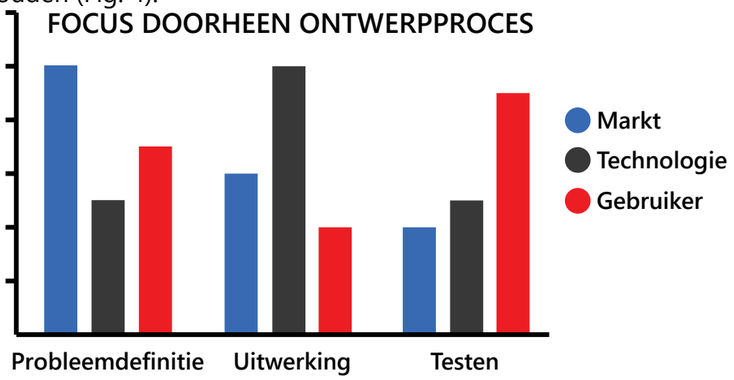
DESIGN THINKING

De gekozen structuur is gebaseerd op de Design Thinking ontwerpmethodologie die tijdens het ontwerpproces toegepast werd. Deze methodologie bestaat uit vijf fasen: Empathy, Define, Ideate, Prototype en Test, die iteratief doorlopen worden. Aangezien het vrij onoverzichtelijk zou zijn om het ontwerpproces, met de vele gemaakte iteraties, volledig chronologisch weer te geven in het ontwerpdossier, werden de Empathy en Define fasen samengenomen in het hoofdstuk 'probleemdefinitie' en de Ideate en Prototype fasen in het hoofdstuk 'uitwerking'. Daarna werden alle uitgevoerde testen gegroepeerd in het hoofdstuk 'testen'. Verder stelt de Design Thinking ontwerpmethodologie nog dat ontwerp innovatie voortkomt uit het samen uitwerken van drie aspecten, namelijk markt, technologie en gebruiker [10]. Deze drie aspecten stellen respectievelijk de levensvatbaarheid, uitvoerbaarheid en wenselijkheid van het ontwerp voor (Fig. 3).



Figuur 3. Drie aspecten Design Thinking

Alhoewel in de hoofdstukken probleemdefinitie, uitwerking en testen dieper ingegaan wordt op één bepaald aspect, wordt met alle drie de aspecten over het volledige ontwerpproces rekening gehouden (Fig. 4).



Figuur 4. Verdeling drie aspecten doorheen ontwerprpoces

USER CENTERED DESIGN

In het hoofdstuk 'testen' ligt de focus voornamelijk op het 'gebruiker' aspect, aangezien één van de doelen van deze ontwerpopdracht is om de gebruikservaring van vouwfietsgebruikende pendelaars te verbeteren en hiervoor dus ook de usability van een vouwfiets te maximaliseren[5] [11][12]. Doorheen het ontwerpproces werd het User Centered Design proces toegepast, waarbij de gebruikers reeds in de probleemanalyse betrokken werden en na het prototypen het resultaat telkens met de stakeholders afgetoetst werd. Zo kon beter aan de eisen en wensen van de stakeholders voldaan worden en kon de 'wenselijkheid' gemaximaliseerd worden.

[5] https://www.interaction-design.org/literature/article/usability-a-part-of-the-user-experience

FIETSINDUSTRIE

De ontwerpmethodologie die doorheen deze masterproef gevolgd wordt, wordt ook toegepast door gerenommeerde merken in de fietsindustrie, zoals bijvoorbeeld FELT bicycles[6,7,8].

Hier vertrekken ze vanuit de probleemstelling of de wens om een bestaand model te verbeteren. Eerst worden in de ideegeneratie-fase ideeën en oplossingen van deelproblemen gevisualiseerd in schetsen. De beste concepten die geschetst werden, worden dan in CAD getekend om deze in 3D te kunnen visualiseren en weer te geven, samen met de rest van de componenten van de fiets.

Door de disruptieve aard van de ontworpen vouwfiets alsook het ontbreken van de voorkennis en CAD-files van bestaande modellen, gaat in het uitgevoerde ontwerpproces een niet-digitale quick and dirty prototype-fase vooraf aan het CAD modelleren.
Na het CAD modelleren, 3D printen ze de eerste fysieke prototypes om zo de design-aspecten alsook de toleranties, het passen van de standaardcomponenten en de aerodynamica na te gaan. Om berijdbare prototypes te maken, worden technieken zoals het CNC frezen en lassen gebruikt.

Van zodra het concept doorheen alle bovenstaande fasen geoptimaliseerd wordt, gebeurt de CAE optimalisatie met behulp van de Finite Element Analyis om zo de kritische elementen van de fiets eruit te halen en een zo stijf en licht mogelijke fiets te kunnen ontwerpen in composiet. Als laatste stap worden testen uitgevoerd op de geproduceerde composiet samples. Dit gaat van structurele en technische testen tot gebruikerstesten.

Dergelijke ontwerpprocessen zijn echter wel steeds een samenwerking van Industrieel Ontwerpers, Procesingenieurs, Composietspecialisten… en verlopen vaak over meerdere jaren. Daarnaast beschikken deze merken over een meer geschikte infrastructuur en voorkennis. Een combinatie van deze elementen zorgt ervoor dat het doorlopen gebruikersgericht ontwerpproces toch af en toe lichtjes afwijkt van de methodologie gevolgd in de fietsindustrie.

[6] https://www.youtube.com/watch?v=AO6Tj2LRLN8
[7] http://www.feltbicycles.com/USA/Single-Nav/Inside-Felt/Technology/Design-Methodology.aspx
[8] http://2014.feltracing.com/assest_img/technology_docs/Design.pdf

HOOFDSTUK 2/
PROBLEEMDEFINITIE

"If I had asked people what they wanted,
they would have said faster horses."
- HENRY FORD -

Het oorspronkelijk onderwerp van mijn masterproef was 'het ontwerpen van een composiet vouwfiets'. Dit omvat het ontwerpen én uitwerken van een vouwfiets vanaf nul, inclusief het ontwikkelen van het vouwmechanisme, de vormgeving en de features van de vouwfiets. Vooraleer aan het uitwerken van deze aspecten en het ontwerpen van de vouwfiets begonnen kan worden, moet research gedaan worden. Deze research wordt opgesplitst in de drie aspecten waarmee rekening gehouden moet worden bij het ontwerpen van een goed innovatief product, namelijk markt, technologie en gebruiker.

2.1 Markt

Eerst werd benchmarkonderzoek gedaan naar het huidige marktaanbod van vouwfietsen. Uit dit onderzoek konden dan de marktopportuniteiten afgeleid worden.

BENCHMARKONDERZOEK VOUWFIETSEN

Het benchmarkonderzoek dat uitgevoerd werd gedurende het ontwerpproces, was uitgebreider dan wat hier in het ontwerpdossier wordt weergegeven. Aangezien er enorm veel vouwfietsen bestaan en het onmogelijk is deze allemaal in het ontwerpdossier weer te geven, wordt hier enkel een representatie gegeven van de vouwfietsen die het populairst zijn en het meest voorkomen in Europa. Deze keuze werd onder andere gebaseerd op een test met vouwfietsen uitgevoerd door Testaankoop, waarvan het artikel in de bijlagen terug te vinden is[9] (Bijlage 1). Ook de gedetailleerde testresultaten van dit onderzoek zijn in dit artikel en op de site terug te vinden.

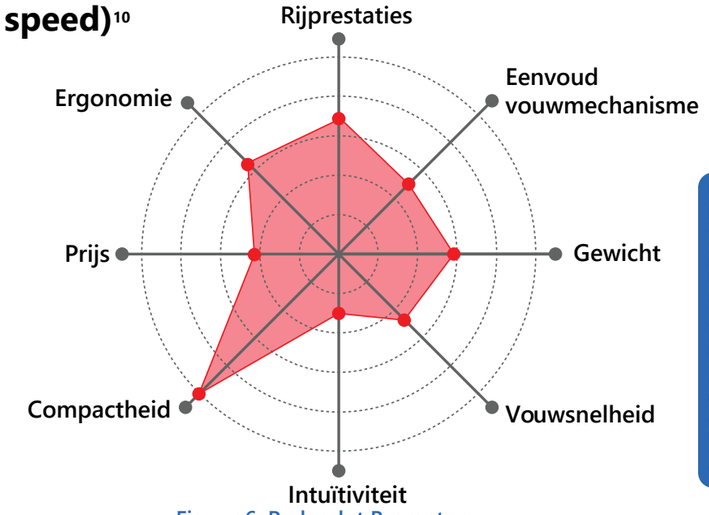
Er zijn vele variabelen waarmee vouwfietsen vergeleken kunnen worden. De belangrijkste worden per benchmark vouwfiets weergegeven in een radardiagram, waarbij de grootste cirkel de meest optimale of beste situatie voorstelt en de kleinste cirkel de minst optimale of slechtste situatie.

- Rijprestaties (comfort en performantie)
- Eenvoud vouwmechanisme
- Gewicht
- Vouwsnelheid
- Intuïtiviteit
- Compactheid
- Prijs
- Ergonomie

[9] www.testaankoop.be/vergelijkvouwfiets

Brompton (Model 'M' 6 speed)[10]

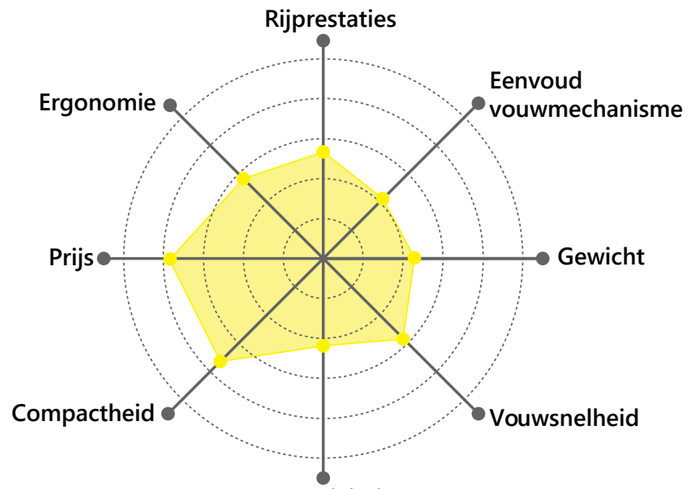
Figuur 5. Benchmark Brompton



Figuur 6. Radarplot Brompton

Dahon (Vitesse D8)[11]

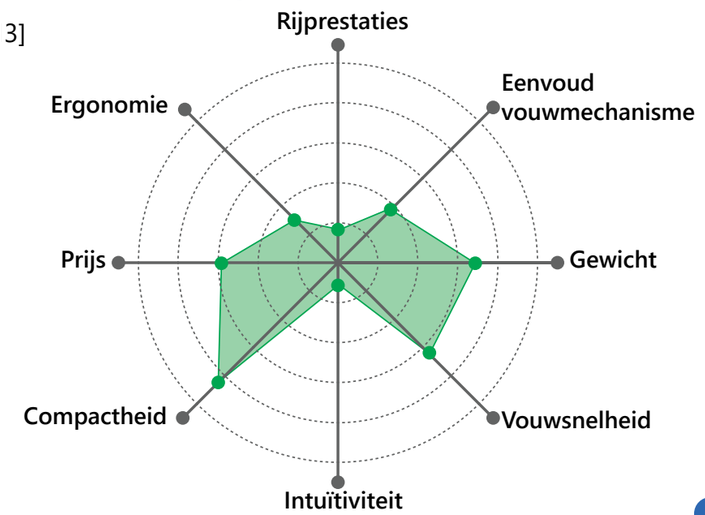
Figuur 7. Benchmark Dahon



Figuur 8. Radarplot Dahon

Strida (LT One Speed)[12] [13]

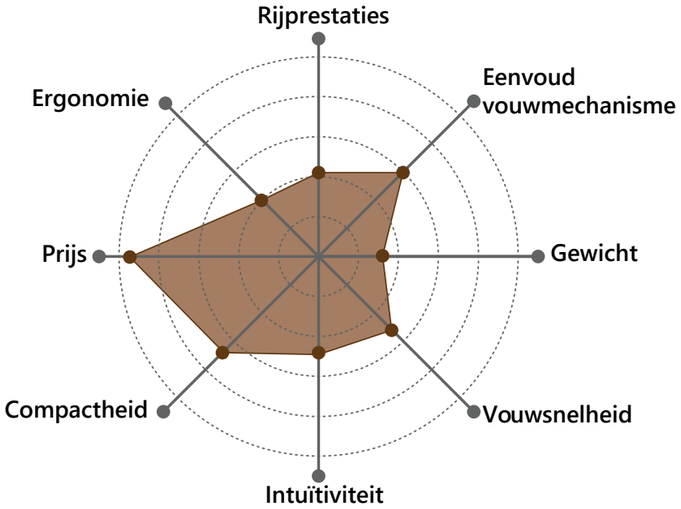
Figuur 9. Benchmark Strida



Figuur 10. Radarplot Strida

B'Twin (Hoptown 300)[13]

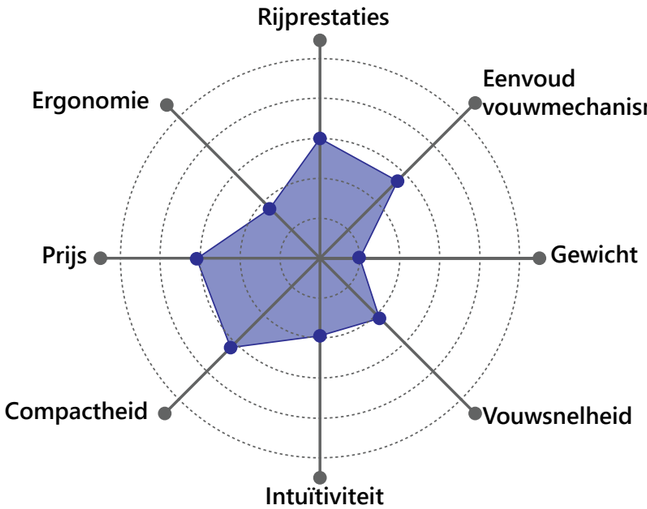
Figuur 11. Benchmark B'Twin



Figuur 12. Radarplot B'Twin

Beixo (Compact Low)[14]

Figuur 13. Benchmark Beixo



Figuur 14. Radarplot Beixo

Een belangrijke opmerking die bij deze benchmarkanalyse gemaakt kan worden, is dat het verbeteren van één aspect een ander aspect nadelig beïnvloedt. Zo vouwen fietsen die klein en compact dichtgevouwen kunnen worden vaak minder snel en minder intuïtief.

Aangezien Brompton en Dahon het best scoren op de testen uitgevoerd door Testaankoop en deze fietsen ook het populairst zijn binnen Europa, worden deze twee fietsen doorheen het ontwerpproces en tijdens de comparatieve testen gebruikt als benchmarks.

Tijdens het benchmarkonderzoek werd vastgesteld dat in Azië en Amerika andere vouwfietsen verkrijgbaar zijn of gebruikt worden. Zo is in Azië de trend om vouwfietsen met heel erg kleine wielen (tot zelf 12 inch) te ontwerpen die zo compact mogelijk vouwen.

[10] https://www.brompton.com/
[11] http://dahon.com/
[12] http://www.strida.com/
[13] https://nl.decathlon.be/hoptown-320-20-grijs-id_8352598.html
[14] https://www.beixo.nl/

CONCEPT VOUWFIETSEN

Daarnaast zijn vrij veel vouwfietsconcepten te vinden. Deze concepten variëren van schetsen of renders die een algemene vormgeving of design weergeven, maar waarvan het vouwmechanisme dikwijls niet is uitgewerkt, tot vouwfietsen waarvan reeds prototypes bestaan, maar die nog niet op de markt zijn. Ook hier worden slechts enkele voorbeelden weergegeven.

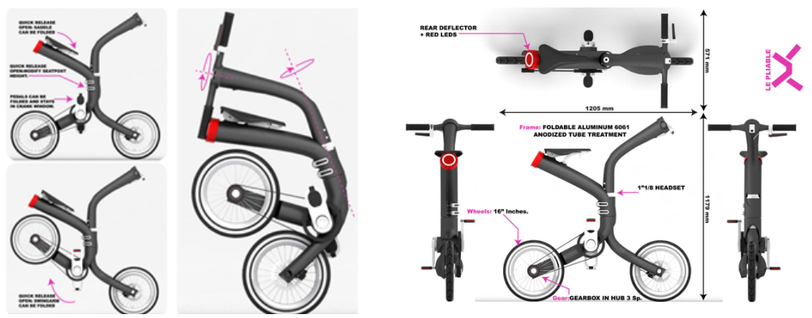
VolksWagen Elektrische vouwfiets 'Bik.e.'[15]

Figuur 15.Volkswagen electric vouwfiets

Locust vouwfiets[16]

Figuur 16. Locust vouwfiets

'Fold your saddle' YANCO DESIGN vouwfiets[17]



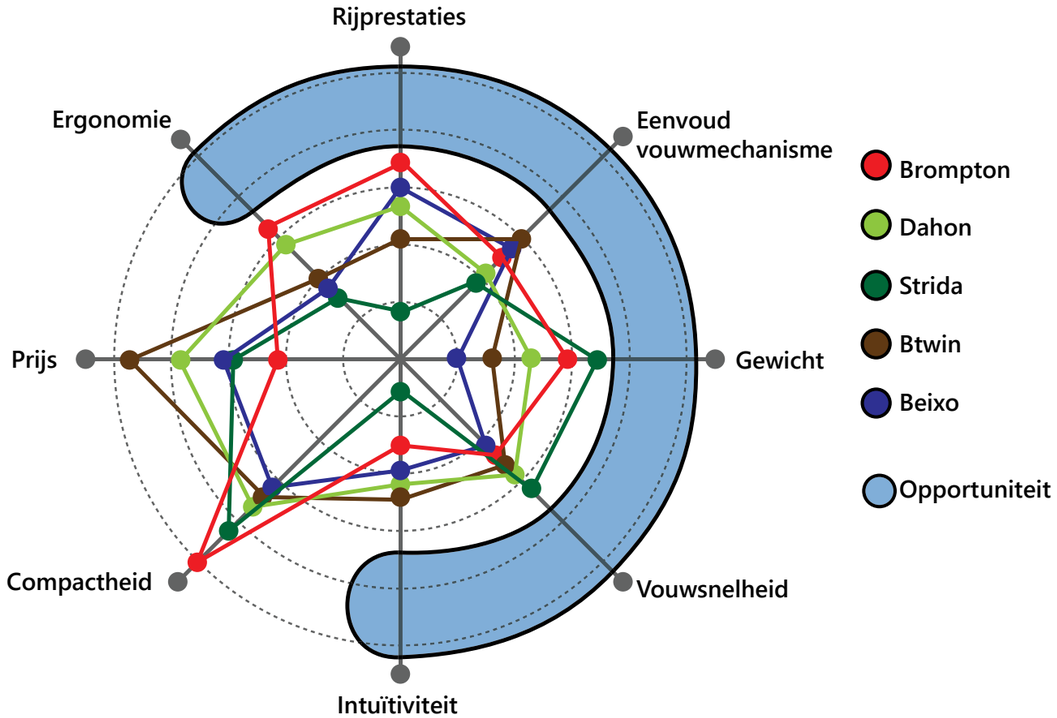
Figuur 17. Yanco Design vouwfiets

[15] http://www.electric-bicycle-guide.com/Volkswagen-bike.html
[16] http://ridethisbike.com/2007/01/answers-locust-folding-bike.html
[17] http://www.yankodesign.com/2010/08/13/fold-your-saddle/

MARKTOPPORTUNITEIT

Bij het vergelijken van de benchmark vouwfietsen kan opgemerkt worden dat opportuniteiten zich voordoen in drie globale aspecten omtrent vouwfietsen. Deze aspecten, waar het huidige marktaanbod aan vouwfietsen nog tekort schiet, hebben betrekking tot het vouwmechanisme, de rijprestaties en het gewicht van een vouwfiets.
Wat betreft het vouwmechanisme is er ruimte voor verbetering voor zowel de snelheid waarmee een vouwfiets gevouwen kan worden, de intuïtiviteit en de eenvoud van het vouwen als de ergonomie van het vouwmechanisme.
Bij de tekortkoming in rijprestaties gaat dit vooral over de wielgrootte van de vouwfietsen. De kleine wielen zijn vaak heel oncomfortabel op oneffen wegen en kunnen schichtig en onstabiel aanvoelen bij hogere snelheden. Daarnaast zijn er ook soms tekortkomingen in de zithouding en de aanpasbaarheid van de vouwfiets of zelfs de slecht gekozen tandwielverhoudingen.
Als laatste is het gewicht van vele vouwfietsen vrij hoog waardoor deze moeilijk en oncomfortabel te dragen zijn. Bij de benchmark vouwfietsen die vergeleken werden, varieert het gewicht tussen de 12 en de 17 kg.

Deze opportuniteiten in de vouwfietsmarkt worden duidelijk gevisualiseerd in het onderstaand radardiagram waarin de vijf benchmark vouwfietsen, die het huidige marktaanbod representeren, samen weergegeven worden (Fig. 18).



Figuur 18. Radarplot marktopportuniteit

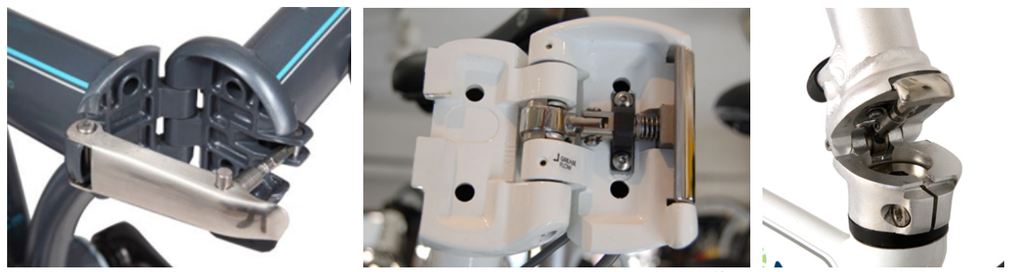
Deze globale marktopportuniteit waarvoor in dit ontwerpproces ontworpen zal worden, is een lichte vouwfiets met een intuïtief en eenvoudig vouwmechanisme dat heel snel open- en dichtvouwt en die heel performant en comfortabel rijdt, zoals een gewone full-size fiets.

2.2 Technologie

Om een vouwfiets te ontwerpen die op de bovenstaande marktopportuniteit inspeelt, is de technische uitwerking ervan en de technologie die ervoor gebruikt wordt van cruciaal belang.

VOUWMECHANISME

Het vouwmechanisme is een cruciaal aspect van een vouwfiets dat technisch goed ontworpen en uitgewerkt moet worden. Het vouwmechanisme moet snel, intuïtief en eenvoudig vouwen om op de marktopportuniteit in te spelen. Voor het uitwerken van het vouwmechanisme, wat in de uitwerkingsfase uitvoerig aan bod komt, werd eerst benchmarkonderzoek gedaan naar bestaande vouwmechanismen. Ook hier wordt slechts een klein deel van het benchmarkonderzoek beschreven. Er wordt opnieuw een representatie gedaan van de meest voorkomende en de belangrijkste vouwmechanismen. De meeste vouwfietsen hebben twee vouwmechanismen, namelijk één om het kader te vouwen en één om de stuurpen te vouwen. Brompton heeft nog een derde vouwmechanisme dat ervoor zorgt dat het achterwiel verticaal onder het kader scharniert. Daarnaast kunnen vaak nog de pedalen of zelfs het stuur gevouwen worden.
Van de meeste vouwfietsen die momenteel op de markt zijn, is het centrale vouwmechanisme een scharnier met verticale scharnieras, waardoor het kader horizontaal dichtvouwt. Om deze scharnieren dicht te houden, zijn er diverse sluitingsmechanismen met allerhande hendels en vaak nog extra veiligheidsmechanismen. Deze variëren afhankelijk van het merk en de prijs van de vouwfiets (Fig. 19, 20 & 21).


Figuur 19. Vouwmechanismen Dahon[18]

Figuur 20. Vouwmechanismen B'Twin[19]

Figuur 21. Vouwmechanismen Brompton[20]

[18] http://dahon.com/
[19] https://nl.decathlon.be/hoptown-320-20-grijs-id_8352598.html
[20] https://www.brompton.com/

Naast deze klassieke vouwmechanismen zijn er nog de vouwfietsen met unieke vouwmechanismen en -bewegingen, zoals bijvoorbeeld de Strida, de Birdy of de Nanoo (Fig. 22 & 23).

Figuur 22. Birdy vouwfiets[21]

Figuur 23. Nanoo vouwfiets[22]

Een belangrijke vaststelling bij dit benchmarkonderzoek, is dat het vouwmechanisme van de Brompton, die door het onderzoek van Testaankoop verkozen werd als beste fiets, het meest eenvoudige en failproof vouwmechanisme is. Het vouwen wordt gedaan door een schroefbeweging. Hierbij zijn geen extra veiligheidshendels die het vouwen bemoeilijken of vertragen, aangezien er weinig fout kan lopen bij dit vouwmechanisme. Daarnaast vangt het ook slijtage op aangezien de conische klem telkens wat verder dichtgedraaid kan worden, waardoor het heel erg betrouwbaar is. Waar dit vouwmechanisme dan weer tekortkomt, is de traagheid ervan, veroorzaakt door de vele draaibewegingen die gemaakt moeten worden om de schroef van het vouwmechanisme los te draaien.

Er kan dus gesteld worden dat eenvoud en betrouwbaarheid, maar zeker ook de vouwsnelheid, cruciale aspecten zijn van het vouwmechanisme [14].
Patentonderzoek en ook concept vouwfietsen tonen een nieuwe trend waarbij het centrale scharnier een horizontale scharnieras heeft in plaats van een verticale [15][16][17][18].

MATERIAALKEUZE EN PRODUCTIEMETHODEN

Naast de technische uitwerking van het vouwmechanisme is ook de materiaalkeuze en de daarbij horende productiemethode van groot belang. Deze keuze heeft voornamelijk invloed op het gewicht en de prijs van de fiets en in mindere mate op de vormvrijheid bij het ontwerpen van de fiets en op de rijprestaties, het comfort en de duurzaamheid ervan [19]. De verschillende mogelijke materiaalkeuzes voor het ontwerpen van een vouwfiets worden in de probleemdefinitie onderzocht, aangezien deze algemene voorkennis belangrijk is. Deze mogelijkheden worden kort in dit ontwerpdossier overlopen, maar zijn vooral van groot belang wanneer de initiële ontwerpfase achter de rug is en de fiets wordt uitgewerkt voor productie. Hier wordt in het hoofdstuk 'toekomstwerk' verder op ingegaan.

[21] http://www.nanoo-bike.nl/
[22] https://www.r-m.de/en-gb/folding-bike/birdy/

De vouwfietsen die in het benchmarkonderzoek besproken worden, zijn niet allemaal uit hetzelfde materiaal of volgens dezelfde productiemethode gemaakt. De Dahon, Strida en Beixo zijn alle drie gelast uit **aluminium**legeringen. De B'Twin wordt gemaakt uit gelast **staal** en de Brompton wordt gebraseerd uit staal. Naast aluminium en staal zijn er nog andere materialen die gebruikt worden om vouwfietsen te maken. Zo zijn sommige modellen van Brompton alsook de Helix vouwfiets[24] uit **titanium** gemaakt. De Hummingbird vouwfiets[23] en de Nano modellen van Lios[25] zijn dan weer gemaakt uit **carbon fiber**. Zowel titanium als carbon fiber zijn lichtere alternatieven als materiaalkeuze voor fietsen, maar hebben als nadeel dat deze wel veel duurder zijn.
Er zijn ook nog exotische fietsbouwmaterialen zoals bamboe[26,27] of hout[28], maar deze komen minder courant voor.
Daarnaast is er nog een speciale productiemethode waarbij buizen met tussenstukken, genaamd lugs, verbonden worden. Deze productiemethode wordt met verschillende materialen en materiaalcombinaties toegepast. Bijvoorbeeld de kaders van de custom racefietsen van Bastion-cycles[29] zijn opgebouwd uit titanium gesinterde lugs met carbon fiber buizen. Er zijn ook vele varianten van stalen, aluminium of carbon fiber lugs met carbon fiber buizen (Fig. 24). Een heel interessante productiemethode voor carbon fiber lugs is 'forged carbon fiber', in technische termen beter gekend als Bulk Moulding Compound (BMC). Deze productiemethode wordt gebruikt in de bottom bracket lug van het merk LOOK model 585[30] (Fig. 25).

Figuur 24. Carbon fiber moulded lugs[31]

Figuur 25. BMC bottom bracket lug[31]

[23] https://hummingbirdbike.com/
[24] https://www.helix.ca/
[25] http://www.liosfoldingbike.com/bikes/
[26] https://renovobikes.com/
[27] https://calfeedesign.com/products/bamboo/
[28] http://sandwichbikes.com/product/wooden-fork/
[29] http://bastion-cycles.com/
[30] https://www.youtube.com/watch?v=jhQ0hMejEAA
[31] http://www.pezcyclingnews.com/technspec/look-2005-frame-fork-pedals-sneak-peek/#.WSMkSGjyiMo

COMPOSIETEN

Aangezien deze materiaalkeuze in de opdrachtstelling voorkomt, met name het ontwerpen van een composiet vouwfiets, wordt ook hier research over gedaan. De reden waarom het composiet aspect in de titel vermeld staat, is omdat bij het opmaken van de masterproef voor dit materiaal geopteerd werd met het oog op een innovatiever en disruptiever vouwfietsconcept door de grotere vormvrijheid die composieten bieden dan traditionele fietsbouwmaterialen zoals aluminium of staal. Ook hiervan wordt een kort overzicht gegeven van de uitgevoerde voorstudie.

Naast de zojuist besproken lug en buis opbouw van kaders zijn er nog meer mogelijkheden om composiet fietskaders te maken. Hiervoor worden in grote reeksen vaak silicone blazen gebruikt die tijdens het uitharden onder druk gezet worden om de vezellagen te comprimeren en het overtollige hars eruit te persen. Deze blazen worden dan na het uitharden terug uit het kader gehaald. Felt bicycles gebruikt nu ook PU of EPS kernen, waarrond de composiet lay-ups aangebracht worden alvorens ze geperst worden in de mallen, die ze in het fietskader laten zitten[32]. De productiekost van deze technieken is heel erg hoog aangezien de tientallen individuele lapjes prepreg correct manueel aangebracht moeten worden op de silicone blazen of de schuim kernen.
Voor het prototypen van composiet onderdelen zijn er ook verschillende mogelijkheden. Voor het quick and dirty prototypen kunnen vezelversterkte 3D geprinte kunststof onderdelen geprint worden met een Marforged 3D composiet printer[33]. Om monocoque kaders te prototypen, kunnen bijvoorbeeld kaders gelamineerd worden in 3D geprinte kunststof negatieve mallen[34].

Heel interessante en vrij nieuwe composietverwerkingstechnieken zijn SMC en BMC, ook wel ‘forged carbon fiber’ genoemd. Deze technieken resulteren in componenten met een lage productiekost en licht gewicht. De productiekost is veel lager dan de traditionele carbon prepreg lay-ups, aangezien dit productieproces volledig geautomatiseerd kan worden. De mengeling van korte vezels en resin wordt bij deze productietechnieken namelijk onder hoge druk tussen verwarmde mallen geperst tot de gewenste vorm bekomen wordt en uithardt door de verwarmde mallen. Momenteel wordt deze BMC techniek enkel nog maar gebruikt in de bottom bracket lug van het merk LOOK model 585 en in enkele cranks en stuurpennen (Fig. 26).

Naast de fietssector worden deze technieken gebruikt en geperfectioneerd door automerk Lamborghini[35,36].

[32] https://www.feltbicycles.com/Resources/TechnicalDocuments/Felt_Bicycles_Tech_Carbon.pdf
[33] https://markforged.com/
[34] https://www.youtube.com/watch?v=5gFyqFGtqsM
[35] https://www.lamborghini.com/en-en/brand/forged-composites
[36] https://www.digitaltrends.com/cars/lamborghini-forged-carbon-fiber-manufacturing-process/

Figuur 26. BMC crank[37]

STANDAARDCOMPONENTEN

Het doel van deze thesis is om een vouwfiets te ontwerpen die de gebruikservaring van pendelaars verbetert. In dit ontwerpproces wordt vooral gefocust op het herontwerpen van een vouwfietskader en de vouwmechanismen om de usability ervan te maximaliseren. Hierbij worden zo veel mogelijk standaardcomponenten gebruikt. Pas indien het herontwerpen of aanpassen van een component een meerwaarde biedt tot het concept of toevoegt aan de gebruikservaring wordt dit gedaan. Met ‘standaardcomponenten’ worden zaken zoals remmen, headsetlagers, pedalen, cranks, tandwielen… bedoeld. Dergelijke high-end standaardcomponenten kunnen vaak aangekocht worden bij gespecialiseerde merken zoals FSA en Shimano, die deze componenten vaak reeds geoptimaliseerd hebben. Bijkomende voordelen van het gebruik van standaardcomponenten is dat het aankopen van deze onderdelen vaak goedkoper is dan deze custom te maken en dat fietsenmakers bij het herstellen of onderhouden van een fiets deze componenten makkelijk kunnen vervangen of upgraden indien nodig. Ze hebben deze standaardcomponenten en het nodige gereedschap om eraan te werken namelijk vaak in stock.

[37] https://www.bikerumor.com/2016/04/28/carbon-bike-offers-inexpensive-lightweight-components-thanks-to-forged-carbon-construction/

2.3 Gebruiker

De gebruikers wensen uiteraard een zo optimaal mogelijke gebruikservaring en één van de belangrijkste aspecten die hiervoor zorgt, is de usability van de vouwfiets.
Om die usability van de vouwfiets te maximaliseren en hiermee de gebruikerservaring van de doelgroep te optimaliseren, moet het verder ontwerpen en dus de technische ontwikkeling gedurende dit ontwerpproces afgestemd worden op de specifieke gebruiker in de juiste context. Hiervoor worden verscheidene technieken gebruikt.

KEUZE DOELGROEP

Om een betere gebruikservaring te bekomen, moet een specifieke doelgroep vouwfietsgebruikers gekozen worden om zo specifieker aan hun noden te kunnen voldoen. Daarvoor werd eerst een onderzoek gedaan naar de verschillende groepen van vouwfietsgebruikers, elk met hun specifieke eisen en wensen, en hoe ze van elkaar verschillen. De uitgevoerde voorstudie wordt in dit hoofdstuk kort weergegeven. Daarna wordt een verantwoorde keuze gemaakt van de doelgroep waarvoor ontworpen zal worden op basis van de eerder gevonden marktopportuniteit.

VOUWFIETSGEBRUIKERS

1/ PENDELAARS

Dit is de belangrijkste en steeds toenemende doelgroep binnen de vouwfietsgebruikers. Pendelaars gebruiken een vouwfiets bijna dagelijks als aanvulling op het openbaar vervoer. Tussen de steden, over grotere afstanden, verplaatsen ze zich met het openbaar vervoer. In de steden zelf verplaatsen ze zich met een vouwfiets. De vouwfiets wordt dichtgevouwen en meegenomen op het openbaar vervoer (Fig. 27).

Figuur 27. Vouwfietsgebruikende pendelaars[38,389,40]

Eisen en wensen:

- Zo snel en eenvoudig mogelijk open- en dichtvouwen
- Zo licht mogelijk en makkelijk te dragen

[38] http://nieuws.kuleuven.be/sites/default/files/mobiliteit4_opt.jpg
[39] https://hooiberg.speld.nl/speld.nl/wp-content/uploads/YouTube-regio2030.png
[40] https://deanderekrispeeters.files.wordpress.com/2012/02/img_5426.jpg

2/ REIZIGERS

De tweede categorie vouwfietsgebruikers nemen hun vouwfiets mee op reis om zich op hun bestemming te verplaatsen. Deze mensen kunnen eendagstoeristen zijn of op reis gaan voor een langere termijn. Het transportmiddel om op hun reisbestemming te geraken, kan sterk variëren: auto, mobilhome, caravan, openbaar vervoer (bus, trein, metro), vliegtuig… (Fig. 28).

Figuur 28. Vouwfietsgebruikende reizigers[41,42,43]

Eisen en wensen:

- Zo compact mogelijk na het dichtvouwen
- Zo licht mogelijk: dit is vooral belangrijk indien de vouwfiets wordt meegenomen op het vliegtuig

De snelheid van het open- en dichtvouwen is minder van belang, aangezien de vouwfiets meestal maar een beperkt aantal keer open- en dichtgevouwen wordt. Dit is meestal in het begin en op het einde van de trip.

3/ URBAN COMMUTERS

Urban commuters zijn mensen die in de binnenstad in een appartement of studio wonen en zich met een fiets binnen diezelfde stad verplaatsen. Aangezien ze weinig plaats hebben om een full-size fiets te plaatsen, gebruiken ze een vouwfiets die ze in opgevouwen toestand compact kunnen opbergen. Het is dan ook de enige fiets die ze bezitten (Fig. 29).

Figuur 29. Urban commuters[44,45,46]

Eisen en wensen:

- Zo performant en all-around mogelijk, het betreft hun enige fiets
- Zo snel en eenvoudig mogelijk open- en dichtvouwen
- Redelijk compact na het dichtvouwen

[41] https://pbs.twimg.com/media/CAjYdsEW4AIYEBD.jpg
[42] https://www.acsifreelife.nl/wp-content/uploads/2013/05/elektrischevouwfiets.jpg
[43] https://www.montaguebikes.com/wp-content/uploads/2015/05/folding-bikes-loading-into-private-plane-2.jpg
[44] https://www.wonenvoormannen.nl/sites/default/files/blog/Toffe%20vouwfiets%20-%20fixie%20fiets%202%20-%20wvm.jpg
[45] https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/originals/e8/dc/f3/e8dcf3d3771585e0472af8e800cb38c7.jpg
[46] http://www.foldingbikeguru.com/wp-content/uploads/2016/08/guide-to-safety-cycling-for-urban-commuters.jpg

4/ COMBINATIE

Uiteraard zijn er ook mensen die een vouwfiets aankopen met als doel deze voor meerdere van de bovenstaande activiteiten te gebruiken.

PERFORMANTIE

Naast het beoogde gebruik van de vouwfiets kan er ook nog een onderscheid gemaakt worden in het soort fiets dat de gebruiker wil. Hierin wordt een onderscheid gemaakt tussen twee doelgroepen.
Enerzijds zijn er de gebruikers die een performante vouwfiets willen, zowel qua prestaties als qua looks. Dit zijn meestal jonge mensen die een grotere afstand moeten afleggen of snel willen fietsen. De vouwfiets moet dan ook aanvoelen als een performante full-size stadsfiets of sportfiets.
Anderzijds zijn er de gebruikers waarvan hun focus niet ligt op performantie. Dit zijn meestal oudere mensen die met hun vouwfiets slechts korte afstanden afleggen en geen behoefte hebben om er snel mee te fietsen.

DOELGROEP

De doelgroep waarvoor in deze masterproef een vouwfiets ontworpen wordt, zijn pendelaars die een vouwfiets willen met performante rijprestaties, aangezien de eisen en wensen van deze doelgroep het best aanleunen bij de eerder vastgestelde marktopportuniteit.
Met een performant gerichte vouwfiets is het de bedoeling een jonger publiek van pendelaars aan te spreken. Als richtwaarde wordt voor een leeftijd tussen 25 en 45 jaar gekozen. Voor de keuze van deze leeftijdscategorie wordt ook rekening gehouden met de prijs van een high-end composiet fiets.
Huidige vouwfietsen worden dikwijls aanzien als onaantrekkelijk door deze leeftijdscategorie. Het doel is dus om een performant gerichte vouwfiets te ontwerpen die de vouwfietsgebruikende pendelaars aanspreekt en de niet-vouwfietsgebruikende pendelaars overtuigt toch een vouwfiets te gebruiken.
Gezien de grote omvang van deze doelgroep lijkt het ontwerpen van een vouwfiets die aan hun noden voldoet dan ook veel marktpotentieel te hebben.

CUSTOMER JOURNEY

Om een beter beeld te krijgen van de handelingen en de stappen die een vouwfietsgebruikende pendelaar uitvoert tijdens een pendeltraject in die specifieke context, wordt een customer journey opgesteld [20] (Fig. 30). Deze customer journey wordt gebruikt als leidraad en hulpmiddel doorheen het ontwerpproces en de gebruikerstesten [21].

Figuur 30. Customer journey vouwfietsgebruikende pendelaars

De customer journey omvat diverse handelingen, waarvan sommige meerdere keren en op verschillende locaties voorkomen.
Eerst en vooral wordt er met de vouwfiets gefietst, dit zowel tussen de beginbestemming en het vertrek-station als het aankomst-station en de eindbestemming. Het open- en dichtvouwen gebeurt zowel thuis, in de stations als op de eindbestemming. De vouwfiets wordt opgeborgen thuis, in het openbaar vervoer en op de eindbestemming. Tussen het dichtvouwen en opbergen moet de vouwfiets meestal even gedragen of gerold worden.

GEBRUIKERSTESTEN

Na het bepalen van de doelgroep werden gebruikerstesten gedaan met een selectie vouwfietsen uit het huidige marktaanbod. Deze gebruikerstesten zijn een meer gedetailleerd benchmarkonderzoek ter aanvulling van het marktonderzoek dat reeds besproken werd. Hierbij werden 15 vouwfietsen getest om zo een beter beeld te krijgen van de positieve en negatieve aspecten van bestaande vouwfietsen in de specifieke situaties die zich voordoen doorheen de customer journey van pendelaars. Deze gebruikerstesten zijn een aanvulling van de testen die gedaan werden voor Testaankoop gedurende de stageperiode.

METHODE

De testen werden uitgevoerd door drie testpersonen die elk dagelijks of wekelijks pendelen met het openbaar vervoer. Aan de testpersonen werd gevraagd de handelingen die in de customer journey voorkomen, uit te voeren (Fig. 31). Er werd hen ook gevraagd om op bepaalde aspecten te letten tijdens het testen, zoals de gebruiksvriendelijkheid, intuïtiviteit, ergonomie, aanpasbaarheid, rijervaring, esthetiek, overbodige en/of ontbrekende onderdelen… Deze lijst met de diverse aspecten was uiteraard louter indicatief en niet limitatief.

Tijdens de gebruikerstesten werd het think-aloud protocol toegepast [22]. Zo werden hun gedachtengang en ondervindingen reeds tijdens het uitvoeren van de testen met de testafnemer gedeeld om een zo puur en waarheidsgetrouw mogelijke analyse te doen. Na het testen van elke fiets werd door de testpersonen telkens een enquêteblad ingevuld waarbij ze kort hun ervaring bij de bovenstaande handelingen en aspecten noteerden. De testen werden gefilmd vanuit het standpunt van de testpersoon én testafnemer om achteraf een goede analyse mogelijk te maken (Fig. 32).

Figuur 31. Gebruikerstesten met benchmark vouwfietsen

RESULTATEN

Zoals verwacht uit het marktonderzoek tonen deze eerste gebruikerstesten aan dat er nog heel wat ruimte is voor verbetering in het huidige marktaanbod van vouwfietsen. Uit de analyse van de resultaten volgen een aantal bemerkingen.

- Bij sommige vouwfietsen is het open- en dichtvouwen niet intuïtief genoeg. Zeker met de veiligheden die op de vouwmechanismen zitten, hebben de testpersonen vaak moeite wanneer ze de fiets voor het eerst moeten vouwen.
- Het gewicht is bij de meeste vouwfietsen een groot struikelpunt. De lichte modellen wegen tussen de 11 en 12 kg, terwijl zwaardere modellen makkelijk tot boven de 15 kg wegen. Dit gewicht zorgt ervoor dat, samen met de grootte en instabiliteit in dichtgevouwen toestand, de fiets ongemakkelijk en belastend is om te dragen. Dit is zeker van belang voor pendelaars die aan multimodaal transport doen. In de meeste trein- en metrostations zijn namelijk trappen aanwezig.
- Sommige modellen vallen open als die in dichtgevouwen toestand gedragen worden. Het is niet altijd duidelijk hoe en waar ze de dichtgevouwen fiets moeten vasthouden of optillen. Bij de meeste fietsen is het ook niet duidelijk hoe ze in dichtgevouwen toestand gepositioneerd moeten worden.
- Slechts weinig modellen kunnen in dichtgevouwen toestand voortgerold worden, wat als een enorm minpunt aanzien werd door de testpersonen.
- De uitstekende of blootliggende kabels en gadgets, zoals lichten en reflectoren, bemoeilijken het open- en dichtvouwen, maar ook het dragen van de vouwfietsen, wat heel wat frustraties oproept.
- De incorrecte tandwielverhouding ten opzichte van de grootte van de wielen van sommige modellen zorgt ervoor dat deze vouwfietsen niet performant aanvoelen. Dit is zeker het geval wanneer deze vouwfietsen slechts één versnelling hebben.
- Vouwfietsen met kleine wielen, zeker als ze kleiner zijn dan 20 inch, worden als oncomfortabel ervaren, vooral op onverharde of oneffen wegen. Bij hogere snelheden gaan ze zwabberen en/of heel vervelend bochtgedrag vertonen. Bij lage snelheden zijn ze dan weer uiterst wendbaar.
- Bij sommige vouwfietsen is de ketting niet goed weggewerkt, wat voor vetvlekken kan zorgen bij het dragen of vouwen.
- Vooral van de goedkope modellen zijn de hendels vaak niet ergonomisch ontworpen, waardoor de gebruikers zich kunnen bezeren of er te veel kracht moeten op uitoefenen.

Naast deze bemerkingen waren er zaken die als positief ervaren werden door de testpersonen, zoals een instelbare stuurhoogte en de mogelijkheid om een vouwfiets te rollen in dichtgevouwen toestand. Deze aspecten worden verder in het gedeelte ‘focus’ verwerkt tot eisen en wensen.

Figuur 32. Testpersoon die gebruikerstest uitvoert en zijn perspectief filmt met GoPro’s

PERSONA

Na het onderzoek omtrent de vouwfietsgebruikers en de uitgevoerde gebruikerstesten werden de bevindingen samengevat en voorgesteld in een persona die de beoogde gebruikers van de ontworpen vouwfiets weergeeft [23]. Deze persona wordt samen met de opgestelde customer journey als hulpmiddel en leidraad doorheen het ontwerpproces gebruikt.

Jules (Fig. 33)

- is 27 jaar oud
- woont samen met zijn vriendin op een klein appartement in Gent
- heeft geen auto
- pendelt dagelijks met de fiets en de trein naar zijn werk in Brussel
- fietst dagelijks 3 km (thuis -> station Gent) + 4 km (station Brussel -> werk) en terug
- heeft twee oude fietsen, één in Gent en één in Brussel

Figuur 33. Persona[47]

vindt vouwfietsen van het huidig marktaanbod:

- te zwaar
- een te grote last en te onhandig om telkens volledig open en dicht te moeten vouwen
- te lomp om in dichtgevouwen toestand voortdurend te moeten dragen
- lijken op en rijden als kinderfietsen
- niet performant en comfortabel genoeg rijden

wil een vouwfiets omdat:

- hij die makkelijk in zijn appartement kan opbergen
- er zo geen onzekerheid meer is in zijn pendeltraject als één van zijn fietsen gestolen of beschadigd is
- hij zo één high-end fiets heeft die hij zowel voor het pendelen als voor andere uitstappen kan gebruiken

wenst van een vouwfiets:

- high-end look & feel
- performante rijprestaties
- heel snel open- en dichtvouwen

[47] https://www.bikefolded.com/best-folding-bikes-big-tall-cyclists/tern-eclipse-x22/

2.4 Focus

Uit alle drie de aspecten - markt, technologie en gebruiker - werden heel wat inzichten verworven waarmee de focus en de oriëntatie van het ontwerpproces bepaald kunnen worden. Zo worden de specifieke eisen en wensen van de stakeholders naar de ontworpen vouwfiets toe vastgelegd. Daarenboven worden extra inzichten verworven die het ontwerpproces sturen. Als laatste wordt dan ook de onderzoeksvraag van de masterproef vastgelegd.

EISEN EN WENSEN

De eisen en wensen zijn voornamelijk een conclusie van de initiële gebruikerstesten, toegepast op het gevonden marktpotentieel.

EISEN

In verband met open- en dichtvouwen

- makkelijk en vlug open- en dichtvouwen
- beperkt aantal handelingen
- geen schroefverbinding in vouwmechanisme

In verband met dragen:

- makkelijk hanteerbaar
- niet openvallen bij het dragen
- duidelijke handgreep
- makkelijk te rollen in dichtgevouwen toestand

In verband met parkeren/wegzetten:

- stabiliteit bij het parkeren open en dicht
- makkelijk weg te zetten/op te bergen

In verband met rijprestaties:

- verhoudingen en hoeken (zadelpen, stuur,...) moeten correct zijn
- aanpasbaar zadel- en stuurhoogte
- aangenaam rijcomfort

In verband met vouwfiets:

- licht (prototype < 12 kg)
- geen kabels die in de weg zitten of geklemd kunnen zitten

In verband met accessoires:

- bagagedrager
- fietsstandaard
- geïntegreerde verlichting en reflectoren

WENSEN

In verband met open- en dichtvouwen:
- intuïtief

In verband met dragen:
- slank profiel na dichtvouwen
- voelt gebalanceerd aan bij het dragen

In verband met rijprestaties:
- tandwielverhouding moet correct zijn rekening houdend met de wielgrootte
- rijdt als full-size fiets
- performante rijprestaties

In verband met accessoires:
- geïntegreerd slot of mogelijkheid om vouwfiets te vergrendelen
- bel
- spatborden

FEATURES

Een extra opmerking kan toegevoegd worden aan de eisen en wensen in verband met de accessoires. De stakeholders waren het er unaniem over eens dat de mogelijkheid om bagage mee te nemen op de vouwfiets een interessante toegevoegde waarde is die de customer journey makkelijker en aangenamer maakt. Wat echter blijkt is dat elke stakeholder een ander beeld heeft van deze mogelijkheid om bagage mee te nemen. Dit gaat van een standaard bagagedrager achteraan de fiets tot een afneembare tas/mand. In deze masterproef werd verder onderzocht hoe de mogelijkheid om bagage mee te nemen op de vouwfiets geïntegreerd kan worden.

Daarnaast blijken features, zoals fietsstandaard, geïntegreerde verlichting en reflectoren en de mogelijkheid om de vouwfiets te vergrendelen, ook enorm gegeerd bij de stakeholders. Deze kleine elementen bieden een meerwaarde aan de vouwfiets en maken het gebruik ervan aangenamer.

TROLLEY-FUNCTIE

Het ontstaan van deze functie komt voort uit de wens dat de gebruikers de vouwfiets in dichtgevouwen toestand willen rollen in plaats van deze te moeten dragen, zeker bij de zwaardere modellen. Het kunnen voorttrekken of voortrollen van de vouwfiets kan vergeleken worden met een ‘trolley’. Het grote voordeel van deze functie is dat de gebruiker zo weinig mogelijk belast wordt met het gewicht van de fiets.

DRIE TOESTANDEN

Tijdens het analyseren van het gebruik van de vouwfietsen werd vastgesteld dat vouwfietsen tijdens het pendeltraject vaak niet volledig dichtgevouwen worden, mits de vouwfietsen dit toelaten.

Dit is iets waarmee tijdens het ontwerpen rekening gehouden kan worden. Zo kan de vouwfiets zich in drie toestanden bevinden:
1. Volledig opengevouwen. Deze toestand is bedoeld om te fietsen.
2. Deels dichtgevouwen. Deze toestand is bedoeld om de fiets te verplaatsen over een korte afstand. Hierbij wordt de fiets gerold, zoals hierboven besproken in de trolley-functie. De fiets wordt deels dichtgevouwen tijdens het pendelen.
3. Volledig dichtgevouwen. Deze toestand dient om de fiets zo compact mogelijk op te bergen. De fiets wordt volledig dichtgevouwen eens de eindbestemming bereikt is.

ONDERZOEKSVRAAG

Dit ontwerpproces is het vanaf nul ontwerpen van een vouwfiets voor pendelaars tussen de 25 en 45 jaar die een vouwfiets gebruiken als aanvulling op het openbaar vervoer voor multimodaal transport.

Het doel hierbij is om de gebruikservaring van die pendelaars zo optimaal mogelijk te maken en de usability van de vouwfiets te maximaliseren. Hierbij ligt de focus op een lichte, performante en comfortabele vouwfiets, waarvan de rijervaring zo dicht mogelijk aanleunt bij een full-size fiets.

De vouwfiets moet zo snel, eenvoudig en intuïtief mogelijk vouwen en de standaardcomponenten moeten zo goed mogelijk geïntegreerd zitten.

Er dient als eindresultaat een finaal proof of concept prototype te zijn. Dit ontworpen vouwfietsconcept wordt tot in die mate technisch uitgewerkt en geprototyped, zodat alle nodige testen omtrent de usability ervan en de gebruikservaring van pendelaars getest kunnen worden. Alle stappen in het ontwerpproces van een vouwfiets worden dus doorlopen tot het technisch uitwerken voor productie.

HOOFDSTUK 3/
UITWERKING

"Design is not just what it looks like and feels like.
Design is how it works."
- STEVE JOBS -

3.1 Ideegeneratie

SCHETSEN

In de eerste fase van de ideegeneratie werd de globale vorm van de vouwfiets, samen met de locatie en de algemene beweging van de vouwmechanismen, onder de loep genomen. De techniek die hiervoor gebruikt werd, is brainsketching (Fig. 34). Alle ideeën die tijdens de probleemdefinitie aan bod kwamen, werden op post-its genoteerd en/of geschetst.

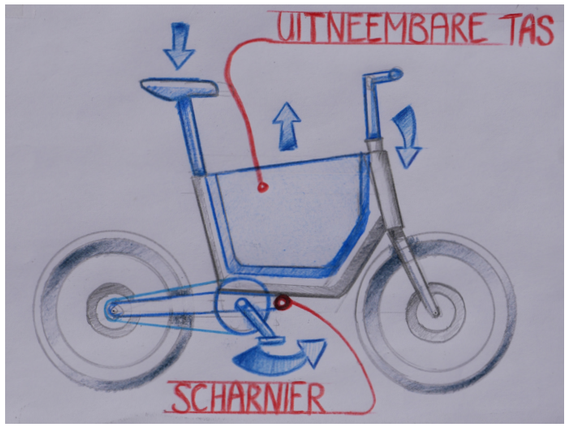
Figuur 34. Post-it brainsketching

Sommige ideeën werden verder uitgewerkt. Daarbij werden oplossingen van deelproblemen, die tijdens de brainsketching gegenereerd werden, samengevoegd om zo tot een betere geheeloplossing te komen. Dit leidde tot drie concepten, die verder uitgewerkt werden door gebruik te maken van templates van reeds bestaande vouwfietsen. Hierdoor zijn alle verhoudingen, dimensies en hoeken telkens correct. Er werden templates gebruikt van vouwfietsen met verschillende wielgroottes, namelijk 20 inch en 26 inch. Het zijn high-end, performante vouwfietsen, waarvan het merk erg hoog scoorde tijdens de user tests. Deze vouwfietsen benaderen door hun geoptimaliseerde verhoudingen de rijervaring van een full-size fiets, wat ook bereikt wil worden in deze masterproef.

TOP 3 CONCEPTEN

Deze drie concepten hebben enkelzijdige voor- en achterophanging, zodat de twee wielen bij het dichtvouwen perfect naast en tegen elkaar komen te staan. Het vouwmechanisme is zo ontworpen dat, wanneer de fiets opengevouwen is en ermee gefietst wordt, deze zich in een stabiele toestand bevindt en door het gewicht van de fietser in deze positie gehouden wordt.

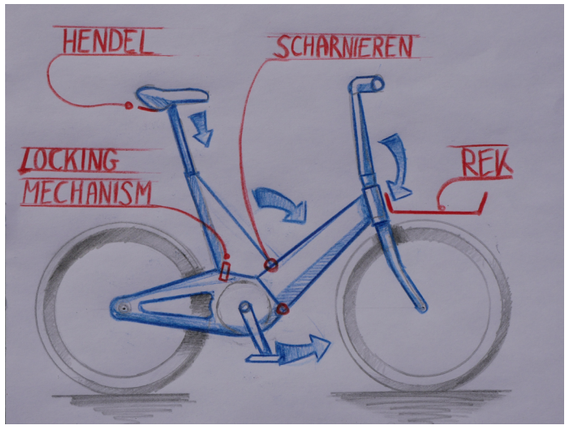
CONCEPT 1



Figuur 35. Schets concept 1

Een aangepaste koffer kan in de voorziene ruimte van het kader in- en uitgeschoven worden. Dit is ideaal voor het transporteren van everyday-carry items zoals een laptop, boeken, dossiers ... Het dichtvouwen gebeurt door middel van een scharnier met horizontale scharnieras waarmee de achterophanging aan het kader bevestigd is. Deze scharnier is onderaan het kader bij de bottom bracket gepositioneerd. Het vergrendelmechanisme wordt in stabiele toestand dichtgehouden door een krachtige magneet.
Deze schets is gemaakt met een template met 20 inch wielen om een maximale ruimte in het kader te creëren en zo het volume van de koffer te maximaliseren (Fig. 35).

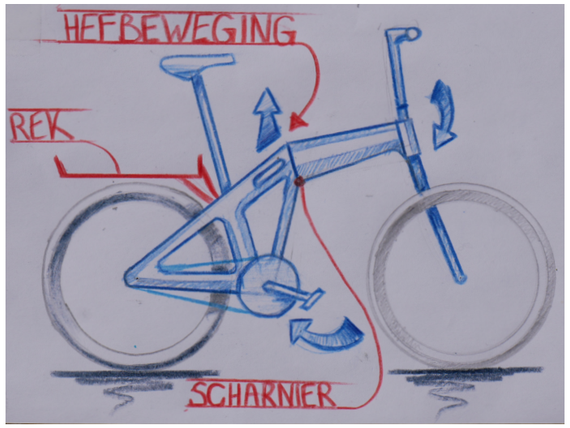
CONCEPT 2



Figuur 36. Schets concept 2

Het kader is onderverdeeld in drie delen die door middel van één vergrendelmechanisme dichtgehouden worden. Dit vergrendelmechanisme wordt ontgrendeld met een hendel onder het zadel. De ketting of riemaandrijving zit verwerkt in de ophanging, zodat de kans op vlekken weggenomen is. Een aangepaste tas/mand kan vooraan op het kader gemonteerd worden voor het transporteren van everyday-carry items. De tas/mand stoort niet bij het dichtvouwen en blijft steeds bereikbaar.
Deze schets is gemaakt met een template met 26 inch wielen om een maximaal rijcomfort te bekomen (Fig. 36).

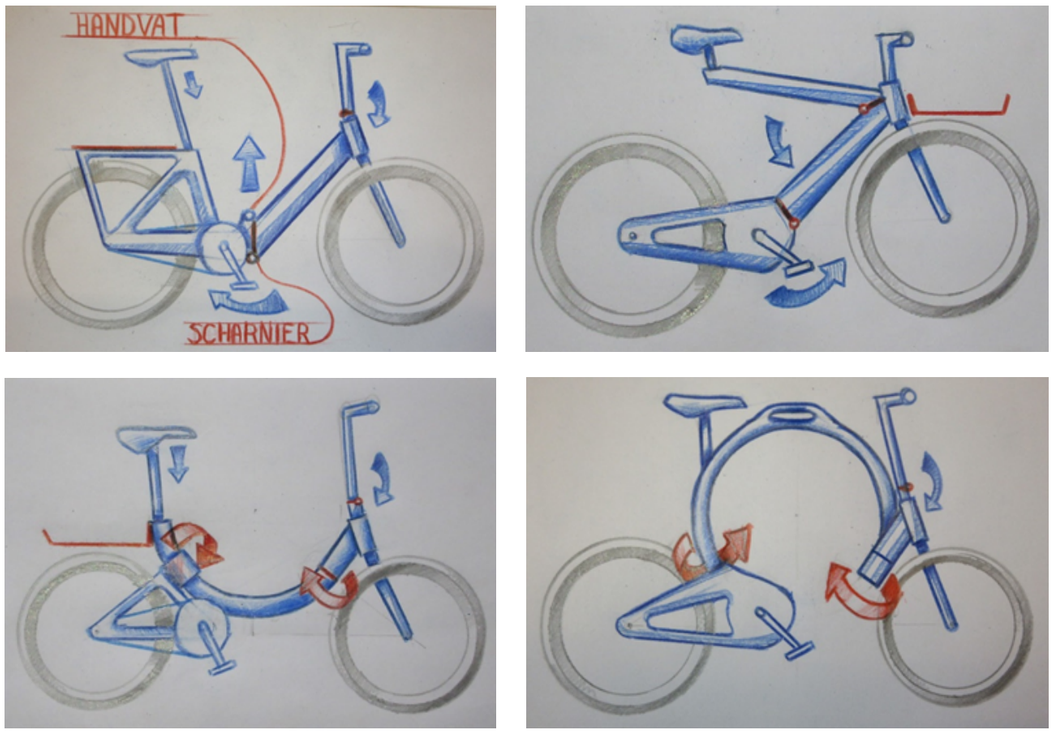
CONCEPT 3



Figuur 37. Schets concept 3

Deze vouwfiets kan door middel van een opwaartse liftbeweging heel vlug dichtgevouwen worden. De vouwbeweging wordt gemaakt door een scharnier met horizontale scharnieras dat het kader in twee delen opdeelt.
Een bagagedrager kan achteraan op het frame gemonteerd worden. Die stoort niet bij het dichtvouwen en blijft steeds bereikbaar.
Deze schets is eveneens gemaakt met een template met 26 inch wielen voor maximaal rijcomfort en de vormgeving ervan legt de focus op een performante look & feel (Fig. 37).

ENKELE ANDERE SCHETSEN



Figuur 38. Enkele overige schetsen van de ideegeneratie fase

CONCLUSIE

Uit deze eerste ideegeneratie kan na het aftoetsen van de concepten met de stakeholders een eerste aspect van de te ontwerpen vouwfiets vastgesteld worden: een scharnier met horizontale scharnieras wordt gebruikt om het kader compacter te maken. De beweging om te vouwen is een verticale hefbeweging.

FOAMBOARD SCHAALMODELLEN

In de tweede fase van de ideegeneratie werden foamboard modellen op schaal 1/5 gemaakt van de top drie concepten. Deze modellen dienen om een beter zicht te krijgen op de verhoudingen en vouwbewegingen, zodat ze geanalyseerd en geoptimaliseerd kunnen worden. Met deze quick and dirty schaalmodellen kunnen de concepten veel beter gevisualiseerd worden om de concepten af te toetsen met de stakeholders en komen reeds enkele positieve en negatieve aspecten naar voor (Fig. 39 t.e.m. 48).

CONCEPT 1

Figuur 39. Concept 1 opengevouwen

Figuur 40. Concept 1 dichtgevouwen

Figuur 41. Uitneembare tas concept 1

Positief

- uitneembare geïntegreerde koffer
- duidelijke trolley-functie: de fiets kan in dichtgevouwen toestand voortgetrokken worden aan het zadel

Negatief

- niet compact na het dichtvouwen
- slechts beperkt volume in geïntegreerde koffer

CONCEPT 2

Figuur 42. Concept 2 opengevouwen

Figuur 43. Concept 2 dichtgevouwen

Figuur 44. Afneembare mand concept 2

Figuur 45. Drielelig kader concept 2

Positief

- slechts één vergrendelmechanisme voor de drie delen van het kader
- heel compact na het dichtvouwen
- afneembare tas/mand

Negatief

- geen performante look & feel
- minder vlotte vouwbeweging door drie ten opzichte van elkaar scharnierende delen

Concept 3

Figuur 46. Concept 3 opengevouwen

Figuur 47. Concept 3 dichtgevouwen

Figuur 48. Tweeledig kader concept 3

Positief

- reeds compact na één heel eenvoudige vouwbeweging
- de fiets kan in dichtgevouwen toestand als een trolley voortgetrokken worden aan het stuur
- performante look & feel

Negatief

- dimensies moeten nog verder geoptimaliseerd worden

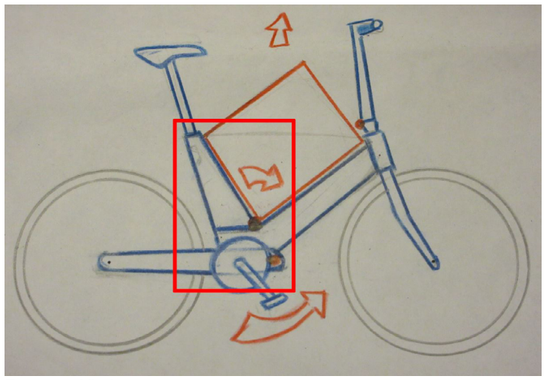
CONCLUSIE

Tijdens het aftoetsen van de concepten met de stakeholders werd vastgesteld dat concept 1 en 2 beide positieve elementen bevatten die gecombineerd kunnen worden. Het nieuw samengesteld concept leidt tot een vouwfiets waarbij een aangepaste koffer in de voorziene ruimte in het kader geplaatst kan worden om zo een aerodynamische en performant ogende bagageruimte te creëren. Daarenboven bestaat het kader uit drie delen en kan het dus heel compact dichtvouwen als de koffer uit het kader verwijderd is (Fig.49).
Daarnaast waren de stakeholders heel enthousiast over concept 3 door de heel eenvoudige vouwbeweging en de performant ogende vormgeving.

ONTWERPEN VERGRENDELMECHANISMEN KADER

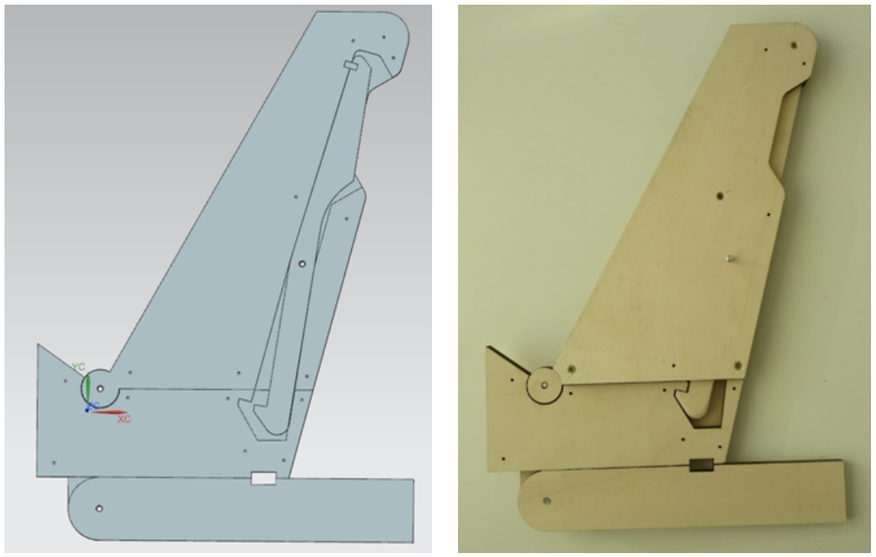
Na het vormgeven van de kaders en het bepalen van de locatie van de vouwmechanismen, werden de vouwmechanismen van de twee beste concepten uitgewerkt. Hiervoor werden vooraf enkele voorwaarden, die gebaseerd zijn op de eisen en wensen en de focus van de te ontwerpen vouwfiets, bepaald waaraan de ontworpen vouw- en vergrendelmechanismen moeten voldoen.
Zo werd gebrainstormd over hoe een vergrendelmechanisme ontgrendeld kan worden door dezelfde beweging die reeds uitgevoerd moet worden om het vouwmechanisme te vouwen. Een tweede wens bij het vergrendelmechanisme is dat er geen extra veiligheidsmechanismen mogen zijn. Veiligheidsmechanismen hebben een negatieve invloed op de usability van het vouwmechanisme doordat ze het vouwen vertragen of de intuïtiviteit verminderen. Een derde doel bij het ontwerpen van het vergrendelmechanisme is dat het automatisch terug moet vergrendelen bij het openvouwen van de vouwfiets.
Na het uitwerken van de twee vouwmechanismen kunnen beide concepten afgetoetst worden met de stakeholders en kan een beter onderbouwde keuze gemaakt worden over welk concept verder uitgewerkt zal worden.

COMBINATIE CONCEPT 1 & 2

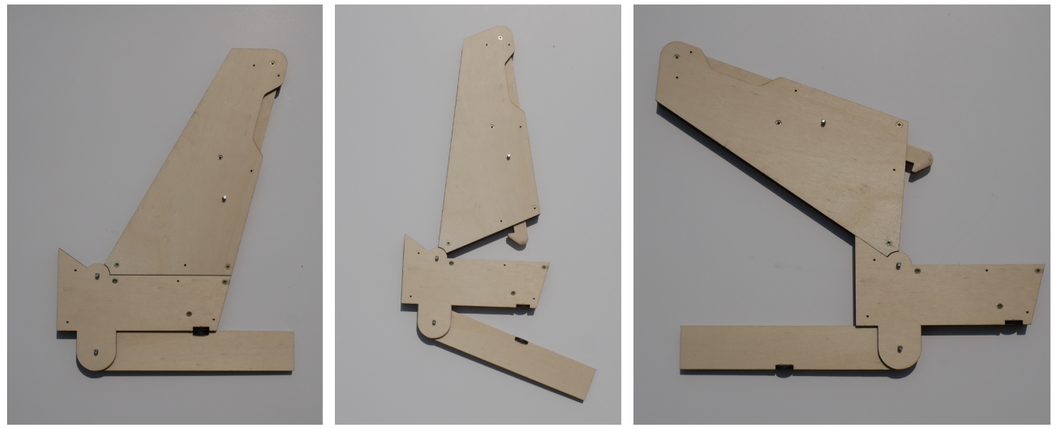


Figuur 49. Locatie vouwmechanisme combinatie concept 1 & 2

Het concept van het vergrendelmechanisme is dat de achterophanging met een krachtige magneet wordt dichtgehouden. Deze magneet is echter louter een back-up bij het dragen van de fiets, want zowel het gewicht van de fiets als de persoon die ermee fietst, zorgen ervoor dat de achterophanging standaard dicht blijft. De achterophanging wordt dichtgevouwen door het zadel op te heffen en die met de voet naar beneden te duwen. Dit systeem gelijkt op de achterophanging van het merk Brompton. De fiets bevindt zich dan in de tussentoestand en kan aan het zadel voortgetrokken worden. Om de fiets volledig dicht te vouwen, moet de koffer eerst uit het kader gehaald worden. Door dan de zadelbuis op de plaats van de hendel naar voor te duwen en dus de hendel in te drukken, ontgrendelt het vergrendelmechanisme en vouwt de zadelbuis naar voor (Fig. 49 t.e.m. 51).

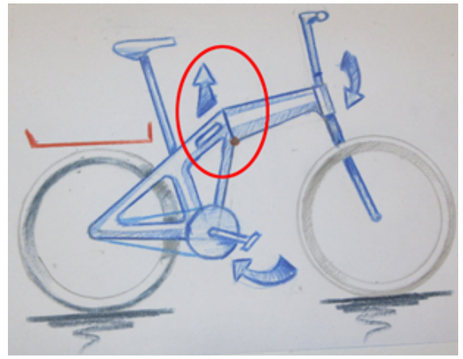


Figuur 50. Inwendig vergrendelmechanisme



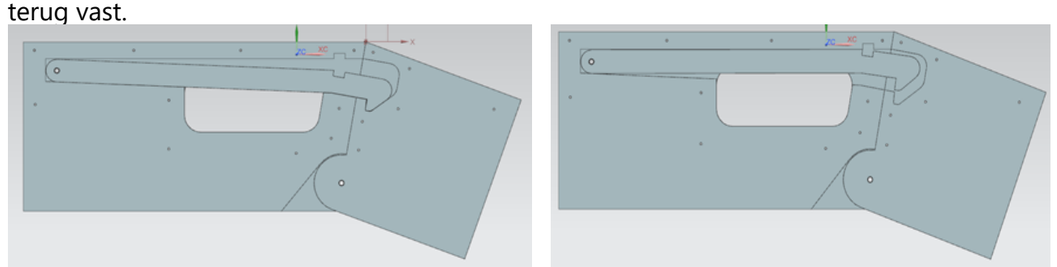
Figuur 51. Dichtvouwen vouwmechanisme

CONCEPT 3

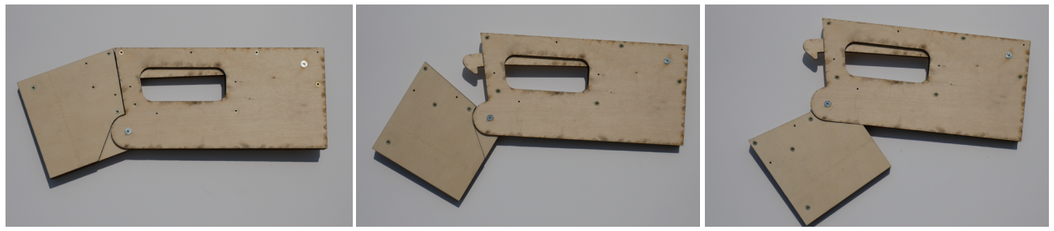


Figuur 52. Locatie vouwmechanisme concept 3

De handeling die uitgevoerd wordt om de fiets dicht te vouwen, is een opwaartse beweging. Zo vouwt het verticale scharnier open en rijden de twee wielen naar elkaar toe zodat deze naast elkaar komen te staan.
Deze opwaartse beweging wordt uitgevoerd om het vergrendelmechanisme van het scharnier te ontgrendelen. In het handvat van het kader zit een hendel die bij het opwaarts trekken naar boven geduwd wordt. Zo worden de twee delen van het scharnier ontgrendeld (Fig. 52 t.e.m. 54). Bij het dichtvouwen van de fiets klikt het vergrendelmechanisme automatisch terug vast.



Figuur 53. Hendel vergrendelmechanisme in rust en ingedrukt



Figuur 54. Dichtvouwen vouwmechanisme concept 3

VALIDEREN MET STAKEHOLDERS

Het valideren met de stakeholders doorheen het uitwerken van het concept gebeurde telkens met zowel stakeholders die intern betrokken zijn bij het ontwerpproces als een panel van stakeholders die gelinkt zijn aan vouwfietsen.

De interne stakeholders zijn vooral promotor Prof. Jan Detand, maar vaak ook docent Ir. Yannick Christiaens.

Het panel stakeholders dat gelinkt is aan vouwfietsen is een combinatie van twee pendelaars die nog geen vouwfiets gebruiken (een man en een vrouw) en een pendelaar die wel reeds een vouwfiets gebruikt.

Beide uitgewerkte concepten, namelijk de combinatie van concept 1 en 2 en concept 3, werden afgetoetst. De voorkeur van alle stakeholders aan wie afgetoetst werd ging unaniem uit naar concept 3.

Een conclusie van de bevindingen van de stakeholders:
De combinatie van concept 1 en 2 is niet compact in tussentoestand. Om de fiets volledig dicht te vouwen, moet de koffer eerst uit het kader gehaald worden, wat nogal omslachtig en niet gebruiksvriendelijk is om dit telkens opnieuw te doen tijdens het pendelen. Daarenboven voelt de mogelijkheid om een koffer in het kader te plaatsen beperkend en geforceerd aan door de stakeholders.
Concept 3 daarentegen is reeds vrij compact na slechts één heel eenvoudige en intuïtieve beweging. Daarnaast is de vormgeving voor het doelpubliek aantrekkelijker aangezien het een betere representatie is van de gewenste performante look & feel.
Zo werd gezamenlijk beslist om concept 3 verder uit te werken.

ONTWERPEN VOUWMECHANISME STUURPEN

Naast het ontwerpen van het vergrendelmechanisme van het kader moet ook een mechanisme ontworpen worden om het stuur en de stuurpen compacter te maken. Er wordt bewust ‘compacter maken’ gebruikt in plaats van vouwen, aangezien er veel manieren zijn om iets compacter te maken en hier in de eerste fase van de ideegeneratie nog niets over vastgelegd werd. Zo kan naast vouwen ook telescopisch ingeschoven, geroteerd of gedemonteerd worden.

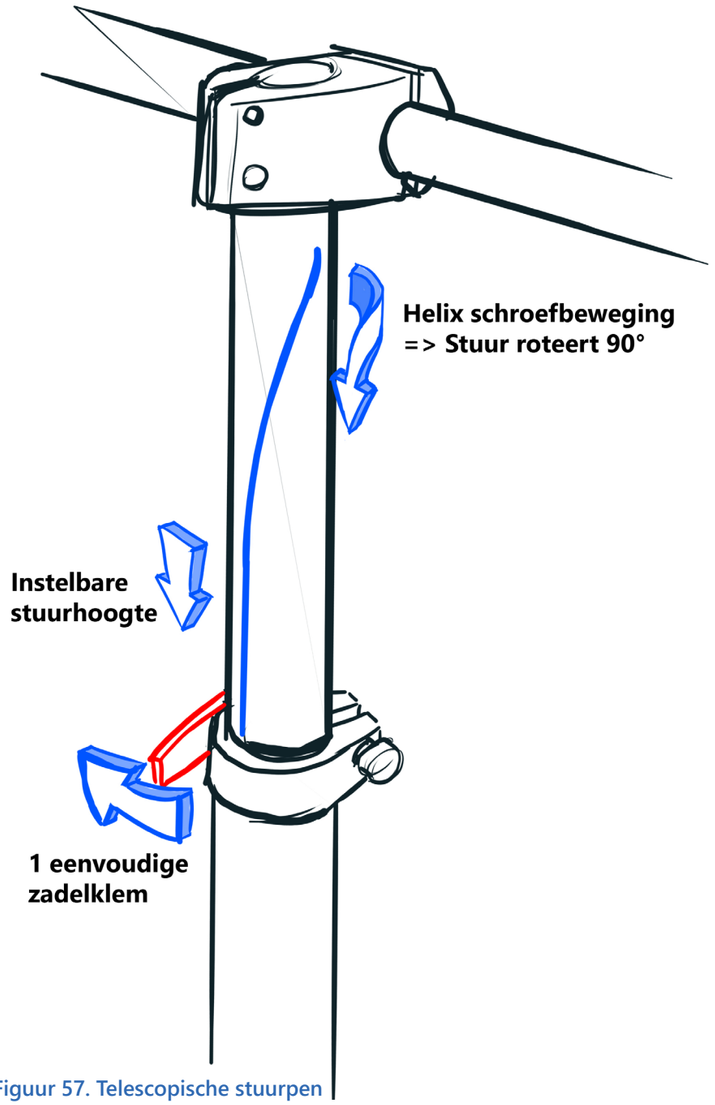
Het oorspronkelijke idee was om het klassiek vouwmechanisme om een stuurpen te vouwen, zoals bij ‘Dahon’ of ‘Tern’, te gebruiken (Fig. 55). Hierbij komt het stuur na het vouwen van de stuurpen naast het voorwiel terecht. Dit zorgt er echter voor dat de fiets in dichtgevouwen toestand breder wordt, wat natuurlijk niet gewenst is.

Figuur 55. Klassiek vouwmechanisme stuurpen

Figuur 56. Vouwbaar stuur Strida

Er werd dus gezocht naar een andere manier om het stuur en de stuurpen compacter te maken. Er werd vertrokken vanuit de wens om het stuur instelbaar te maken in hoogte. De eenvoudigste manier om dit te doen, was door de stuurpen telescopisch inschuifbaar te maken. Door de enkelzijdige voorvork van het ontwerp kan de telescopische stuurpen vrij diep tot in de voorvork schuiven, waardoor het stuur tot tegen het balhoofd van de fiets komt. Dit is reeds compacter, maar dan staat het stuur echter nog loodrecht op de fiets. Een optie was om beide helften van het stuur weg te klappen, zoals bij de Strida vouwfietsen (Fig. 56). Deze handeling neemt echter te veel tijd in beslag en zorgt voor twee extra verbindingen die los gemaakt moeten worden.

Om het stuur op een heel eenvoudige manier parallel te krijgen met de rest van het kader, moet het 90° draaien. Deze draaibeweging wordt geïntegreerd in het vergrendelmechanisme om het stuur in hoogte in te stellen. Dit wordt gedaan door in de telescopische stuurpen een gleuf te maken die in het eerste deel recht loopt en dan een helix-curve maakt van 90°. Door de begeleidende pen die in de voorvork zit, schuift het stuur dus eerst recht in, wat het instelbaar maakt in hoogte, en maakt het stuur dan op het einde een hoekverdraaiing van 90°, waardoor het parallel met en boven op het kader terechtkomt.
Zowel het instellen in hoogte als het vouwen van het stuur wordt gedaan met behulp van één eenvoudige standaard zadelklem (Fig. 57).



Figuur 57. Telescopische stuurpen

UITWERKEN VERKOZEN CONCEPT

Figuur 58. Voorwiel hapert aan bottom bracket

Uit het foamboard schaalmodel van concept 3 blijkt dat de dimensies van deze vouwfiets nog geoptimaliseerd moeten worden. 26 inch wielen zijn met de originele dimensies van het kader echter te groot om onder de bottom bracket door te kunnen passeren bij het dichtvouwen (Fig. 58).

Aangezien het de bedoeling is om een scharniermechanisme met volledig horizontale scharnieras te gebruiken, waardoor de twee wielen met enkelzijdige ophanging naast elkaar komen te staan na het dichtvouwen, moeten de verhoudingen van deze fiets zodanig geoptimaliseerd worden dat het voorwiel onder de bottom bracket door kan passeren bij het dichtvouwen. De mogelijkheid om het voorwiel naast de crank te laten passeren, wordt uitgesloten, omdat de gebruiker dan telkens de pedalen correct moet positioneren vooraleer die kan vouwen, namelijk met de linkerpedaal omhoog. Dit zou het dichtvouwen vertragen en minder intuïtief maken.

Zowel de wielgrootte als de dimensies van het kader werden aangepast. Bij het schetsen werd erop gelet dat de verhoudingen steeds zo blijven dat bij het dichtvouwen de wielen perfect naast elkaar komen te staan en dat bij het maken van deze vouwbeweging het voorwiel niet tegen de bottom bracket botst.

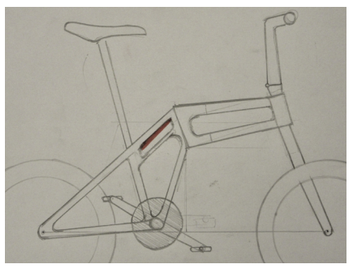
In de eerste vormvariatie werden 20 inch wielen gebruikt. De dimensies van het kader worden hier zodanig genomen dat, zoals in de originele vorm, bij het dichtvouwen de onderkant van het voorste deel van het kader overeenkomt met de onderkant van het achterste deel van het kader (Fig. 59).

De vormgeving van deze fiets is minder aantrekkelijk en oogt niet meer performant zoals de originele vormgeving. Ook zullen de kleine 20 inch wielen minder comfortabel zijn en niet zo performant aanvoelen bij hogere snelheden.

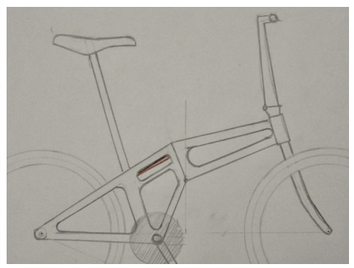
Om die redenen werd gezocht naar een betere vormgeving. Ditmaal werden 24 inch wielen gebruikt (Fig. 60).

Deze vormgeving benadert beter de gewenste performante look. Daarnaast is het kader zodanig gedimensioneerd dat het 24 inch voorwiel onder de bottom bracket door kan passeren.

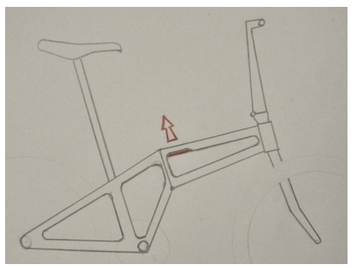
De locatie van de hendel van het vouwmechanisme in het kader werd ook in vraag gesteld (Fig. 61). De meest ergonomische locatie zal moeten blijken uit full-size prototypes en gebruikerstesten.



Figuur 59. Schets met 20” wielen



Figuur 60. Schets met 24” wielen



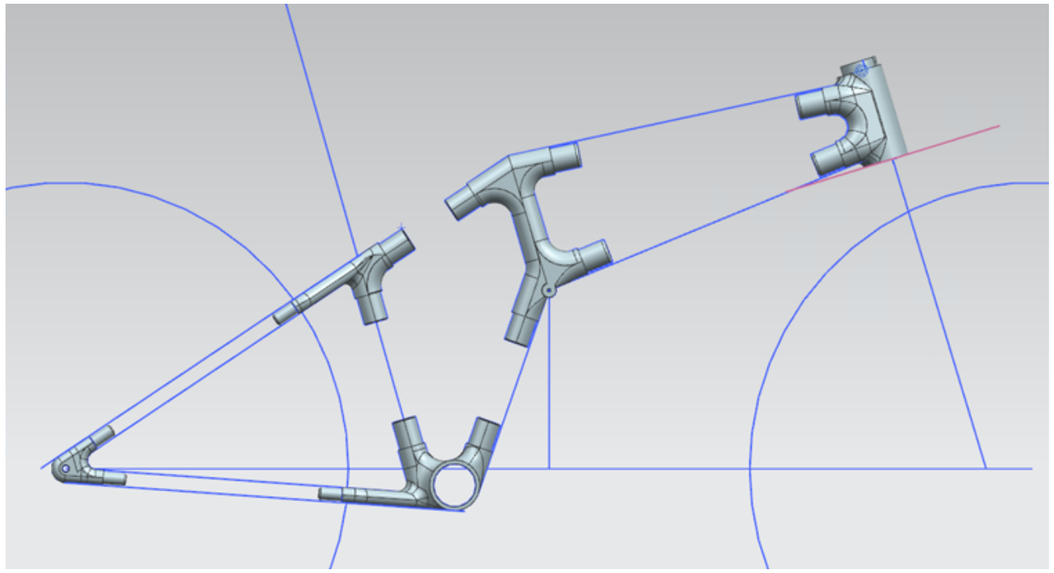
Figuur 61. Herpositionnering hendel

3.2 Prototypen

Na het vastleggen van het concept, de vormgeving en het vergrendelmechanisme werd begonnen met het uitwerken van full-size prototypes. Gedurende deze ontwerpopdracht werden twee full-size prototypes van het concept uitgewerkt. Het eerste full-size prototype is een proof of concept. Het tweede full-size prototype is het finaal prototype van deze ontwerpopdracht. Het doel van dit finaal prototype is om een zo realistisch mogelijke voorstelling te hebben van het concept, waarmee de usability van de vouwfiets getest kan worden en de gebruikerstesten uitgevoerd kunnen worden. Zo kan de onderzoeksvraag onderzocht worden en kunnen gemaakte hypothesen onderbouwd worden.

FULL-SIZE PROOF OF CONCEPT

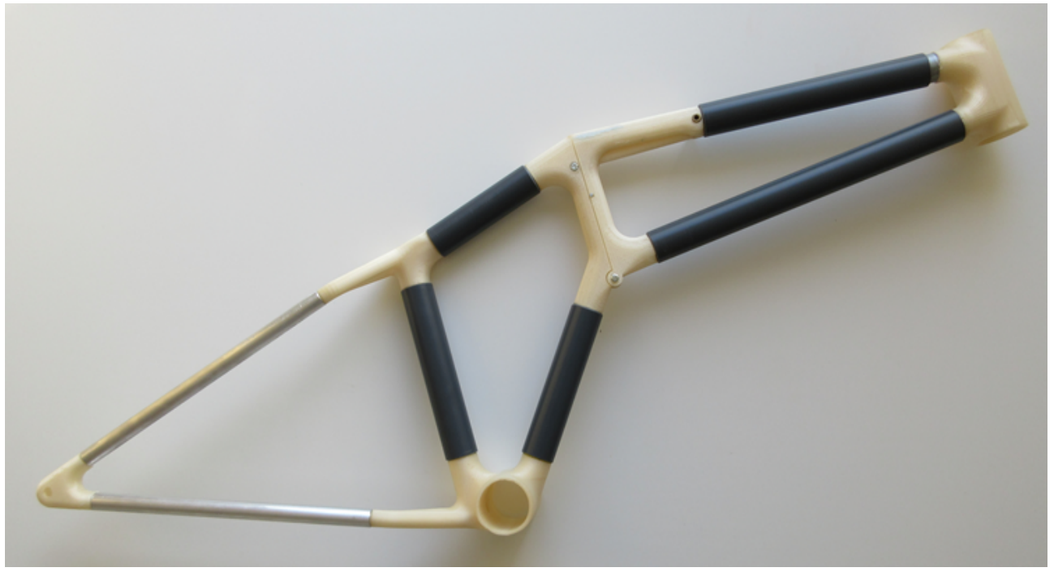
Het doel van dit prototype is om een full-size prototype en proof of concept te hebben om de geometrie, de vouwbeweging en het concept af te toetsen met de stakeholders. Uit dit prototype kunnen ook reeds sterke en zwakke punten van het concept afgeleid worden.
Voor het uitwerken van het eerste full-size prototype werd begonnen vanuit CAD (Fig. 62). Eerst werden de globale dimensies en verhoudingen van de vouwfiets ingegeven. Daarrond werden dan het vouwmechanisme en het kader opgebouwd.



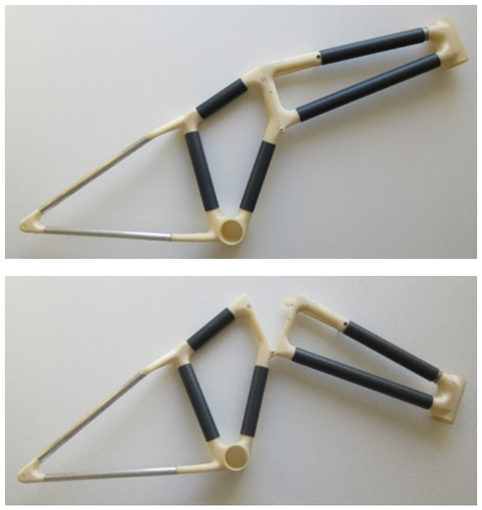
Figuur 62. CAD-tekening lugs full-size proof of concept

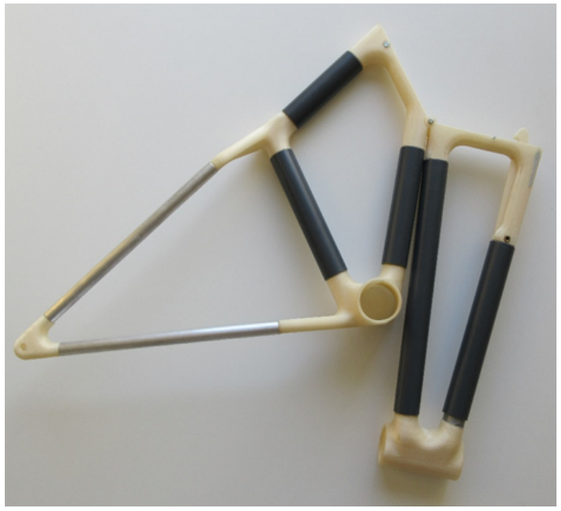
KADER

Aanvankelijk werd gedacht aan het maken van een monocoque composiet kader voor het prototype. Echter tijdens het uittekenen van het concept werd vastgesteld dat de fiets toch vrij eenvoudig met een buizenstructuur uitgewerkt kon worden. Er werd dus gekozen om het full-size prototype met buizen en 3D geprinte lugs te maken (Fig. 63 & 64).



Figuur 63. Kader full-size proof of concept





Figuur 64. Vouwen kader full-size proof of concept

Na het monteren van het kader werd ook de voorvork en de telescopisch inschuifbare stuurpen met helix gleuf geprototyped en op het kader bevestigd (Fig. 65).

Daarnaast werden ook 24 inch EPS schuim dummy wielen op het prototype gemonteerd om een realistischer proof of concept te bekomen en de volledige vouwbeweging te kunnen uitvoeren (Fig. 66).

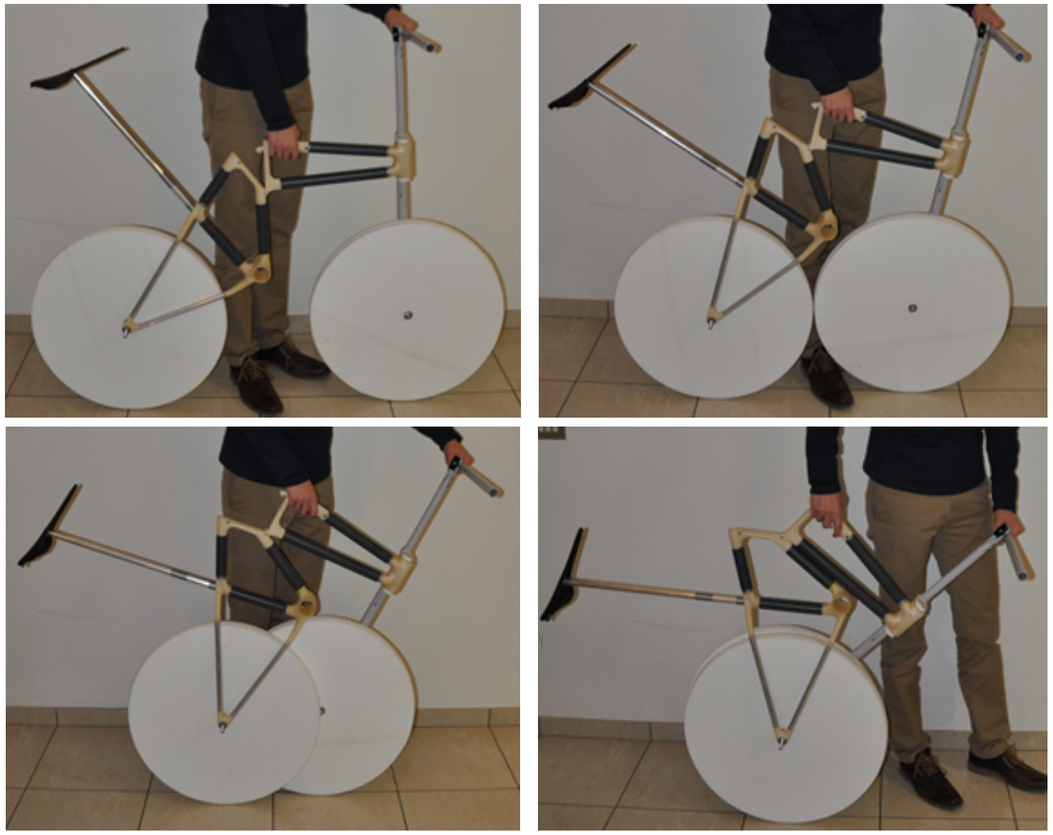
Figuur 65. Stuurpen

Figuur 66. Full-size proof of concept

GEASSEMBLEERDE VOUWFIETS PROTOTYPE 1

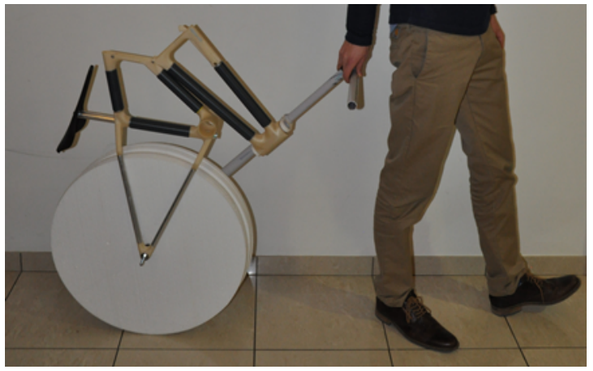
Dichtvouwen

Het dichtvouwen van de fiets gebeurt door het kader, en bijgevolg de hendel, verticaal omhoog te heffen, waardoor het vergrendelmechanisme ontgrendeld wordt en de vouwfiets dichtklapt. Hierbij komen de twee wielen perfect naast elkaar te staan (Fig. 67).



Figuur 67. Dichtvouwen full-size proof of concept

Na het inschuiven van het zadel kan de vouwfiets aan het stuur voortgetrokken worden, zoals een trolley (Fig. 68). Om de fiets volledig dicht te vouwen, moeten het stuur en zadel nog ingeschoven worden (Fig. 69). Daarnaast moeten ook nog de pedalen, die op dit prototype niet aanwezig zijn, dichtgeklapt worden.

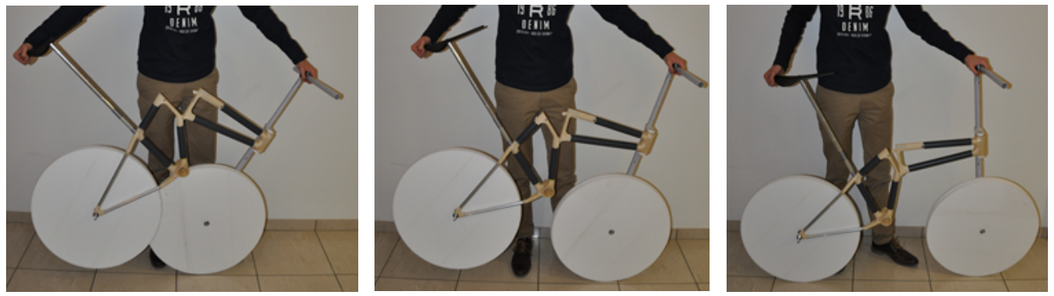


Figuur 68. Trolley-functie

Figuur 69. Dichtvouwen stuur en zadel

Openvouwen

Het openvouwen van de fiets gebeurt door de fiets bij het uitgeschoven stuur en zadel vast te nemen en deze opwaarts en naar elkaar toe te bewegen (Fig. 70). De fiets vouwt open en het vergrendelmechanisme klikt automatisch vast.



Figuur 70. Openvouwen full-size proof of concept

Dragen

De vouwfiets is in zowel open- als dichtgevouwen toestand makkelijk en gebalanceerd te dragen door de compacte breedte en de structuur van buizen en lugs die ervoor zorgt dat er voldoende plaats is om de fiets in beide toestanden makkelijk te kunnen vastnemen (Fig. 71).

Figuur 71. Dragen van de vouwfiets in zowel open- als dichtgevouwen toestand

VALIDEREN MET STAKEHOLDERS

Het valideren met de stakeholders gebeurde opnieuw met dezelfde interne stakeholders en hetzelfde panel pendelaars als bij het aftoetsen van de drie concepten.
Tijdens het valideren van het eerste proof of concept prototype met de stakeholders, kwamen heel veel positieve reacties op de vormgeving en de looks van de vouwfiets, het eenvoudige vouwmechanisme en het inschuiven van het stuur dat automatisch 90° draait.

Naast de positieve feedback riep het prototype ook enkele praktische vragen op.

- Beïnvloedt de offset van de wielen de rijervaring niet?
- Hoe zullen de aandrijving en de remmen geïntegreerd worden in de enkelzijdige achterophanging?
- Kan de enkelzijdige ophanging stevig genoeg gemaakt worden?
- Is de integratie van standaardcomponenten zoals de cranks, remkalipers… mogelijk?

Om binnen de tijdslimiet en de mogelijkheden van deze masterproef deze aspecten te kunnen onderzoeken en op de vragen een antwoord te kunnen bieden, werd beslist om het uitwerken en verder onderzoeken van de vouwfiets op te splitsen.

- Het eerste aspect is het uitwerken van een finaal full-size prototype met correcte dimensionering waarin alle standaardcomponenten van de vouwfiets geïntegreerd zitten. Hiermee zal de hoofdonderzoeksvraag onderzocht worden, namelijk de usability van het concept en de gebruikservaring van pendelaars. Met dit prototype zullen dus alle handelingen getest en uitgevoerd kunnen worden die in de customer journey voorkomen, behalve het fietsen zelf.
- Het tweede onderzoekscomponent, ter aanvulling van het finaal protoype, is om de rijervaring met een vouwfiets waarvan de wielen niet in lijn staan te testen. Dit is een heel belangrijk aspect van het concept waarover noch literatuurstudie, noch benchmarks te vinden zijn.

FINAAL PROTOTYPE

Voor het uitwerken van het finaal prototype werden er heel wat keuzes gemaakt of herzien. Dit ging van de productiemethode en materiaalkeuze voor het kader tot de wielkeuze. Er waren echter drie beperkende constraints: budget, productiemogelijkheden en manuren.
Daarnaast is het finaal prototype van deze thesis slechts een tussen-prototype in het totale ontwerp van de vouwfiets. Tijdens het ontwerpen en maken van het finaal prototype kwamen dan ook voortdurend zaken naar boven die aangepast of verbeterd moesten worden. Dit ging van dimensionering van het kader tot integratie van de standaardcomponenten. Er moest dus voor een flexibel prototype platvorm/opbouw gekozen worden.

Onderstaande keuzematrix geeft de belangrijkste keuzes die gemaakt moesten worden in verband met het vouwfietsconcept (Fig. 72).

Overbrenging	Riemoverbrenging	Ketting	Cardanas	
Versnellingen	Naafversnelling	Casette versnelling	Single speed	Fixed gear
Remmen	Schijfrem	Trommelrem	Velgremmen	Achteruittraprem
Compacter maken	Horizontaal vouwen	Verticaal vouwen	Demonteren	In elkaar schuiven
Ophanging	Enkelzijdige	Dubbelzijdige		
Constructie	Buizen en lugs	Monocoque		
Materiaal-gebruik inserts	Aluminium	Titanium	Kunststof	Composiet
Productie-methode inserts	Sinteren	CNC frezen	3D printen	Spuitgieten
Wielgrootte	18”	20”	24”	26”

Figuur 72. Keuzematrix finaal prototype concept vouwfiets

UITWERKEN WIELEN

De wielgrootte, de naven, de enkelzijdige ophanging en de bevestiging van het tandwiel achteraan werden bepaald en uitgewerkt.

Voor de wielen kon gekozen worden tussen standaardwielen of het ontwerpen en prototypen van custom wielen. Er werd gekozen voor standaardwielen omwille van twee redenen. Enerzijds zou het ontwerpen en prototypen van custom wielen te veel tijd in beslag nemen. Anderzijds is het gebruik van standaardcomponenten goedkoper, maar ook makkelijker te herstellen of te vervangen wanneer de fiets in productie gebracht zou worden.

Ondanks de keuze voor standaardwielen werden de wielen wel op maat samengesteld en gespaakt om zo te kunnen voldoen aan de eisen ervan.

Naven

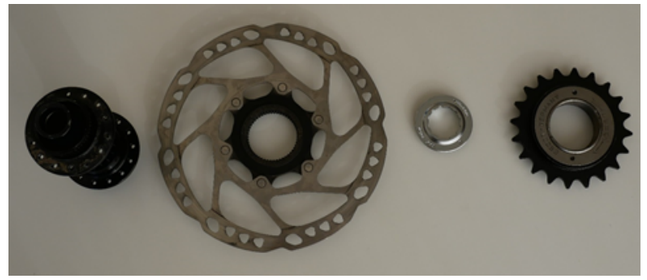
EISEN

De naven van de wielen moeten zo smal mogelijk zijn, een grote as-diameter hebben om met een enkelzijdige ophanging te kunnen worden ondersteund en schijfrem-compatibel zijn.

Een bijkomende vereiste voor de achternaaf is dat het tandwiel langs dezelfde kant als de schijfrem moet gemonteerd kunnen worden. Aangezien deze laatste vereiste niet standaard verkrijgbaar is, is hier ook een custom oplossing nodig.

OPLOSSING

Er werd voor zowel het voor- als achterwiel 100 mm brede schijfrem compatibele MTB voorwielnaven voor 15 mm through-axles gebruikt. De montage voor de schijfremmen gebeurt bij de gekozen naven met een centerlock sluitring. De naven zijn 32-gaats om compatibel te kunnen zijn met de 32-gaats 24 inch velgen.
Om op het achterwiel het tandwiel langs dezelfde kant als de schijfrem te kunnen monteren, werd het freewheel-tandwiel aan de centerlock sluitring van de schijfrem bevestigd (Fig. 73).



Figuur 73. Naaf achterwiel

Velgen

Na onderzoek rond de bestaande diameters van fietswielen en meest geschikte wielgrootte voor het concept werd gekozen voor 24 inch ETRTO 507. De diameter van de velgen is dus 507 mm. Er werd voor 32-gaats velgen gekozen om compatibel te zijn met de gekozen naven.

De naven en velgen werden dan gespaakt en er werden 24 x 1.75 inch straatbanden op gemonteerd.

TANDWIELVERHOUDING

Aangezien het prototype een single speed fiets is, is de keuze van de tandwielverhouding cruciaal. Hierbij dient rekening gehouden te worden met de wielgrootte, namelijk 24 inch.
Er werd gekozen voor een 42-tands voortandwiel in combinatie met een 16-tands achtertandwiel. Deze tandwielverhouding levert in combinatie met de 24 inch wielen een versnelling van 63 ‘gear-inches’ op, wat voor een doorsnee persoon een ideale verhouding is voor het dagelijks pendelen[48].
Gear ratio = (Diameter achterwiel in inch x aantal tanden tandwiel trapas) / aantal tanden tandwiel achterwiel
Het rekenen in ‘gear-inches’ of ‘gear ratio’ is hier belangrijk, omdat het gekozen 24 inch wiel kleiner is dan een standaard 700c fietswiel.

[48] http://surlybikes.com/info_hole/spew/spew_single-speed_gearing_101

OPSPANNEN KETTING

Aangezien er voor een single speed prototype gekozen werd, moest ook nagedacht worden over een manier om de ketting op te spannen. Hiervoor zijn drie mogelijkheden (Fig. 74 t.e.m. 76).

Figuur 74. Ketting opspanner[49]

Figuur 75. Excentrische BB[50]

Figuur 76. Horizontale sliding dropouts[51]

Er werd gekozen voor een excentrische bottom bracket, omdat dit de eenvoudigste manier is om met een enkelvoudige ophanging de ketting/riem op te spannen. Daarenboven kan zo'n excentrische bottom bracket standaard aangekocht worden.

ONTWERPEN KADER

Keuze productiemethode

Als productiemethode voor de opbouw van het kader werd gekozen voor buizen en lugs, zoals het eerste proof of concept. Aangezien dit prototype tijdens het ontwerpen onderhevig zal zijn aan aanpassingen, levert deze opbouw het meest flexibele platvorm. CNC gefreesde mallen voor een monocoque kader vereisen een groter budget en uitgebreidere productiemogelijkheden. Tevens is een monocoque kader minder flexibel om er vlugge aanpassingen op aan te brengen. Deze productietechniek is meer geschikt voor een later stadium van het ontwerpproces.

Naast de keuze voor buis-met-lug opbouw van het kader moest ook de productiemethode en het materiaal voor de lugs bepaald worden. Hiervoor zijn verschillende mogelijkheden:

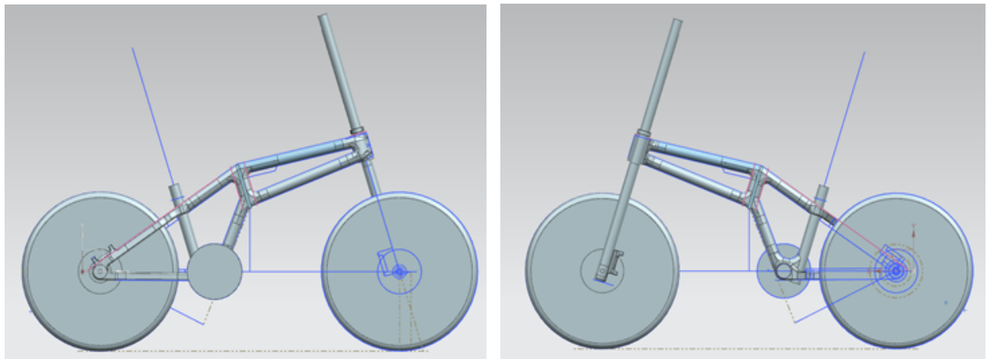
- 3D geprinte kunststof lugs met daarover een composiet lay-up
- vezelversterkt 3D printen van lugs[52]
- sinteren van lugs uit titanium of RVS
- regulier 3D printen van kunststof lugs (ABS of PLA)

Ook bij deze keuze werd geopteerd voor de meest flexibele en budgetvriendelijke productiemethode voor de huidige fase van het prototypen, namelijk het 3D printen van PLA lugs. Zo kan, indien een lug vervangen of aangepast moet worden, makkelijk en vlug een nieuw stuk geprint worden. In een later stadium kan, indien nodig, nog een composiet lay-up op deze kunststof lugs aangebracht worden eens alle lugs met zekerheid correct zijn. Er werd gekozen voor aangekochte standaard carbon fiber buizen om deze lugs te verbinden. Zo kan het gewicht van het frame zo licht mogelijk gehouden worden zonder te moeten inboeten aan structurele stevigheid en torsiestijfheid van het kader.

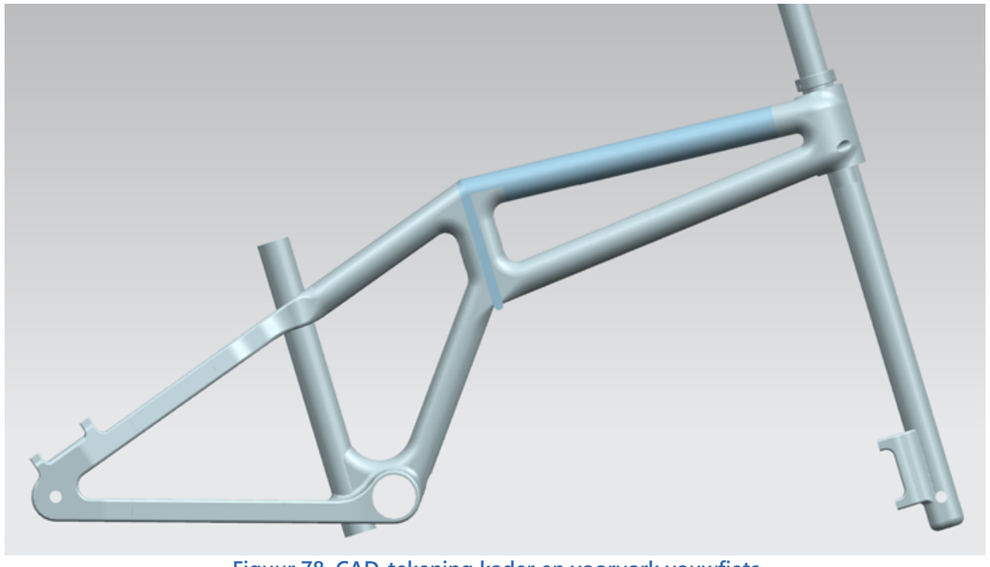
[49] http://forums.mtbr.com/internal-gear-hubs/tensioner-v-eccentric-bottom-bracket-927442.html
[50] https://www.ridemorebikes.com/single-speed-conversion-guide/
[51] http://forums.mtbr.com/singlespeed/horizontal-dropouts-308440.html

CAD

Voor het uitwerken van het finaal full-size prototype werd opnieuw begonnen vanuit CAD. Er werd een volledig nieuwe CAD-tekening van het vouwfietsconcept gemaakt. Hierbij werd een gelijkaardige volgorde gehanteerd als bij de CAD-tekening van het eerste full-size prototype. Eerst werden de globale dimensies en verhoudingen van de vouwfiets ingegeven. Daarna werden vereenvoudigde tekeningen van alle standaardcomponenten op de correcte plaats in de CAD-tekening geplaatst. Daarrond werd dan een vernieuwde versie van het vouwfietsconcept opgebouwd (Fig. 77 & 78).



Figuur 77. Assembly CAD-tekening vouwfiets met vereenvoudigde standaardcomponenten



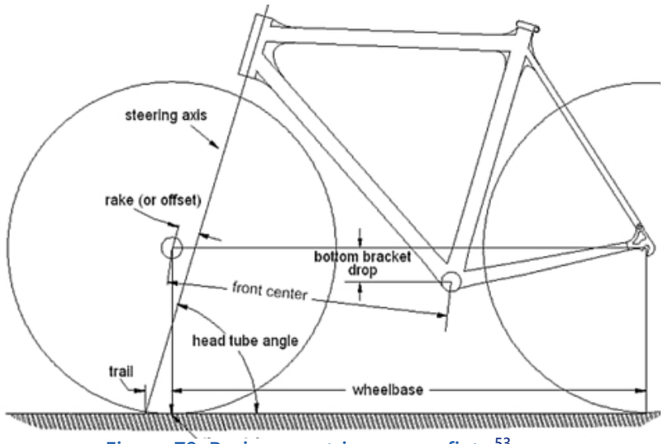
Figuur 78. CAD-tekening kader en voorvork vouwfiets

Bij het ontwerpen van dit finaal prototype werden heel wat aanpassingen gedaan ten opzichte van het eerste full-size prototype. Hieronder worden de voornaamste aanpassingen besproken.

[52] https://markforged.com/

Herontwerpen dimensies

Na het vastleggen van de productiemethode werd het kader geherdimensioneerd en geoptimaliseerd. Belangrijk hierbij was dat de basisgeometrie van de fiets gerespecteerd werd om zo een optimale rijervaring te bekomen (Fig. 79). Zo werd bijvoorbeeld het center van de bottom bracket op 290mm van de grond getekend om genoeg speling te hebben tussen de pedalen en de grond bij het nemen van bochten. Daarnaast werd onder andere een head tube angle en seat tube angle van 73° gehanteerd.



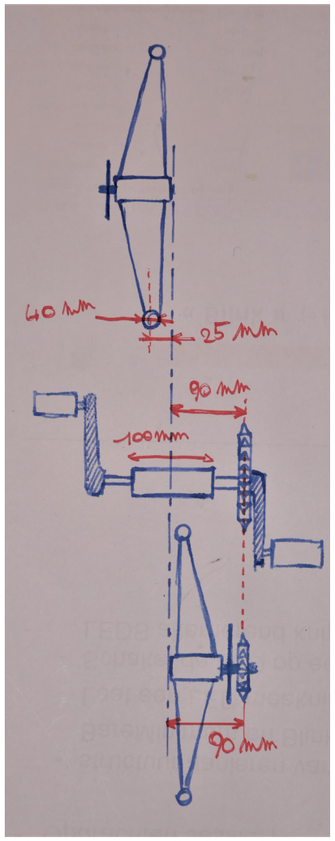
Figuur 79. Basisgeometrie van een fiets [53]

De plaatsing van de hendel voor het centrale vouwmechanisme werd aangepast. In het vorig full-size prototype zat deze hendel verzonken om zo flush te komen met de buizen van het kader. Er werd echter door de stakeholders opgemerkt dat deze hendel hierdoor visueel niet duidelijk zichtbaar is en de intuïtiviteit van het vouwmechanisme vermindert. Daarom werd de lug en de hendel van het centrale vouwmechanisme zo aangepast dat de hendel voldoende uitsteekt en dus visueel veel meer opvalt.
De diameter van de buizen werd vergroot naar verkrijgbare buisdiameter van composiet buizen. Voor de chainstay en de seatstay werden composiet buizen met een rechthoekige doorsnede gekozen. Deze doorsnede is eveneens groter dan de doorsnede van de gebruikte buizen in het vorig prototype.
De buis waarin de zadelpen komt, werd aangepast naar een buis met een binnendiameter waarin een standaard telescopische zadelpen (in dit geval van het merk Tern) past. Een telescopische zadelpen zorgt ervoor dat de fiets compacter dichtgevouwen kan worden en dat daarenboven een groter bereik aan zadelhoogtes beschikbaar is (Fig. 80).

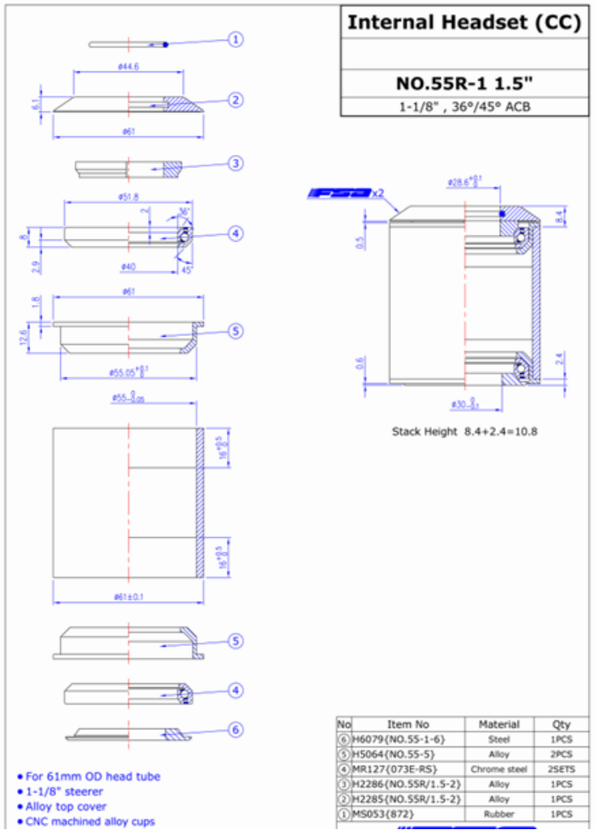
Figuur 80. Standaard telescopische zadelpen [54]

De bottom bracket frame shell werd aangepast om er een excentrische bottom bracket in te kunnen monteren. Aangezien, door de offset gemonteerde wielen met enkelzijdige ophanging, het tandwiel op het achterwiel vrij ver van het center van de fiets verwijderd zit en beide tandwielen in één lijn moeten liggen, moet een zo breed mogelijke bottom bracket gebruikt worden (Fig. 81). De breedste bottom brackets die standaard te verkrijgen zijn, zijn die voor fat-bikes en hiervoor is een bottom bracket shell met binnendiameter 54mm en breedte 99mm vereist[55].

De achter ophanging werd aangepast om het achterwiel eraan te kunnen monteren. Hierbij werd erop gelet dat de binnenkant van het wiel exact op de centerlijn van de fiets ligt (Fig. 81). Daarnaast werd de achterophanging bijgewerkt om het achterwiel met een as met een diameter van 15 mm enkelzijdig te bevestigen. Deze lug moest breed genoeg gemaakt worden om de torsie die op deze as komt te kunnen opvangen. De headtube van het kader werd aangepast zodat er standaard headset lagers in geplaatst kunnen worden (Fig. 82 & 83).



Figuur 81. Benodigde BB breedte

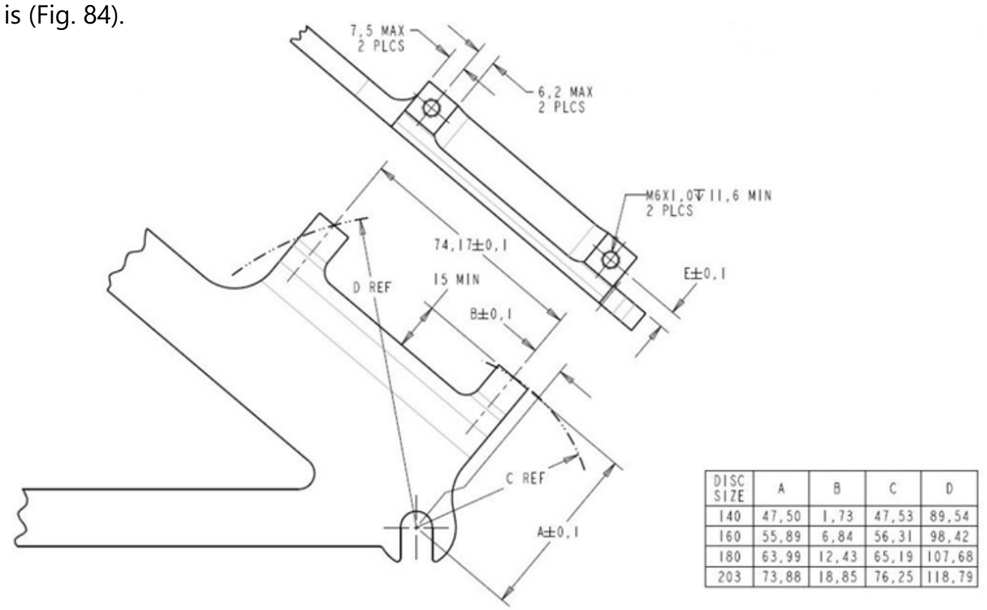


Figuur 82. Blueprint dimensies headset [56]

[53] http://calfeedesign.com/wp-content/uploads/2010/11/frame_stability_sketch.jpg
[54] http://www.ternbicycles.com/uk/gear/471/telescopic-seatpost
[55] https://www.justpedal.nl/nl/eccentric/2137-bushnell-fat-bike-eccentric-bottom-bracket.html
[56] http://fsa-4207.kxcdn.com/wp-content/uploads/2016/07/NO.55R-1-1.5-1.pdf

Figuur 83. Aangepaste head tube lug

Er werd gekozen voor het gebruik van schijfremmen. Hiervoor werd een montagebeugel voor de rem kalipers op de achterophanging ontworpen. De standaardbemating werd genomen voor een remschijf met diameter 160 mm, wat de meest courante maat is (Fig. 84).



DISC SIZE	A	B	C	D
140	47,50	1,73	47,53	89,54
160	55,89	6,84	56,31	98,42
180	63,99	12,43	65,19	107,68
203	73,88	18,85	76,25	118,79

Figuur 84. Standaarddimensies rem kalipers schijfrem [57]

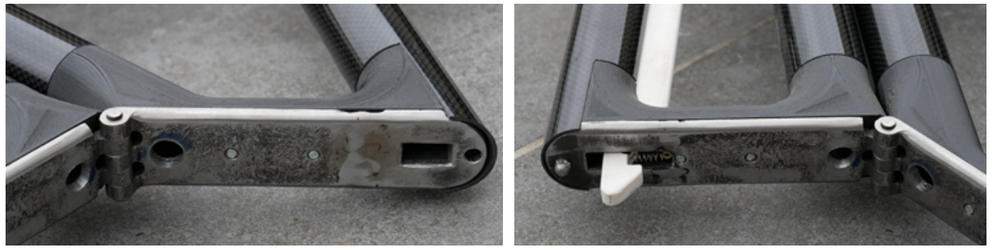
Normaal gezien zitten de remschijven van de fietsen aan de linkerkant. De ontworpen vouwfiets heeft echter een enkelzijdige achterophanging langs de rechterkant. Hierdoor werd het wiel omgedraaid, met als gevolg dat de remschijf aan de rechterkant zit. Om de rem kalipers correct te monteren, werd na enkele prototype-iteraties gevonden dat de beste manier om deze te monteren langs de onderkant van de achterophanging is in plaats van langs de bovenkant (Fig. 85).

[57] http://fcdn.mtbr.com/attachments/brake-time/917999d1408875576-who-makes-post-post-mount-rear-adapters-rear-pm.jpg

Figuur 85. Omgekeerde montage rem kalipers achterophanging

Herontwerpen vouwmechanisme

Om het vouwmechanisme in het kader steviger te maken, werd een metalen scharnierstuk ontworpen dat op de 3D geprinte lugs gemonteerd kan worden (Fig. 86). Zo wordt het meest belaste onderdeel van dit centrale vouwmechanisme uit metaal gemaakt in plaats van dit ook te 3D printen.
Hiervoor werd een stalen scharnier gebruikt waaraan een stuk werd gelast, waarin gaten werden gemaakt en waarop een centreerpin werd gemonteerd. Door de centrale centreerpin wordt een groot deel van de belasting van het scharnier weggenomen en door deze centreerpin opgevangen. De gaten die voorzien werden, zijn voor de hendel van het vergrendelmechanisme, de veer die de hendel dicht houdt en de remkabel of de hydraulische leiding voor de achterrem inwendig door te geleiden.
Het scharnier werd vanuit de achterzijde van de 3D geprinte lug mechanisch verankerd met schroeven.



Figuur 86. Herontworpen vouwmechanisme met metalen scharnier

ONTWERPEN VOORVORK EN STUURPEN

Om het concept van de inschuifbare stuurpen met helix sleuf uit te werken, werden drie telescopische carbon buizen gebruikt. De buis met de grootste diameter doet dienst als de voorvork. In deze buis werd bovenaan een gleuf gemaakt en een zadelklem op gemonteerd. Om het voorwiel en de rem kalipers aan deze voorvork te kunnen bevestigen, werd hiervoor ook een lug ontworpen, die onderaan op de voorvork bevestigd werd.
Om de stuurpen met helix sleuf te maken, werd in de carbon buis met de op een na grootste diameter een gleuf gefreesd. Deze gleuf loopt eerst recht en maakt daarna een helix-beweging van 90°. Daarna werd de buis met de kleinste diameter erin gelijmd. Hierbij werd erop gelet dat geen lijm in de gleuf terechtkwam (Fig. 87).

Figuur 87. Stuurpen met helix gleuf

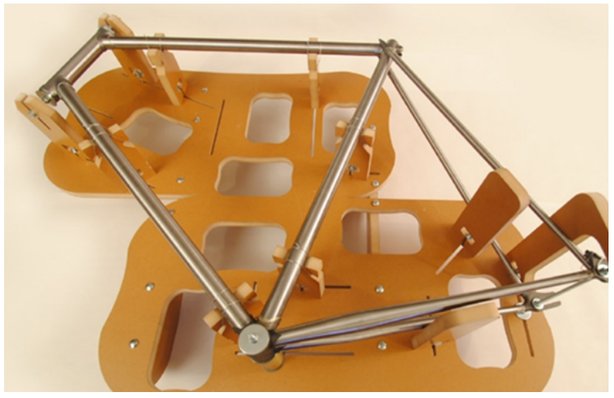
ASSEMBLAGE FIETS

Zodra alle lugs geprint waren, de carbon fiber buizen op maat gezaagd waren en de custom onderdelen gemaakt waren, kon het kader geassembleerd worden voor een test-fit (Fig. 88). Zoals eerder reeds aangehaald, waren van meerdere lugs verschillende iteraties nodig om alles perfect te laten passen en de standaardonderdelen perfect te kunnen integreren.

Figuur 88. Alle benodigde lugs en buizen voor het kader

Door de ronde doorsnede van de buizen op de lugs was op het niet verlijmde kader bij de test-fit redelijk wat torsie-speling. Om het kader correct recht te verlijmen, was dus een jig nodig (Fig. 89).

Figuur 89. Alle benodigde lugs en buizen voor het kader



Figuur 90. Voorbeeld 'JIG' om fietskaders te maken[58]

Gezien de eenvoudige geometrie van het kader kon echter een vereenvoudigde opstelling met afstandshouders gemaakt worden, waarbij gewichten gebruikt werden om het kader tegen de afstandshouders te duwen na het verlijmen (Fig. 90).

Figuur 91. Verlijmen kader vouwfiets op cusom 'JIG'

[58] https://www.kickstarter.com/projects/1640002012/the-jiggernaut-bringing-bicycle-frame-building-to

Na het verlijmen van het kader en de voorvork moesten nog enkele custom onderdelen gemaakt worden.

Om de wielen te bevestigen, werden custom stalen assen gemaakt met diameter 15mm. Op de uiteinden werd schroefdraad getapt om zo de wielen op de assen te kunnen spannen met schroeven.
Doordat het tandwiel op de trapas 90mm van het center van de fiets gepositioneerd moet worden om in lijn te liggen met het achtertandwiel, was een enorm brede crankas nodig. Aangezien daarenboven een 100mm brede bottom bracket gebruikt werd, moest een custom crankas gedraaid worden (Fig. 91). Eens alle componenten van de vouwfiets klaar waren, kon de fiets geassembleerd worden (Fig. 92).

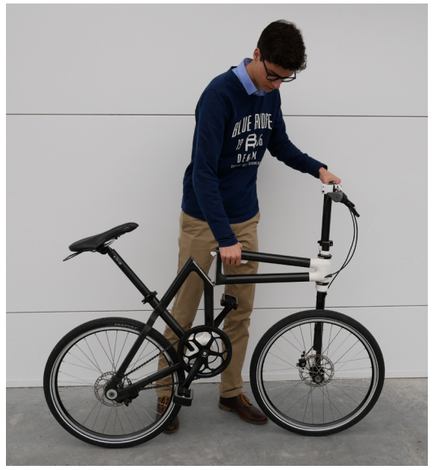
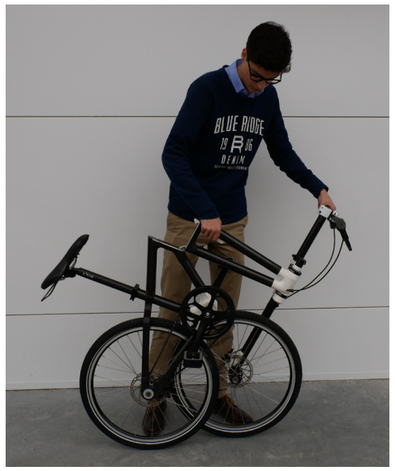
Figuur 92. Custom crankas & assemblage excentrische BB

FINAAL PROTOTYPE

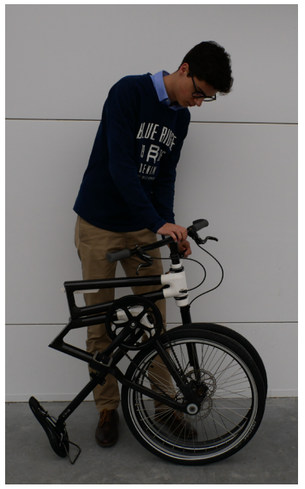
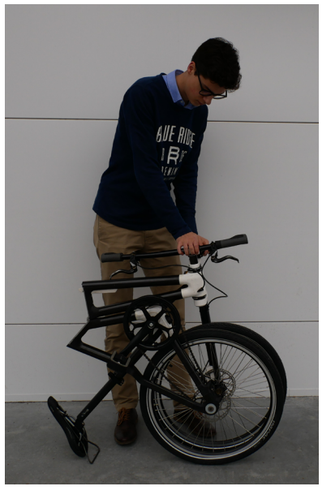
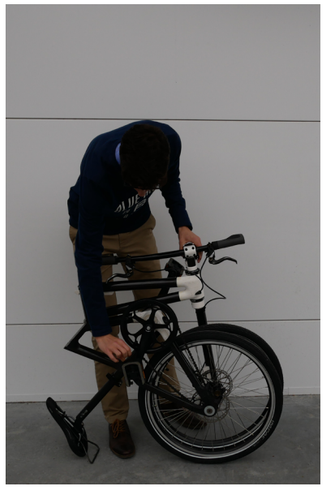
Figuur 93. Alle componenten van de ontworpen vouwfiets

Figuur 94. Finaal prototype

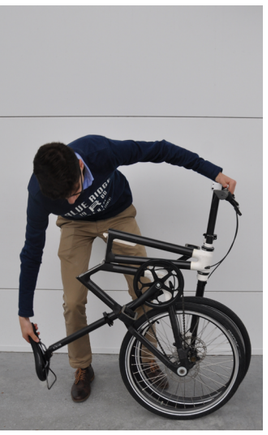
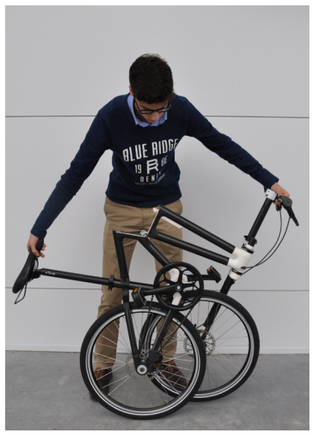
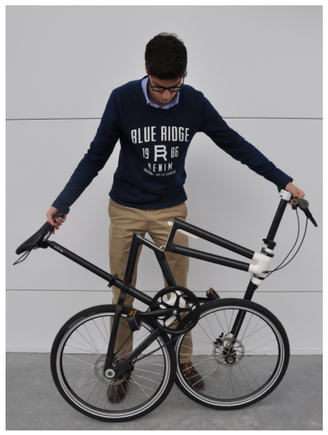
Figuur 95. Finaal prototype dichtgevouwen

Figuur 96. Dichtvouwen van kader door middel van opwaartse hefbeweging

Figuur 97. Inschuiven telescopische stuurpen

Figuur 98. Openvouwen van kader door het opwaarts naar elkaar toe bewegen van stuur en zadel

Figuur 99. Details finaal prototype

Figuur 100. Dragen van het prototype

Figuur 101. Trolley-functie

CONCLUSIE

Het finaal prototype voldoet aan de vooraf gestelde wensen. De nodige standaardcomponenten zoals wielen, remmen, pedalen... zitten in het finaal model geïntegreerd. De fiets kan gevouwen worden zoals gewenst en de testen kunnen uitgevoerd worden.

Figuur 102. Finaal prototype

Figuur 102. Finaal prototype concept vouwfiets

HOOFDSTUK 4/
TESTEN

"Any product that needs a manual to work is broken."
- ELON MUSK -

In dit hoofdstuk worden de testen beschreven die uitgevoerd werden om hypothesen in verband met de ontworpen vouwfiets te onderbouwen, maar ook om de usability van de vouwfiets en de gebruikservaring van pendelaars bij het gebruik na te gaan.

4.1 Offset wielen

Een eerste reeks testen die uitgevoerd werden, zijn testen omtrent het niet in lijn staan van de twee wielen van de vouwfiets. De wielen staan parallel uitgelijnd door de tegenovergestelde offset waarmee beide wielen bevestigd zijn. Het niet in lijn staan van het voorwiel ten opzichte van het achterwiel is cruciaal voor het concept, aangezien dit ervoor zorgt dat een scharnier met horizontale scharnieras gebruikt kan worden om te vouwen. Dit zorgt er dan voor dat het voor- en achterwiel met enkelzijdige ophanging perfect naast elkaar komen te staan in dichtgevouwen toestand.

PILOOTTEST 1

Om dit zo eenvoudig mogelijk te testen, werd aan het voorwiel van een vouwfiets een offset van 8,5 cm gegeven door het naast de voorvork te monteren (Fig. 103).

Figuur 103. Voorwiel naast de voorvork gemonteerd met enkelzijdige ophanging

De rijervaring van deze vouwfiets werd tijdens pilot tests door meerdere personen getest (Fig. 104). Deze testpersonen hadden reeds op die fiets gereden voor de aanpassing uitgevoerd werd als nulmeting. Zo konden ze een duidelijk verschil in rijervaring waarnemen, wat zorgde voor betere testresultaten.

Figuur 104. Het testen van de rijervaring met het offset gemonteerde voorwiel

OPMERKINGEN

Negatief

- Aangezien de headset van de fiets niet recht boven het voorwiel ligt, heeft het voorwiel en dus ook het stuur de neiging naar links weg te draaien als het wiel rechts gemonteerd zit en vice versa. Er moet dus bij het rijden iets meer druk uitgeoefend worden op de linkerkant van het stuur dan op de rechterkant. In het begin voelt het raar aan, maar het went heel vlug.

Positief

- Rekening houdend met deze kleine gewaarwording in het begin, is er geen verschil te merken in rijgedrag.
- De fiets draait even vlot naar links als naar rechts, trekt niet tegen of voelt niet onstabiel aan, zowel bij hoge als lage snelheden.

Conclusie

De eerste test geeft alvast een positief resultaat, maar een tweede test moet volgen waarbij de headset zich wel correct boven het voorwiel bevindt.

PILOOTTEST 2

Bij de tweede test werd de offset van de wielen veroorzaakt door het fietskader van een vouwfiets in het midden los te maken en het naast elkaar terug vast te zetten (Fig. 105). Hierdoor werd een offset van 5,5cm bekomen.

Figuur 105. Testfiets met offset in het kader gemonteerd

Bij deze test werd ook het stuur met een aantal cm offset gemonteerd (Fig. 106). Dit is om ervoor te zorgen dat het stuur, het zadel en de pedalen wat meer in lijn staan.

Figuur 106. Stuur met offset gemonteerd

Figuur 107. Het testen van de rijervaring met de offset in het kader

OPMERKINGEN

Positief

- De rijervaring is niet anders dan met een gewone fiets. Bochten naar links en naar rechts voelen hetzelfde aan en de fiets wijkt niet spontaan naar één kant af, dit zowel bij hoge als lage snelheden. Deze vouwfiets is zo stabiel dat er perfect zonder handen gereden kan worden (Fig. 107).
- Dat het stuur met een offset gemonteerd is, wordt niet aangevoeld tijdens het fietsen.

Negatief

- Aangezien het stuur niet in lijn staat met het zadel en de pedalen, voelt dit tijdens het fietsen wat raar aan. Dit is echter alleen het geval als er expliciet op gelet wordt. Door ook het stuur met een offset te monteren, wordt deze schuine rijpositie grotendeels weggewerkt.

Conclusie

Uit de pilot tests blijkt dat het niet in lijn staan van de wielen de rijkarakteristiek van een vouwfiets niet voelbaar beïnvloedt. Wat wel merkbaar is, is het niet in lijn staan van het stuur, het zadel en de pedalen als gevolg van de offset in het kader.
In de prototypes echter zit het niet in lijn staan van de wielen geïntegreerd in de offset waarmee ze gemonteerd zijn in plaats van in de offset in het kader. Het stuur, het zadel en de pedalen staan dan wel op één lijn met als gevolg dat de zithouding van de fietser niet wijzigt ten opzichte van een standaardfiets.

GEBRUIKERSTEST

INLEIDING

Na het uitvoeren van de piloottesten werd een comparatieve blinde user test gedaan om de hypothese met kwantitatieve data te onderbouwen. De hypothese is dat het niet in lijn staan van de twee wielen van een fiets de rijervaring niet beïnvloedt, mits de offset goed weggewerkt is en beperkt blijft.

METHODE

Deze gebruikerstest werd uitgevoerd door 25 random testpersonen die geen voorkennis hadden van het ontwerpproces en het doel van de test. In deze comparatieve test werden twee gelijkaardige vouwfietsen gebruikt: de ene was de aangepaste fiets met de parallel offset wielen en de andere was de onaangepaste fiets. Beide kaders van de fietsen werden identiek ingepakt, zodat het verschil tussen beide fietsen niet zichtbaar was (Fig. 108).

Aan de testpersonen werd gevraagd om met beide fietsen een vooraf gedefinieerd parcours af te leggen. Hierbij moesten ze eerst rechtdoor rijden en daarna slalommen tussen paaltjes. Er werd vooraf geen extra uitleg gegeven omtrent het doel van de test of de reden van de ingepakte kaders. De volgorde van de te testen fietsen werd random gekozen.
Achteraf werd aan de testpersonen gevraagd of hen iets was opgevallen. Er werd hen gevraagd of de fietsen anders aanvoelden bij het rechtdoor rijden en bij het maken van bochten. Indien een testpersoon de offset opmerkte, werd gevraagd of dit een negatieve invloed had op de rijervaring.

Figuur 108. De kaders van beide testfietsen identiek ingepakt

TESTRESULTATEN

Niemand van de 25 testpersonen ondervond een negatieve impact op de rijervaring veroorzaakt door de offset in één van de twee testfietsen (Fig. 109). Bij beide testfietsen voelde het rijden gelijkaardig aan, zowel bij het rechtdoor rijden als bij het maken van bochten. Slechts één persoon had de parallel offset wielen opgemerkt. Hij had dit opgemerkt door de scheve rijpositie die reeds in piloottest 1 werd aangehaald. Buiten deze scheve rijpositie ervaarde ook hij geen negatieve impact op de rijprestaties en de rijkarakteristieken van deze aangepaste fiets.

Figuur 109. Testpersonen die de gebruikerstest van de offset wielen uitvoeren

CONCLUSIE

Er kan dus gesteld worden dat het niet in lijn staan van de wielen geen merkbare impact heeft op de rijervaring met de fiets. Een scheve rijpositie daarentegen kan de rijervaring wel negatief beïnvloeden. Een voorwaarde hierbij is dus dat het niet in lijn staan van de wielen op een goede manier geïntegreerd is in het vouwfietsconcept. In de ontworpen vouwfiets is deze parallelle uitlijning geïntegreerd in de offset waarmee de wielen gemonteerd zijn in plaats van in de offset in het kader. De rijpositie zal dus perfect recht zijn.

4.2 Intuïtiviteitstest

INLEIDING

De usability van een product kan op basis van vijf criteria onderzocht worden: Effectiveness, Efficiency, Engaging, Error Tolerance en Easy to Learn. Om de usability van het vouwfiets concept te onderzoeken, werden meerdere testen uitgevoerd. De eerste test die uitgevoerd werd, is de intuïtiviteitstest. De hypothese die bij deze test nagegaan wordt, is dat de ontworpen vouwfiets intuïtiever open- en dicht te vouwen is dan de benchmark vouwfietsen.

METHODE

De intuïtiviteitstest is een comparatieve test tussen het ontworpen concept en twee benchmark vouwfietsen die het huidige marktaanbod representeren. Als benchmarks werden een Dahon en een Brompton gebruikt, aangezien deze de meest verkochte vouwfietsen zijn en beide een ander vouwmechanisme hebben.

Deze gebruikerstest werd uitgevoerd door 20 testpersonen tussen de 25 en 45 jaar die geen voorkennis hebben over het concept en het vouwen van vouwfietsen (Bijlage 2). Aan deze testpersonen werd gevraagd alle drie de vouwfietsen open en dicht te vouwen zonder dat ze vooraf enige uitleg kregen over hoe de fietsen gevouwen moesten worden (Fig. 110). Tijdens de test werd ook geen hulp aangeboden of niet ingegrepen, tenzij ze een fiets zouden beschadigen. De tijd die de testpersonen nodig hadden om elke fiets open en dicht te vouwen, werd getimed om zo de resultaten van de verschillende vouwfietsen achteraf te kunnen vergelijken. Er werd tevens gecontroleerd of de fietsen correct gevouwen waren.

Voor het dichtvouwen werd aan de testpersonen gevraagd om de fiets zo compact mogelijk dicht te vouwen, zoals zij dachten dat de fiets moest gevouwen worden. De testpersonen moesten zelf stop zeggen van zodra ze klaar waren met open- of dichtvouwen of indien ze niet verder konden. Het open- en dichtvouwen van de vouwfietsen in de testen omvatte dus alle te vouwen elementen aan de fiets, inclusief de stuurpen, het zadel en de pedalen.

Om een uitgebreider zicht te krijgen op de intuïtiviteit van het vouwen, begonnen 10 testpersonen met dichtgevouwen fietsen die ze eerst moesten openvouwen en daarna terug dichtvouwen. De andere 10 testpersonen vertrokken van opengevouwen fietsen die ze eerst moesten dichtvouwen en daarna terug openvouwen. In welke volgorde de testpersonen de drie fietsen moesten vouwen, werd random gekozen.

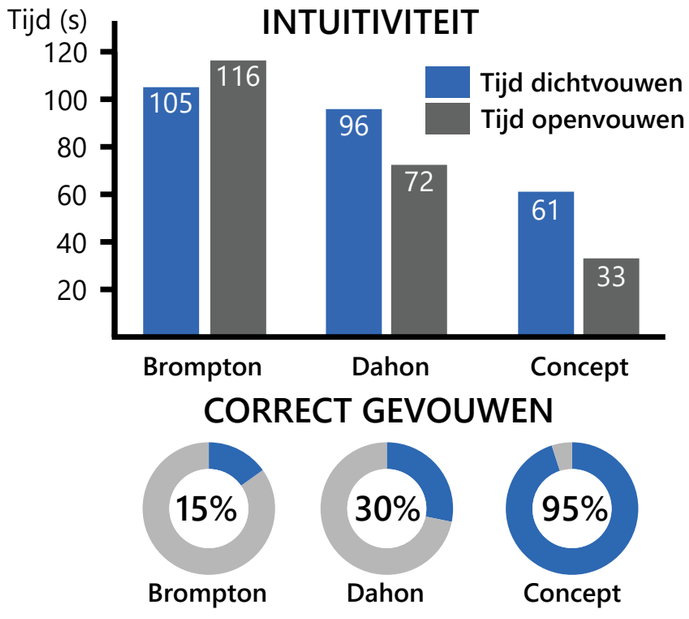
Om de testpersonen die er niet in slaagden een vouwfiets open of dicht te vouwen niet onnodig tijd te laten verliezen en om de testresultaten niet negatief te beïnvloeden, werd voor elke vouwfiets een tijdslimiet van drie minuten gehanteerd die werd bepaald tijdens de piloottesten.

Naast het timen werden ze tijdens de volledige test geobserveerd om te zien waar het tijdens het vouwen fout liep en waarmee ze moeite hadden. Zeker voor het vouwfiets concept was deze informatie cruciaal om zo inzicht te kunnen krijgen in hoe de stakeholders het vouwmechanisme interpreteren en om indien nodig het ontwerp bij te werken en te optimaliseren.

Figuur 110. Een van de testpersonen voert de comparatieve intuïtiviteitstest uit

TESTRESULTATEN

De gemiddelde tijd die de testpersonen nodig hadden om de ontworpen vouwfiets dicht te vouwen was 61 s en open te vouwen 33 s. Bij de Dahon was dit respectievelijk 96 s en 72 s en bij de Brompton 105 s en 116 s. Daarenboven slaagden 19 van de 20 testpersonen erin de ontworpen vouwfiets correct te vouwen, terwijl dit bij de Dahon slechts 6 van de 20 testpersonen was en bij de Brompton slechts 3 van de 20 (Fig. 111). De uitgebreide testresultaten zijn terug te vinden in bijlagen 3 t.e.m. 5.



Figuur 111. Samenvatting testresultaten gebruikerstest intuïtiviteit

CONCLUSIE

Deze testresultaten tonen aan dat het dichtvouwen en zeker het openvouwen van de ontworpen vouwfiets veel intuïtiever is dan de twee geteste benchmarks. Dit kan afgeleid worden uit de tijd die de testpersonen nodig hadden om het concept te vouwen. Die is namelijk veel kleiner dan bij de benchmark fietsen. Daarenboven slaagden veel meer testpersonen erin de ontworpen vouwfiets correct open en dicht te vouwen, met name 19 van de 20 testpersonen, terwijl dit bij de Dahon slechts 6 van de 20 testpersonen was en bij de Brompton slechts 3. Dit toont ook aan dat de ontworpen vouwfiets makkelijker en intuïtiever correct te vouwen is en dit is reeds een eerste indicatie dat de usability ervan ook hoger is.

4.3 Snelheidstest

INLEIDING

De tweede manier waarop de usability en dus de gebruiksvriendelijkheid van het vouwfiets concept onderzocht werd, is door middel van de snelheidstest. De hypothese die bij deze test nagegaan wordt, is dat de ontworpen vouwfiets sneller open- en dichtgevouwen kan worden dan de benchmark vouwfietsen.

METHODE

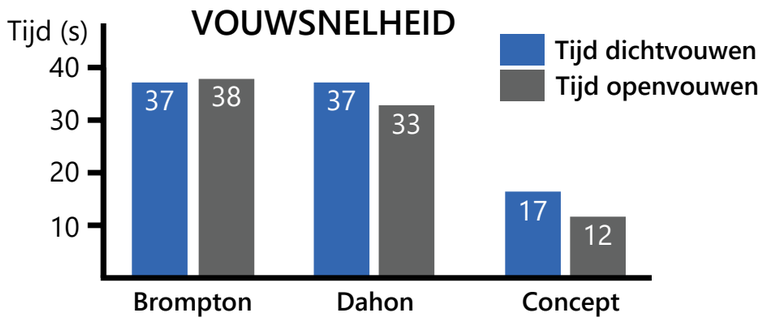
Deze snelheidstest is opnieuw een comparatieve test waarbij de snelheid van het vouwen van het ontworpen concept vergeleken wordt met dezelfde twee benchmarks die het marktaanbod representeren, namelijk een Dahon en een Brompton. Deze test werd uitgevoerd door dezelfde 20 testpersonen nadat ze de intuïtiviteitstest uitgevoerd hadden (Bijlage 2). Voor het uitvoeren van de snelheidstest werd aan elke testpersoon de correcte vouwmethode van elke vouwfiets getoond en kregen de testpersonen de tijd om de vouwbeweging in te oefenen tot ze zelf vonden dat ze deze onder de knie hadden. Dit was meestal een tweetal keer open- en dichtvouwen per fiets (Fig. 112).

Achteraf werd aan elke testpersoon gevraagd van welke fiets ze het gevoel hadden dat die het snelst en het vlotst vouwt en welke fiets volgens hen het traagst en het minst vlot vouwt. Dit is meer gericht op de gebruikservaring dan de usability. De gevoelsmatige vouwsnelheid kan namelijk anders zijn dan de werkelijke, getimede vouwsnelheid.

Figuur 112. Een van de testpersonen voert de comparatieve snelheidstest uit

TESTRESULTATEN

De testpersonen slaagden erin de ontworpen vouwfiets dicht te vouwen in gemiddeld 17 s en open te vouwen in gemiddeld 12 s. Bij de Dahon was dit respectievelijk 37 s en 33 s en bij de Brompton 37 s en 38 s (Fig. 113). De uitgebreide testresultaten zijn terug te vinden in bijlage 6.



Figuur 113. Samenvatting testresultaten gebruikerstest vouwsnelheid

Alle testpersonen ervaarden de ontworpen vouwfiets als de vouwfiets die het snelst en het vlotst vouwt. 11 van de 20 testpersonen vonden dat de Dahon het op één na snelst aanvoelt en de Brompton het traagst, terwijl de rest het omgekeerde ervaarden.

CONCLUSIE

Zoals verwacht tonen de resultaten van de snelheidstest aan dat de tijd waarin de ontworpen vouwfiets open- en dichtgevouwen kan worden veel kleiner is dan de geteste benchmarks.

De vouwtijden van de snelheidstest in het algemeen zijn iets trager dan verwacht. Dit komt omdat alle testpersonen de drie fietsen slechts een beperkt aantal keer gevouwen hebben. Indien stakeholders een vouwfiets voor een langere periode gebruiken, zullen deze tijden uiteraard nog verbeteren.

ALGEMENE CONCLUSIE GEBRUIKERSTESTEN VOUWEN

De testresultaten van zowel de intuïtiviteitstest als de snelheidstest tonen aan dat het open- en dichtvouwen van de ontworpen vouwfiets gebruiksvriendelijker is en een verbetering van de gebruikservaring is ten opzichte van de belangrijkste benchmark vouwfietsen.

Een te verwachten negatieve invloed op de gebruikerstesten is dat het prototype ietwat fragiel is. Hierdoor hadden de testpersonen schrik om er een verkeerde handeling mee uit te voeren en mogelijks iets stuk te maken. Deze voorzichtige handelingen vertraagden de snelheid waarmee de vouwfiets gevouwen werd.

Daarnaast zorgden bepaalde aspecten, waar nog ruimte is voor verbetering, voor een iets minder vlotte en dus tragere vouwbeweging. Dit zijn elementen zoals de kleine speling op het centrale scharnier en de standaard wielen.

Zowel de intuïtiviteitstest als de snelheidstest kunnen daarom niet gezien worden als volledig statistische testen, maar eerder exploratieve testen die uitgevoerd werden om hypothesen te onderbouwen en het verdere ontwerpproces te sturen. Statistische testen kunnen pas echt uitgevoerd worden eens een verkoopklaar prototype, gemaakt volgens de correcte productiemethode en componenten, ter beschikking is.

4.4 Gebruikerstest customer journey

INLEIDING

Bij het onderzoeken welke aspecten de gebruikerservaring bij het gebruik van een vouwfiets tijdens het pendelen bepalen, werd tot de constatatie gekomen dat de combinatie van alle aspecten van de vouwfiets het gebruiksgemak doorheen het volledige pendeltraject samen de gebruikerservaring bepaalt. Hierbij speelt ook de context een heel belangrijke rol [9]. Om de totaalervaring te onderzoeken, werd dus een laatste gebruikerstest uitgevoerd waarbij testpersonen een volledig pendeltraject doorliepen met de ontworpen vouwfiets. De hypothese bij deze test is dat de main value propositions erkend worden en als meerwaarde ervaren worden door de testpersonen. Dit moet leiden tot een algemene verbetering van de gebruikservaring van de pendelaars. Daarnaast is het ook de bedoeling dat bij deze gebruikerstest zaken aan het licht komen die nog verbeterd kunnen worden of aangepast moeten worden aan het vouwfietsconcept.

METHODE

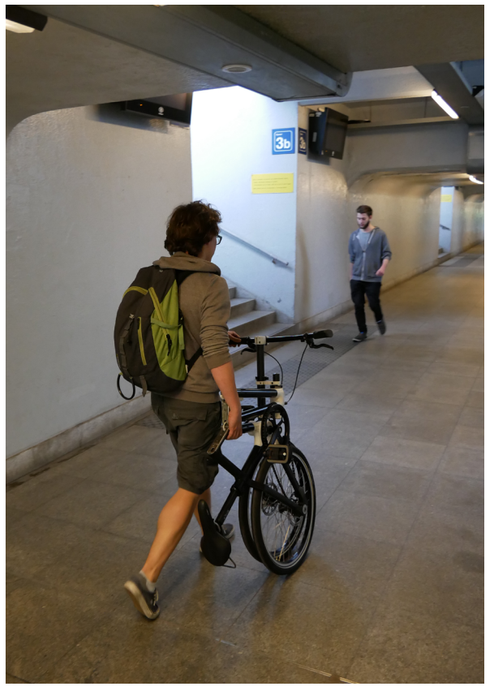
De laatste gebruikerstest werd uitgevoerd door drie testpersonen aan wie vooraf het volledig concept van de ontworpen vouwfiets werd uitgelegd en het vouwen ervan werd gedemonstreerd. Eén van de testpersonen bezit momenteel zelf een Dahon vouwfiets. De twee andere testpersonen hadden vooraf de intuïtiviteits- en snelheidstest uitgevoerd om zo toch enig inzicht te verwerven in de populairste benchmark vouwfietsen.

Er werd aan de testpersonen gevraagd om het think-aloud protocol toe te passen [22]. Door de testpersonen alles wat ze dachten, deden of moeite mee hadden hardop te laten zeggen, kon een beter inzicht in hun gedachtengang verkregen worden tijdens het uitvoeren van de gespecificeerde taken. Daarnaast werden ze tijdens het volledige pendeltraject geobserveerd en werden hun handelingen geanalyseerd (Fig. 114 t.e.m. 116).

Nadien werd een kort interview afgenomen om dieper in te gaan op hun ervaringen en om belangrijke informatie over eventuele aanpassingen/verbeteringen te achterhalen.

Figuur 114. Testpersonen gedurende hun pendeltraject met de onworpen vouwfiets

Figuur 115. Testpersoon gedurende zijn pendeltraject met de onworpen vouwfiets



Figuur 116. Testpersoon gedurende zijn pendeltraject met de ontworpen vouwfiets

TESTRESULTATEN

Tijdens deze gebruikerstest kwamen enkele elementen naar voor die nog voor verbetering vatbaar zijn. Sommige elementen waren verwacht of kwamen al aan bod tijdens de piloot-testen, terwijl andere onverwacht waren en pas aan het licht kwamen door de vouwfiets in de context te gebruiken door pendelaars.

Verwacht

- Custom wielen waarbij geen naaf uitsteekt (=> volledig vlak langs de binnenkant van de fiets). Dit is vooral nodig om hem makkelijk als een 'trolley' voort te trekken.
- Krachtiger magneet om de wielen dicht te houden in dichtgevouwen toestand.
- Telescopische zadelpen om de fiets compacter te kunnen vouwen.
- De fiets laten rusten op het zadel in plaats van op het stuur bleek veel intuïtiever en ook meer ergonomisch. Hiervoor werd reeds een bracket-staander aan het zadel bevestigd na de piloottesten.

Onverwacht

- Voor kleine stakeholders is de vouwfiets in dichtgevouwen toestand nogal groot. Hierdoor gaat het dragen van de vouwfiets op de trap minder vlot.

Naast de mogelijke verbeteringen die aan het licht kwamen, bevestigde deze test ook effectief heel wat hypothesen en werden de main value propositions als grote voordelen of verbeteringen aanzien door de testpersonen.

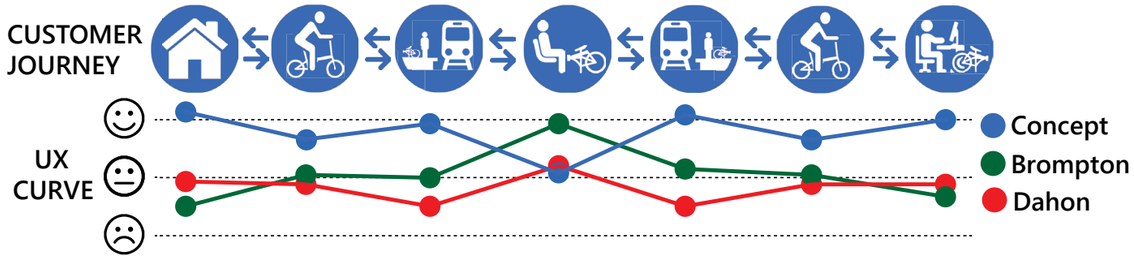
Voor de testpersonen was het belangrijkste aspect uit deze test het heel snel, makkelijk en niet-belastend vouwen van de vouwfiets. Daarnaast was het kunnen voorttrekken van de fiets als een 'trolley' een pluspunt, ondanks het feit dit nog niet erg vlot ging door de standaardwielen. Ook de sportieve en performante look van de vouwfiets vonden ze een enorme verbetering ten opzichte van benchmark vouwfietsen. Het gemakkelijk kunnen vastnemen en dragen werd ook als een positief element aangebracht.

CONCLUSIE

Zoals verwacht was deze gebruikerstest een heel nuttige test naar de usability van de vouwfiets en het verdere verloop van het ontwerp van deze concept vouwfiets toe.
De 'testresultaten' in verband met de gebruikservaring van de testpersonen zijn vrij moeilijk weer te geven. Daarom werd de gebruikservaring van deze test vergeleken met de gebruikservaring van de initiële gebruikerstests in het begin van het ontwerpproces, waar vele benchmark vouwfietsen van het huidige marktaanbod, waaronder de Dahon en de Brompton getest werden.
Daarnaast heeft één van de testpersonen deze gebruikerstest comparatief afgelegd en de test dus zowel met de concept vouwfiets, de Brompton als de Dahon afgelegd. Deze volledig comparatieve test nam echter te veel tijd in beslag om dit door alle drie de testpersonen te laten uitvoeren.

Uit deze bevindingen werd de gebruikservaring van de testpersonen op een User Experience curve aangebracht. Daarnaast werd ook de gebruikservaring bij het pendelen met een Dahon en Brompton op dezelfde grafiek aangebracht. Zo is heel duidelijk zichtbaar waar in de customer journey de ontworpen vouwfiets een verbetering is ten opzichte van de benchmarks (Fig. 117).

De ontworpen vouwfiets kreeg tijdens deze gebruikerstest veel aandacht van mede-pendelaars. De meesten waren vooral geïntrigeerd door de enkelzijdige ophanging en enkelzijdige voorvork. Bij het open- en dichtvouwen van de vouwfiets waren tal van treinreizigers verrast door de vlugge en vlotte vouwbeweging.



Figuur 117. UX curve van zowel de ontworpen vouwfiets als de twee benchmarks

HOOFDSTUK 5/
CONCLUSIE

"A designer is an emerging synthesis of
artist, inventor, mechanic, objective economist,
and evolutionary strategist."
- BUCKMINSTER FULLER -

Het resultaat van het doorlopen ontwerpproces is een prototype van een performante en gebruiksvriendelijke vouwfiets, met als doel een zo optimaal mogelijke gebruikservaring van pendelaars te bekomen bij het gebruik van de vouwfiets als aanvulling op het openbaar vervoer bij multimodaal transport.

Een **eerste feature** zijn de 24 inch ETRTO 507mm wielen. Dit is een maat tussen de traditionele 20 inch vouwfietswielen en de standaard 26 inch of 700c stadsfietswielen. Deze tussenmaat resulteert in een perfect evenwicht tussen rijcomfort, stabiele rijkarakteristiek op ruwe wegen of bij hoge snelheden en compactheid na het vouwen.

Een **tweede feature** is de eenvoud van het vouwmechanisme en de snelheid waarmee het kader van de fiets open- en dichtgevouwen kan worden. Dit kan in één eenvoudige, vlotte beweging. Het dichtvouwen gebeurt door de fiets op de plaats van de hendel verticaal omhoog te heffen. Door deze opwaartse hefbeweging wordt de hendel ingedrukt, ontgrendelt het sluitmechanisme en rollen de wielen naar elkaar toe waardoor de fiets dichtvouwt. Het openvouwen gebeurt door de fiets bij het stuur en zadel te nemen en met een opwaartse beweging naar elkaar toe te bewegen. Hierdoor rijden de wielen uit elkaar en vouwt het kader van de fiets open. De hendel van het sluitmechanisme klikt zich dan vanzelf vast, waardoor het vouwmechanisme van het kader vergrendeld is. Zowel bij het open- als dichtvouwen dient de fiets op geen enkel moment volledig opgetild of gedragen te worden, aangezien de fiets steeds op de wielen blijft steunen. Hierdoor is het vouwen minder belastend en dus veel aangenamer voor de gebruiker. Een bijkomend voordeel van het vouwmechanisme met het vergrendelmechanisme is de foutbestendigheid ervan. Door het gewicht van de fiets zelf en ook door het gewicht van de gebruiker die ermee fietst, wordt het vouwmechanisme steeds dicht geduwd. Bij het falen van de hendel van het vergrendelmechanisme blijft het vouwmechanisme van het kader steeds dicht, tenzij de fiets omhoog getild wordt. De fiets kan dus tijdens het rijden niet openvallen, zelf wanneer er iets tussen het vouwmechanisme geklemd zit. Dit zorgt er ook voor dat er geen nood is aan een extra veiligheid op het vergrendelmechanisme, wat dan weer resulteert in het sneller, gebruiksvriendelijker en intuïtiever vouwen van het kader.

Een **derde feature** is de trolley-functie, waarbij de fiets in dichtgevouwen toestand kan voortgetrokken worden als een ‘trolley’. Dit kan al na het dichtvouwen van het kader en indien gewenst ook na het inschuiven van de zadelpen. Zo kan het stuur dan gebruikt worden als handvat om de fiets voort te trekken. Met de mogelijkheid om bagage op de bagagedrager van de fiets te bevestigen, kan op deze manier zowel de fiets als de bagage voortgetrokken worden. Ook deze feature zorgt ervoor dat de gebruiker zo weinig mogelijk belast wordt tijdens het pendeltraject.

Een **vierde feature** is de integratie van de instelbare stuurhoogte in het compacteringsmechanisme van het stuur en de stuurpen. In de ontworpen vouwfiets wordt de stuurpen telescopisch ingeschoven in de voorvork in plaats van de stuurpen te vouwen, zoals bij benchmark vouwfietsen gedaan wordt.

Bij het inschuiven van de stuurpen wordt deze begeleid met een pen-sleuf geleiding. In het eerste gedeelte van het inschuiven verloopt deze beweging recht, wat resulteert in een instelbare stuurhoogte. In het laatste gedeelte maakt de sleuf een helixbeweging, waardoor het stuur een hoekverdraaiing van 90° maakt. Hierdoor komt het stuur parallel met en tegen het kader te liggen in een zo compact mogelijke toestand. De integratie van deze beide features in één mechanisme vermindert het aantal sluitmechanismen en klemmen, wat de vouwfiets in zijn geheel zo veel mogelijk vereenvoudigt en faal-vrij maakt.

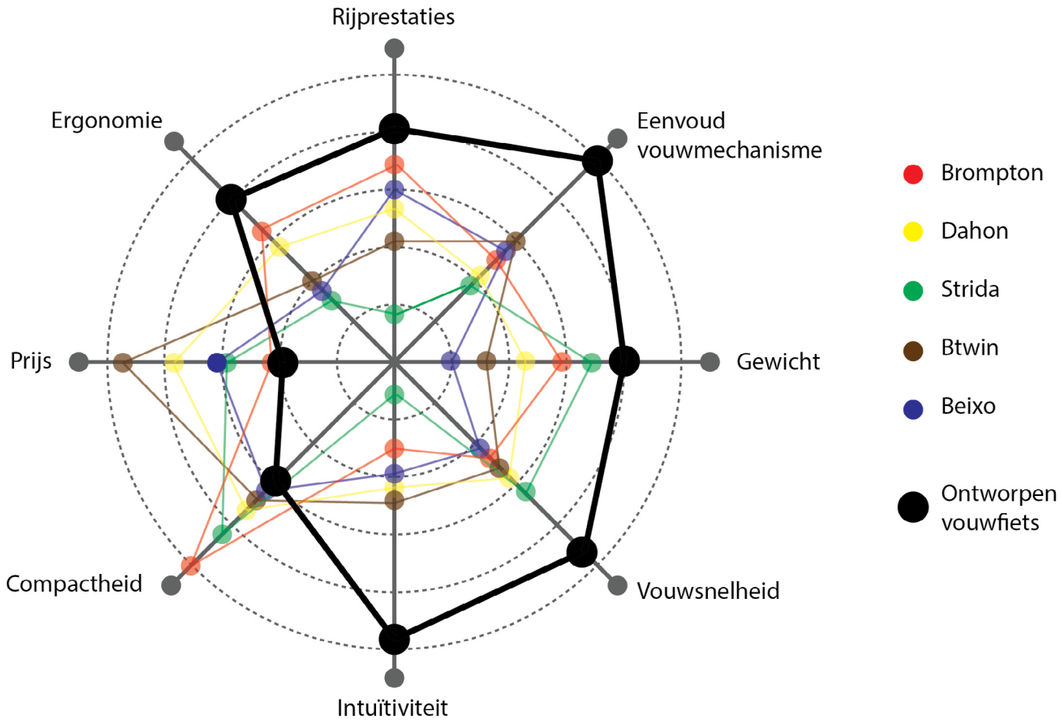
Al deze features zitten verwerkt in een vouwfiets met een vormgeving die een performante look en feel uitstraalt. Deze vouwfiets heeft ook nog vele kleinere features, zoals hydraulische schijfremmen en inklapbare pedalen. Daarnaast zit de hydraulische remleiding voor de achterrem volledig verwerkt in het kader, zodat deze tijdens het vouwen niet hindert.

Qua gewicht komt het finaal prototype op 12 kg. Dit is lichter dan de Dahon (± 14 kg, afhankelijk van model) en gelijk aan de Brompton (± 12 kg, afhankelijk van model). Het prototype, en vooral het kader en de voorvork, is echter veel zwaarder dan dat de fiets in productie zou kunnen zijn. Zo weegt het kader met de voorvork meer dan 4 kg. Dit komt door de zware 3D geprinte lugs, het stalen scharnier en de carbon fiber buizen met oversized wanddikte. Daarbij komen nog de volle stalen assen en crankas, de vrij zware wielen en de fietspomp, die in de zadelpen verwerkt zit. De focus van het finaal prototype was dan ook niet om een zo licht mogelijk prototype te maken. Er moet hierbij dus rekening gehouden worden dat de ontworpen vouwfiets veel lichter zal zijn bij productie.

Tijdens de vele gebruikerstesten werd heel veel positieve feedback gegeven over de vouwfiets, zowel door de testpersonen, de mede-pendelaars als tal van treinreizigers. Ook de fietsenmaker en -verkoper die tijdens het uitwerken van het finaal ontwerp de wielen hielp samenstellen en andere standaardonderdelen leverde, voelde zich aangesproken tot het ontwerp en zag er potentieel in. Hij was wel van mening dat het disruptieve concept van de vouwfiets niet weggelegd is voor iedereen. Hij was er tevens van overtuigd dat stakeholders eerst sceptisch zouden kunnen zijn tegenover het concept tot ze de capaciteiten en voordelen ervan zouden ondervinden bij het testen.

Veel van de aspecten van de ontworpen vouwfiets, zoals bijvoorbeeld het niet in lijn staan van de wielen werden reeds onderzocht door middel van gebruikerstesten. Zo werd aangetoond dat deze parallelle offset van de wielen geen merkbare impact hebben op de rijervaring, mits deze offset goed geïntegreerd wordt in het ontwerp.
De intuïtiviteitstest toonde aan dat het vouwmechanisme van de ontworpen vouwfiets intuitiever en eenvoudiger correct te vouwen is dan de benchmarks. Daarnaast toonde de snelheidstest aan dat de fiets ook sneller open- en dichtgevouwen kan worden en dat gebruikers de vouwbeweging ook als sneller ervaarden.

Met de gekende features van de vouwfiets en de resultaten van de uitgevoerde testen kan een vrij goede schatting gemaakt worden van waar de ontworpen vouwfiets op het eerder opgestelde radarplot gepositioneerd kan worden. Sommige van de aspecten, zoals de intuitiviteit en de vouwsnelheid, werden reeds getest, terwijl het uiteindelijke gewicht en de rijprestaties van het concept slechts onderbouwde schattingen zijn op basis van de gemaakte prototypes en uitgevoerde testen. Op het radarplot, waar ook de benchmark vouwfietsen op weergegeven zijn, kan duidelijk het verschil van de ontworpen vouwfiets ten opzichte van het huidige marktaanbod gevisualiseerd worden (Fig. 118).



Figuur 118. Radarplot van de ontworpen vouwfiets ten opzichte van de benchmarks

Er kan met de gekende features en testresultaten geconcludeerd worden dat de ontworpen vouwfiets voldoet aan de vooropgestelde eisen en wensen die bepaald werden tijdens de projectdefiniëring, mits enkele verbeteringen die in 'toekomstwerk' besproken worden, (Fig. 119).

Figuur 119. Finaal prototype van de ontworpen vouwfiets

HOOFDSTUK 6/
TOEKOMSTWERK

"A design isn't finished until somebody is using it."
- BRENDA LAUREL -

Naast de positieve testresultaten en onderbouwingen van de hypothesen kwamen tijdens het prototypen van het finaal model en het uitvoeren van de gebruikerstesten ook heel wat inzichten over mogelijke verbeteringen van het concept.

Zo werd geopteerd om standaardwielen te gebruiken in plaats van custom wielen te ontwerpen. Na de afwerking van het finaal prototype bleken standaardwielen toch niet de beste keuze voor dit concept. De standaardnaven zijn namelijk te breed voor de enkelzijdige ophanging met offset. Dit zorgt ervoor dat een custom crankas nodig is om de tandwielen uit te lijnen. De brede crankas en de brede enkelzijdige ophangingen zorgen ervoor dat de fiets in dichtgevouwen toestand veel breder is dan gewenst. Een bijkomend nadeel van klassiek gespaakte standaardwielen is dat de naven altijd aan beide kanten van het wiel uitsteken. In de ontworpen vouwfiets is dit nadelig, aangezien de banden niet tegen elkaar komen wanneer de fiets dichtgevouwen is. Daardoor zit er speling op de voorvork en staan beide wielen niet vast tegen elkaar, wat het voortrollen bemoeilijkt.
Bij standaardwielen moet ook nog een oplossing gevonden worden om het freewheel tandwiel steviger en duurzamer aan dezelfde kant van de schijfrem te monteren.

Er kan dus geconcludeerd worden dat het gebruik van wielen, die samengesteld zijn uit standaardonderdelen, niet opweegt tegen de compromissen die erdoor gemaakt moeten worden en de nood aan andere custom fietscomponenten die het veroorzaakt.

Om die reden is het dan ook een must om bij het verder uitwerken van dit concept custom wielen en custom naven te gebruiken. Zo zullen de naven en bijgevolg de volledige fiets veel smaller zijn, wat de compactheid en dus de draagbaarheid bevordert. Daarnaast zal met custom velgen, zoals die bij de Chinese MoBike uitleen-stadsfietsen gebruikt worden, de kant van het wiel op de centerlijn van de fiets volledig vlak zijn (Fig. 120). Dit zal er dan voor zorgen dat de wielen in dichtgevouwen toestand niet meer kunnen bewegen ten opzichte van elkaar. Dit leidt dan weer tot betere prestaties bij het voortrollen en bij het dragen van de fiets in dichtgevouwen toestand.

Figuur 120. Wielen van de Chinese MoBike uitleen-stadsfietsen [59]

Tijdens de gebruikerstesten lieten de testpersonen de fiets in dichtgevouwen toestand op het zadel steunen, aangezien dit voor hen de makkelijkste en meest intuïtieve manier was. Hiervoor werd tijdens de gebruikerstesten een staander geprototyped die onderaan het zadel bevestigd werd. Tijdens het verdere verloop van de testen kwam echter aan het licht dat dit nog niet ideaal was. Om stabiel te staan, moet het zadel namelijk vrij ver uitgeschoven zijn. Dit maakt de dichtgevouwen fiets minder compact. Daarenboven is de positionering van deze staander niet ideaal. Met name het zadel kan hierdoor in contact komen met de grond en dus vuil of nat worden. Een ideale oplossing om de fiets beter te kunnen neerzetten, is een staander integreren in een bagagedrager (Fig. 121). Ondanks het feit dat een bagagedrager een initiële wens is van de stakeholders, werd hier in het ontwerpproces niet verder op ingegaan. De combinatie van beide elementen moet zeker nog uitgewerkt worden.

Figuur 121. Voorstelling bagagedrager-staander

[59] http://www.yicaiglobal.com/news/50049855.html

Gedurende deze thesis werden de eerste fasen van het ontwerpproces van een innovatief vouwfietsconcept doorlopen, namelijk het ontwerp van de vormgeving, de vouwmechanismen, de functies, de interactie met de gebruiker... Dit eerste deel werd afgerond met de gebruikerstesten en onderbouwingen van de hypothesen. Een volgende fase voor het commercialiseren van dit concept is het volledig technisch uitwerken van het ontworpen concept. Dit houdt in: het onderzoeken van de materiaalkeuzes en productiemogelijkheden voor het produceren van de ontworpen vouwfiets. Hierbij moeten aspecten zoals de duurzaamheid, het gewicht en de productie- en materiaalkost van verschillende materiaalkeuzes en productiemogelijkheden tegenover elkaar afgewogen worden. Niet alleen composieten, zoals prepreg monocoque lay-ups en SMC (Sheet Moulding Compoud) / BMC (Bulk Moulding Compound)[60], maar ook andere materiaalkeuzes, zoals aluminium en titanium worden best overwogen. Uiteraard zijn verschillende versies van de vouwfiets mogelijk, zoals bijvoorbeeld een high-end, duur en lichter carbon fiber model en een low-end, goedkopere en zwaardere aluminium versie.

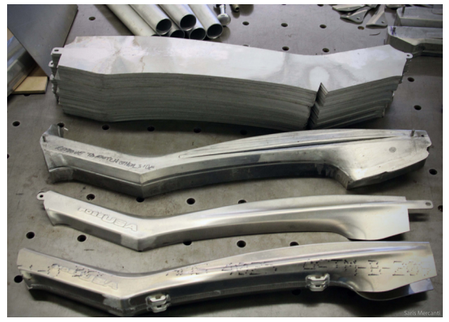
Voor deze verdere technische uitwerking van het concept worden reeds twee suggesties gegeven. De eerste suggestie is om het kader van de ontworpen vouwfiets te produceren zoals een traditioneel monocoque carbon fiber fietskader, maar dan met het sluit- en vouwmechanisme in het midden van het kader, dat als insert in het monocoque kader verwerkt wordt (Fig. 122). Deze insert kan uit aluminium geforged en/of gefreesd worden of met behulp van de BMC composiet productietechniek (ook gekend als forged composites) gemaakt worden. Door de enkelzijdige achterophanging zal het produceren van een monocoque kader eenvoudiger zijn dan traditionele monocoque fietskaders, aangezien twee malhelften zullen volstaan.

Figuur 122. Monocoque kader productie [61, 62]

De tweede suggestie voor het produceren van het kader en vouwmechanisme is om dit uit gehydroformde en geforgde of gefreesde aluminium onderdelen te maken en die te lassen (Fig. 123). Dit is een meer budgetvriendelijke productiemethode met een lagere materiaalkost en een minder arbeidsintensief productieproces. Een nadeel van deze productiemethode is echter dat het kader dan vermoedelijk zwaarder zal zijn.

[60] https://www.lamborghini.com/en-en/brand/forged-composites
[61] https://www.ibiscycles.com/support/technical_articles/all_about_carbon/
[62] http://www.mbr.co.uk/news/product_news/scotts-imp-carbon-frame-process-black-magic-324258

Voor het produceren van de custom velgen en naven zijn er ook verschillende mogelijkheden. Zo kan bijvoorbeeld een magnesiumlegering gebruikt worden voor de velgen (Fig. 124), alhoewel dit een vrij zware en potentieel brosse keuze is. Een geprefereerde keuze zou carbon fiber velgen (Fig. 125) of zelfs BMC velgen zijn. Voor de naven kunnen aluminium gefreesde naven gebruikt worden.



Figuur 123. Hydroformen aluminium stukken fietsframe [63]

Figuur 124. Magnesium fietswiel [64]

Figuur 125. Carbon fiber fietswiel [65]

Afhankelijk van de materiaalkeuze en de gekozen productiemethode moet ook het ontwerp en de vormgeving van het concept geoptimaliseerd worden.

Bij het verder uitwerken van de vouwfiets moet ook rekening gehouden worden met veiligheidsregulaties, standaardtesten en -normen. Sommige van deze testen, zoals corrosie- en krachttesten, werden behandeld in de stage die voorafging aan deze thesis. Deze testen vereisten niet alleen de benodigde testopstellingen, maar ook een volledig functioneel prototype dat volgens de correcte productiemethode gemaakt werd. Alhoewel deze testen pas gedaan worden nadat de technologische ontwikkeling van de vouwfiets achter de rug is, moet hiermee al rekening gehouden worden tijdens het dimensioneren van de onderdelen van de fiets.

De technische uitwerking en mechanische testen vereisen dan ook enorm veel prototyping budget en voorkennis. Er kan gesteld worden dat het ontwerpen van een innovatief vouwfiets concept één grote puzzel is waarbij standaardcomponenten en ontworpen componenten gecombineerd moeten worden. Voor elk standaardcomponent zijn er dan ook vele variaties in groottes, vormen en merken. Om voor de ontworpen vouwfiets de meest geschikte componenten te kunnen kiezen, is veel voorkennis nodig. Hierbij moet ook nog rekening gehouden worden met traditionele fiets-geometrie regels om het rijcomfort zo optimaal mogelijk te maken.

In dit ontwerpproces werd niet samengewerkt met een fiets of vouwfiets fabrikant, wat ervoor zorgde dat geen beperkingen opgelegd werden en dus een vrij disruptief concept bekomen kon worden. Voor het verdere ontwerpproces en technische uitwerking van het concept wordt een samenwerking met een gerenommeerde fiets of vouwfiets fabrikant sterk aangeraden omwille van bovenstaande redenen. Zij beschikken over de nodige productie- en testfaciliteiten, maar hebben ook kennis van de fietsproductie die nodig is voor het verder uitwerken van dit vouwfietsconcept.

[63] https://www.bikerumor.com/2014/05/08/factory-tour-foes-racing-part-1-how-theyre-made/
[64] https://www.youtube.com/watch?v=yZqHeI9LVY0
[65] https://www.hedcycling.com/

REFERENTIES

"Research is creating new knowledge."
- NEIL ARMSTRONG -

[1] K. J. Krizek and E. W. Stonebraker, “A Marriage Unrealized,” pp. 161–167, 2010.

[2] P. Rietveld, “Non-motorised modes in transport systems: a multimodal chain perspective for The Netherlands,” Transp. Res. Part D Transp. Environ., vol. 5, no. 1, pp. 31–36, Jan. 2000.

[3] Y.-H. Cheng and K.-C. Liu, “Evaluating bicycle-transit users’ perceptions of intermodal inconvenience,” Transp. Res. Part A Policy Pract., vol. 46, no. 10, pp. 1690–1706, Dec. 2012.

[4] P. Cox, “The Role of Human Powered Vehicles in Sustainable Mobility,” vol. 34, no. 2, 2005.

[5] F. Tosi, A. Belli, A. Rinaldi, and G. Tucci, “The Intermodal Bike : multi-modal integration of cycling mobility through product and process innovations in bicycle design,” vol. 41, pp. 1501–1506, 2012.

[6] M. Arunachalam, “A Typical Approach in Conceptual and Embodiment Design of Foldable Bicycle,” vol. 87, no. 19, pp. 9–16, 2014.

[7] M. F. Story, “Maximizing Usability: The Principles of Universal Design,” Assist. Technol., vol. 10, no. 1, pp. 4–12, Jun. 1998.

[8] D. J. Mayhew, “The Usability Engineering Lifecycle,” in CHI ’99 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, 1999, pp. 147–148.

[9] H. Beyer and K. Holtzblatt, “Contextual Design,” interactions, vol. 6, no. 1, pp. 32–42, 1999.

[10] T. W. Brown Jocelyn, “Design Thinking for Social Innovation,” Dev. Outreach, vol. 12, no. 1, pp. 29–43, Jul. 2010.

[11] D. Norman, “Emotion & Design: Attractive Things Work Better,” interactions, vol. 9, no. 4, pp. 36–42, 2002.

[12] M. MAGUIRE, “Methods to support human-centred design,” Int. J. Hum. Comput. Stud., vol. 55, no. 4, pp. 587–634, 2001.

[13] R. Roy, “Case studies of creativity in innovative product development,” Des. Stud., vol. 14, no. 4, pp. 423–443, 1993.

[14] J. Hyeong, J. Roh, and S. Kim, “Optimization of pivot obliquity for a foldable bicycle,” Int. J. Precis. Eng. Manuf., vol. 17, no. 7, pp. 931–936, 2016.

[15] M. C. Chen, “Bicycle foldable to align front and rear wheels along a transverse direction of the bicycle.” Google Patents, 2005.

[16] P. P. M. }ik, “Universal folding bicycle.” Google Patents, 09-Mar-2004.

[17] M. A. Jayasuriya, J. C. Cheng, and K. M. Schondorf, “Klapprad Folding bike.” Google Patents, 2015.

[18] D. K. De Jong, “Foldable bicycle.” Google Patents, 31-Jul-2001.

[19] M. A. Maleque, M. S. Hossain, and S. Dyuti, “Material Properties and Design Aspects of Folding Bicycle Frame,” vol. 265, pp. 777–782, 2011.

[20] S. Nenonen, H. Rasila, and J. Junnonen, “Customer Journey – a method to investigate user experience,” no. Schmitt 1999.

[21] “Experience-Maps-Using-Customer-Journey-Maps-to-Improve-Customer-Experience.pdf.” .

[22] J. Nielsen, T. Clemmensen, and C. Yssing, “Getting Access to What Goes on in People’s Heads?: Reflections on the Think-aloud Technique,” in Proceedings of the Second Nordic Conference on Human-computer Interaction, 2002, pp. 101–110.

[23] J. E. Nieters, S. Ivaturi, and I. Ahmed, “Making Personas Memorable,” in CHI ’07 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, 2007, pp. 1817–1824.

BIJLAGEN

“The bicycle is the noblest invention of mankind.”
- WILLIAM SAROYAN -

Bijlage 1: Artikel Testaankoop

ONZE TESTS

HOE WIJ TESTEN
Alle producten die wij testen, kopen wij anoniem aan in de handel. Wij aanvaarden geen producten die fabrikanten ons gratis zouden aanbieden. De tests gebeuren in onafhankelijke labo's wereldwijd. Bij onze beoordelingen is één ster de laagste score, vijf sterren de hoogste.

BESTE VAN DE TEST
De beste kwaliteit van alle geteste producten.

BESTE KOOP
De beste verhouding tussen prijs en kwaliteit.

VOORDELIGE KEUZE
Redelijke kwaliteit voor een erg gunstige prijs.

Online producten vergelijken? Surf naar **www.testaankoop.be/vergelijk**

Foto's: Kurt Stockman

DUURSTE VOUWFIETS IS DE BESTE

Lezers die vouwfietsen testen? Natuurlijk kan het! An, Nele, Achiel en co vouwen fietsen en malen kilometers als rasechte testpiloten en vellen een streng, maar rechtvaardig oordeel.

Steve Mestdagh en Paul Nies

Een koele zomerochtend, in alle vroegte. In een hal in Gentbrugge staan 11 vouwfietsen van verschillende merken, in alle kleuren, met een prijs van € 150 tot € 1 399. Klaar om een hele dag lang te worden getest, om tientallen keren open- en dicht te worden gevouwen. Om kilometers af te malen op allerlei ondergronden. Voor een tochtje op de trein, want dat is waar een vouwfiets vaak wordt meegenomen.

Facebookers op post

De testers sijpelen binnen. Zij hebben gereageerd op onze oproep op Facebook, en vonden tijd om een dagje te gaan testrijden. Achiel is student in Gent. Hij heeft al twee gewone fietsen, maar is nu nog op zoek naar een vouwfiets. Jacqueline is een doorgewinterde fietsster en ziet haar kans schoon om verschillende vouwfietsen te testen. “Ik wil vooral ondervinden hoe gebruiksvriendelijk de fietsen zijn. Zijn ze gemakkelijk te ontvouwen, krijg je ze gemakkelijk in de auto?”. An gaat met de vouwfiets naar haar werk en heeft al verschillende exemplaren versleten. Nele is al een tijdje op zoek naar een nieuwe fiets, maar weet niet welk model ze zou kiezen. Ook enkele medewerkers van het lab willen de vouwfietsen uitproberen voordat ze in het labo verder worden getest.

Stabiel of “bric à brac”?

De eerste opdracht voor de testers: de verschillende vouwfietsen plooien en opnieuw in elkaar zetten. Bij de ene fiets gaat dit al wat vlotter dan bij de andere. Filip worstelt met de Wayscral. “Als ik hem wil opvouwen, valt hij meteen terug open”, zucht hij. Ook het model van B’Twin blijkt moeilijk om “up and running” te krijgen. Een eerste verkenningsritje brengt de testers via de Gentbruggeaard naar de oevers van de Schelde, waar hen al snel een stukje kasseiweg wacht. Ze zullen de rivier ook twee keer moeten oversteken, een test voor de kuiten én voor de stevigheid en het versnellingsapparaat van hun fietsen.

Gert gaat op weg met de vouwfiets van Strida en is blij dat hij heelhuids terugkeert. “Gevaarlijk”, blaast hij. “Kwalitatief is hij oké, maar de ergonomie is erg bizar: omdat je ver naar achter zit, heeft de fiets de neiging om - zeker als je bergop rijdt - onder je uit te zwiepen”. Positiever is hij over Dahon Vitesse D8. “Die is prima afgewerkt en voelt erg stabiel. Heel wat andere voelen nogal “bric à brac” aan.”

“Troubles" op de trein

De eerste groep testers vertrekt naar het station van Gentbrugge, op ongeveer een kilometer van onze startlocatie. Geen ideale weg, zeker niet voor fietsers, maar de problemen beginnen pas wanneer we aan het station aankomen: een steile trap scheidt ons van perron 2. Vouwen dus, en dat verloopt her en der alweer niet rimpelloos. Wanneer we de trap opgaan, zien we veel verkrampte gezichten: deze fietsen zijn zelden echt lichtgewichten en vaak zijn ze ook helemaal niet eenvoudig om te dragen. Meerdere knieën en scheenbenen komen niet ongeschonden uit de strijd. Een systeem met magneten om de wielen bij elkaar te houden, is dan ook geen overbodige luxe. Bij de modellen van Beixo en Tern werkt dit, bij Dahon Mu Uno 20” komen de wielen toch nog los. Dit model heeft dan wel het voordeel dat de ketting is afgeschermd.

Gelukkig kunnen we op het perron uitblazen, de trein laat nog even op zich wachten. Maar de vouwfietsen even parkeren, ook dat is niet eenvoudig. Tineke heeft bijvoorbeeld een tijdje nodig om te achterhalen hoe de standaard van Beixo Compact Low precies functioneert. Sam ondervindt problemen omdat de zadelpen te ver onder de trapas uitsteekt. Uitzondering op de regel: de fiets van Brompton. Die klapt vlot in elkaar tot één compact geheel, blijft goed staan dankzij de twee kleine wieltjes en is eenvoudig te dragen. Een verademing!

Niet voor lange ritten

We installeren ons in de trein die ons naar Gent-Dampoort moet brengen. Als we daar opnieuw een trap genomen hebben (de - kleine - Belgische stations hebben nog werk op het vlak van fietsvriendelijkheid), scheidt een rit van enkele kilometers ons van ons startpunt. Genoeg om te testen hoe aangenaam de fietsen rijden. Hier komt de achilleshiel van Brompton naar boven: Ludwig klaagt na deze niet eens zo lange rit over zadelpijn. Deze fiets is duidelijk niet gemaakt voor lange afstanden. Al horen we dezelfde klacht later op de dag geregeld terugkomen over bv. Strida LT Black. Al speelt hier niet alleen ►

het minder goede zitcomfort, maar ook het gebrek aan versnellingen een rol.

Ook voor Sara is een aangenaam zadel prioritair en zij is daarom erg te spreken over Tern Link D8 DR. “Hij voelt aan als een gewone fiets”, geeft ze aan. Nele zet deze fiets eveneens bij haar persoonlijke voorkeuren. Sara hecht daarnaast belang aan een goede stuurhouding, maar op dat vlak blijft ze grotendeels op haar honger zitten: enkel bij Beixo, Wayscral en Symex kan de hoogte van het stuur een beetje worden aangepast. Sommige sturen, onder andere bij Brompton, zijn bovendien te smal om goed te kunnen manoeuvreren.

Lichte schade en kleine ongemakken

Naast enkele kleine en grotere ongemakken die aan het licht komen, eist ons testparcours doorheen Gent ook zijn materiële tol. En het zijn vooral de goedkopere modellen die te lijden hebben onder de gewaardeerde inspanningen van onze testrijders. Bij de vouwfiets van B’Twin breekt de rem vooraan af en staat het zadel na enkele testritten los, de Wayscral verliest ergens onderweg het achterlicht en ook de standaard begeeft het. En bij de Symex 20” begeven de pedalen het bijna wanneer tester Filip even de conditie wil testen en op volle kracht een brug over de Schelde oprijdt. “Je hoort de onderdelen rammelen”, is zijn vernietigende

ONZE KEUZE

BESTE VAN DE TEST

81 GOEDE KWALITEIT

BROMPTON Model “M” 6 Speed
€ 1 399

VOOR Gebruiksvriendelijk en supercompact: dat zijn de belangrijkste voordelen van Model “M”. U kunt de fiets heel snel en eenvoudig opvouwen en ontvouwen en hij is vervolgens ook erg handig mee te dragen m.b.v. een handgreep aan de onderkant van het zadel. Bovendien is het een van de lichtgewichten. En hij blijft gemakkelijk staan op de twee daarvoor aangebrachte wieltjes.
TEGEN Rijdt niet altijd even comfortabel, zeker op een ietwat hobbelige ondergrond. Het stuur is vrij smal.

ONS OORDEEL Met voorsprong de beste vouwfiets uit deze test. “Zo compact!”, was een uitroep die voortdurend terugkeerde tijdens de testdag. Alleen het zadel kan beter. En de prijs.

BESTE KOOP

76 GOEDE KWALITEIT

DAHON Vitesse D8
€ 629

VOOR Zeer stevig model. Fietst comfortabel, ligt stabiel op de weg en heeft bijna geen onderhoud nodig. Erg handig: het stuur kan een beetje naar voor of naar achter worden geklikt, afhankelijk van uw positie, en er staan markeringen op de zadelpen om de juiste hoogte te onthouden. Weinig kabels zichtbaar, dus weinig kans op schade én weinig kans op een vieze broek, aangezien de ketting is afgeschermd.
TEGEN Centrale vouwmechanisme is niet foutloos: het kan dichtklappen en soms hebt u twee handen nodig om het terug te openen. De spaken kunnen breken als u te krachtig remt met de achteruitrem.

ONS OORDEEL Degelijk, comfortabel model. Over het gemak op de trein lopen de meningen uiteen. Prima prijs.

BESTE KOOP

73 GOEDE KWALITEIT

DAHON Vybe D7
€ 595

VOOR Ook dit is een comfortabele, stevige vouwfiets. Hij kan compact worden opgevouwen en is vrij goed te dragen. Een handige extra zijn de magneten die de wielen bij elkaar houden wanneer de fiets is opgevouwen. Voldoende versnellingen, remmen werken prima en niet te bruusk.
TEGEN Om de fiets helemaal te ontvouwen zijn vrij veel handelingen nodig. Bovendien kunnen daarbij kabels achter de achteras blijven haken. De plastic remgrepen voelen een beetje goedkoop aan. Blijft redelijk omvangrijk wanneer opgevouwen.

ONS OORDEEL Degelijke, betaalbare fiets met enkele mankementjes. Volgens onze experts niet echt geschikt voor intensief gebruik, omdat hij dan veel onderhoud vraagt.

Vouwfietsen

BESTE VAN DE TEST · BESTE KOOP

		PRIJS	BESCHRIJVING				TESTRESULTATEN						
		Richtprijs	Aantal versnellingen	Gewicht in kg	Aandrijving	l × b × h (cm) wanneer opgevouwen	Uitrusting	Stevigheid	Rijden	Dragen	Parkeren	(Ont)vouwen	EINDSCORE OP 100
■	**BROMPTON** Model “M” 6 Speed	1 399	6	12	ketting	60 × 30 × 59	★★★★★	★★★★★	★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★	81
■	**DAHON** Vitesse D8	629	7	13,8	ketting	83 × 35 × 65	★★★★	★★★★★	★★★★	★★★★	★★★★	★★★★	76
	TERN Link D8 DR	849	8	13,3	ketting	79 × 39 × 74	★★★★	★★★★★	★★★★	★★★★	★★★★	★★★★★	75
■	**DAHON** Vybe D7	595	7	13,8	ketting	78 × 35 × 68	★★★★	★★★★★	★★★★	★★★★	★★★★	★★★★	73
	DAHON Mu Uno 20"	799	1	12,2	ketting	81 × 46 × 64	★★★★	★★★★★	★★★	★★★★	★★★★	★★★★	70
	STRIDA LT Black One Speed	690	1	11,1	riem	112 × 30 × 58	★★★★	★★★★	★★★	★★★★	★★★	★★★★	62
	BEIXO Compact Low	849	7	16,9	cardan	87 × 45 × 67	★★★★	★★★★★	★★★★	★★	★★	★★★★	61
	B’TWIN Hoptown 300	170	6	15	ketting	77 × 40 × 68	★★★	★★★	★★★	★★★	★★★	★★★	52
	WAYSCRAL W165	170	6	14	ketting	87 × 46 × 67	★★★	★★	★★★	★★★	★★	★★★	44
	SYMEX 20"	150	6	15,1	ketting	87 × 42 × 63	★★★	★★	★★★	★★	★★★	★★★	42

Meer info en modellen op www.testaankoop.be/vergelijkvouwfiets

Goede kwaliteit · Redelijke kwaliteit

oordeel over deze fiets. Een lagere prijs zet zich vaak ook door in de uitrusting en afwerking. Daarnaast zijn de vouwmechanismen beduidend zwakker of loopt u het risico dat cruciale onderdelen los komen te zitten en verloren geraken, zoals bij Symex. In het labo werd bovendien vastgesteld dat de frames van zowel Symex 20” als Wayscral W165 niet degelijk aan elkaar zijn gelast. Een buis voor stevigheid is dan ook het logische gevolg. Al komen ook de duurdere modellen niet altijd ongehavend uit de strijd. Bij Dahon Vitesse D8 komt bijvoorbeeld een stuk van het zadel los.

Maar verder blijft het in de hogere prijsklasse toch vooral beperkt tot afgebroken of loszittende kabeltjes. Bij Beixo ten slotte hebben ze er een erezaak van gemaakt om alle losse onderdelen zo goed mogelijk te integreren of weg te werken: de meeste kabels zitten in het frame, de ketting is vervangen door een cardanas en zelfs de bel is mooi in de remgrepen ingewerkt. Leuk op het vlak van design en stevigheid, maar het maakt de fiets er niet lichter op (bijna 17 kg) of - in de woorden van tester An - “te zwaar, te lomp en daarom absoluut af te raden”, en ook niet bepaald goedkoop (€ 849).

Compact maar duur vs. goedkoop maar onhandig

De testritten en ook de analyses in het lab maken duidelijk dat er twee types

Er zijn twee types vouwfietsen: duur, maar compact versus goedkoop, maar een beetje “lomp”

vouwfietsen zijn: een eerste type kan erg compact worden opgevouwen en is ideaal voor op het openbaar vervoer, maar rijdt niet altijd even comfortabel en wordt vooral voor kortere afstanden gebruikt. Een tweede type fietsen, dat vooral in de vrije tijd wordt gebruikt, biedt wel het nodige comfort, maar neemt in opgevouwen toestand erg veel plaats in - als u ze al opgevouwen krijgt. De vouwfietsen in de eerste categorie zijn veeleer prijzig, de tweede categorie is erg betaalbaar.

Die tweedeling zet zich ook door in de testresultaten: de duurdere modellen scoren over de hele lijn beduidend beter dan de goedkope. Een aantal redenen daarvoor, zoals de stevigheid, haalden we eerder al aan.

Brompton scoort op alle vlakken vijf sterren, behalve het rijcomfort (u herinnert zich nog de zadelpijn die begon op te spelen), en werd alom geprezen omdat hij zo vlot en compact kan worden opgevouwen. Maar wilt u er zo’n € 1 400 voor neertellen?

Voor de meer betaalbare, maar nog steeds erg kwalitatieve vouwfietsen kijken we dan meer in de richting van Dahon. Ook over deze fietsen hoorden we erg veel positieve geluiden op de testdag en die worden bevestigd door het labo. Al is de prijs van ruim € 500 nog steeds een flinke investering. Strida LT Black krijgt, ondanks de bijzondere ergonomie en het feit dat meerdere testrijders zich niet bepaald zeker voelden op deze fiets, nog een relatief goede score.

De conclusie is duidelijk: als de vouwfiets een vast onderdeel is of wordt van uw mobiliteitsmix, dan investeert u het best in een degelijk en niet te zwaar model. U hebt dan de keuze tussen “redelijk dure”, “dure” en “extreem dure” modellen.

Wilt u een vouwfiets om die af en toe op zaterdag in de koffer van uw auto te laden voor een comfortabel fietstochtje, dan lijkt het een beetje overdreven daarvoor € 500 of (veel) meer te gaan ophoesten. Keuze genoeg in het lagere, goedkopere segment. Helaas vonden we geen witte merel die dan ook nog eens voldoende kwaliteit biedt. ■

BIJLAGEN

Bijlage 2: Testpersonen gebruikerstesten

Bijlage 3: Testresultaten gebruikerstest intuïtiviteit Brompton

	Test Intuïtiviteit vouwen			
	Brompton			
Testpersoon	Tijd dichtvouwen (s)	Correct	Tijd openvouwen (s)	Opmerkingen ivm intuïtiviteit
1	88	Nee	118	
2	81	Ja	29	Reeds voorheen Brompton gevouwen
3	105	Nee	98	
4	119	ja	180	Tip nodig
5	74	Nee	180	Tip nodig
6	132	Nee	180	Tip nodig
7	53	Nee	136	
8	180	Nee	85	Tip nodig
9	180	Nee	105	Tip nodig
10	180	Nee	180	Tips nodig
11	66	Nee	92	
12	105	Nee	90	
13	65	Ja	59	
14	109	Nee	60	
15	43	Nee	100	
16	46	Nee	74	
17	158	Nee	137	Tip nodig
18	78	Nee	180	Tip nodig
19	67	Nee	180	
20	180	Nee	65	Tip nodig
Gemiddelde	105,45	3 op 20	116,4	

Bijlage 4: Testresultaten gebruikerstest intuïtiviteit Dahon

	Test Intuïtiviteit vouwen			
	Dahon			
Testpersoon	Tijd dichtvouwen (s)	Correct	Tijd openvouwen (s)	Opmerkingen ivm intuïtiviteit
1	127	ja	70	Moeite met
2	69	ja	39	
3	58	nee	95	
4	55	ja	67	
5	73	nee	75	
6	100	nee	143	
7	97	nee	39	
8	71	Ja	70	
9	53	Nee	66	
10	67	Nee	117	Tip nodig
11	101	Nee	47	
12	100	Ja	78	
13	112	Nee	43	
14	180	Nee	158	Tip nodig
15	180	Ja	38	Tip nodig
16	180	Nee	50	
17	123	Nee	70	
18	77	Nee	49	
19	45	Nee	80	
20	48	Nee	55	
Gemiddelde	95,8	6 op 20	72,45	

Bijlage 5: Testresultaten gebruikerstest intuïtiviteit ontworpen vouwfiets concept

	Test Intuïtiviteit vouwen			
	Concept			
Testpersoon	Tijd dichtvouwen (s)	Correct	Tijd openvouwen (s)	Opmerkingen ivm intuïtiviteit
1	60	ja	37	
2	25	ja	17	
3	76	ja	52	
4	53	ja	28	
5	72	ja	31	
6	50	ja	44	
7	54	ja	19	
8	75	Nee	29	
9	71	Ja	48	
10	72	Ja	61	
11	64	Ja	38	
12	60	Ja	36	
13	50	Ja	29	
14	72	Ja	19	
15	71	Ja	23	
16	44	Ja	18	
17	68	Ja	49	
18	66	Ja	38	
19	63	Ja	15	
20	54	Ja	33	
Gemiddelde	61	19 op 20	33,2	

Bijlage 6: Testresultaten gebruikerstest vouwsnelheid

	Test snelheid vouwen						
	Brompton		Dahon		Concept		
Testpersoon	Tijd dichtvouwen (s)	Tijd openvouwen (s)	Tijd dichtvouwen (s)	Tijd openvouwen (s)	Tijd dichtvouwen (s)	Tijd openvouwen (s)	Gevoel snelheid vouwen
1	45	54	47	42	23	11	Concept > Dahon > Brompton
2	24	42	29	32	15	11	Concept > Brompton > Dahon
3	36	39	40	33	28	15	Concept > Dahon > Brompton
4	38	42	48	40	19	11	Concept > Dahon > Brompton
5	38	36	28	21	13	10	Concept > Dahon > Brompton
6	44	47	41	36	16	10	Concept > Brompton > Dahon
7	25	25	40	31	12	12	Concept > Dahon > Brompton
8	46	48	45	49	21	17	Concept > Dahon > Brompton
9	33	23	29	21	13	10	Concept > Brompton > Dahon
10	49	46	43	44	22	18	Concept > Dahon > Brompton
11	32	33	44	29	17	12	Concept > Dahon > Brompton
12	38	37	37	30	14	11	Concept > Brompton > Dahon
13	42	30	32	30	16	10	Concept > Brompton > Dahon
14	37	23	26	20	14	10	Concept > Brompton > Dahon
15	37	47	29	28	20	9	Concept > Dahon > Brompton
16	33	37	29	23	10	11	Concept > Brompton > Dahon
17	48	37	36	35	14	10	Concept > Brompton > Dahon
18	38	35	47	43	20	17	Concept > Dahon > Brompton
19	34	35	43	33	15	11	Concept > Brompton > Dahon
20	31	37	31	31	16	9	Concept > Dahon > Brompton
Gemiddelde	37,4	37,65	37,2	32,55	16,9	11,75	