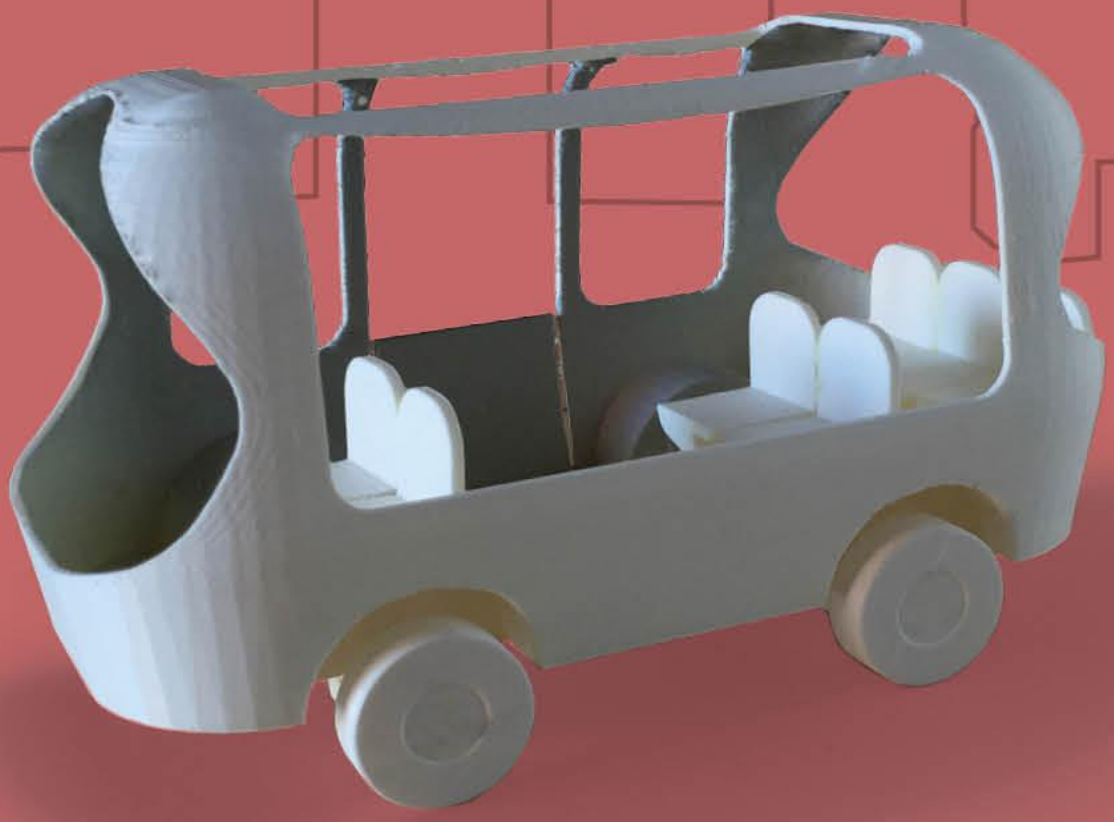
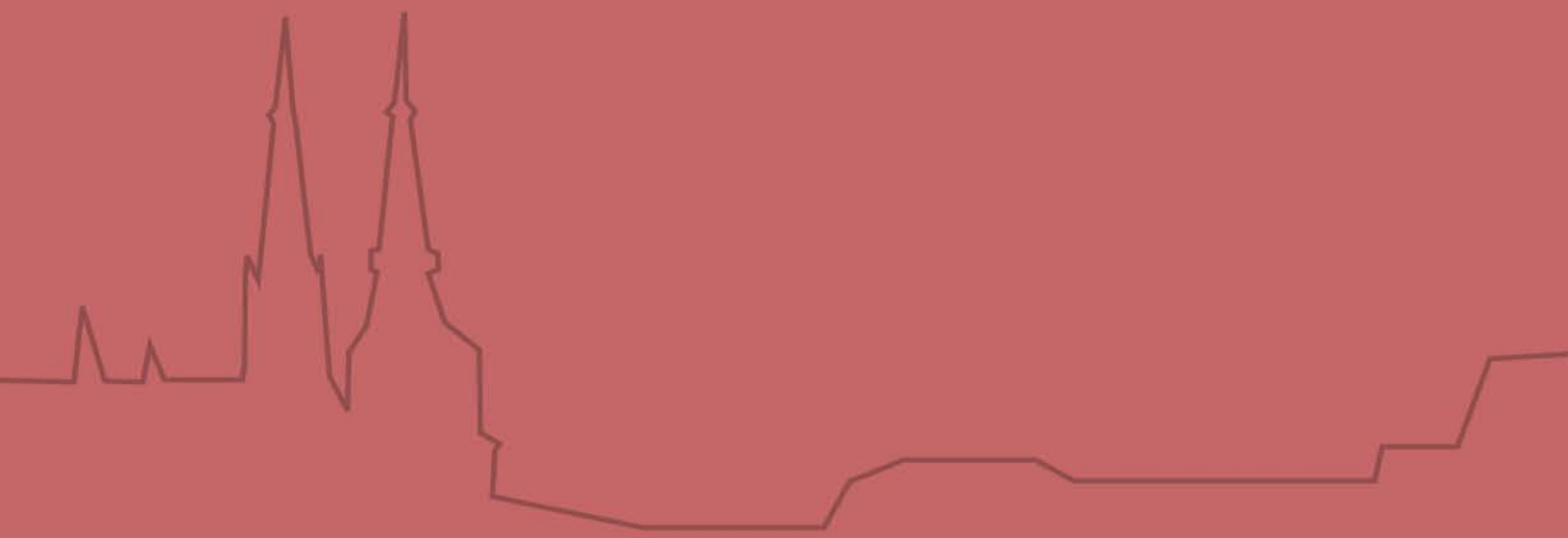
Afstudeerverslag
Werktuigbouwkunde
Ceciel van Slobbe
december 2014



ALLEY HOOP

TECHNISCHE UITWERKING VAN DUURZAAM STADSVERVOER VOOR DELFT



DE HAAGSE HOGESCHOOL

THE URBAN CRUISERS

Opdrachtgever	**ir. P. Menger M.o.I.**
Bedrijfscoach	**ing. D. Tiemens**
Docentcoach	**ir. A. Verkuilen**

Alley Hoop

Technische uitwerking van duurzaam stadvervoer voor Delft

Afstudeerverslag
Werktuigbouwkunde
Ceciel van Slobbe
december 2014

Voorwoord

Na 3 jaar als duale student gestudeerd te hebben vond ik het tijd voor een uitdaging in een andere sector van de werktuigbouwkunde. De afgelopen 3 jaar heb ik bij een bedrijf in de olie- & gasindustrie gewerkt en heb ik veel geleerd op het gebied van staalconstructies (tekenen en rekenen). Doordat ik gekozen heb voor een duale opleiding heb ik veel van de praktijk gezien op het ingenieursbureau, maar ik heb weinig zelf kunnen onderzoeken.
Bij het expertisecentrum TIS Delft van de Haagse Hogeschool vond ik een afstudeeropdracht die ik interessant vind en vooral een grote uitdaging. De opdracht valt onder het project ‘the Urban Cruisers’ en is gericht op het vervoer van de toekomst.

Inhoud

Voorwoord **4**

Inhoud **5**

Begrippenlijst **7**

Management samenvatting **8**

1 Inleiding **10**

1.1 Bedrijf *10*

1.2 Afstudeeropdracht *11*

Fase 1 **13**

2 Eisen **15**

2.1 Eisen (van toepassing op de carrosserie) *15*

2.2 Conclusie: Analyse zodat eisen gekwantificeerd kunnen worden *15*

3 Afmetingen **16**

3.1 Benodigde ruimte binnenin carrosserie *18*

3.2 Conceptkeuze voor de buitenafmeting van de carrosserie *20*

3.3 Haalbaarheidsstudie *20*

3.4 Conclusie *21*

4 Materiaal en gewichts-bepaling **22**

4.1 Glasvezel *22*

4.2 Gewichtsbepaling *22*

4.3 Conclusie *22*

5 Belastingen **23**

5.1 Belastingsituaties *23*

5.2 verstevigingen *23*

5.3 Conclusie *24*

6 Design **25**

6.1 Conclusie *26*

7 Pakket Van Eisen (PVE) **27**

7.1 Gekwantificeerde eisen *27*

7.2 Start ontwerp voor fase 2 *27*

Fase 2 **29**

8 Wielkast afmetingen **31**

9 Wanddikte **32**

9.1 Materiaalgegevens *32*

9.2 Massa *34*

9.3 Afschuiving *35*

9.4 Trillingen *40*

9.5 Conclusie *43*

10 Bovenstijl **44**

10.1 Berekenen van kritische bovenstijl *44*

10.2 Conclusie *46*

11 Eindontwerp **47**

11.1 3d print *51*

12 Conclusie **52**

13 Aanbevelingen **54**

13.1 Aanbevelingen op opdracht-niveau *54*

13.2 Extra aanbevelingen voor de carrosserie *56*

Bijlage 1: Eisen doelgroep en opdrachtgever **58**

Doelgroep (en bijbehorende eisen) *58*

Eisen van de opdrachtgever *60*

Bijlage 2: Ergonomie **61**

Hoogte *62*

Zitplaats + beenruimte *63*

Bagagestandplaats *63*

Conclusie *65*

Bijlage 3: Middelpuntzoekende kracht, $Fmpz$ **66**

Bijlage 4: Remkracht, $Frem$ **68**

Literatuurlijst **70**

Begrippenlijst

Bèta Factory	werkplaats van de Haagsche Hogeschool
Composiet	verzamelnaam voor materialen samengesteld uit vezels en een matrix
Isotroop	een isotroop materiaal heeft in alle richtingen dezelfde materiaaleigenschappen
Orthotroop	een orthotroop materiaal heeft in 2 richtingen loodrecht op elkaar dezelfde materiaaleigenschappen, maar in de tussenliggende richtingen heeft het materiaal andere eigenschappen. Een weefsel van vezels loodrecht op elkaar is orthotroop.
Anisotroop	een anisotroop materiaal heeft in 2 richtingen loodrecht op elkaar verschillende materiaaleigenschappen. De vezels van een composiet zijn anisotroop.
Body in white	alleen de huid van de carrosserie (zonder ramen, bekleding en interieur)
Deurstijl	soort kozijnen om de ramen en deuren van een carrosserie, die zorgen voor stevigheid op die plaatsen
Eigen frequentie	frequentie van vrije trilling in een systeem
Ergonomie	het aanpassen van de omgeving aan de mens.

Legenda voor de berekeningstabellen:

Invoer
Berekening
uitvoer

symbolen:

E	stijfheid
I	oppervlaktetraagheidsmoment
τ	schuifspanning, maar ook periode bij trillingen
ε	rek
σ	spanning (trek of druk)
F	kracht
ω	hoekfrequentie
ρ	dichtheid
$\approx$	ongeveer
opp	oppervlakte

Management samenvatting

Het expertisecentrum focust zich onder anderen op het ontwikkelen van duurzaam stadsvervoer. Openbaarvervoer (met milieuvriendelijke aandrijving) staat hierin centraal omdat dit mensen overal kan brengen zonder parkeerproblemen en omdat het beter voor het milieu is. Het expertise centrum heeft daarom een opdracht gesteld (als onderdeel van de living labs minor) voor studenten om een nieuw duurzaam transportsysteem te bedenken. Hieruit is o.a. het ontwerp van een 8-persoonsbusje van Bas Bothof voortgekomen.
Er is bij het ontwerp van Bas Bothof alleen nagedacht over het systeem en het design van het busje. De volgende stap was om er een realiseerbaar ontwerp voor te maken en dat is de stap die in dit verslag gemaakt is. De opdracht die uitgevoerd is, is het controleren van de technische haalbaarheid van de carrosserie van het busje (o.b.v. de eisen van de opdrachtgever) en hoe deze eventueel aangepast kan worden om verdere uitwerking mogelijk te maken.
De naam die in het verslag aan het busje wordt gegeven is de Alley Hoop en daar zal ook in de rest van deze samenvatting naar verwezen worden.

Uit een analyse naar de afmetingen op basis van de eisen dat de Alley Hoop moet kunnen functioneren in het centrum van Delft en 8 personen (+ toebehoren) moet kunnen vervoeren zijn de buitenafmetingen van maximaal $2000 \times 4000mm$ (met afgeronde hoeken) voortgekomen. Binnen deze afmetingen lijken niet meer dan 7 zitplaatsen en 1 kinderwagenstandplaats/groot-bagage mogelijk te zijn, maar de indeling valt verder buiten de opdrachtgrenzen. De wendbaarheid in het centrum van Delft is doorslaggevend gebleken voor de afmetingen. Het ontwerp is zo veel mogelijk rond en bezit veel ramen zoals het Design van Bas Bothof.

Het materiaal waar de carrosserie in dit verslag mee ontworpen is, is E-glasvezel-epoxy composiet. De opdrachtgever wilt graag dat er een milieuvriendelijk composiet gebruikt wordt, maar er bestaat momenteel nog geen volledig milieuvriendelijke composiet met genoeg sterkte en stijfheid. Deze eis zal in 2050 misschien wel te vervullen zijn. Er is nu voor glasvezel gekozen, omdat dit een lichtgewicht materiaal is met relatief hoge sterkte- en stijfheidseigenschappen en het aanwezig is in de werkplaats van de Haagse Hogeschool. Dit betekent dat er op korte termijn testjes gedaan kunnen worden en/of een prototype gebouwd kan worden.
De productiemethode van composieten constructies bepaald de materiaaleigenschappen en voor de carrosserie is gekozen voor vacuüm-injectie om een zo hoog mogelijke sterkte en stijfheid te behalen.
De vezel-oriëntatie en vezelverhouding is ook van groot belang voor de sterkte en stijfheid van de carrosserie en deze zal daarom per carrosseriestuk verschillend zijn.

Door het uitvoeren van berekeningen is gebleken dat het ontwerp van glasvezel haalbaar is met gewenste wanddikte van $2mm$ in combinatie met genoeg verstevigingen. De belastingsituaties die gebruikt zijn voor de berekeningen zijn afremmen, bocht en trillingen. Verstevigingen die benodigd zijn, zijn ribben langs de wanden. Rondom de ramen en deur zijn ook verstevigingen benodigd in de vorm van stijlen (dit zijn een soort van kozijnen om de ramen heen) die voor buigstijfheid zorgen. De benodigde stijfheid hiervan is benaderd en haalbaar gesteld, maar om de benodigde stijfheid exact vast te stellen, zal er een stuk stijl gebouwd moeten worden en getest worden. Zo kan gesteld worden of een lagere stijfheid ook voldoet en dit zal materiaal (en dus gewicht) besparen.

De opdrachtgever heeft het gewicht van de carrosserie op een maximum van 500kg gesteld en dit is mogelijk gebleken als er voor een lichtgewicht inrichting en aankleding van de bus gekozen wordt, maar de inrichting valt buiten de opdrachtgrenzen. Het gewicht van de Alley Hoop kan ook nog aanzienlijk verlaagd worden door een kunststof materiaal voor de ramen te gebruiken in plaats van glas.

Als uitkomst van dit verslag is gebleken dat de carrosserie van het busje haalbaar is met een aantal aanpassingen. Er zal voor verdere uitwerking een test gedaan moeten worden om de benodigde stijfheid voor de stijlen

te bepalen. Hoe minder stijfheid nodig is, hoe lichter het ontwerp gebouwd kan worden. Als de benodigde stijfheid bepaald is en alle verstevigingen ontworpen zijn, moet er gekeken worden naar de details en daar komt ook het ontwerp van de deur bij kijken. Er zal dan ook een nooddeur en dakluik toegevoegd moeten worden aan de carrosserie.
Vervolgens is het belangrijk dat de vloer ontworpen wordt van sandwichplaten omdat deze voor een hoge buigstijfheid goed zijn en lichtgewicht. De vloer zal stalen inserts moeten hebben ter plaatse van de verbindingspunten met de chassis. Als de vloer en deze verbinding ontworpen zijn, kan de Alley Hoop op meer belastingsituaties berekend worden en eventueel gesimuleerd om de zwakke punten te bekijken.

Zodra de gehele Alley Hoop (chassis, carrosserie, verbindingen en productieproces) ontworpen is, kan een ecologische voetafdruk in kaart worden gebracht. Dit laat zien hoe schadelijk de Alley Hoop voor het milieu is van ontwerptafel tot aan het einde van de gebruikstijd van een busje.

1 Inleiding

Ter afronding van de opleiding werktuigbouwkunde aan de Haagse hogeschool te Delft zal een afstudeeropdracht uitgevoerd moeten worden. Dit houdt in dat er een onderzoekende opdracht uitgevoerd moet worden, waaraan 17 weken van 40 uur gewerkt wordt. Als eindproduct zal een afstudeerverslag opgeleverd moeten worden. Het afstudeerverslag zal gepresenteerd en verdedigd moeten worden tijdens de afstudeerpresentatie.

1.1 Bedrijf

Haagse Hogeschool expertisecentrum TIS, te Delft. De academie TIS Delft hecht veel waarde aan de samenwerking tussen het onderwijs en het bedrijfsleven. Kenniscirculatie tussen de hogeschool en bedrijven viceversa staat dan ook hoog in het vaandel. Gaan van de hogeschool afstudeerders en stagiairs naar het bedrijfsleven, in TIS Delft komt het bedrijfsleven de school binnen. De academie organiseert dit deel van het kenniscirculatieproces in haar Expertisecentrum Technology, Innovation and Society. De functies van het expertisecentrum zijn tweeërlei:

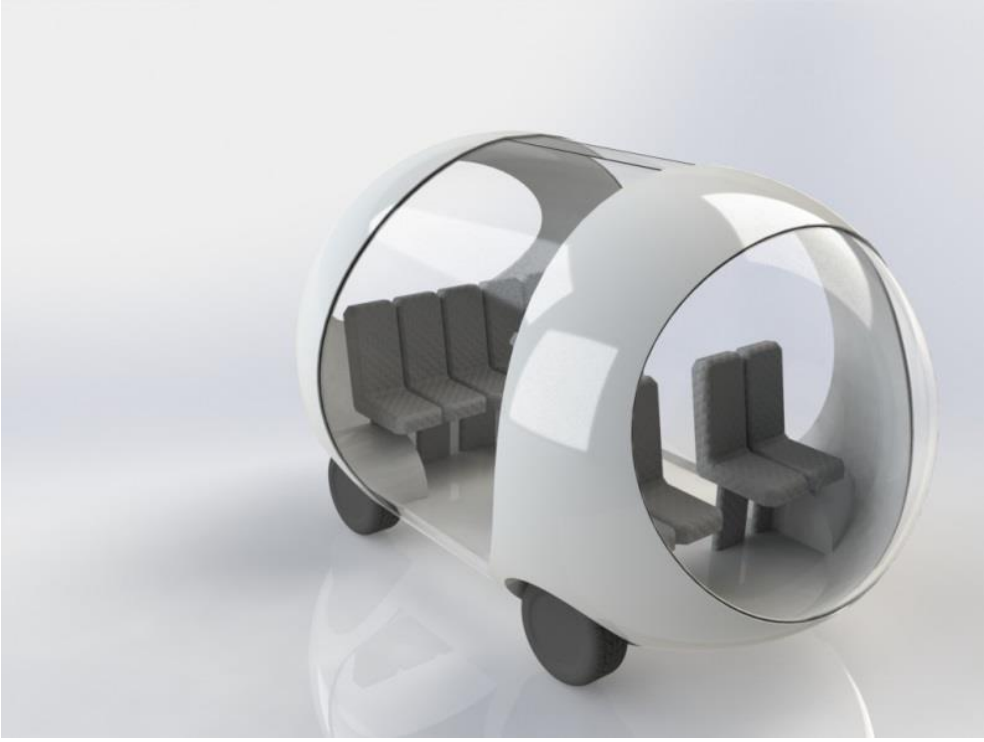
1. Bemiddelen en schakelen tussen de bedrijven en het onderwijs in de vorm van (meestal monodisciplinaire) bedrijfsprojecten waarin onderzoeks- en ontwikkelingsvragen beantwoord worden.
2. Leiding geven aan de uitvoering van grootschalige multidisciplinaire projecten.

1.1.1 Duurzaam stadsvervoer

Duurzame mobiliteit in de stedelijke omgeving.
Het expertisecentrum focust zich onder anderen op het ontwikkelen van duurzaam stadsvervoer. Openbaarvervoer (met milieuvriendelijke aandrijving) staat hierin centraal omdat dit mensen tot in het centrum van de stad kan brengen zonder parkeerproblemen en omdat het beter voor het milieu is.
Het expertise centrum TIS Delft wilt zich ontwikkelen op het gebied van duurzaam stadsvervoer voor **2050** in Delft. De bevolking in de randstad zal aankomende jaren alleen maar groeien en deze mensen zullen zich moeten verplaatsen door de stad. Auto's nemen veel plek in en zijn slecht voor het milieu. Het huidige openbaar vervoer heeft een vaste route en dienstregeling, is niet gemaakt om door de kleine straatjes van het centrum te rijden en is niet altijd comfortabel.
Het expertise centrum heeft daarom een opdracht gesteld (als onderdeel van de living labs minor) voor studenten om een nieuw duurzaam transportsysteem te bedenken. Hieruit is o.a. het ontwerp van Bas Bothof voortgekomen.

1.1.2 Het ontwerp van Bas Bothof

Bas heeft een duurzaam transport systeem ontworpen waarbij verschillende formaten bussen werken binnen 1 transportsysteem. De bussen zijn elektrisch en kunnen zich zonder bestuurder door de stad verplaatsen. De route wordt vastgesteld door de opstapplaatsen en bestemmingen van de passagiers (dit kan men aangeven via een applicatie op de Smart Phone/tablet, via een website of op een Touch screen scherm bij een van de haltes in het centrum). Het transport systeem zal een route berekenen zo dicht mogelijk langs de op- en afstap plaatsen van de passagiers. Hiervan is een uitgebreid Business report (zie literatuurlijst) gemaakt voor living lab 'sustainable urban vehicle' van de Haagse Hogeschool.
Een van de bussen heeft een formaat dat geschikt is voor ongeveer 8 personen (zie figuur 1). Dit is het ontwerp waar deze afstudeeropdracht op gebaseerd is.



Figuur 1; Het ontwerp van Bas Bothof

1.2 Afstudeeropdracht

Er is bij het ontwerp van Bas Bothof alleen nagedacht over het systeem en het design van het busje. De volgende stap is om er een realiseerbaar ontwerp voor te maken.

1.2.1 Probleemstelling

Het expertisecentrum wilt inzicht krijgen in de haalbaarheid van het ontworpen 8-persoons busje voor de gemeente Delft. Deze periode is een onderzoek naar de haalbaarheid van het ontwerp gestart en voor de technische invulling hiervan is dit, verdeeld in twee afstudeeropdrachten, voorgelegd aan werktuigbouwkunde studenten van de Haagse Hogeschool.

1.2.2 Opdracht

De opdracht die uitgevoerd zal worden is het ontwerpen van een gedeelte van het busje, namelijk de carrosserie. Hierbij zal gekeken worden naar de technische haalbaarheid van het bestaande ontwerp (o.b.v. de eisen van de opdrachtgever) en hoe deze eventueel aangepast kan worden om verdere uitwerking mogelijk te maken.
In feite wordt het ontwerp van Bas Bothof gerealiseerd, maar aangepast waar nodig vanwege (technisch) onderbouwde redenen.

1.2.3 Opdrachtgrenzen en randvoorwaarden

Deze afstudeeropdracht omvat alleen de carrosserie van het busje. De carrosserie moet worden ontworpen en daarbij hoort materiaalkeuze, sterkte - en stijfheid berekeningen en detailontwerp. Qua detailontwerp zal er voor de meest kritische details gekozen worden om zo de haalbaarheid van het ontwerp aan te kunnen tonen.
Voor het bouwen van een schaalmodel en/of details zal gebruik gemaakt worden van de materialen die aanwezig zijn in de Bèta Factory en met deze materialen zal daarom ook ontworpen(gerekend) worden.
Dit is de eerste fase van het realiseren van het busje en er zullen daarom aannames en schattingen gemaakt mogen worden waar nodig als er bijvoorbeeld nog geen gegevens bekend zijn.
Student Bishay Moenne zal gedurende dezelfde afstudeerperiode aan de chassis van het busje afstuderen en er dient daarom samengewerkt te worden m.b.t. de afmetingen en het gewicht bijvoorbeeld.

1.2.4 Uitgangspunten

De functies van het busje hebben alle invloed op het ontwerp van de carrosserie van de bus en deze moeten daarom ook opgenomen worden in het ontwerpproces. Zo heeft het aantal zitplaatsen en de doelgroep bijvoorbeeld invloed op het formaat en de toegankelijkheid van de bus. Voor de functies wordt uitgegaan van het verslag van Bas Bothof en de eisen van de opdrachtgever en doelgroep, maar het ontwerp (design en de functies) mag gedurende de afstudeerperiode uitgebreid en verbeterd worden, mits onderbouwd.
Er wordt gewerkt met gegevens die anno 2014 bekend zijn met visie op de toekomst. Aannames voor de (technische) toekomst mogen gedaan worden, mits onderbouwd.

1.2.5 Aanpak opdracht en verslag

De aanpak van deze opdracht is te verdelen in 2 fases en het verslag is daarom ook opgebouwd uit 2 fases.
Fase 1: Het creëren van een basis om technisch mee aan de slag te kunnen. De eisen van de opdrachtgever en doelgroep worden daarna d.m.v. een analyse meetbaar geformuleerd zodat er een PVE is waarmee ontworpen kan worden.
Fase 2: Het ontwerp wordt technisch verder uitgewerkt en er wordt gekeken naar de haalbaarheid ervan. Als de meest kritische details haalbaar blijken te zijn, kan er een haalbaar ontwerp opgeleverd worden.

FASE 1

DROOMONTWERP NAAR REALISTISCH ONTWERP

In fase 1 worden, door het uitvoeren van een analyse (per eis), meetbare eisen opgesteld om het droomontwerp mee te kunnen vertalen naar een realistisch ontwerp. Er wordt zo een basis gecreëerd om technisch mee aan de slag te kunnen (in Fase 2).

Het resultaat van Fase 1 is het Pakket Van Eisen voor de carrosserie.

Een juiste naam en logo draagt bij aan het gewenste imago. Het busje moet voor iedereen toegankelijk zijn (dus moet juiste imago uitstralen). Aangezien in Delft veel toeristen komen en er veel internationale studenten wonen moet de naam ook internationaal goed uit te spreken zijn.

De gegeven naam is Alley Hoop. De letterlijke vertaling is 'steegjes hoepel' en heeft betrekking op het ronde uiterlijk van het busje dat door de smalle straatjes van Delft zal rijden. Hoop staat ook voor centrum ring. En het busje zal binnen de centrum ring gaan functioneren.

De tweede betekenis komt uit de basketbal wereld waarin 'Alley Oop' een aanvallende beweging is waarbij een speler de bal omhoog gooit naar een teamgenoot in de buurt van de basket, die springt, de bal in de lucht vangt en vervolgens onmiddellijk scoort. Dit heeft betrekking op het systeem van het busje waarbij het busje(bal), via verschillende ophaalpunten (basketbalspelers) onderweg, naar z'n bestemming(basket-netje) zal rijden.

Hoop staat dus onder anderen voor centrum ring en het busje zal binnen de centrum ring gaan functioneren. Dit is in het logo weergegeven door de cirkel. De stippen die op de letters zijn geplaatst staan voor stopplekken en hiermee wordt weergegeven dat de Alley Hoop niet in een rechte lijn op z'n eind bestemming af rijdt maar via op- en afstap plekken rond rijdt. De witte lijnen van de letters zijn dus als het ware de route die de Alley Hoop rijdt.

3 tand logo delft verwerken in ontwerp carrosserie?

2 Eisen

Het pakket van eisen bestaat gedeeltelijk uit de eisen van de doelgroep. Door de doelgroep specifieker te maken (specifieker dan inwoners van Delft), kan er een lijst met bijbehorende eisen opgesteld worden en deze eisen kunnen gebruikt worden bij het uitwerken van het ontwerp.

In bijlage 1 is een doelgroep-benadering bijgevoegd. Na het vaststellen van de doelgroep zijn de bijbehorende eisen voor de Alley Hoop op een rijtje gezet. De eisen van de opdrachtgever zijn hier ook aan toegevoegd (zie bijlage 1).

2.1 Eisen (van toepassing op de carrosserie)

Het pakket van eisen voor de Alley Hoop zijn de eisen van de doelgroep en de eisen van de opdrachtgever bij elkaar. Niet elke eis is van toepassing op de carrosserie. Hieronder staan alleen de eisen (van de doelgroep en de opdrachtgever) die van invloed zijn voor de carrosserie en binnen de grenzen van deze afstudeeropdracht. De eisen staan hier nog niet gekwantificeerd omdat er nog geen onderzoek is gedaan naar de waardes. In hoofdstuk 3, 4, 5 en 6 wordt elke eis benaderd zodat deze technisch gekwantificeerd kan worden. In hoofdstuk 7 staan deze gekwantificeerde eisen in het PVE voor deze afstudeeropdracht.

Eisen vanuit de opdrachtgever (die van invloed zijn voor de carrosserie en binnen de grenzen van deze afstudeeropdracht):

- **Functioneren in centrum Delft**
- **Ongeveer 8 zitplaatsen.**
- **Lichtgewicht**
- **Milieuvriendelijk**
- **Duurzaam**
- **Veiligheid**
- **Design**

Eisen vanuit de doelgroep (die van invloed zijn voor de carrosserie en binnen de grenzen van deze afstudeeropdracht):

- **Comfort**
- **Veilig gevoel**
- **Bagageruimte**
- **Kinderwagen/rollator standplaats**
- **Uitzicht**

2.2 Conclusie: Analyse zodat eisen gekwantificeerd kunnen worden

Deze eisen kunnen meetbaar gemaakt worden door een analyse uit te voeren van:

- **Afmetingen**: functioneren in centrum delft (kijk naar smalste straten) en ergonomie (8 zitplaatsen, comfort en kinderwagen/bagage-standplaats)

- **Materiaal**: lichtgewicht, duurzaam en milieuvriendelijk

- **Belastingsituaties**: veilig functioneren en veilig gevoel geven (niet gammel)

- **Design**: uitzicht voor inzittende en ontwerp van Bas als uitgangspunt. De uitkomst van de afmetingen-analyse combineren met de visie van het ontwerp van Bas.

3 Afmetingen

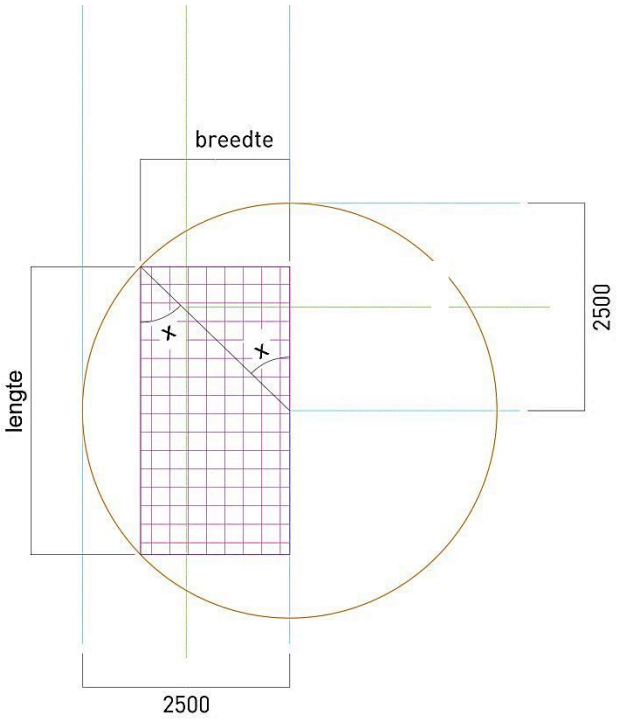
Vanuit de eisen van de doelgroepen en opdrachtgever is gebleken dat er een analyse naar de afmetingen gedaan moet worden zodat de eisen gekwantificeerd kunnen worden. De Alley Hoop moet functioneren in het centrum delft, over 8 zitplaatsen beschikken en ruimte voor comfort en kinderwagen/bagage standplaats bieden. Aangezien de straten in het centrum van Delft vrij smal kunnen zijn wordt eerst gekeken naar de maximale buitenafmetingen die de Alley Hoop kan hebben.

De straten langs de grachten in Delft variëren van 2,5 meter breedte tot 3,5 meter breedte. De smalste straat is 2,5 meter breed, zie figuur 2.

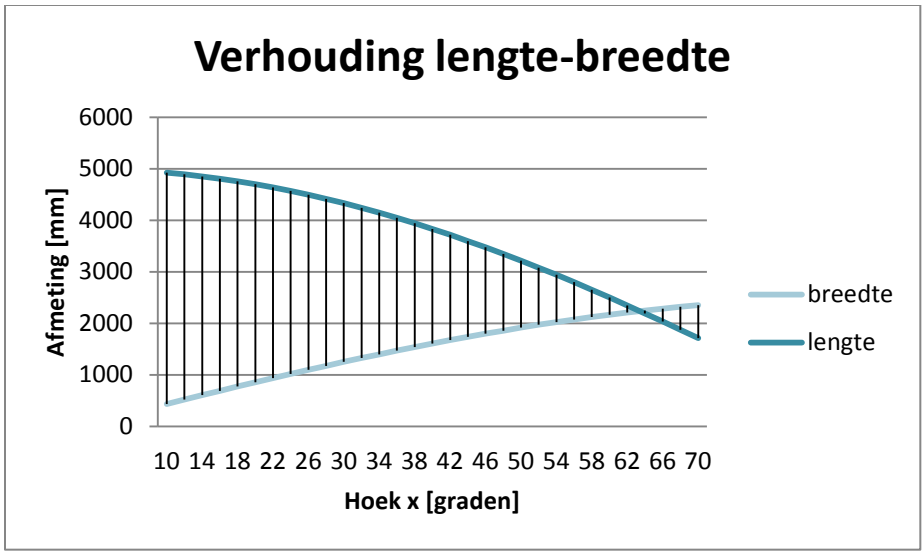
Figuur 2; Noordeinde, Delft (bron: google.nl)

Ervan uitgaande dat de smalste straatjes, waar doorheen gereden moet worden in Delft, 250 mm breed zijn, staan de mogelijke verhoudingen van de Alley Hoop in grafiek 1 weergegeven.

Hierbij is uitgegaan van de mogelijkheid om een bocht van 90° te kunnen maken waarbij beide straatjes $2500mm$ breed zijn (zie figuur 3). Hoek x is de hoek tussen het centrum van de draaicirkel en het uiterste hoekpunt van de Alley Hoop. Met hoek x en de radius van de draaicirkel kan de breedte en de lengte berekend worden. Deze hoek is op de horizontale as van de grafiek uitgezet omdat de lengte en de breedte afhankelijk zijn van deze hoek.
Voor de Alley Hoop wordt hier voor het gemak uitgegaan van een rechthoekige vorm.

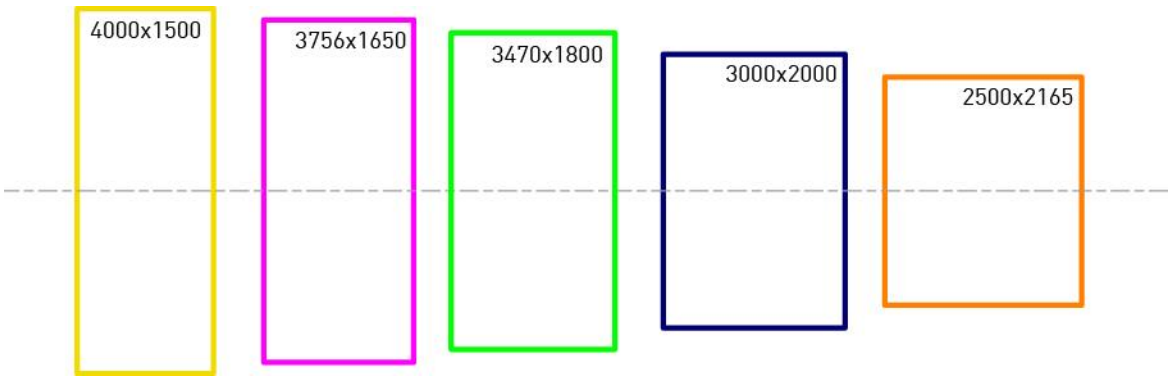


Figuur 3; bovenaanzicht van de Alley Hoop in straat van $\mathbf{2500mm}$ breed



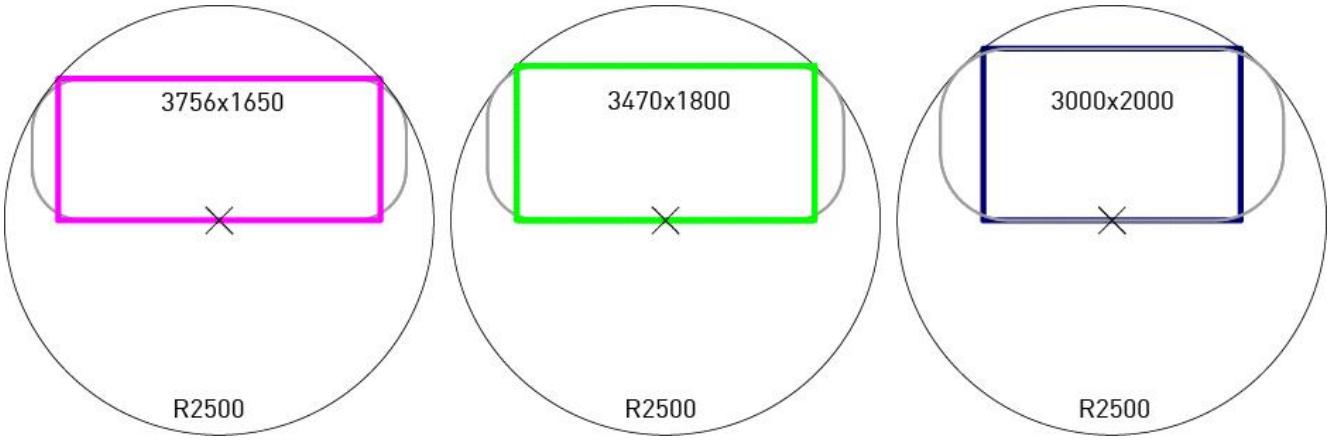
Grafiek 1; verhouding lengte en breedte van de Alley Hoop

In figuur 4 zijn een aantal mogelijke afmetingen van lengte $2500mm$ tot $4000mm$ weergegeven, afkomstig uit grafiek 1. Een lengte van $4000mm$ zorgt ervoor dat de breedte niet breder dan $1500mm$ kan zijn, wat vrij smal is, en een lengte van $2500mm$ is vrij kort, daarom blijven de 3 middelste (uit figuur 4) over als mogelijke afmetingen (concepten).



Figuur 4; aantal verkregen lengte, breedte verhoudingen voor een rechthoekig ontwerp

De maximale hoekpunten zijn nu bepaald in het geval dat de Alley Hoop rechthoekig is. Echter de Alley Hoop heeft ronde vormen en door de voorkant en achterkant een radius te geven kan er ook nog een langere maximale lengte verkregen worden. In figuur 5 is dit laten zien voor de 3 concept afmetingen.



Figuur 5; met afgeronde voor en achterkant is een langere lengte mogelijk

3.1 Benodigde ruimte binnenin carrosserie

In de eisen staat ook dat er ongeveer 8 zitplaatsen in de Alley Hoop moeten zijn en dat de zitplaatsen comfortabel moeten zijn en dat er ruimte voor bagage/kinderwagen moet zijn. Per concept afmeting zijn er verschillende indelingen mogelijk. De indeling hoort niet binnen de opdracht grenzen, maar deze mogelijke indelingen kunnen tot een keuze leiden voor de beste afmeting voor de Alley Hoop.
Om indeling te kunnen schetsen moet eerst bepaald worden hoeveel ruimte per persoon/bagage/etc. behoeft is en hierbij moet visie op de toekomst gebruikt worden (2050).

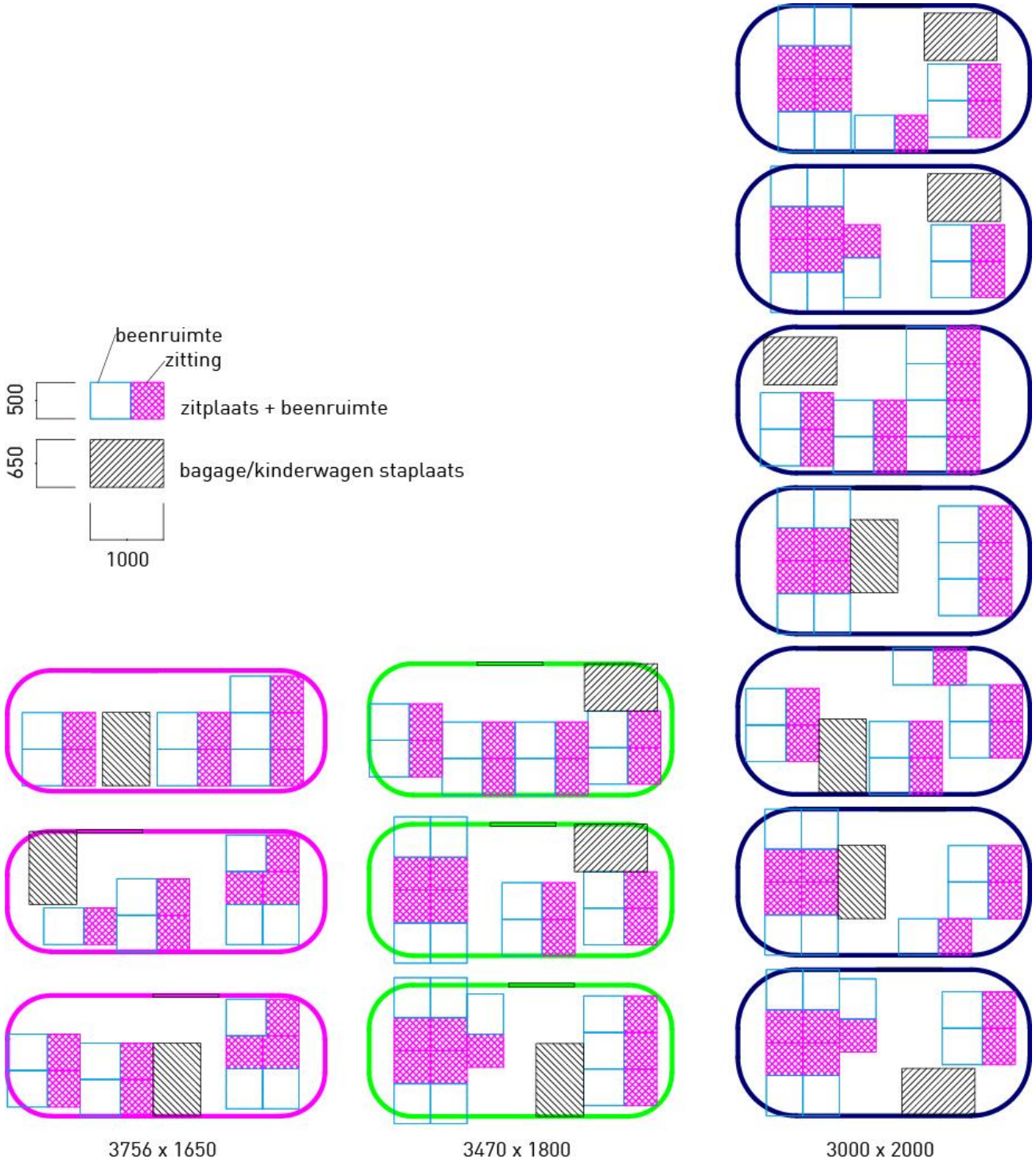
3.1.1 Ergonomie; zit en sta ruimte + bagage + doorgang(deur)

De benodigde zit en sta ruimte is af te leiden uit de maten van de mens.
In bijlage 2 worden deze maten geanalyseerd en hierbij wordt de visie op de toekomst (groeien van mensen) meegenomen. Ook wordt gekeken naar de benodigde bagage ruimte.

Afmetingen waarmee de indeling bepaald kan worden:
Oppervlakte per persoon: $1000mm \times 500mm$ (inclusief stoel)
Oppervlakte bagage/kinderwagen-standplaats: $1000mm \times 650mm$
Hoogte binnenin carrosserie: $2100mm$
Deurgat (breedte x hoogte): $900mm \times 2000mm$

3.1.2 Indeling per concept afmeting

In figuur 6 zijn een aantal indelingen per concept afmetingen geschetst.



Figuur 6; indeling mogelijkheden per 3 conceptmaten

De ruimte per persoon (zitting + beenruimte) is 1000x500mm. De afmeting 1000mm is ruim gekozen en daarom zou er voor een ideale indeling iets van de beenruimte kunnen worden ingekort (maximaal 100mm inkorting) en dan zou er bijvoorbeeld onderscheid gemaakt kunnen worden tussen zitplaatsen met veel beenruimte en zitplaatsen met minder beenruimte.

3.2 Conceptkeuze voor de buitenafmeting van de carrosserie

Lengte x breedte; 3000 x 2000mm is de afmeting waarbij de meeste indelingsvrijheid lijkt te zijn. De uiterste buitenafmetingen van dit concept met de afgeronde voor en achterkant komt lengte x breedte neer op **4000x2000 mm**. Met de opdrachtgever is besloten om daarom voor deze afmeting te kiezen.

3.3 Haalbaarheidsstudie

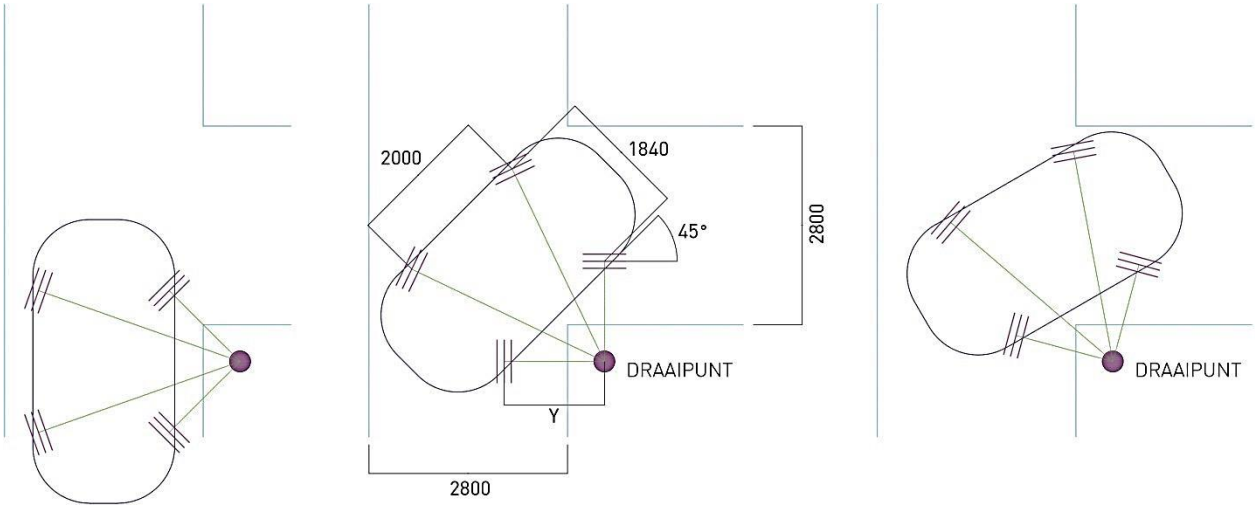
In voorgaande paragrafen is uitgegaan van een perfecte bocht (draaipunt in het midden) maar dit is niet haalbaar met 4 wielen. Er is hierbij niet rekening gehouden met de locaties van de wielen en de wieluitslag.

3.3.1 Haalbaarheid buitenafmeting

De wielbasis, spoorbreedte en maximale wieluitslag kunnen ervoor zorgen dat het maken van een bocht in het smalste straatje van Delft ($2500mm$) met een carrosserie van $2000 \times 4000mm$ toch niet haalbaar is. Dit blijkt zo te zijn en daarom zal er op het comfort of op de bereikbaarheid kwaliteit ingeleverd moeten worden. Aangezien er slechts 1 straatje in Delft $2500mm$ smal is en verder alle de straten minimaal $2800mm$ breed zijn zal er verder gewerkt worden met een straatbreedte van $2800mm$.

De maximale wieluitslag die te realiseren is, is 45°. (bij grotere wieluitslag wordt ophanging lastig en wielkasten heel diep). Hoe korter de wielbasis, hoe scherpere bochten de Alley Hoop kan nemen, maar hoe groter de wielbasis, hoe comfortabeler de rit in de Alley Hoop zal zijn (er zal dan namelijk meer stabiliteit zijn).
Aangezien de Alley Hoop geen hoge snelheden zal halen (maximaal $50\ {}^{km}/_{u}$), is een wat kortere wielbasis te overzien.
Hetzelfde geldt voor de spoorbreedte; hoe kleiner de spoorbreedte hoe scherpere bochten gemaakt kunnen worden, maar hoe meer ruimte de wielkasten dan in de carrosserie in beslag zullen nemen. Met een spoorbreedte van 1840 steken de wielen niet uit buiten de breedte van de Alley Hoop (bij deze beredenering is de bandbreedte op $160mm$ geschat) en zo wordt deze zo klein mogelijk behouden.

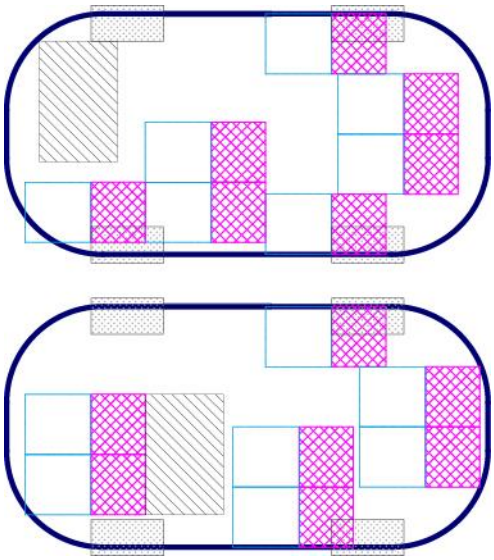
Uitgaande van $2000mm$ wielbasis en een wieluitslag van 45°, voor alle vier de wielen, kan berekend worden wat de afstand van de binnenste wielen tot het draaipunt is. Deze afstand wordt in figuur 7 als Y weergegeven. In deze situatie is Y, $1414mm$ ($\frac{1000mm}{2}/sin(45°)$). Met de locatie van het draaipunt kan de haalbaarheid van de bocht gecontroleerd worden. In figuur 7 is weergegeven dat een bocht maken met deze afmetingen mogelijk is en hiermee is de haalbaarheid van de gekozen afmeting bewezen.



Figuur 7; haalbaarheid bocht met wieluitslag van 45°

3.3.2 Haalbaarheid indeling

De wielkasten kunnen veel ruimte innemen binnenin een voertuig, dus deze moeten in de plattegrond erbij getekend worden om te bepalen welke indelingen mogelijk zijn. Nu de locaties van de wielen bepaald zijn, zijn de wieldiameters nog nodig en dan kunnen de afmetingen van de wielkasten bepaald worden. Deze maten zijn in deze fase nog niet bekend en dus wordt er een schatting gemaakt:
Wieldiameter van $500mm$ en wielbreedte van $160mm$. Dus er wordt verder gewerkt met een wielkast van ongeveer $600 \times 300mm$ tot er meer info bekend is (in fase 2 worden deze maten exact benaderd).
Een wielkast kan verwerkt worden onder de zitting van een zitplaats, waardoor de ruimte boven de wielkast niet verloren gaat. Een wielkast kan niet samen vallen met de beenruimte van een zitplaats, aangezien dit ten kosten gaat van het comfort voor de inzittenden. In figuur 8 is te zien dat er, ondanks de wielkasten, nog steeds indelingen met 7 zitplaatsen en 1 kinderwagen- of bagagestandplaats mogelijk zijn. Het creëren van 8 zitplaatsen (eis opdrachtgever) lijkt in eerste instantie niet mogelijk te zijn met de beperkte buitenafmetingen die de Alley Hoop kan hebben voor de functionaliteit in Delft, maar de inrichting valt verder buiten de scoop van deze opdracht.



Figuur 8; 2 mogelijke indelingen met wielkasten

3.4 Conclusie

De smalle straten blijken doorslaggevend te zijn voor de buitenafmetingen en er zijn dan 7 zitplaatsen en een bagage/kinderwagen standplaats mogelijk.

De afmetingen waarmee verder zal worden gewerkt zijn:
Lengte carrosserie: $4000mm$
Breedte carrosserie: $2000mm$
Wielbasis: $2000mm$
Spoorbreedte: $1840mm$
Hoogte binnenin carrosserie: $2100mm$
Deurgat (breedte x hoogte): $900mm \times 2000mm$

Deze afmeting worden in het PVE opgenomen als de afmetingen waarmee verder ontworpen moet worden.

4 Materiaal en gewichts-bepaling

De eisen die de opdrachtgever aan de carrosserie stelt met betrekking tot het materiaal zijn; milieuvriendelijk, duurzaam en lichtgewicht ontwerpen.

De opdrachtgever heeft aangegeven interesse te hebben in composiet aangezien dit voor een lichtgewicht uitvoering van de carrosserie zorgt en dit grote vrijheid in vorm levert. Op dit moment bestaat er nog niet een volledig milieuvriendelijk composiet met genoeg sterkte en stijfheid om te gebruiken voor de carrosserie. In 2050 is er waarschijnlijk meer bekend over de mogelijkheid voor milieuvriendelijke composieten en de opdrachtgever heeft daarom aangegeven dat er gedurende deze afstudeeropdracht voor het composiet glasvezel gekozen mag worden.
Glasvezelmatten van verschillende diktes en met verschillende vezelrichtingen zijn aanwezig in de Bèta Factory en daarmee kunnen op korte termijn teststukken en/of een prototype gebouwd worden.

4.1 Glasvezel

Het voordeel van glasvezel is dat het een relatief lage dichtheid combineert met hoge sterkte en stijfheid. Dit is zeer voordelig voor het ontwerpen van een lichtgewicht carrosserie. Het enige nadeel is dat glasvezel geen milieuvriendelijk materiaal is. Een eventuele oplossing voor als de Alley Hoop al op korter termijn in gebruik wordt genomen (en er dus nog geen volledig milieuvriendelijk composiet ontwikkeld is) is het gebruiken van Vlasvezels. Vlasvezels zijn een natuurlijk product waarvan de materiaaleigenschappen overeen komen met die van glasvezels. Als matrix kan er Bio-Epoxy gebruikt worden in plaats van gewone epoxy. Bio Epoxy is gemaakt uit natuurlijke olie en daarmee half natuurlijk.

4.2 Gewichtsbepaling

De opdrachtgever heeft laten weten dat het streefgewicht voor het busje $1350kg$ is en hiervan maximaal $500kg$ voor de carrosserie. De opdrachtgever houdt hierbij rekening met het vervoerstype en het maximale gewicht dat daarbij hoort.

4.3 Conclusie

Er wordt nu met glasvezel gewerkt (bij de berekeningen in deze afstudeeropdracht) maar in de toekomst zal de ontwikkeling in de materiaalindustrie kunnen leiden tot een beter composiet dat milieuvriendelijker en duurzamer is. Aangezien er in de toekomst waarschijnlijk meer natuurlijke composieten ontwikkeld zijn, heeft het nu geen belang om daarin te verdiepen.
Het maximale gewicht voor de carrosserie is $500kg$.

5 Belastingen

De belastingen die de carrosserie in bedrijf ondervindt komen van verschillende aard. Door de belastingsituaties te bepalen kunnen de maximale krachten, die de carrosserie moet kunnen houden, in kaart worden gebracht. Hieruit kan afgeleid worden waar verstevigingen genoodzaakt zijn zodat de Alley Hoop veilig functioneerd en een veilig gevoel geeft.

In deze opdracht (opstartfase van technisch ontwerpen van de carrosserie) zal alleen gerekend worden met belastingsituatie die de carrosserie van de Alley Hoop in bedrijf (normaal gebruik) ondervindt. Belastingen die ondervonden worden door andere situaties (vandalisme, botsing, brand) vallen buiten de scoop van deze opdracht, maar komen wel terug in de aanbevelingen.

5.1 Belastingsituaties

De benodigde sterkte en stijfheid worden bepaald door de grootste belastingsituaties die de carrosserie ondervindt.
Als er wordt gekeken naar normaal gebruik dan zijn de belastingsituaties waarbij de Alley Hoop van snelheid en/of richting verandert de heftigste. Constante beweging of stilstand levert nauwelijks meer belasting dan de zwaartekracht van het eigen gewicht, maar bij het veranderen van snelheid of richting zorgt het eigen gewicht voor een kracht in een andere richting, waardoor momenten en schuif-, trek- en drukspanningen ontstaan.

De belastingsituatie die interessant zijn :

- Remmen
- Bocht
- Trillingen (bijv. door betegelde weg of slecht wegdek)
- Snelheidsdrempels
- Combinatie van remmen, drempel en bocht

Hoe extremer de snelheid of richting verandert, hoe groter de kracht die ontstaat en daarom zal er per belastingsituatie van de extreemste situaties, uitgegaan moeten worden. In fase 2 zal het toepasselijke belastinggeval per berekening gekozen worden, met onderbouwde redenen.

De belastingsituaties die voor de carrosserie van belang zijn remmen, bocht en trillingen. Deze belastingsituaties zullen in fase 2 gebruikt worden voor de berekeningen. De reden dat de andere belastingsituaties niet gebruikt worden is omdat voor de andere belastingsituaties de verbinding tussen de chassis en carrosserie van belang is en die is gedurende deze afstudeeropdracht nog niet bekend.

5.2 verstevigingen

Door gaten in de constructie verliest een constructie sterkte/stijfheid. Ramen zijn gaten. De deur is ook een gat en dit is vooral een zwak punt omdat het gat tot de vloer open is. Om de carrosserie rondom de gaten stijf genoeg te maken zullen er net als bij alle voertuigen deurstijlen ontworpen moeten worden.
Ook de vorm van de deurstijlen kan al grotendeels voorspeld worden aangezien er buigstijfheid nodig is en daarom zal de doorsnede rondom de ramen vergroot moeten worden om een grote oppervlaktetraagheid(I) te behalen. De ontworpen carrosserie voor de Alley Hoop is een carrosserie met veel ramen en daarom is het berekenen van de deurstijlen een belangrijk punt om de haalbaarheid van het ontwerp te bepalen.

De wanden van de carrosserie moeten zo dun mogelijk gehouden worden zodat de Alley Hoop zo licht mogelijk is. Om stijfheid in de wanden de behalen, zal de wanddikte dus niet overal vergroot moeten worden, maar plaatselijk om zo genoeg stijfheid te bereiken voor een stuk wand. Dit kan bereikt worden door middel van het plaatsen van verstevigingsribben tegen de wanden. Verstevigingsribben zorgen voor het vergoten van de

doorsneden (en dus de I) en daardoor zal de stijfheid van de wand ter plaatse van de ribben heel hoog zijn t.o.v. de stukken wand zonder rib. Neem bijvoorbeeld de zijwand die van de voorkant van de bus tot aan de achterkant overspand. De lengte die de wand overspand wordt door de ribben verkleind, want de overspanning zal dan van rib naar rib zijn i.p.v. van de voorkant van de bus naar de achterkant.

5.3 Conclusie

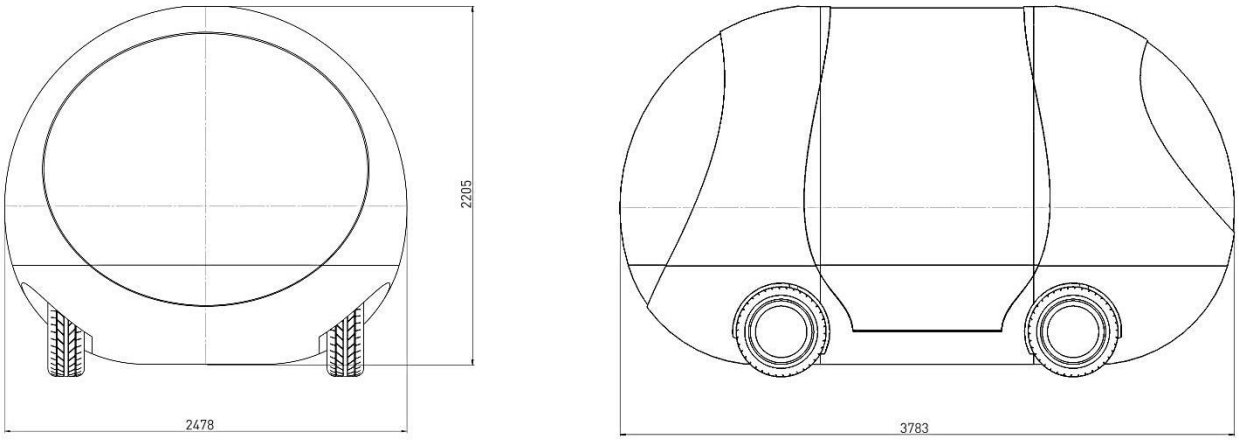
De belastingsituaties die gebruikt kunnen worden voor de sterkte- en stijfheidsberekeningen aan de Alley Hoop zijn: Remmen, Bocht, Trillingen, Snelheidsdrempels en Combinatie van remmen, drempel en bocht, maar de belastingsituaties die in fase 2 gekozen worden zijn alleen **remmen, bocht en trillingen**. Per berekening zal het toepasselijke belastinggeval gekozen worden en toegelicht.

Er zullen verstevigingen, in de vorm van deurstijlen en ribben, nodig zijn om de juiste stijfheid te verkrijgen en de locaties ervan zijn al voorspeld maar hoe deze verstevigingen er precies uit moeten zien (afmetingen etc.) wordt in fase 2 benaderd.

6 Design

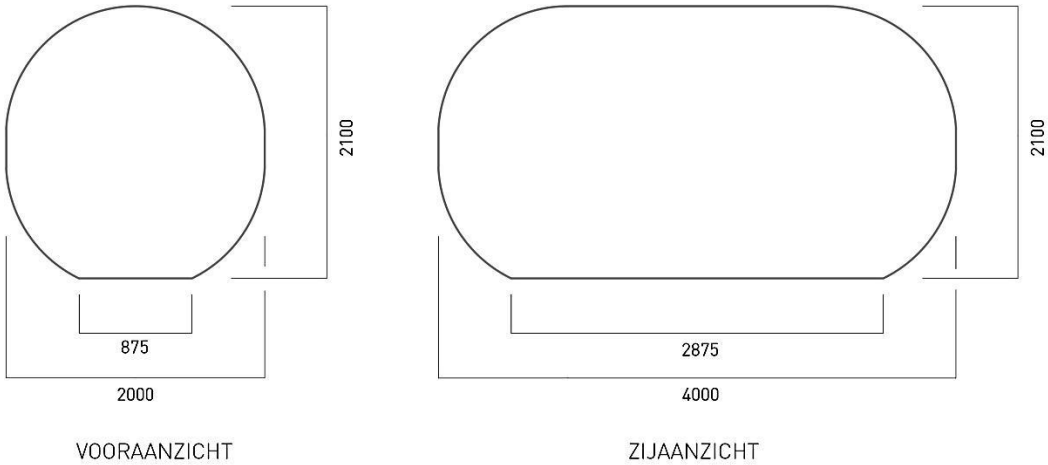
Het idee achter de vele ramen in Bas zijn ontwerp is dat er voor de inzittenden veel uitzicht is en de ronde vormen zorgen voor een “organisch gevoel”. Deze aspecten zullen zo veel mogelijk behouden worden, maar door de kennis die in de analyse naar de afmetingen (Hoofdstuk 3) is opgedaan zal het ontwerp enigszins aangepast moeten worden.

Om het ontwerp functioneel te maken voor het centrum van Delft en tegelijk groot genoeg voor minstens 7 zitplaatsen, zullen er aanpassingen aan het ontwerp (figuur 9) gedaan moeten worden.



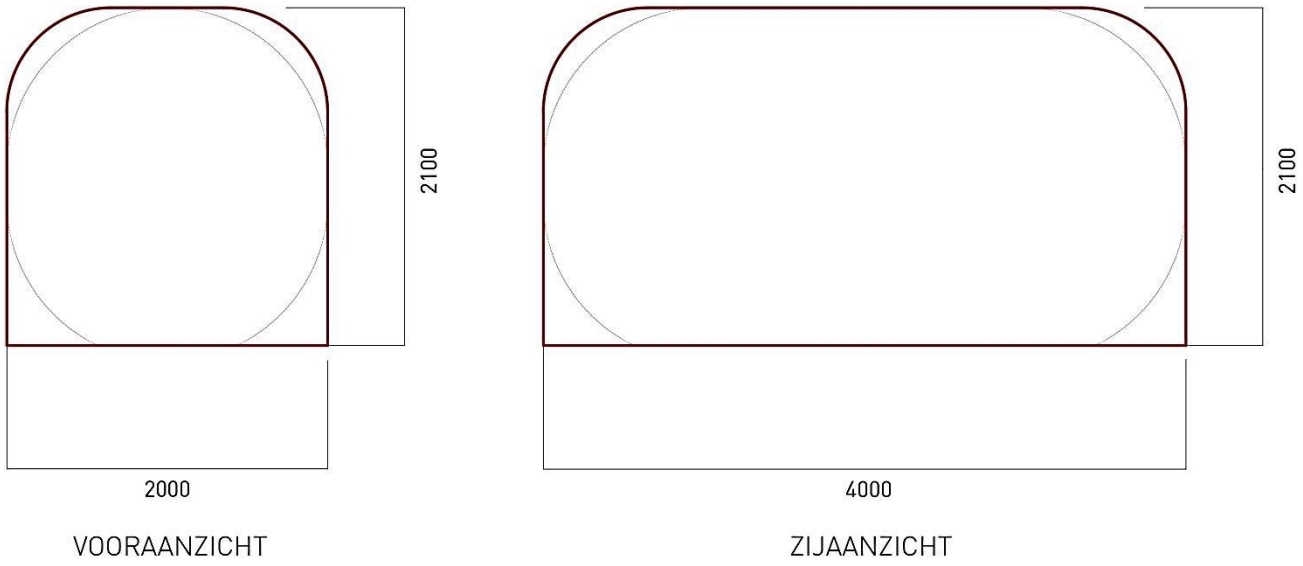
Figuur 9; voor- en zijaanzicht, ontwerp Bas Bothof

De maximalen afmetingen (om door centrum van delft te passen) zijn in dit rapport al berekend en als deze afmetingen worden toegepast op het ontwerp van Bas dan is te zien dat de ronde vormen onvoordelig zijn voor het beschikbare vloeroppervlak (zie figuur 10).



Figuur 10; schematische weergave van het ontwerp van Bas met de afmetingen uit H.. erop toegepast

Als de afrondingen om de vloer heen worden verwijderd en vervangen door rechte wanden dan is meteen het benodigde vloeroppervlak ($2000 \times 4000mm$ uit Hoofstuk 3) beschikbaar (zie figuur 11). In figuur 11 is ook de ronde vorm van het dak beperkt zodat de benodigde loop-hoogte van $2100mm$ op meer plekken in de carrosserie behaald wordt en het verplaatsen door de Alley Hoop wordt daardoor vereenvoudigd.



Figuur 1101; optimalere vorm

6.1 Conclusie

Het Design van Bas Bothof wordt zo aangepast dat de buitenafmetingen kloppen met de bepaalde afmetingen uit Hoofdstuk 3. Om het vloeroppervlak optimaal te benutten en ruimte te kunnen bieden voor 7 zitplaatsen en 1 bagage- of kinderwagenstandplaats zullen de afrondingen onderaan verwijderd worden en bovenaan beperkt worden.
Hoewel het dus niet mogelijk is om de carrosserie zo rond te maken als het design van Bas Bothof zal er wel naar gestreefd worden zo veel mogelijk het ronde gevoel aan de Alley Hoop te geven. Ook het idee van de vele ramen (om veel uitzicht te bieden) zal zoveel mogelijk behouden worden.
Met deze gegevens en technisch inzicht, betreft benodigd materiaal voor sterkte en stijfheid, is een eerste opzet gemaakt voor de carrosserie van de Alley Hoop (zie §7.2).

7 Pakket Van Eisen (PVE)

Deze afstudeeropdracht omvat alleen de geometrie en de berekeningen van sterkte en stijfheid van de carrosserie. Hieronder staan de eisen die op deze afstudeeropdracht van toepassing zijn. Deze eisen zijn afkomstig uit de analyses die in de hoofstukken 3, 4, 5 en 6 gedaan zijn.

7.1 Gekwantificeerde eisen

Afmetingen
Lengte carrosserie: $\mathbf{4000mm}$
Breedte carrosserie: $\mathbf{2000mm}$

Wielbasis: $\mathbf{2000mm}$
Spoorbreedte: $\mathbf{1840mm}$

Hoogte binnenin carrosserie: $\mathbf{2100mm}$
Deurgat (breedte x hoogte)**:** $\mathbf{900mm \times 2000mm}$

Materiaal:
E Glasvezel-epoxy

Maximaal gewicht
Carrosserie: $\mathbf{500\ kg}$

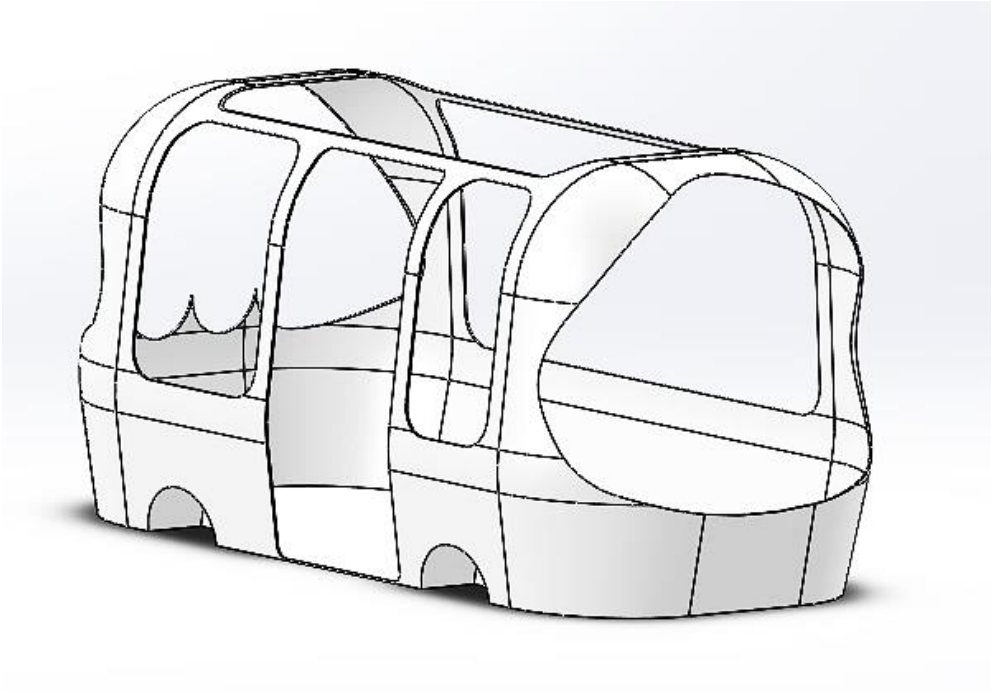
Belastingsituaties:
De belastingen waar rekening mee moet worden gehouden tijdens het testen van de haalbaarheid van het ontwerp van de carrosserie (gedurende deze opdracht) zijn de **maximale rembelasting, bochtbelasting** en **trillingen**.

Design / Geometrie:
De Alley Hoop moet voldoen aan de gestelde afmetingen maar nog zo veel mogelijk het **ronde gevoel** van Bas Bothof z'n ontwerp overbrengen; **organische vormen**. De geometrie hangt ook af van de sterkte en stijfheid berekeningen, maar bij het aanpassen (voor sterkte) van de geometrie zal design idee in acht genomen worden.

Een aantal punten van de veiligheidseisen worden in het PVE van deze afstudeeropdracht achterwegen gelaten, omdat de veiligheid van meerdere dingen afhangt. Er moet dan namelijk naar het totale ontwerp gekeken worden (carrosserie, vloer en chassis).

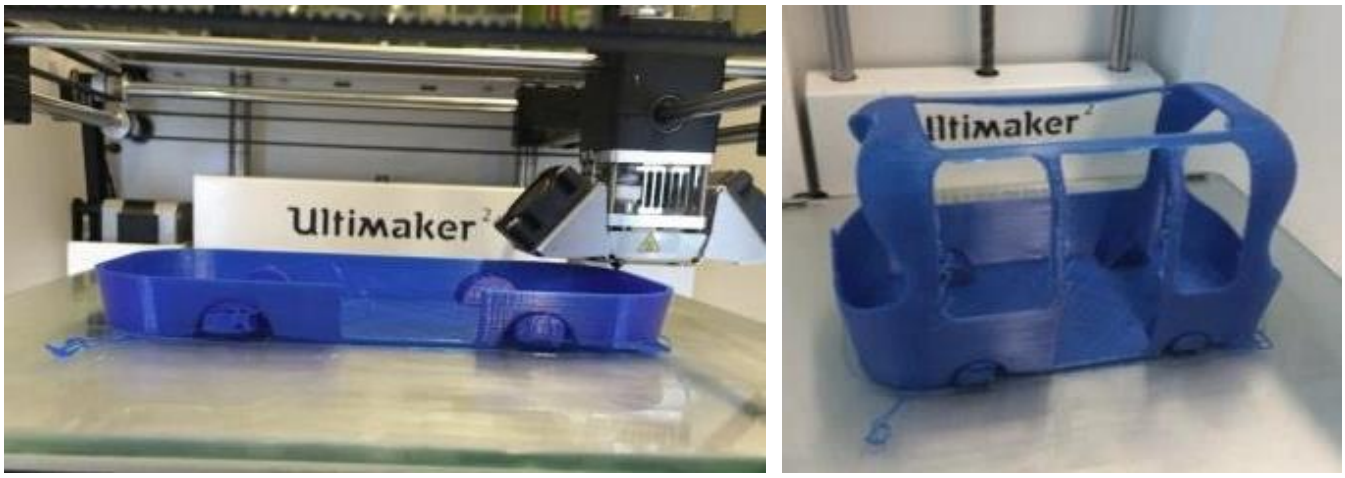
7.2 Start ontwerp voor fase 2

Met de kennis die tot en met fase 1 bekend is, is er een model gemaakt in Solid Works (zie figuur12). Het ontwerp hiervan is vooral gebaseerd op de kennis die is opgedaan in de afmetingen en design analyses.
Er is ook gekozen voor meer wanden en deurstijlen met uitzicht op de belastingen die opgevangen moeten worden.



Figuur 12; eerste ontwerp na het afronden van de analyse fase

Dit is het start ontwerp voor fase 2. In fase 2 zal dit ontwerp getest worden op haalbaarheid. Het model is geprint met een 3D-printer die in het expertise centrum van de Haagse Hogeschool aanwezig is. Het gaat bij 3D-printen om een zichtmodel dus verstevigingen (die al voorspeld zijn) zoals deurstijlen zijn niet geprint. (zie figuur 12).



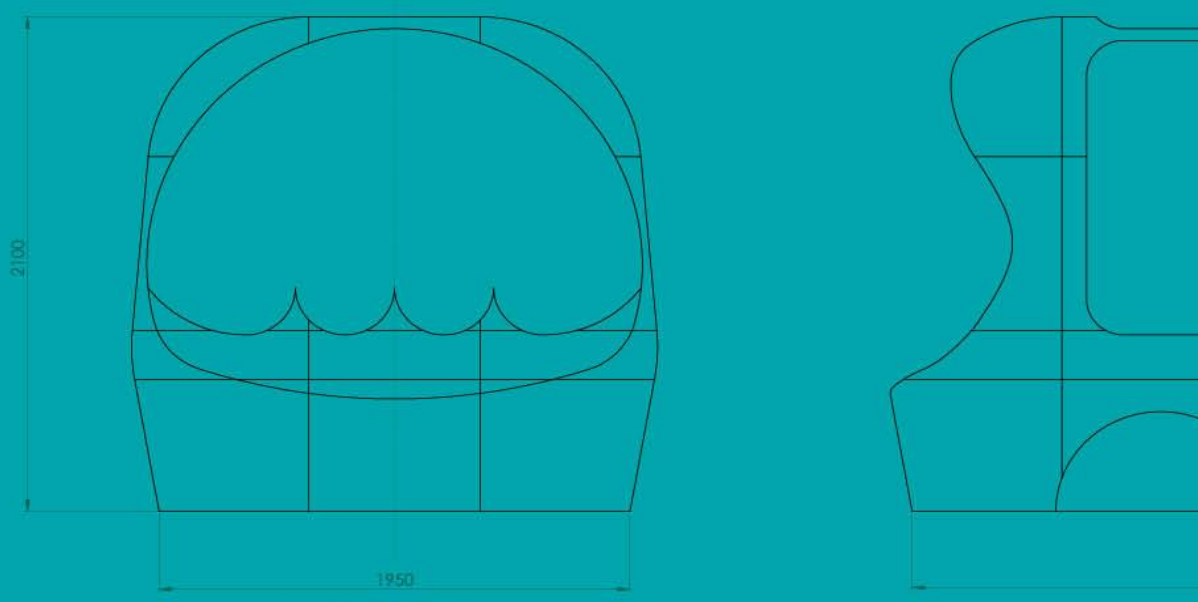
Figuur 13; Alley Hoop 3D-print van het eerste ontwerp

FASE 2

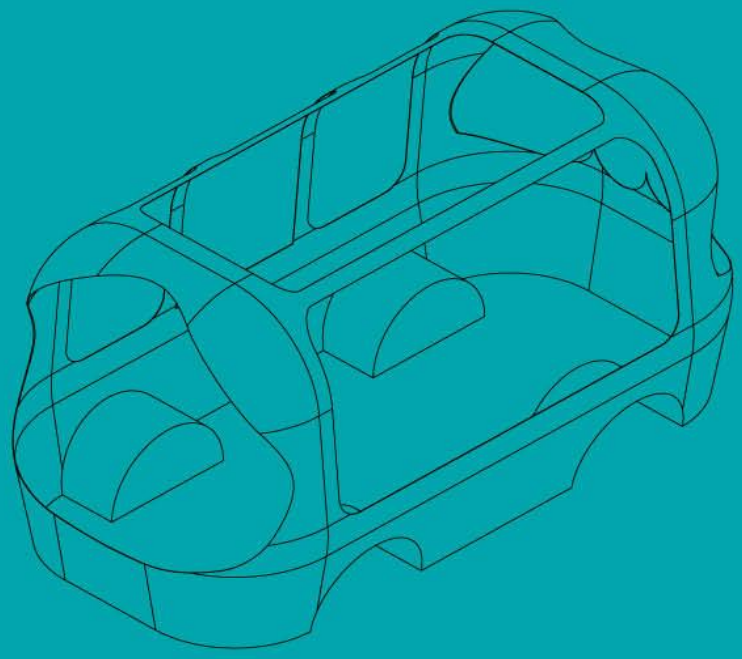
TECHNISCH ONTWERPEN

Met het Pakket Van Eisen wordt in Fase 2 ontwerp van de carrosserie uitgewerkt en, aan de hand van sterkte- en stijfheids-berekeningen, getest op haalbaarheid.

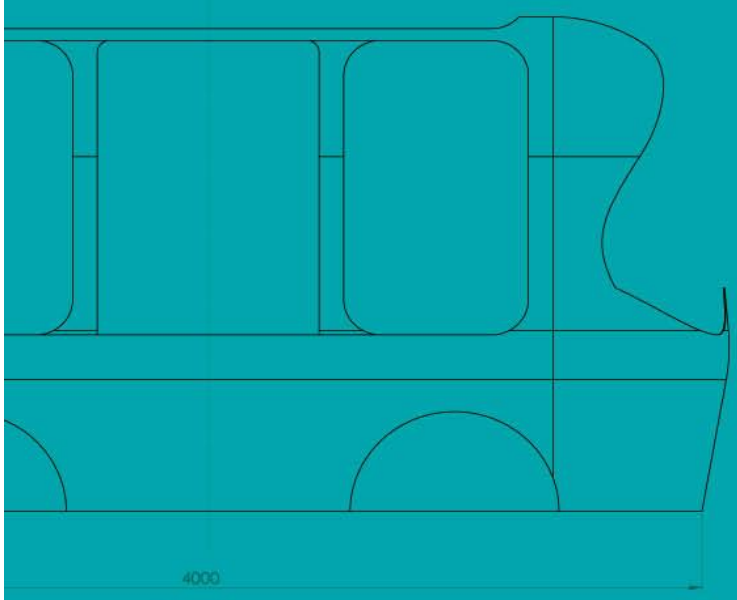
De geometrie zal uitgewerkt worden tot een ontwerp dat er niet alleen aantrekkelijk uitziet, maar ook aan de eisen voldoet.



Front View
scale 1:15



Isometric View
not to scale



Side View
scale 1:15

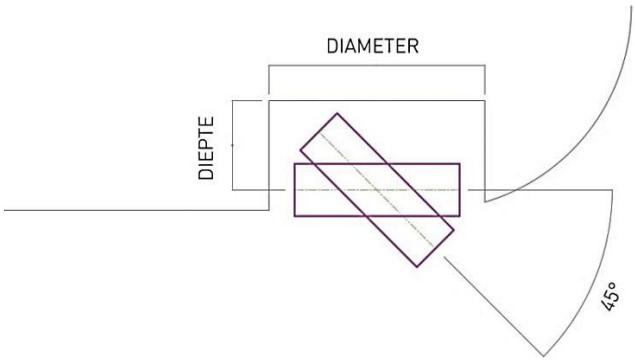
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS	FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
	NAME	SIGNATURE	DATE	TITLE: Alley Hoop	
DRAWN	C van Stobbe		07-12-14		
CHK'D					
APPV'D					
MFG					
Q.A				MATERIAL: E glass fibre epoxy	DWG NO. body in white A1
				WEIGHT:	SCALE: 1:15 SHEET 1 OF 1

8 Wielkast afmetingen

De wielkast neemt veel ruimte in, in de carrosserie, en de maten ervan worden daarom het liefst zo klein mogelijk gehouden. De afmetingen van de wielkast hangen af van de wieldiameter, wielbreedte en wieluitslag. In fase 1 zijn deze maten hiervan geschat. Om verder te kunnen met het berekenen van de wanddikte is het gewenst om de maten van de wielkast meer exact te weten (in Hoofdstuk 9 wordt uitgelegd waarom).

De wieluitslag is bepaald in fase 1 en is 45°. De wieldiameter en wielbreedte komen voort uit het totale, maximaal belaste, gewicht van de Alley Hoop. De berekening die de wielafmetingen bepaald is gemaakt en hier komt uit dat een wieldiameter van $665mm$ en breedte van $215mm$ gewenst is (gebaseerd op $2500kg$ belast gewicht) (bron: Bishay Moenne). De in-veer afstand waar rekening mee moet worden gehouden is ongeveer 50mm (bron: Bishay Moenne) en een extra speling van $50mm$ (schatting).

Vanuit de afmetingen die nu bekend zijn, kan een benodigde afmeting voor de wielkast bepaald worden (zie figuur 14 en tabel 1)



Figuur 14; wielkast met wiel

Hieruit komt een afmeting voor de wielkast van wielkast $850mm \times 350mm$ (gemeten vanaf center wiel).

Aan de wielkast afmetingen is te zien dat er veel ruimte nodig is om het wiel 45° te kunnen laten draaien. Het is een optie om de wielen minder dan 45° te laten draaien en dan gaat er minder ruimte in de carrosserie verloren, maar in dat geval kan de Alley Hoop minder efficiënte bochten maken en zal de buitenafmeting van de Alley Hoop verkleind moeten worden voor toegankelijkheid in het centrum van Delft. In dat geval gaat er alsnog ruimte in de carrosserie verloren en daarom is het een beter optie om de wielen 45° te laten draaien en de wielkasten zoveel mogelijk onder de stoelen te verwerken.

Wiel				
d	diameter	648	mm	
b	breedte	205	mm	
inveerafstand;	(schatting)	50	mm	
extra;	(schatting)	50	mm	
x	maximale wieluitslag gemeten vanaf center wiel	**302,5**	mm	
Wielkast				**Afgerond**
d	diameter	848	mm	850mm
diepte	diepte vanaf center wiel	353	mm	350mm

Tabel 1; wielkast afmetingen bepalen

9 Wanddikte

In fase 1 zijn de afmetingen van de Alley Hoop bepaald uit de eisen van de opdrachtgever (Alley Hoop moet functioneren in Delft centrum). In deze fase wordt met die afmetingen gerekend. Deze berekeningen zijn om de haalbaarheid van de ontworpen geometrie vast te stellen, om de wanddikte te bepalen en om verstevigingen toe te voegen waar nodig.

Om berekeningen aan de carrosserie te kunnen maken, zijn de materiaaleigenschappen (sterkte, stijfheid en massa) benodigd. Aangezien glasvezel een composiet is, liggen de materiaaleigenschappen niet vast en daarom worden deze in §9.1 en §9.2 grotendeels bepaald voor de berekeningen die gemaakt zullen worden in de rest van het verslag.

9.1 Materiaalgegevens

In de analysefase is een materiaalkeuze gedaan voor de carrosserie. Aan het materiaal hangen materiaalgegevens, zoals sterkte, dichtheid en stijfheid, die van belang zijn voor de berekeningen. Er is in fase 1 gekozen voor glasvezel. Glasvezel is een composiet en composiet is een samengesteld materiaal waarvan de eigenschappen worden bepaald tijdens de productie. Composiet bestaat uit vezels en hars. De vezels zorgen voor de sterkte en stijfheid van de composiet en de hars zorgt voor de verbinding. In dit geval zijn glasvezels de vezels en dient epoxy als matrix.

Bij het berekenen van de stijfheid (of sterkte) moet rekening worden gehouden met de materiaaleigenschappen van zowel de vezels als de hars. De E-modulus en de sterkte van een composiet worden immers berekend door de volgende formules:

$$E_c = E_f * V_f + E_m * (1 - V_f)$$

$$\sigma_c = \sigma_f * V_f + \sigma_m * (1 - V_f)$$

Met:
E = stijfheid
V_f = vezelvolumefractie
σ = sterkte (maximaal toelaatbare spanning)

Onderschrift c staat voor composiet, f staat voor vezel (fibre) en m voor hars (matrix)

<u>Productiemethode</u>
De verhouding van de twee materialen (vezelvolumefractie) is van grote invloed op de sterkte en stijfheid van de composiet. De sterkte en stijfheid van de vezel is namelijk het grootst en dus wordt er gestreefd de vezelvolumefractie zo groot mogelijk te maken. De vezelvolumefractie komt voort uit de productiemethode; namelijk hoe nauwkeurig deze is. De materiaaleigenschappen van een composiet hangen dus voor een groot deel af van de productiemethode.

Methode	V_f
Hand layup	0.4
Vacuum inject	0.5
Autoclaaf (prepreg)	0.6

Bron: 'vuistregels ontwerpen met composieten' zie literatuurlijst

Zoals in de waardes hierboven te zien is, kan met een autoclaaf de grootste V_f behaald worden. Productie met een autoclaaf is voor de Alley Hoop geen optie omdat het een proces is waarbij een grote autoclaaf nodig is voor de afmetingen van de Alley Hoop. Dit is een dure optie en daarom valt deze ondanks de hoge vezelvolumefractie, die ermee verkregen kan worden, af.

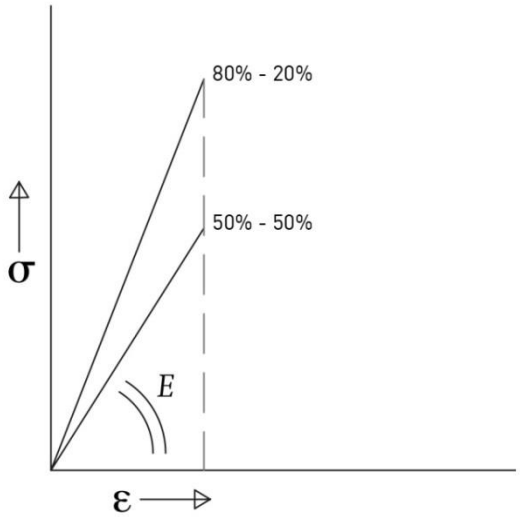
Voor de carrosserie van de Alley Hoop is Vacuüm-injectie de beste productiemethode omdat het een vrij hoge vezelvolumefractie oplevert en het is haalbaar met de middelen die in de Bèta Factory aanwezig zijn. Het produceren van composieten constructies d.m.v. vacuüm-injectie levert een grote vrijheid in vorm; de vezels worden in de juiste vorm gelegd (in een matrijs) en met het toevoegen van de hars wordt de vorm vastgelegd.

Weefsel (vezel-oriëntatie en verhouding)

Composiet is geen isotroop materiaal (zoals staal), maar een orthotroop of anisotroop (dit hangt af van de vezelmatten die gebruikt worden) materiaal en daarom is het van belang dat bepaald wordt in welke richting de vezels van het materiaal georiënteerd worden in de constructie. Het maakt een groot verschil of de kracht parallel aan de vezels wordt uitgeoefend of onder een hoek.

De vezels worden geleverd als vezelmatten waarvan de vezel-oriëntatie bepaald is en de verhouding van de oriëntatie. De keuze die gemaakt moet worden voor de juiste matten om een constructie(deel) mee te produceren, hangt af van de belasting (en belastingrichting) die het constructiedeel op moet kunnen nemen. Als een plaat in meerdere richtingen sterkte moet hebben dan kan er het beste gekozen worden voor 0°-90° (vezel-oriëntatie) weefselmatten van verhouding 50%-50%. Dit betekent dat de weefselmat in 2 richtingen loodrecht op elkaar (0°-90°) evenveel vezels (50%-50%) heeft en daardoor in 2 richtingen dezelfde sterkte en stijfheid eigenschappen. Dit is goed te gebruiken voor plaatdelen waarop in meerdere richtingen krachten komen te staan zoals bij de Alley Hoop de wanden van de carrosserie rondom (onder de ramen).

Het veranderen van de verhouding in een weefsel kan voordelig zijn als er vooral in 1 richting sterkte/stijfheid nodig is. Dan kan er gekozen worden voor een 80%-20% weefsel. Er zit dan 80% van de vezels in de ene richting geweven en 20% in de andere richting. Door deze verhouding is de mat stijver en sterker in de richting van 80% en minder sterk en stijf in de richting van 20%. Dit kan nodig zijn bij een langer stuk profiel (bijvoorbeeld de deurstijlen in de carrosserie) dat op buigspanning belast wordt.
Het verschil in sterkte tussen een 80%-20% weefsel en een 50%-50% weefsel kan verklaard worden met de spanning-rek diagram van het materiaal. Een trekproef van een 50%-50% weefsel en een 80%-20% weefsel zijn te vergelijken zoals dat in figuur 15 is weergegeven wanneer het materiaal in de richting van de 80% belast wordt.



Figuur 15; dit spanning-rek diagram laat schematisch de sterkte en stijfheid van een 80-20 weefsel in de richting van de 80 vezels zien, t.o.v. een 50%-50% weefsel. Beide een 0°-90° weefsel.

De rek, ε, blijft gelijk want de rek van het materiaal verandert niet, of er nou meer of minder vezels in de richting van de belasting liggen. De maximale rek van het materiaal wordt bepaald door de rek van 1 vezel. De maximaal toelaatbare kracht wordt groter bij meer vezels, omdat er meer vezels en dus meer sterkte in die richting liggen. Uit de formule $\sigma = \frac{F}{A}$ kan afgeleid worden dat F_{max} (de maximale kracht die het materiaal aan

kan) vergroot en A blijft hetzelfde dus wordt σ_{max} van het materiaal groter. Uit het spanning-rek diagram en de formule voor E, $E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$, is af te leiden dat de stijfheid, E, van het materiaal dan vergroot.

Het maakt, naast de vezelverhouding en de vezel-oriëntatie in de weefselmatten, ook nog uit in welke richting deze matten worden neergelegd tijdens het produceren van een constructie, aangezien dat ook bepaalt in welke richting de belastingen op de vezels komen te staan. Deze richting bepaalt of de vezels de belasting als schuifspanning of trek- en drukspanningen opneemt. Er kan gekozen worden om de matten bijvoorbeeld onder 0° neer te leggen of onder 45°. De oriëntatie van de matten, tijdens het produceren, wordt bij de berekeningen voor de wanddikte in eerste instantie buiten beschouwing gelaten, maar de invloed van de oriëntatie op de berekeningen wordt nog verder toegelicht.

Materiaalgegevens van glasvezel(matten)

Als er wordt uitgegaan van weefselmatten van E-glas (glasvezel type dat aanwezig is in de Bèta Factory) en geproduceerd met epoxyhars, met een V_f van 0,5, dan zijn de materiaaleigenschappen ongeveer te bepalen. Deze materiaaleigenschappen zijn genoemd in het rapport 'vuistregels ontwerpen met composieten' (zie literatuurlijst) en in tabel 2 zijn de belangrijkste waardes, voor de berekeningen in dit verslag, overgenomen.

		E-GLAS EPOXY +/- 50%-50%	E-GLAS EPOXY +/- 80%-20%
V_f		0,5	0,5
E_1	[MPa]	21000	29000
E_2	[MPa]	21000	13000
τ_{12}	[MPa]	55	55
ρ	$[kg/dm^3]$	1,8	1,79
$\sigma_{1,\,trek}$	[MPa]	380	650
$\sigma_{1,\,druk}$	[MPa]	280	400
$\sigma_{2,\,trek}$	[MPa]	380	100
$\sigma_{2,\,druk}$	[MPa]	280	100

Tabel 2; materiaaleigenschappen glasvezel. Bron: Tabel 4 van rapport 'vuistregels ontwerpen met composieten', zie literatuurlijst.

Zodra er gerekend wordt aan de spanningen in de carrosserie(delen) wordt er gekozen voor 50%-50% of 80%-20% en deze keuze wordt ter plaatse van de berekening toegelicht.

9.2 Massa

Bij het maken van berekeningen is de massa van belang. De massa hangt af van het volume van de carrosserie, maar deze hangt weer af van de wanddikte en die moet juist berekend worden. Daarom wordt het gewicht berekend met de gewenste wanddikte. Het streven is naar een lichtgewicht carrosserie en daar is de materiaalkeuze (glasvezel) ook op gebaseerd.

Voor de gewenste wanddikte kan ter referentie naar een ander voertuig (waarvan de carrosserie van glasvezel gemaakt is) gekeken worden. Dit is gedaan en opgemeten bij de Burton cruiser (racevoertuig van het expertisecentrum van de Haagse Hogeschool) en die wanddikte is $3mm$. Daar is niet aan gerekend, maar dit voelt heel stijf en bij de berekeningen in de volgende paragraaf zal blijken of er waarden aan dat gevoel gegeven mag worden.

De opdrachtgever heeft aangegeven dat een wanddikte van $2mm$ gewenst is. Dit is gebaseerd op het streven naar lichtgewicht en het vermoeden (van de opdrachtgever) dat dit sterk en stijf genoeg zal zijn. Er zal door middel van de berekeningen die volgen in dit hoofdstuk bepaald worden of dit haalbaar is (in combinatie met plaatselijke verstevigingen).

Voor het bepalen van de massa wordt in deze fase van de berekeningen voor een wanddikte van $3mm$ gekozen omdat er nog geen verstevigingen (deurstijlen en ribben) geplaatst zijn, die er wel nog zullen komen, en daarmee zal het volume (en dus gewicht) omhoog gaan. Dus de gekozen wanddikten voor een eerste massabepaling is $3mm$.
Voor de dikte van de ramen wordt $5mm$ gekozen. Dit is een dikte die doorgaans voor auto's wordt gebruikt voor de voorruit (zelf opgemeten).

Het model van de carrosserie is in Solid Works gemodelleerd en Solid Works heeft een functie om het volume van een model weer te geven. Zo is de massa van het ontwerp benaderd. De vloermassa wordt hierin niet meegenomen omdat in fase 1 is bepaald dit buiten de scoop van deze opdracht te laten. De vloermassa zal ook niet van invloed zijn op de berekeningen die volgen (uitleg daarover volgt ter plaatse van de berekeningen).

Massa body in white + ramen			
dichtheid glasvezel	1,8	kg/dm^3	
dichtheid glas	2,5	kg/dm^3	
volume body in white (met wanddikte 3mm)	45	dm^3	(incl. deur)
volume ramen (met raamdikte 5mm)	76,1	dm^3	(incl. deurraam)
gewicht glasvezel, body in white	81	kg	(incl. deur)
gewicht glazen ramen	190,25	kg	(incl. deurraam)
Massa carrosserie			
totaal	271,25	kg	

Tabel 3; massa carrosserie

Zoals in tabel 3 te zien is, is de massa van de carrosserie inclusief ramen en deur ongeveer $270kg$. Het maximale gewicht dat de carrosserie mag hebben is gesteld op $500kg$. Bij dat gewicht worden wel de vloer en inrichting van de carrosserie meegerekend. Dit betekent dat daar nog $230kg$ voor overblijft. Een sandwich vloer voor het oppervlak van ongeveer $6m^2$ met stalen inserts komt ongeveer neer op $30kg$ (schatting op basis van 2 platen van 2mm glasvezel, een schuimkern en stalen inserts).
Dat houdt in dat er nog $200kg$ beschikbaar is voor de inrichting. Dit lijkt reëel in het geval dat de inrichting ook lichtgewicht (van glasvezel bijvoorbeeld) gemaakt wordt.
Er is bij de gewichtsbepaling uitgegaan van ramen van glas, maar er zal nog gekeken kunnen worden of hier een lichtere (kunststof) oplossing voor is (zie aanbevelingen).

9.3 Afschuiving

Nu de materiaaleigenschappen en de massa ongeveer bekend zijn, kan met verschillende belasting gevallen berekend worden of gewenste wanddikte van $2mm$ haalbaar is (in combinatie met eventueel benodigde verstevigingen). Er wordt in deze paragraaf berekend of de gewenste wanddikte van $2mm$ is opgewassen tegen de schuifspanningen die optreden door de remkracht en middelpuntzoekende kracht.

9.3.1 Middelpuntzoekende kracht, $\mathbf{F_{mpz}}$

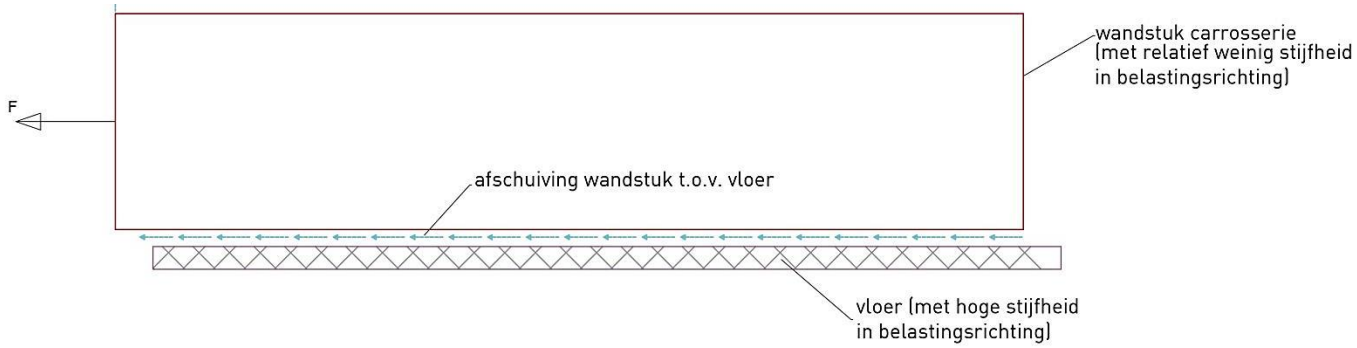
De middelpuntzoekende kracht is een kracht die ontstaat wanneer een voertuig een bocht maakt, Deze kracht grijpt aan op het zwaartepunt van het voertuig. De middelpunt zoekende kracht wordt beïnvloed door de massa, de baansnelheid en de straal van de draaicirkel. Zie bijlage 3 voor benadering van de maximale middelpuntzoekende kracht (tijdens normaal gebruik) waarmee verder gerekend zal worden. De uitkomst hiervan;
$F_{mpz}max \approx 1665N$

9.3.2 Remkracht, Frem:

De remkracht is de kracht die optreedt tijden het remmen en wordt beïnvloed door de vertraging en de massa. Zie bijlage 4 voor een benadering van de maximale remkracht (tijdens normaal gebruik) waarmee verder gerekend zal worden. De uitkomst hiervan; $F_{rem}max \approx 1308N$.

9.3.3 Schuifspanning t.g.v. $\mathrm{F_{rem}}$ en $\mathrm{F_{mpz}}$

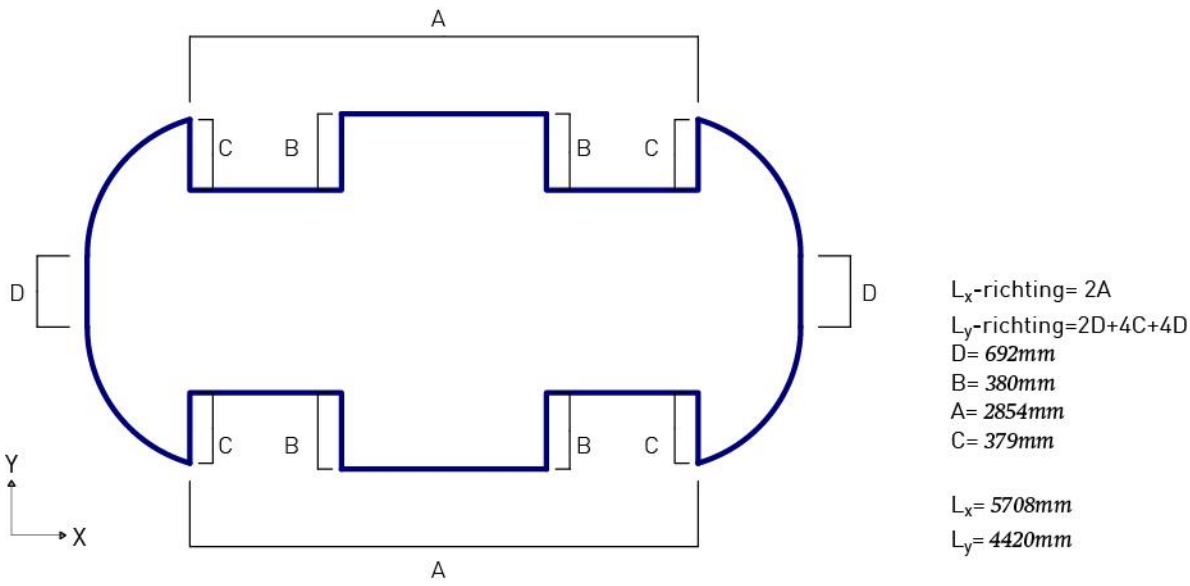
Er wordt eerst gekeken naar schuifspanningen die ontstaan in het gebruik omdat dit vermoedelijk de benodigde wanddikte bepaald. Afschuiving zorgt ervoor dat er een schuifspanning in de wand ontstaat en als de wand niet sterk genoeg is dan wordt de schuifspanning hoger dan de toelaatbare schuifspanning van het materiaal. Bereken de afschuiving van de wand t.o.v. de vloer; Kijken dus naar de doorsnede van de wanden vlak boven de vloer.
Vloer wordt hierbij als stijf beschouwd en we kijken naar de spanning die daardoor in de wanddoorsnede ontstaat. (zie figuur 16)



Figuur 16; schematische weergave van de afschuiving van stuk wand t.o.v. vloer

De aanname dat de vloer stijf is mag gedaan worden omdat ervan uitgegaan wordt dat de bodem vast zit aan de chassis en dat deze stijf is in de belasting richting. Deze aanname mag gedaan worden omdat in deze belastingsituatie de wanden vooral belast worden.

In de bocht en tijdens het remmen nemen de wanden, die in lijn met de kracht staan, de belasting op als schuifspanning. Met deze krachten kan de haalbaarheid van de (gewenste) wanddikte berekend worden van de wanden die in lijn staan met de kracht. De wanden die loodrecht op de kracht staan zijn in die richting te zwak om de kracht op te nemen. Dit kan bij een simpel papiertje met 1 omgevouwen zijde nagebootst worden. Parallel aan de vouw zal het papiertje niet makkelijk ombuigen maar loodrecht op de vouw klapt het papiertje bij een kleine belasting al om. Dit komt doordat de stijfheid veel groter is bij de zijde parallel aan de kracht. De h in de doorsnede is dan namelijk de lengte van de wand terwijl in de andere richting de h de wanddikte is. De h van de doorsnede bepaald de stijfheid en dit is af te leiden uit de formule voor het oppervlakte traagheidsmoment; $I = b \times h^3$. De h doet dus tot de derde macht mee en b tot de eerste.
Het stijfste deel neemt dus de belasting op en daarom wordt gekeken naar de wanden die parallel aan de krachten staan. Deze wanden zullen de schuifspanning aan moeten kunnen en dat is waar de wanddikte op getest zal worden.
In figuur 17 is uitgezet welke wanden in de x-richting de kracht opvangen en welke wanden in de y-richting de kracht op zullen vangen.



Figuur 17; wanden langs x en y as van de Alley Hoop

De radiussen doen eigenlijk gedeeltelijk ook mee maar door deze buiten beschouwing te laten, kan dit als een veiligheidsmarge gezien worden. Er zullen heel waarschijnlijk nog ribben geplaatst worden (zoals in Hoofdstuk 5 al beschreven is) die voor grotere L waardes (zowel in x als in y richting) zullen zorgen.

De formule die gebruik wordt voor het berekenen van de benodigde wanddikte is de formule voor schuifspanning:

$$\tau = \frac{F}{A}$$

Met:
$\tau = schuifspanning\ [MPa]$
$F = kracht\ [N]$
$A = oppervlakte\ [mm^2]$

Dus hoe groter de oppervlakte waar de kracht op werkt, hoe kleiner de schuifspanning. De oppervlakte wordt bepaald door de L en de wanddikte. De waarde voor L staat vast dus de grootte van het oppervlak waar de kracht over verdeeld wordt, hangt af van de wanddikte.

Tijdens het remmen ondervinden de wanden die parallel aan de x-as (zie figuur 17) staan schuifspanningen in de doorsnede (zie figuur 16) en zo kan de benodigde wanddikte berekend worden met de maximale F_{rem} voor F in de voor schuifspanning. Tijdens de bocht (middelpuntzoekende kracht) ondervinden de wanden die parallel aan de y-as staan schuifspanningen in de doorsnede en met die belasting, maximale F_{rem} voor F, kan de benodigde wanddikte voor deze wanden van de carrosserie berekend worden.

De formule om de schuifspanning te berekenen tijdens de bochtbelasting en rembelasting kan ingevuld worden.

$$\tau = \frac{F_{max}}{A}$$

De waarde van τ die uit de berekening komt, wordt vergeleken met de maximaal toelaatbare schuifspanning, τ_{max} , voor het gekozen materiaal.
De uitkomst voor de schuifspanning (door de maximale rem- en middelpuntzoekende kracht) moet lager zijn

dan de maximaal toelaatbare schuifspanning (de schuifsterkte) van het materiaal, met veiligheidsmarge;

$$\tau \leq s_{UC} * \tau_{max} \text{ met } S_{UC} = 0{,}8$$

Komt er een waarde voor τ uit de formule die niet aan bovenstaande vergelijking voldoet dan moet er een grotere wanddikte gekozen om de τ te verlagen.

Voor τ_{max} wordt $55MPa$ gebruikt (zie tabel2). Dit is de maximale schuifspanning in de vezelrichting. Hierbij wordt gekozen voor het 50%-50% weefsel zodat de wanden in 2 richtingen dezelfde sterkte hebben.
Voor de oriëntatie van de weefselmatten wordt voor deze berekening in eerste instantie uitgegaan van 0° zodat de vezels op schuif belast worden.

De kracht, F_{max}, die in de formule gebruikt wordt, zijn de maximale remkracht, F_{rem}, en de maximale middel-puntzoekende kracht, F_{mpz}, die de Alley Hoop ondervindt tijdens normaal gebruik.
Voor de oppervlakte A wordt er gerekend met de gewenste wanddikte van 2mm en de L van alle wanden die parallel aan de kracht staan (zie figuur 17).
$L_{bocht} = L_y = 4{,}4m$
$L_{rem} = L_x = 5{,}7m.$

Bocht			
τ_{max}	maximaal toelaatbare schuifspanning voor glasvezel	55000000	Pa
b	wanddikte	0,003	m
L_{bocht}	totale lengte wand paralel met kracht	3,5	m
A	oppervlakte, wand doorsnede	0,0105	m^2
F_{mpz}	middelpuntzoekendekracht	1744	N
τ	schuifspanning	166109	Mpa
UC	unity check (τ ≤ 0,8*τmax)	0,003	

Rem			
τ_{max}	maximaal toelaatbare schuifspanning voor glasvezel	55000000	Pa
b	wanddikte	0,003	m
L_{rem}	totale lengte wand paralel met kracht	5,7	m
A	oppervlakte, wand doorsnede	0,0171	m^2
F_{rem}	remkracht	2616	N
τ	schuifspanning	26841	Mpa
UC	unity check (mag maximaal 0,8 zijn)	0,0005	

Tabel 4; wanddikte testen aan de remkracht en middelpuntzoekende kracht

Uit tabel 4 blijkt dat F_{mpz} bepalend is (hoogste UC) voor de wanddikte, maar er is te zien met deze uitkomsten dat een wanddikte van $2mm$ ruim voldoende is wanneer de wanden belast worden met de schuifspanningen die optreden, door de maximale F_{mpz} en de maximale F_{rem} , tijdens normaal gebruik.

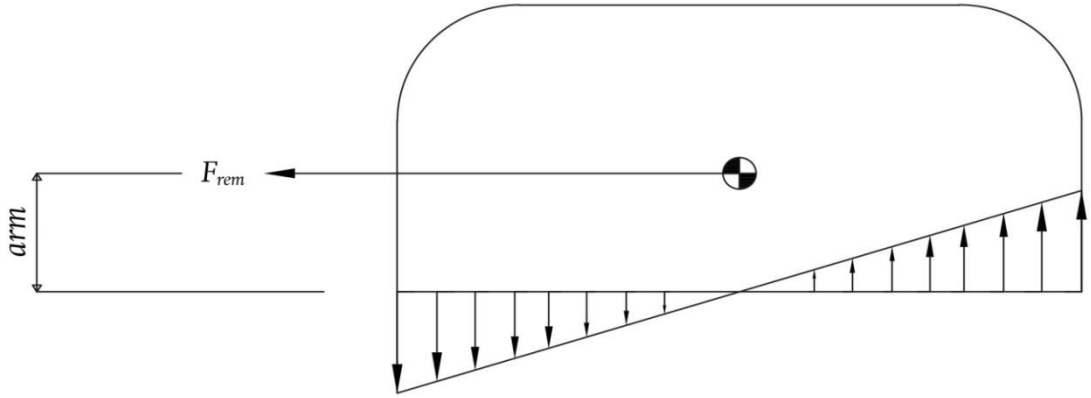
9.3.4 Vezel-oriëntatie

Er is de vorige paragraaf uitgaan van een vezel oriëntatie van 0° waardoor de vezels op schuifspanning belast

worden, maar door de matten onder 45° neer te leggen nemen de vezels krachten op als trek- en drukkrachten. Door middel van transformatievergelijkingen kunnen de trek en druk spanningen die optreden (i.p.v. schuifspanning) berekend worden (bron; H9 van het boek sterkteleer, zie literatuurlijst). Aangezien de maximaal toelaatbare trek- en drukspanning van de glasvezel die gekozen is veel hoger is dan de maximaal toelaatbare schuifspanning (zie tabel 2), worden de materiaaleigenschappen op die manier optimaler gebruikt. Doordat in bovenstaande berekening is gebleken dat zelfs met de maximale schuifspanning de wanddikte dik genoeg is voor de optredende spanningen, is er geen noodzaak om deze berekening opnieuw uit te voeren met de getransformeerde maximale trek- en drukspanningen (voor de rem- en bochtbelasting).
Omdat uit bovenstaande redenatie gebleken is dat de 45° oriëntatie een hogere wandsterkte oplevert wordt ervoor gekozen om de 50%-50% matten in de wanden onder 45° te plaatsen.

9.3.5 Inwendig moment

Bij de berekening in §9.4.2 is niet meegenomen dat de F_{rem} en F_{mpz} eigenlijk op het zwaartepunt werken in plaats van ter hoogte van de doorsnede die gebruikt wordt. Het zwaartepunt ligt op een hoogte zoals in figuur 18 te zien is en hierdoor ontstaat een inwendig moment en daardoor een trek en druk kracht in de wand.

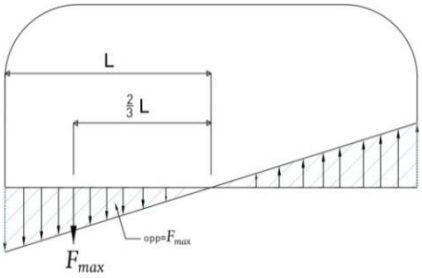


Figuur 18; zwaartepunt ligt op een hoogte waardoor een moment ontstaat en trek en druk krachten in de doorsnede. (Als voorbeeld is de remkracht laten zien)

De hoogte van het zwaartepunt en dus de lengte van de arm is 1300 mm.
Er ontstaat dan een moment van;

$$M = F_{rem} \times arm = 2616N \times 1{,}3m \approx 3400Nm$$

Door het moment treden trek en druk krachten op in de wand. Of deze trek en druk krachten van invloed zijn op de benodigde wanddikte kan berekend worden door de kracht per oppervlak van de doorsnede onderaan de wand te berekenen en te testen aan de maximaal toelaatbare spanning van het materiaal.



De waarde voor F_{max} is $\frac{1}{2}L \times q$ en de arm van de Fmax is $\frac{2}{3}L$ met $L = 2m$.

$^1/_2\, M = {}^2/_3 \times 2m \times F_{max} = 1700Nm$ -> $F_{max} \approx 1275N$

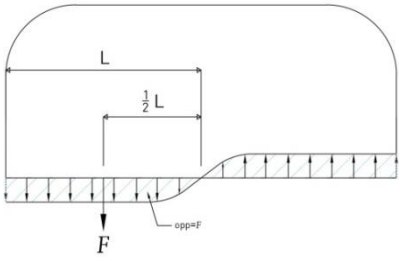
$F_{max} = 0.5 \times 2 \times q \approx 1275N$ -> $q \approx 1275\, {}^N/_m$

$q/wanddikte = \sigma$ (spanning) $= {}^{1275}/_{0{,}002} = 637500\ {}^N/_{m^2} = 0{,}6\ MPa$

Vergelijken met de maximale drukspanning (druksterkte) omdat deze het laagst is (zie tabel 2). Druksterkte is $280MPa$. De $0{,}6MPa$ die ontstaat door het moment is dus niet bepalend voor de wanddikte.

Bij bovenstaande berekening is ervan uitgegaan dat de vloer heel stijf is en niet meebuigt, maar in werkelijk-

heid is de vloer in deze situatie niet stijf. De wand is in deze richting veel stijver dan de sandwichvloer en de vloer zal daarom meebuigen met de trek en drukkracht. Hierdoor wordt de trek en druk kracht verdeeld over de doorsnede van de wand.
Aangezien uit vorige berekening een relatief lage waarde voor sigma kwam, zal dat in dit geval niet heel anders zijn.



$M = 3400Nm$
De waarde voor F_{max} is $L \times q$ en de arm van de F_{max} is $\frac{1}{2}L$.
$^1/_2 M = {}^1/_2 \times 2m \times F_{max} = 1700Nm$ -> $Fmax = 1700N$
$F_{max} = 1 \times q = 1700N$ -> $q = 1700\, {}^N/_m$

$q/wanddikte = \sigma$ (spanning) $= {}^{1700}/_{0,002} = 850000\ {}^N/_{m^2} = 0{,}9\ MPa$

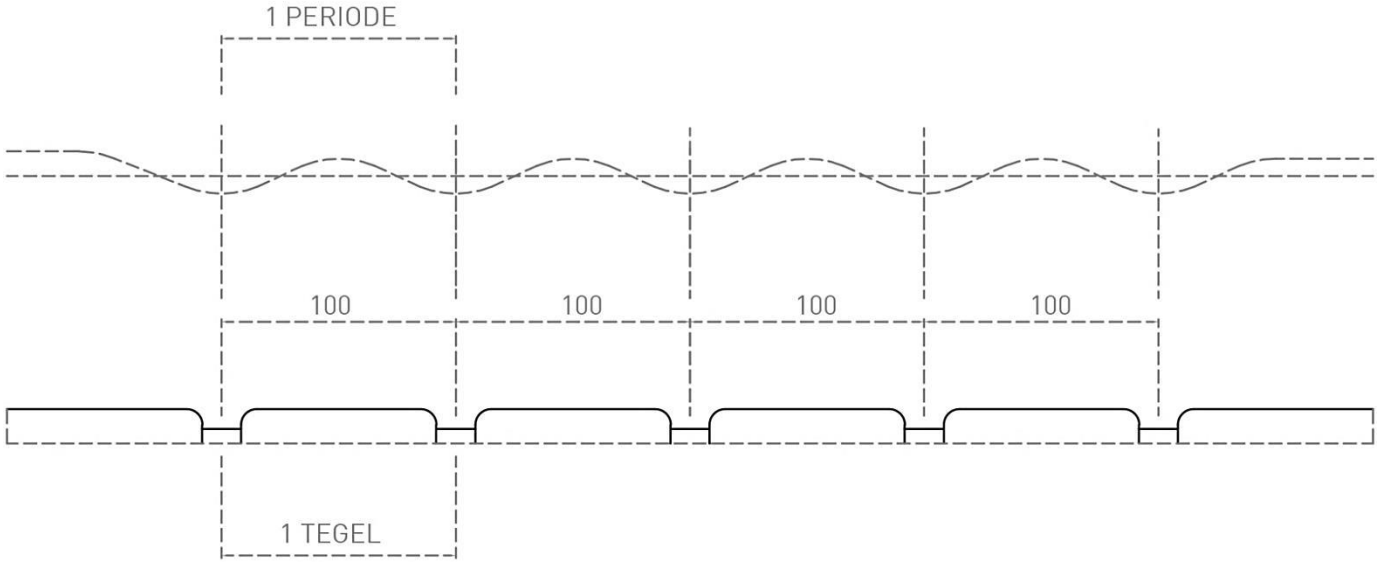
De spanning die door de trek en druk krachten ontstaat is $0{,}9MPa$. Dat is zoals voorspelt nog steeds relatief laag aangezien de maximaal toelaatbare druk kracht $280MPa$ is.
De vezels staan wel onder een hoek van 45° zoals eerder genoemd is, maar de afwijking die ontstaat door de transformatievergelijking op de spanningen toe te passen, zal niet veel veranderen aangezien de maximaal toelaatbare spanning lang niet bereikt wordt.

Hieruit is dus de conclusie te trekken dat de schuifbelastingen, die ontstaan door de maximale remkracht en middelpuntzoekende kracht, gedurende normaal gebruik niet bepalend zijn voor de benodigde wanddikte.
De wanden kunnen in theorie heel dun zijn. Maar voor comfort en gevoel van veiligheid is een bepaalde stijfheid (wanddikte) gewenst. Hieruit blijkt dat er wel waarde gehecht mag worden aan het feit dat de wanddikte van de Burton stevig voelt.

9.4 Trillingen

Comfort wordt verkregen als er weinig trilling in de constructie zit.
Trillen van de carrosserie wordt veroorzaakt door bijvoorbeeld het rijden over een hobbelige weg. In Delft zijn veel wegen die uit klinkers bestaan en deze zullen voor trilling zorgen. Om de trillingen in de carrosserie te beperken zal naar de eigen frequentie gekeken worden. Als de eigen frequentie hoger is dan de frequentie waarin wordt aangestoten dan zal de carrosserie niet overmatig gaan trillen.

<u>Aanstoot frequentie:</u>
Situatie waarin trilling vooral (en langdurig) ontstaat is bij het rijden over een betegelde(klinkers in Delft) weg. Stel de tegels zijn ongeveer $100mm$ en de Alley Hoop rijdt hier met $30\ {}^{km}/_u$ overheen, want met $50\ {}^{km}/_u$ over een klinkerweg rijden is niet fijn en betegelde wegen zijn vaak smalle wegen waar je niet harder dan $20\ {}^{km}/_u$ mag.



Dit resulteert in een periode(τ) van:

$30\ {}^{km}/_{u}\ =\ 8{,}3\ {}^{m}/_{s}$

$\frac{8{,}3}{0{,}1} =\ 83{,}3\ \ {}^{periodes}/_{seconde}$

$\tau\ = 0{,}012s$

Aanstoot frequentie (ω_0) kan berekend worden door middel van: $\tau_o = \frac{2\pi}{\omega_o}$

<u>Eigen frequentie:</u>
Bij stukken carrosserie waar (nog) geen verstevigingen zijn (de stukken onder de ramen) is het risico op trillen het grootst. Zoals in de aankomende berekening zal blijken, is voor de eigen frequentie vooral de lengte waarover het stuk wand loopt van invloed. Het verkleinen van deze lengte (door het plaatsen van ribben) is van positieve invloed op de eigen frequentie.
Het meest kritische stuk wand voor lokale trillingen is dus het langste stuk wand en dat is bij de Alley Hoop het stuk wand onder het lange raam aan de linker kan van de carrosserie ($1150mm$ tussen de wielkasten) (zie figuur 19).

$\omega_n = \sqrt{{}^{k}/_{m}}$ met: $k = \frac{48 \times E \times I}{L^3}$

$\tau = \frac{2\pi}{\omega_n}$

Figuur 19; het stuk wand dat gevoeligst is voor overmatig trillen

De eigen frequentie moet groter zijn dan aanstoot frequentie dus:
$\omega_n > \omega_o$ dus $\tau < \tau_o$

E, I en L hebben dus invloed op de w_n. Dus I vergroten en/of L verkleinen zijn de mogelijkheden.
I vergroten is geen optie want hiervoor moet de wanddikte vergroot worden, maar het doel is juist een wanddikte van $2mm$. Daarom zal de L verkleind moeten worden om de eigen frequentie hoog genoeg te krijgen met een wanddikte van $2mm$.

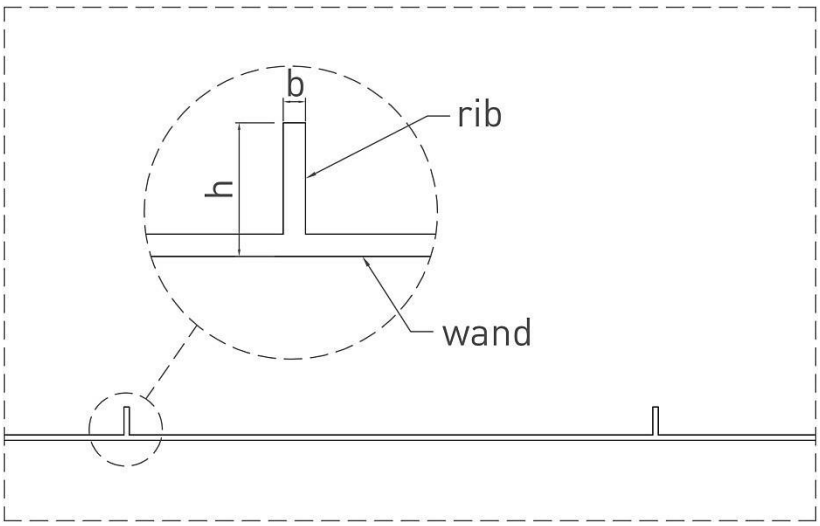
Aanstoot frequentie			
klinker	zorgt voor trilling	10	cm
	dus 1 trilling is	0,1	m
v	snelheid waarmee wordt gereden	30	km/u
		8,3	m/s
	trillingen per seconde	83,3	
periode	tijdsduur waarin 1 trilling plaatsvind	0,012	s
τ	periode	0,012	s
ω_0	$\omega_0 = 2\pi/\tau$	524	s

Eigen frequentie			
b	breedte	1	m
h	hoogte	0,002	m
I	oppervlaktetraagheidsmoment	0,0000000007	m^4
ρ	dichtheid glasvezel	1,8	kg/dm^3
E	E modulus materiaal	21000000000	Pa
L	overspanning	0,16	m
m	massa van materiaal over lengte L	0,58	kg
k	$48EI/L^3$	164063	N/m^2
ω_n	$\sqrt{k/m}$	534	s
τ	periode	0,012	s

Tabel 6; berekende waardes van aanstoot frequentie en eigen frequentie

Door de formules in te vullen en de waarde van L aan te passen totdat $\omega_n > \omega_o$ voldoet, wordt een L van 0,16m bereikt.
Het is dus haalbaar een wanddikte van $2mm$ te kiezen maar hierbij mag de overspanning, L, niet groter zijn dan $160mm$. Dit betekent dat om de $160mm$ een rib geplaatst zal moeten worden. Wat de afmetingen van een rib ongeveer moet zijn, kan benaderd worden door de formule voor het oppervlaktetraagheidsmoment, I, te bekijken. Het is de bedoeling dat de ribben heel stijf ontworpen worden zodat het stuk wand tussen de ribben door de ribben ondersteund wordt (als een oplegreactie). Hoe groter de I van de doorsnede van een rib hoe buig-vaster de rib is. De grote van de I hangt af van de elasticiteitsmodulus van het materiaal, E, en de breedte, b, en hoogte, h, van de rib. Zie figuur 20 voor duidelijkheid over de geometrie.

De E van de rib en de wand zijn gelijk, dus moet I vergroot worden door de b en h aan te passen. In de formule voor I, $I = \frac{b \times h^3}{12}$, is te zien dat vooral het vergroten van de h veel invloed heeft op de grote van I.
Door de h bijvoorbeeld 3 keer groter te maken dan de wanddikte (de h van de wand) met een zelfde afstand voor b, wordt de I 3^3 keer zo groot.
Dit zal vermoedelijk stijf genoeg en dit zal op een rib met een h van $6mm$ neerkomen.



Figuur 20; bovenaanzicht wanddoorsnede met rib

De precieze afmetingen en locaties voor de ribben zullen niet bepaald worden, omdat deze opdracht het bepalen van de haalbaarheid van het ontwerp beslaat en de haalbaarheid van de wanddikte is hiermee aangetoond. Met ribben van bijvoorbeeld $6mm$ zal dit nauwelijks ruimte in de carrosserie in beslag nemen.

9.5 Conclusie

De schuifspanning die veroorzaakt wordt door de remkracht en middelpuntzoekende kracht blijken niet bepalend te zijn voor de benodigde wanddikte. De wanddikte wordt vooral bepaald door lokale belasting, zoals Trillingen. Trillingen moeten voorkomen worden omdat dit een onveilig en gammel gevoel geeft.
De trilling wordt beperkt door de overspanning van wandstukken te verkleinen door middel van het toevoegen van ribben.
Met, om de $160mm$, een rib langs de wand aan de binnenkant van de carrosserie is de wanddikte van $2mm$ haalbaar.

10 Bovenstijl

In hoofdstuk 5 is het belang van de deurstijlen al naar voren gekomen en in deze paragraaf zal berekend worden hoe groot de doorsnede hiervan zal moeten worden. Als deze grootte ongeveer bekend is dan kan er wat gezegd worden over de haalbaarheid van het ontwerp (of de grote ramen in de carrosserie haalbaar zijn) en dat is het doel van deze opdracht.

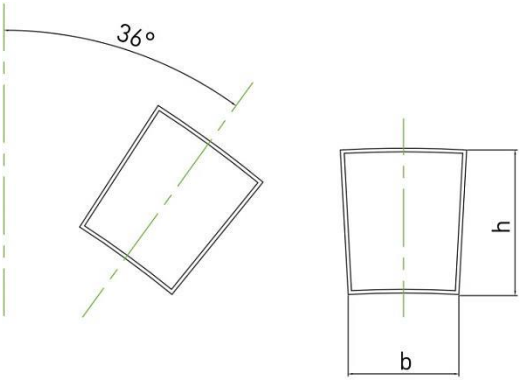
Een deurstijl is een soort kozijn/profiel om het raam heen. Deze stijlen zijn dubbelwandig zodat de stijfheid wordt verhoogd. De I (het oppervlaktetraagheidsmoment) wordt dan sterk vergroot.
Om de deurstijl stijver te maken op drukbelasting (buiging) moet de buigweerstand, W_b, vergroot worden. De buigweerstand wordt gegeven door: $W_b = \frac{I}{y}$. Hierbij zorgt de h van de doorsnede van de deurstijl voor een grotere I en een grotere y, maar omdat de h in de formule voor I tot de derde macht wordt meegenomen, zal de W_b vergroten bij het vergroten van de h.

10.1 Berekenen van kritische bovenstijl

Bij het ontwerp van de Alley Hoop is er één hele lange stijl; de bovenstijl aan de linker kant (zie figuur 21) en deze bovenstijl is ongeveer $2{,}5m$ lang.

Figuur 21; zwakste stijl is de lange bovenstijl aan linker zijde

Dit is logischerwijs de zwakste stijl aangezien de overspanning het grootst is. Met het berekenen van deze stijl zal dus de haalbaarheid van het ontwerp aangetoond kunnen worden. Deze bovenstijl staat in het ontwerp onder een hoek maar er wordt hier uitgegaan van een recht profiel, zie figuur 22.



Figuur 2211; bovenstijl staat in werkelijkheid onder een hoek, maar wordt recht beschouwd in de berekeningen

Bij deze bovenstijl is een weefsel van 80-20 % de beste keuze. I.v.m. de gewenste buigstijfheid. (Zie voor uitleg §9.1). De sterkte en stijfheidseigenschappen voor een 80%-20% weefsel staan in tabel 2.

Om te kunnen berekenen wat de benodigde afmetingen van de doorsnede zijn moet een benodigde minimale buigstijfheid bekend zijn of een maximale kracht die deze bovenstijl moet kunnen dragen. Deze is niet te achterhalen want er zijn geen eisen gesteld aan belastingen die daar op rusten en daarom wordt er gekeken naar een stalen bovenstijl van een bestaande auto en wat de stijfheid daarvan is. Deze stijfheid wordt als uitgangspunt gebruikt om de afmetingen van de glasvezel bovenstijl te benaderen. Op deze manier kan gekeken worden of het haalbaar is een bovenstijl van glasvezel te maken. Uit de formule voor de doorbuiging ($x = \frac{P \times L^3}{3 \times E \times I}$) is af te leiden dat de $E \times I$ bepalend is voor de doorbuiging van de bovenstijl met de gekozen afmetingen en de materiaaleigenschappen. Hoe groter $E \times I$, hoe kleiner de doorbuiging zal zijn. Voor de benodigde stijfheid wordt gekeken naar een bestaande stalen bovenstijl en hiervan wordt de $E \times I$ vergeleken met de $E \times I$ voor de te ontwerpen glasvezel bovenstijl.

In tabel 7 zijn de opgemeten waardes voor de stalen bovenstijl van een bestaande auto ingevuld en hiermee is de waarde voor $E \times I$ berekend. Voor de glasvezel bovenstijl is ook uitgezet wat de waarde voor $E \times I$ zal worden met dezelfde afmetingen (maar wel een wanddikte van 2mm). Er is aangegeven hoeveel procent de EI-waarde van glasvezel bovenstijl is ten opzichte van de EI-waarde van de stalen boventstijl. Ook het gewicht is uitgezet voor de gekozen doorsnede (op basis van een bovenstijl van 2,5 meter lang).

Staal ($\rho = 7{,}8\ ^{kg}/_{dm^3}$)				
w	0,8	mm		
b	50	mm		
h	70	mm		
E	210	Gpa		
I	138446	mm^4		
EI	29073562		1,9	kg

Glasvezel ($\rho = 1{,}8\ ^{kg}/_{dm^3}$)				
w	2	mm		
b	50	mm		
h	70	mm		
E	29	Gpa		
I	327099	mm^4		
EI	9485861		1,1	kg
Verhouding gv/st	33%			

Tabel 7; Stalen bestaande bovenstijl vergelijken met glasvezel

Met dezelfde afmetingen is te zien dat glasvezel maar 33% van de sterkte kan bieden in vergelijking met staal. Glasvezel bovenstijl is wel veel lichter. Als gestreefd wordt naar 100% dan moet de doorsnede van een glasvezel bovenstijl bijna 2 keer zo groot zijn en het gewicht verschilt dan nauwelijks t.o.v. de stalen bovenstijl, zie tabel 8.

Glasvezel ($\rho = 1{,}8\,{}^{kg}/_{dm^3}$)				
w	2	mm		
b	75	mm		
h	100	mm		
E	29	Gpa		
I	1015312	mm^4		
EI	29444048		1,6	kg
Verhouding gv/st	100%			

Tabel 8; glasvezel bovenstijl 100%

Er is in dit geval niet meer genoeg voordeel voor het gebruiken van glasvezel t.o.v. staal. Er moet daarom gekeken worden of een glasvezel bovenstijl met een lagere waarde voor $E \times I$ ook voldoende is. Er kan gestreefd worden de glasvezel bovenstijl zo te ontwerpen dat ongeveer 60% van de sterkte van een stalen bovenstijl behaald wordt. In tabel 9 is dit bereikt met afmetingen $b \times h$ van $70 \times 85mm$. Met deze afmetingen is de glasvezel bovenstijl wel een stuk lichter dan de stalen variant.

Glasvezel ($\rho = 1{,}8\,{}^{kg}/_{dm^3}$)				
w	2	mm		
b	70	mm		
h	85	mm		
E	29	Gpa		
I	659470	mm^4		
EI	19124640		1,4	kg
Verhouding gv/st	66%			

Tabel 9; glasvezel bovenstijl 66%

Er zal vervolgens getest moeten worden of de bovenstijl met deze afmetingen sterk en stijf genoeg is. Het testen van de buigstijfheid zal terug komen in de aanbevelingen.

10.2 Conclusie

De buigstijfheid van de meest kritische stijl is benaderd door een vergelijking te maken met een stalen bovenstijl van een bestaande auto. Uit de berekeningen is gebleken dat dezelfde buigstijfheid als die van een stalen bovenstijl ($50 \times 70 \times 0{,}8mm$) van een auto haalbaar is met een glasvezel bovenstijl van $75 \times 100 \times 2mm$. Hiermee kan dus gesteld worden dat het ontwerp met de grote ramen haalbaar is, maar het gewicht van de benaderde bovenstijl komt met deze afmetingen wel dicht in de buurt van de stalen bovenstijl. Daarom is het de moeite waard om te kijken of een lagere buigstijfheid ook voldoet door middel van een testopstelling. Als een lagere buigstijfheid voldoet dan kan de doorsnede van de bovenstijl verkleind worden en daarmee daalt het gewicht en ontstaat een luchtigere uitstraling.

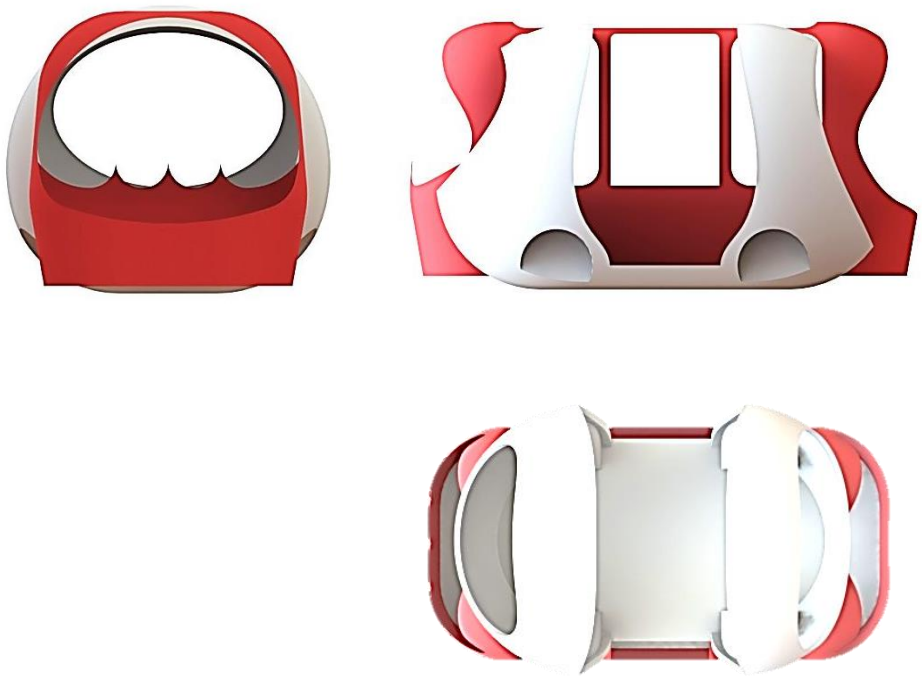
11 Eindontwerp

Het ontwerp dat met dit verslag wordt opgeleverd is een ontwerp waarvan de afmetingen bepaald zijn en waarvan de haalbaarheid van de geometrie haalbaar is gebleken in de belasting gevallen die gekozen zijn.

De organische vormen van Bas z'n ontwerp zijn er zo veel mogelijk ingehouden en gecombineerd met de nieuwe afmetingen. In figuur 23 is het eindontwerp weergegeven. De verstevigingen (ribben en de dikte van de deurstijlen) zijn niet in het model weergegeven.

Figuur 23; eindontwerp Alley Hoop

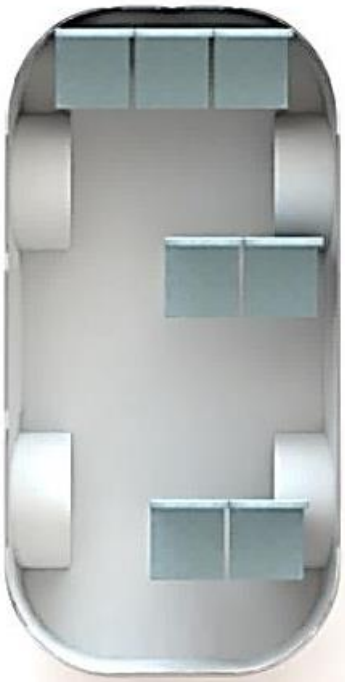
Om duidelijk de verschillen te zien (in vorm en afmetingen) tussen het startontwerp van Bas Bothof en het eindontwerp zijn de twee carrosserieën in één afbeelding weergegeven. Het witte ontwerp was het start ontwerp en het rode ontwerp is het eindontwerp van deze opdracht. Zo is goed te zien welke aanpassingen er gedaan hebben moeten worden om de carrosserie haalbaar te maken. Zie figuur 24.

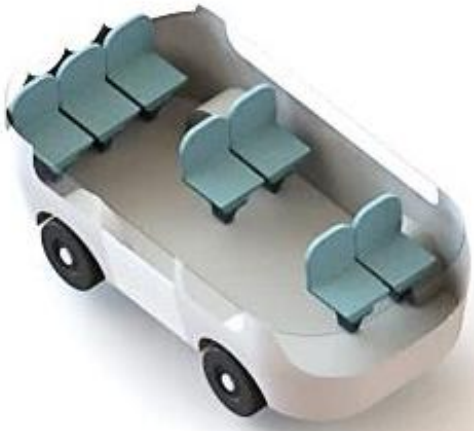


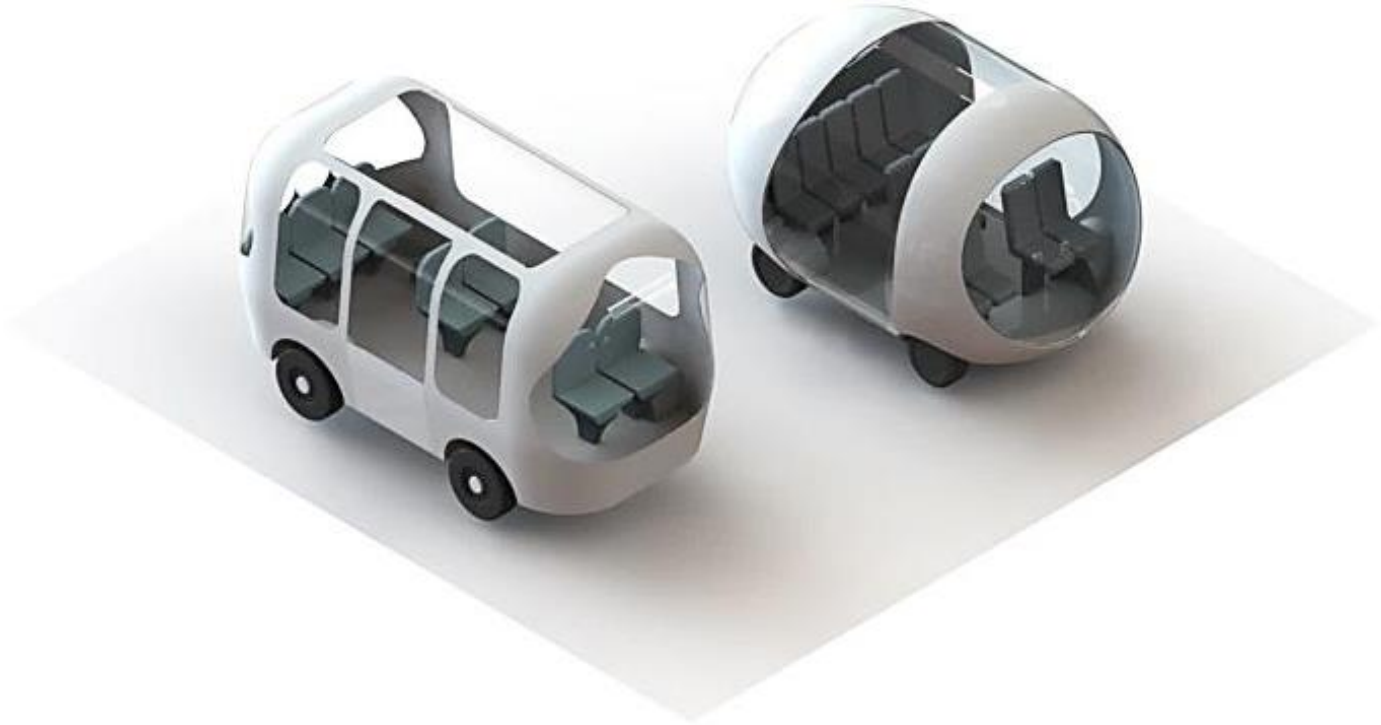
Figuur 24; vergelijking van carrosserie startontwerp en eindontwerp voor-, zij- en bovenaanzicht.

In fase 1 is ook over de indeling nagedacht. De indeling valt verder buiten de scoop van deze afstudeeropdracht maar is wel belangrijk om het mogelijke aantal zitplaatsen te bepalen. Er is gebleken dat 8 zitplaatsen waarschijnlijk niet haalbaar is met de buitenafmetingen die maximaal zijn voor het centrum van Delft.

In figuur 25 is de assembly van het start- en eindontwerp van de Alley Hoop met elkaar vergeleken.







Figuur 25; vergelijking van de assembly van het startontwerp en eindontwerp.

11.1 3d print

Het eindontwerp is ook geprint met een 3D-printer, zie figuur 26.

Figuur 26; 3D-print eindontwerp

Het betreft een zichtmodel en daarom zijn de verstevigingen weggelaten.

12 Conclusie

Fase 1

De afmetingen van de Alley Hoop zijn $2000 \times 4000mm$ (met afgeronde hoeken) met ruimte voor 7 zitplaatsen en 1 kinderwagenstandplaats/groot-bagage ruimte.
De afmetingen komen voort uit de eis dat de Alley Hoop moet kunnen functioneren in het centrum van Delft. Het ontwerp is zo veel mogelijk rond en bezit veel ramen zoals het Design van Bas Bothof.

Het materiaal waar de carrosserie mee ontworpen is, is E-glasvezel-epoxy composiet. De opdrachtgever wilt graag dat er een milieuvriendelijk composiet gebruikt wordt, maar er bestaat momenteel nog geen volledig milieuvriendelijke composiet met genoeg sterkte en stijfheid. Deze eis zal in 2050 misschien wel te vervullen zijn. Er is nu voor glasvezel gekozen, omdat dit een lichtgewicht materiaal is met relatief hoge sterkte en stijfheid eigenschappen en het aanwezig is in de werkplaats van de Haagse Hogeschool. Dit betekent dat er op korte termijn testjes gedaan kunnen worden en/of een prototype gemaakt kan worden.

Fase 2

Er is gebleken dat het ontwerp van glasvezel haalbaar is met gewenste wanddikte van $2mm$ in combinatie met genoeg verstevigingen gedurende de belastingsituaties remmen, bocht en trillingen. Dit zijn de belastingsituaties gedurende normaal gebruik. De verstevigingen die benodigd zijn, zijn ribben langs de wanden. Hiermee wordt het oppervlaktetraagheidsmoment ter plaatse van de rib vergroot (omdat de doorsnede toeneemt). De benodigde hoeveelheid ribben en de afmetingen ervan wordt bepaald door lokale belastingen, namelijk trillingen. Als de eigen frequentie van de wand hoger is dan de frequentie waarin wordt aangestoten dan zal trilling beperkt blijven. Om de eigen frequentie hoog genoeg te maken zal de wanddikte van $2mm$ ondersteund moeten worden door verticale ribben om de $160mm$. Deze afstand is berekend op basis van trillingen die ontstaan door over een betegelde weg te rijden met klinkers van 10cm.

Naast de ribben zijn er ook deurstijlen nodig als versteviging van de carrosserie. Deurstijlen zitten om alle ramen van de carrosserie als een soort kozijnen. De kritische deurstijl is de bovenstijl aan de linker zijde van het busje. Uit de berekeningen is gebleken dat dezelfde buigstijfheid als die van een stalen bovenstijl van een auto haalbaar is met **een glasvezel bovenstijl van $75 \times 100 \times 2mm$**. Hiermee kan dus gesteld worden dat het ontwerp met de grote ramen haalbaar is, maar het gewicht van de benaderde bovenstijl komt met deze afmetingen wel dicht in de buurt van de stalen bovenstijl. Aangezien de keuze voor glasvezel juist gemaakt was vanwege het lage gewicht is het de moeite waard om te kijken of een lagere buigstijfheid ook voldoet door middel van een testopstelling. Als een lagere buigstijfheid voldoet dan kan de doorsnede van de bovenstijl verkleind worden en daarmee daalt het gewicht en ontstaat een luchtigere uitstraling. Het voorstel dat is gedaan is om de bovenstijl met een doorsnede van $70 \times 85 \times 2mm$ te bouwen en deze te testen. Uit berekening is gebleken dat deze afmetingen voor 66% van de stijfheid van de stalen bovenstijl zal zorgen.

De vezel-oriëntatie en vezelverhouding is van groot belang voor de sterkte en stijfheid van de carrosserie.

De wanden kunnen het beste opgebouwd worden uit 0°- 90° vezelmatten met een verhouding van 50%-50%. Dit betekent dat de matten bestaan uit vezels die loodrecht op elkaar staan met even veel vezels in de ene richting als in de richting die er loodrecht op staat.
De deurstijlen/bovenstijlen kunnen het beste opgebouwd worden uit 0°- 90° vezelmatten 80%-20%. Zo wordt in één richting extra sterkte en stijfheid gecreëerd.
Voor optimaal benutten van de materiaalsterkte van glasvezel kunnen **de matten het beste onder een hoek van 45° georiënteerd worden**, want zo worden de vezels belast op trek en druk in plaats van afschuiving en de trek- en druksterkte van de vezels is veel hoger dan de schuifsterkte.

Het ontwerp dat met dit verslag wordt opgeleverd is een ontwerp waarvan de afmetingen bepaald zijn en waarvan de haalbaarheid van de geometrie haalbaar is gebleken in de belastingsituaties gedurende normaal gebruik. De organische vormen van Bas z'n ontwerp zijn er zo veel mogelijk ingehouden en gecombineerd met de nieuwe afmetingen en de benodigde deurstijlen en ribben.

13 Aanbevelingen

Voor de voortzetting van het project kunnen er aanbevelingen gedaan worden omdat er inmiddels veel inzicht in het project verkregen is. Het is belangrijk dat dit inzicht duidelijk wordt overgedragen zodat het project gemakkelijk opgepakt kan worden op een later tijdstip.

Tijdens het uitwerken van de afstudeeropdracht is er gekozen sommige onderwerpen niet uit te werken omdat daar geen tijd voor was, maar er is dan in de meeste gevallen wel al onderzoek naar gedaan en bruikbare kennis opgedaan over deze onderwerpen. In §13.1 worden deze onderwerpen en de opgedane kennis genoemd.
In §13.2 staan een aantal ideeën opgesomd die buiten de opdrachtgrenzen vallen maar die ontstaan zijn gedurende het uitwerken van de opdracht.

13.1 Aanbevelingen op opdracht-niveau

- **Materiaal**
  De opdrachtgever wilt graag dat er milieuvriendelijke materialen gebruikt wordt, maar de carrosserie is gedurende deze opdracht ontworpen van glasvezel omdat dat materiaal aanwezig is in de werkplaats. Als de carrosserie op korte termijn echt gebouwd gaat worden dan zou er vlasvezel met bio-epoxy gebruikt kunnen worden. Vlas is een natuurlijk materiaal en heeft bijna dezelfde materiaaleigenschappen als glasvezel en bio-epoxy is half natuurlijk.

- **Deur ontwerpen**
  Voor het kiezen van de juiste deur kan naar een aantal eisen gekeken worden. De buitenafmetingen zullen zo klein mogelijk gehouden moeten worden i.v.m. het centrum van Delft en daarom is een van de criteria voor de deur dat deze zo min mogelijk uitsteekt bij het openen. Dit geld ook binnenin de bus, zodat er geen ruimte af gaat van de inrichting. Een andere criteria voor de deur is dat deze zo min mogelijk belastend is voor de carrosserie in het kader van lichtgewicht ontwerpen.
  Aan de hand van deze criteria zijn al een aantal (bestaande) deuren beoordeeld en toen leek het deursysteem dat voor huidige stadsbussen en treinen (zie figuur 27) gebruikt wordt de beste keuze omdat deze deuren nauwelijks uitsteken bij het openen en de belasting wordt d.m.v. een stang direct afgedragen op de bodem (en de chassis).

Figuur 27; deursysteem van trein (NS)

- **Bodem ontwerpen**
  De bodem van de carrosserie wordt belast op buiging en daarom zal de bodem het best van sandwichplaten gemaakt kunnen worden. Sandwichplaten zijn licht maar hebben een groot oppervlaktetraagheidsmoment door de schuim kern.
  Er zal een maximale doorbuiging vastgesteld moeten worden (denk hierbij aan hoeveel doorbuiging

toegestaan wordt zonder dat er een gevoel van onveiligheid bij komt kijken) en daarmee kan de benodigde bodemdoorsnede berekend worden.

- **Verbinding tussen de carrosserie en chassis**
  In het kader van duurzaamheid is een modulaire opbouw gewenst. Met een modulaire opbouw kunnen onderdelen makkelijk vervangen worden en is het transport eenvoudiger. In de bevestiging van de carrosserie met de chassis zal dit in acht genomen moeten worden.
  Aangezien de bodem waarschijnlijk van sandwichplaten ontworpen zal worden, is een boutverbinding met de chassis niet zomaar mogelijk. Er zullen in dat geval inserts in de sandwichpanelen geplaatst moeten worden ter plaatse van de boutverbinding (dit zijn plaatselijke vervangingen van de schuimkern). De inserts kunnen van staal zijn en deze zorgen voor het verspreiden van de kracht zodat de schuimkern niet op 1 punt belast wordt.
  Met visie op de RDW keuring kan er bij het ontwerpen van de inserts vast rekening worden gehouden met de locaties van de stoelen. De stoelen moeten volgens de RDW namelijk op de stijfste punten vastzitten en dit zullen de inserts zijn die gebruik worden voor de verbinding met de chassis. Als de locaties van de stoelen bekend zijn dan kunnen de inserts zo ontworpen worden dat ze de bevestigingspunten met de chassis en die met de stoelen beslaan.

- **Belastingen op complete bus**
  Als de chassis en carrosserie beide geheel ontworpen zijn en de verbinding ontworpen is dan kunnen de belastingsituaties die op het gehele busje werken benaderd worden en de haalbaarheid van het gehele ontwerp kan daarmee ontworpen worden.
  De remkracht en de middelpuntzoekende kracht zullen bijvoorbeeld op de verbinding van de carrosserie en chassis werken. De belasting die ontstaat als het busje een heuvel afrijdt en tegelijk een bocht maakt veroorzaakt een torsiekracht in het hele busje. Er moet gekeken worden naar hoeveel van deze kracht door de chassis zal worden opgenomen en hoeveel er door de carrosserie kan worden opgenomen. Het stijfste deel neemt de belasting op dus als de carrosserie een deel van de belasting op moet nemen dan zal de chassis minder stijf gemaakt moeten worden. Er zal onderzocht moeten worden hoe dit het beste verdeeld kan worden.
  Er zal ook naar noodsituaties gekeken moeten worden. Voor een botsing zal er een kreukelzone ingebouwd moeten worden in de chassis. De glasvezel carrosserie zal bij een botsing breken aangezien glasvezel geen plastisch rek gebied heeft. Door het breken ontsnapt de (kinetische) energie die bij de botsing weg moet kunnen. Bij een stalen carrosserie gebeurt dat door de verbuiging van het staal en bij glasvezel komt deze vrij door het breken (scheuren) van het materiaal.

- Om de **veiligheid** bij een botsing aan de geven worden er **ENCAP sterren** gebruikt. Wat er precies nodig is om de veiligheid zo hoog mogelijk te maken zal nog moeten worden uitgezocht.
  Ook alle eisen die de RDW aan een voertuig stelt zullen in de volgende fase uitgezocht moeten worden en op de Alley Hoop toegepast moeten worden.

- **Simuleren**
  Als de benodigde sterkte en stijfheid van de chassis, de verbinding en de carrosserie berekend is, kan dit gemoduleerd worden en door middel van een simulatiepakket kunnen de reacties op de belastingsituaties die berekend zijn gecontroleerd worden.
  Door een simulatie kunnen ook eventuele zwakke punten aan het licht komen. Er zijn ook simulatiepakketen die speciaal voor het doorrekenen van composieten constructies zijn.

- **Nooddeur + dakluik**
  Er zal een extra uitgang en een dakluik ontworpen moeten worden. Dit is nodig voor het geval de Alley Hoop door een bepaalde situatie op de deur komt te liggen. Een extra uitgang zou eventueel aan de achterkant geplaatst kunnen worden.

- **Raamdetails en raam-materiaal**
  Voor de massabepaling was nu uitgegaan van ramen van 5mm en van glas. Glas is vrij zwaar en daarom zou het voordelig zijn als de ramen van een lichter materiaal gemaakt kunnen worden.
  Raamdetails kunnen met lijm of met rubbers gemonteerd worden. De keuze voor lijm is moderner en zorgt voor minder benodigde onderdelen (rubbers moeten op maat ontworpen en besteld worden).
  Door voor lijm te kiezen zal er op de uitzettingscoëfficiënt van het glas gelet moeten worden. Deze mag namelijk niet te veel verschillen van die van de lijm, want anders zal het raam bij hitte direct stuk gaan (vanwege het verschil in uitzetting). Epoxy lijm is een lijm die hiervoor gebruikt zou kunnen worden en polycarbonaat kunststof is dan een goede keuze voor de ramen. Poly carbonaat kunststof heeft een dichtheid van 1,2 kg/dm3 en hiermee wordt de carrosserie een stuk lichter dan in dit verslag berekend is. Dit zal in alle gevallen positiever uitpakken. Het zwaartepunt zal verlagen, de remkracht en middelpuntzoekende kracht zullen verkleinen en de carrosserie wordt lichter van gewicht.
  Naast het lagere gewicht heeft polycarbonaat ook als voordeel dat het makkelijker te produceren is in de vormen die voor de Alley Hoop ontworpen zijn. De kosten voor Poly carbonaat liggen lager dan glas en omdat het vormen van de bolle ramen makkelijker is, liggen de productiekosten ook lager.

- **Testen benodigde stijfheid bovenstijl**
  Zoals in Hoofstuk 10 al aangegeven is, zal de bovenstijl (de zwakste stijl) van glasvezel gebouwd moeten worden en getest moeten worden om da stijfheid te testen. Het streven is om de afmetingen van de stijl zo klein mogelijk te houden, maar omdat er geen belastingsituatie geformuleerd is die invloed heeft op deze bovenstijl, is niet te zeggen hoeveel stijfheid deze stijl moet hebben. Er kan wel een maximale doorbuiging gesteld worden en door de de bovenstijl te bouwen en testen hoeveel kracht deze stijl aankan totdat de doorbuiging bereikt wordt, kan een betere inschatting gemaakt worden over de benodigde (buig)stijfheid ervan.
  Door een krachtproef zal ook veel ervaring opgedaan worden in het productieproces van het bouwen met glasvezel.
  Eventueel kan de bovenstijl ook als koker profiel gesimuleerd worden als balk met 2 ondersteuningspunten en een verticale verdeelde belasting. Zo kan de krachtproef gecontroleerd worden.

- **Ecologische voetafdruk**
  Door middel van een ecologische voetafdruk kan de milieuvriendelijkheid en duurzaam van de Alley Hoop in kaart worden gebracht. De milieu-impact van het product (materialen en productieproces en afbreekbaarheid) en de dienst staan hierin centraal.
  Aangezien het idee is dat de Alley Hoop elektrisch rijdt en de (vervuilende) auto moet gaan vervangen door efficiënte routes zal de verwachting zijn dat de ecologische voetafdruk een positieve waarde zal hebben. De Alley Hoop is licht gewicht, zal alleen rijden als er klanten zijn en geen vaste route hebben waardoor er weinig energie verspeeld wordt. De modulaire opbouw van de Alley Hoop zal ook een positieve invloed hebben.

13.2 Extra aanbevelingen voor de carrosserie

Door het werken aan de Alley Hoop zijn er ook ideeën ontstaan die geheel buiten de opdrachtgrenzen vallen.

Ideeën voor de Alley Hoop:

- Stoel laten trillen bij bereiken halte
- Stoel licht op bij binnenkomst bus (stoel die het voordeligst is voor uitstap plek)
- Stoel verstelt zichzelf in juiste hoogte voor je lengte (lengte geef je aan in de applicatie bij het bestellen van de Alley Hoop). Aangezien lichaamslengte van mensen steeds verder uit elkaar komt te liggen (bron: cbs.nl)
- Digitale schermen met informatie in de ramen verwerken. Dit kan aan en uit gezet worden per zitplaats (aan het raam). Er kan bijvoorbeeld informatie over Delft laten zien worden, maar ook nieuwsartikelen.

BIJLAGEN

Bijlage 1: Eisen doelgroep en opdrachtgever

Het kiezen van de doelgroepen kan tot specifieke eisen leiden en daarom is het belangrijk dat de eisen en wensen per gebruiksgroep wordt benaderd en dat er vervolgens een keuze wordt gemaakt tussen de gebruiksgroepen om de doelgroep te benoemen. De eisen van de opdrachtgever worden toegevoegd aan de eisen van de doelgroep en ontstaat een lijst van eisen voor de Alley Hoop.
Niet alle eisen zijn bepalend voor het carrosserie-ontwerp binnen de grenzen van de afstudeeropdracht. In deze bijlage zullen alle eisen genoemd worden, maar in het verslag zullen alleen de eisen opgenomen worden die voor het uitwerken van de opdracht benodigd zijn.

Doelgroep (en bijbehorende eisen)

De opdrachtgever wilt dat de bus geschikt is voor de gemeente Delft en dit kan leiden tot specifieke gebruiksgroepen. Elke gebruiksgroep heeft zijn eigen eisen en wensen, maar veel van de eisen en wensen komen ook overeen tussen de gebruiksgroepen.
In de verdere bepaling van de doelgroep en bijbehorende eisen en wensen wordt geen onderscheid meer gemaakt tussen eisen en wensen, maar alles wordt eis genoemd. Deze keuze is gemaakt omdat uiteindelijk blijkt dat er maar weinig eisen van de doelgroep invloed hebben op deze fase van het carrosserie-ontwerp.

Door d.m.v. een schema de verschillende gebruiksgroepen en bijbehorende eisen en wensen in kaart te brengen, zijn alle wensen en eisen die de mogelijke doelgroepen kunnen hebben uitgezet. Dit is tijdens een brainstormsessie van de Urban Cruisers van het expertise centrum gebeurt (Bishay Moenne, Bart Veldhuis, Miguel Nzolamesso en Ceciel van Slobbe).

Uitzicht
Bewegingsvrijheid
Toegankelijke ingang voor kinderen, ouderen en minder validen
Vermakelijke omgeving
Onbelemmerde rit (denk aan geen felle lampen, schelle geluiden of schokkende bewegingen)
Verse luchttoevoer
Schoon
Comfortabele stoelen
Temperatuurcontrole
Geen geluidsoverlast
Contact ouder-kind tijdens de rit
IT faciliteiten
Tafeltje
Leeslampje
Bagageruimte
Privacy
Internationaal taalgebruik bij informatie voorziening
Informatie voorziening voor toeristen (info over Delft)
24/7 bereikbaar
Toegankelijk voor kinderwagen
Toegankelijk voor rollator
Staplek voor kinderwagen
Bewegingshulpmiddelen
Toegankelijk voor slechtziende en slecht horende mensen
Rollator toegankelijk
Noodhulp
Veiligheid
Spatwaterdicht
Rolstoel-toegankelijk

Door keuzes te maken in de gebruiksgroepen, vallen gebruiksgroepen (met bijbehorende eisen) weg en zo wordt de eisenlijst korter. Hieronder zijn de gekozen gebruiksgroepen met bijbehorende eisen uitgezet.

Doelgroep

Er is een keuze gemaakt tussen de gebruiksgroepen en daaruit zijn de volgende groepen voor de Alley Hoop gekomen.

1. Ouders met kinderen
2. Toeristen
3. Studenten + werkende mensen
4. Ouderen + minder validen

Deze keuze is gemaakt omdat veel van de eisen bleken te overlappen. Met deze 4 doelgroepen zijn bijna alle eisen gevangen. Bijvoorbeeld de eisen van kinderen komen terug bij doelgroep 1 en de eisen van oudere toeristen komen terug bij doelgroep 4 en 2.
De vier gebruiksgroepen die gekozen zijn vormen samen de doelgroep.

Eisen van de doelgroep

OUDERS MET KINDEREN	TOERISTEN	STUDENTEN & WERKENDE MENSEN	OUDEREN & MINDER VALIDEN
• Geen geluidsoverlast • Temperatuurcontrole • Verse luchttoevoer • Comfortabele stoelen • Bagageruimte • Schoon • Spatwaterdicht • Veiligheid	• Geen geluidsoverlast • Temperatuurcontrole • Verse luchttoevoer • Comfortabele stoelen • Bagageruimte • Schoon • Spatwaterdicht • Veiligheid	• Geen geluidsoverlast • Temperatuurcontrole • Verse luchttoevoer • Comfortabele stoelen • Bagageruimte • Schoon • Spatwaterdicht • Veiligheid	• Geen geluidsoverlast • Temperatuurcontrole • Verse luchttoevoer • Comfortabele stoelen • Bagageruimte • Schoon • Spatwaterdicht • Veiligheid
• Toegankelijk voor kinderwagen (lage toegang + staplek voor kinderwagen) • Lage opstap • Bewegingsvrijheid • Contact ouder-kind tijdens rit • Vermakelijke omgeving	• Bagage meenemen mogelijk (2 koffers) • Informatievoorziening (over delft) • 24/7 beschikbaar • Internationaal taal-gebruik bij informatie-voorziening • Uitzicht	• Tafeltjes • Leeslampje • IT faciliteiten • Privacy	• Toegankelijk voor rollator • Toegankelijk voor slecht ziende en slecht horende mensen • Noodhulp knop • Bewegingshulp-middelen (hendels)

Eisen van de opdrachtgever

De opdrachtgever wilt dat de Alley Hoop duurzaam en comfortabel stadvervoer is voor de gemeente Delft. De Bus moet functioneel zijn voor de inwoners van Delft, maar ook een mooie ervaring voor Toeristen.

Eisen vanuit de opdrachtgever:

- **Goed functioneren in centrum Delft** (denk aan smalle straten)
- **Ongeveer 8 zitplaatsen.** Maximaal 9 zitplaatsen, i.v.m. het type voertuig. /als de Alley Hoop namelijk op korte termijn gebouwd wordt met een bestuurder dan mogen er maximaal 8+1 zitplaatsen zijn om met B rijbewijs te mogen besturen.
- **Lichtgewicht .** In het kader van milieuvriendelijk is lichtgewicht gewenst.
- **Milieuvriendelijk.** De materialen waarmee ontworpen wordt, moeten milieuvriendelijk zijn.
- **Duurzaam.** Er moet ontworpen worden met duurzaam materiaal en de opbouw van het busje moet modulair ontworpen worden.
- **Veiligheid**:
  De Alley Hoop moet veilig zijn voor de inzittenden maar ook voor andere deelnemers in het verkeer en dit hangt af van de volgende punten:
  - Carrosserie moet sterk en stijf genoeg zijn voor de belastingen die het zal ondervinden in bedrijf.
  - Veiligheid bij verkeersongeluk (ENCAP sterren)
  - Materiaalkeuze (brandklasse)
  - Geen scherpe onderdelen in de bus
  - Nooduitgang
- **Design**
  Het busje moet de uitstraling van het ontwerp van Bas Bothof behouden.

Bijlage 2: Ergonomie

Een constructie waar mensen in zullen moeten passen en op een comfortabele manier in voort moeten kunnen bewegen, moet ontworpen worden met daarbij rekening houdende met ergonomie van het menselijk lichaam.

Voor sommige dingen kan met de gemiddelde lengte van de mens rekening gehouden worden, zoals stoelhoogte, voor sommige dingen moet met de langste rekening gehouden worden, zoals deurhoogte en voor sommige dingen moet met de kleinste mens rekening gehouden worden, zoals de hoogte van noodstop-knop. Om voor 100% van de mensen comfort te bieden is niet haalbaar (dan moet de langste persoon van de wereld namelijk meegeteld worden, aangezien toeristen ook een doelgroep is) en daarom wordt er met een percentage ontworpen. Dit komt voort uit een normaalverdeling en heet percentielen in de ergonomie. Per functie kan bepaald worden naar hoeveel percentiel gekeken moet worden als maat om mee te ontwerpen. Er wordt altijd gekeken naar de maten van de bepalende groep en van daaruit (aan de hand van voorwaardes) wordt een percentiel gekozen. Dit is in figuur 1 weergegeven.

Tabel 2.1 **Welke percentielwaarden worden gehanteerd, hangt af van de situatie**

Ontwerpsituatie	Relatie met anderen	Voorbeeld	Ontwerpuitgangspunt
Langste mensen zijn bepalend	Geen hinder voor kleine mensen	Deurhoogte	95ste of 99ste percentiel (P95 of P99)
	Hinder voor kleine mensen	Hoogte aanrecht	Gemiddelde waarden: 50ste percentiel (P50) of instelbaar tussen 5de en 95ste percentiel (P5-P95)
Kleinste mensen zijn bepalend	Geen hinder voor lange mensen	Hoogte lichtschakelaar	5de of 1ste percentiel (P5 of P1)
	Hinder voor lange mensen	Hoogte aanrecht	Gemiddelde waarden: 50ste percentiel (P50) of instelbaar tussen 5de en 95ste percentiel (P5-P95)

Figuur 1; ontwerpuitgangspunt bepalen. Bron: boek basisboek ergonomie, zie literatuurlijst

Alhoewel toeristen ook een doelgroep zijn kijken we hier alleen naar de maten van Nederlanders. Simpelweg omdat hiervoor de gegevens makkelijk te krijgen zijn, maar ook omdat het grootste deel van de doelgroep Nederlands is.
De afmetingen van het menselijk lichaam, per percentiel aangegeven, staan in een tabel in het boek 'basisboek ergonomie'. In figuur 2 is deze tabel weergegeven.

Tabel 2.3 **Statistische gegevens voor mannen, vrouwen en een gemengde populatie volwassenen**

Maat nr.	Variabele	Mannen			Vrouwen			Gemengd		
		P5	P50	P95	P5	P 50	P95	P5	P50	P95
	Staand									
1	lichaamslengte	1680	1819	1958	1557	1686	1815	1580	1753	1926
2	ooghoogte	1565	1700	1835	1453	1575	1697	1473	1638	1803
3	schouderhoogte	1365	1489	1613	1261	1375	1489	1280	1432	1584
4	ellebooghoogte	1070	1166	1262	992	1083	1174	1010	1125	1241
5	polshoogte	821	900	979	766	840	914	779	870	961
6	hoogte heupgewricht	845	946	1047	790	879	968	802	913	1024
7	knieholtehoogte	458	507	557	411	456	501	419	482	545
8	schouderbreedte	425	471	517	381	430	480	392	451	510
	Zittend									
9	kruin-zitvlakhoogte	881	947	1013	827	890	953	840	919	998
10	ooghoogte	765	829	893	720	778	836	730	804	878
11	schouderhoogte	574	630	686	539	592	645	548	611	674
12	ellebooghoogte	207	253	299	205	248	291	206	251	296
13	kniehoogte	506	560	614	469	515	561	475	538	601
14	knieholtehoogte	405	448	491	377	415	453	383	432	481
15	reikdiepte (rugvlak-duim)	750	824	898	688	752	816	697	788	879
16	bil-knieschijfdiepte	582	638	694	556	609	662	565	624	683
17	bil-knieholtediepte	473	519	565	454	500	546	461	510	560
18	heupbreedte	333	381	429	351	414	477	335	398	461
	Overig									
19	handlengte	187	203	220	169	185	202	173	194	215
20	voetlengte	246	269	292	221	244	267	226	257	288
21	voetbreedte	90	102	114	83	93	103	85	98	111
22	hoofdlengte	186	199	212	175	188	201	178	194	211
23	hoofdbreedte	143	153	163	136	146	156	138	150	162

Figuur 2; statische lichaamsafmetingen in percentielen. Bron: basisboek ergonomie, zie literatuurlijst.

Hoogte

Voor de hoogte binnen in de carrosserie kan uit figuur 1 gehaald worden dat met P95 of P99 rekening gehouden moet worden (Langste mensen bepalend en niet belemmerend voor kleine mensen). Aangezien er in deze constructie, de Alley Hoop, niet veel gelopen hoeft te worden en het ook niet de bedoeling is dat mensen staan tijdens de rit (het is slechts nodig dat personen zich prima kunnen voortbewegen binnen de bus naar een stoel en naar de uitgang), zal het voldoende zijn om uit te gaan van P95. Dit is 1926mm (zie figuur 2).

Er moet wel gekeken worden naar de lengte van mensen over 50 jaar en meer. Er wordt gekozen om naar de lengte in 2100 te kijken zodat de Alley Hoop ook dan nog comfort zal bieden.

CBS heeft onderzoek gedaan naar het groeien van de mens. Als naar de groei van mannen wordt gekeken dan is dat 30mm in de afgelopen 20 jaar (bron: cbs.nl). Het boek waar tabel 2 uit komt is uit 2008, dus als de lengte van mannen en vrouwen met deze zelfde stijging benaderd wordt dan zal in 2100 de gemiddelde lengte van mensen ongeveer 140 mm zijn toegenomen. Dit komt neer op een lengte voor P95 van de bevolking van Nederland van 1926+140=2066mm.
Deze benadering klopt niet precies maar is goed genoeg om mee te ontwerpen in deze fase. De werkelijke waarde voor 95 percentiel van de Nederlanders in 2100 zal waarschijnlijk lager liggen, maar in dat geval valt het ontwerp ruimer uit en dat is acceptabel.

De hoogte binnen in de carrosserie moet langer zijn dan de lengte van de mensen en wordt daarom op 2100mm gesteld. De zijkanten binnenin de carrosserie zijn natuurlijk lager vanwege het ronde design van de Alley Hoop maar dat is acceptabel omdat het geen bus is waar mensen in zullen moeten staan tijdens het rijden.
De hoogte voor de doorgang van de deur zal zo laag mogelijk gehouden worden in verband met de stijfheid van de carrosserie. De deurdoorgang wordt daarom op 2000mm gesteld.

Zitplaats + beenruimte

Voor de beenruimte zijn lange mensen bepalend en het is niet belemmerend voor kleine mensen dus wordt er rekening gehouden met P95 of P99(zie figuur 1). Voor P95 van de mensen is 683mm de bil-knieschijf maat (zie figuur 2).
Zoals hierboven benaderd zal in 2100 de toename van de gemiddelde lichaamslengtes ongeveer 140mm zijn. Hiermee kan geschat worden dat de toename van de afstand van achterkant bil tot knieschijf ongeveer 140/2=70mm zal zijn. Dit klopt niet exact maar het is genoeg voor een inschatting voor deze fase van het ontwerpproces aangezien deze benadering op een te grote waarde uitkomt.
In de tabel van figuur 2 is P95 voor de bil-knieschijfdiepte 683mm. De ontwerpmaat hiervoor wordt dan 683+70=753mm voor mensen in 2100. Er moet nog rekening worden gehouden met de dikte van de rugleuning en met de voetenruimte (deze kunnen op de meeste plekken wel onder de stoel van de voorganger geplaatst worden alleen voorin de bus niet). Er wordt daarom uitgegaan van 1000mm lengte per zitplaats (stoel inclusief beenruimte) voor deze fase van het ontwerpen.

Stoelbreedte

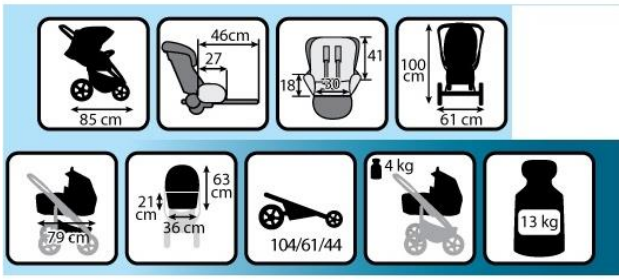
Voor de stoelbreedte kan naar de schouderbreedte en heupbreedte gekeken worden maar de heupbreedte is daarin bepalend. Breedste mensen zijn hierin bepalend, want een brede stoel is niet belemmerend voor smalle mensen. Uit de tabel in figuur 2 is te halen dat;
P95 heupbreedte = 461mm
P95 schouderbreedte=510mm
Als gekeken wordt naar huidige stoelbreedte in het openbaar vervoer dan zijn de meeste stoelen rond de 450mm breed. Aangezien Nederlanders steeds breder worden (bron: cbs.nl), zal er voor het ontwerpen van de Alley Hoop een grotere maat gekozen worden voor de stoelbreedte. Over de toename van de heupbreedte zijn geen exacte gegevens te vinden en daarom wordt de stoelbreedte van het huidige openbaar vervoer gekozen en afgerond naar boven.
Er wordt gekozen voor een stoelbreedte van 500mm.

Bagagestandplaats

Op de bagagestandplaats moet een kinderwagen of koffer geplaatst kunnen worden (dit komt voort uit de eisen en nu moet bepaald worden hoeveel ruimte hiervoor reserveert moet worden). 2 koffers zou ideaal zijn, want vaak reizen mensen samen.
Aangezien koffers gestapeld kunnen worden is waarschijnlijk de afmeting van een kinderwagen leidend voor de afmetingen van de bagagestandplaats.

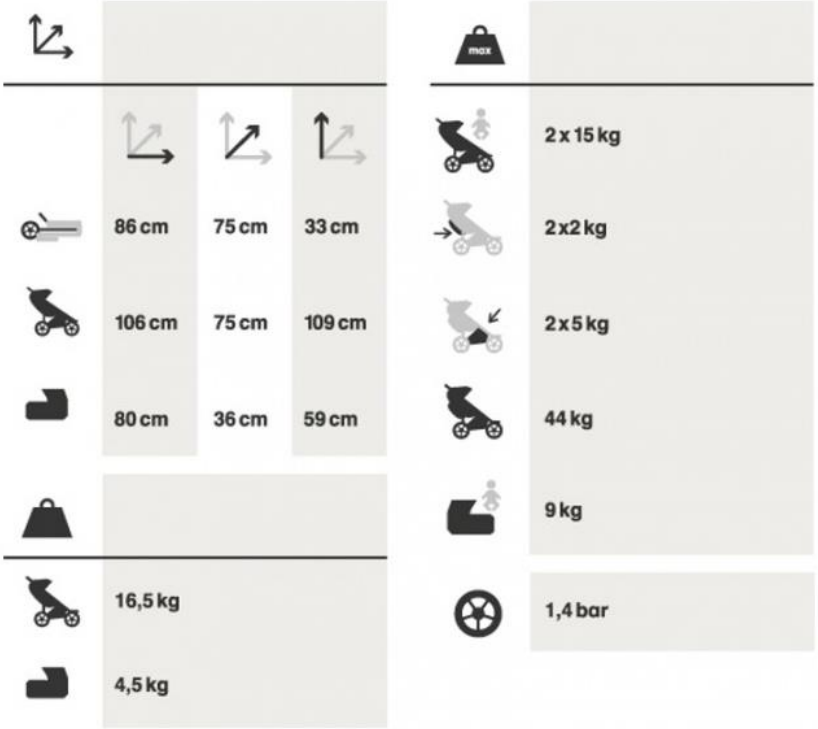
kinderwagen

Kinderwagens zijn er in veel verschillende afmetingen maar in figuur 3 staan de afmetingen van een ruime variant.



Figuur 3: afmetingen forse standaard kinderwagen. bron: www.mamaloesbabysjop.nl

De grootste kinderwagens zijn vaak tweelingwagen en in figuur 4 staan hier de afmetingen van weergegeven.



Figuur 4; afmetingen tweeling kinderwagen 'easywalker duo plus'. bron: www.kinderwagen.nl

Aangezien maar een klein deel van de ouders een tweeling krijgen (minder dan 5 % bron:cbs.nl) zal er niet van de maten van een tweeling-kinderwagen uitgegaan hoeven worden, maar als dit toch in de indeling van de bus kan passen dan is dat wel mooi meegenomen. De maat 106x75 kan dus in het achterhoofd gehouden worden bij het ontwerpen, maar de maat waarmee ontworpen wordt (in eerste instantie) is de kinderwagen van 85x61 en omdat er vaak nog een tas aan het handvat hangt en een paar extra centimeters geen kwaad kan, wordt er rekening gehouden met 1000x650mm. Dit is de ontwerpmaat voor de kinderwagen/bagage-standplaats.

koffer

Max ruimbagage vliegtuig is 860x1150mm (bron: transavia.nl). Rechtop zullen er wel 2 van dit soort bagage stukken op de standplaats passen.
De kinderwagen afmetingen is doorslaggevend, maar er passen dan ook 2 koffers op die plaats

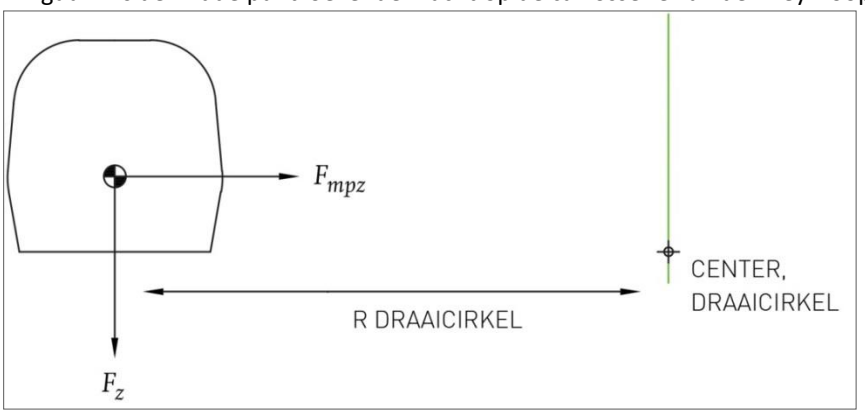
Conclusie

De maten waarmee de maten van de Alley Hoop verder bepaald kan worden:
Zitplaats (inclusief beenruimte): 1000x500mm
Bagagestandplaats: 1000x650mm (maar hoe groter hoe beter)
Hoogte binnenin carrosserie: 2100mm
Deur doorgang: 2000mm hoog en 900mm breed

Bijlage 3: Middelpuntzoekende kracht, F_{mpz}

De middelpuntzoekende kracht is een kracht die nodig is bij een voertuig wanneer deze een bocht maakt en deze kracht grijpt aan op het zwaartepunt van het voertuig. De grote van de F_{mpz} die nodig is, wordt bepaald door de massa, de baansnelheid en de straal van de draaicirkel.

In figuur 1 is de middelpuntzoekende kracht op de carrosserie van de Alley Hoop schematisch weergegeven.



Figuur 1; schematische weergave van Fmpz richting

De formule die gebruik wordt voor het berekenen van de middelpuntzoekende kracht is:

$$F_{mpz} = \frac{m * v^2}{r}$$

Met:
$m = massa\ [kg]$
$v = snelheid\ [\frac{m}{s}]$
$r = straal\ draaicirkel\ [m]$

De massa die gebruikt wordt is de massa van de carrosserie inclusief ramen en deur maar exclusief bodem (en chassis). De bodem wordt niet in de massa opgenomen omdat de doorsnede vlak boven de bodem berekend wordt. Ook het gewicht van de inzittenden en het meubilair wordt niet meegenomen in de massa van de berekening, omdat er vanuit gegaan wordt dat het meubilair aan de bodem (+chassis) gemonteerd zal worden en dus niet aan de wanden vast zit.

De grootte van de kracht hangt, naast de massa, af van de snelheid en de grootte van de draaicirkel. De snelheid is bij een voertuig ook afhankelijk van de draaicirkel en daarom wordt de kracht in eerste instantie berekend voor 2 situaties. In de eerste situatie is de bocht heel scherp en de snelheid laag en in de tweede situatie is de bocht minder scherp maar de snelheid hoog. Zo kan bepaald worden wanneer de F het grootste is en met de grootste F kan dan verder gerekend worden om de schuifspanning te bepalen.

Situatie 1:
Voor deze berekening gebruiken we de situatie dat de Alley Hoop een scherpe bocht neemt. In figuur 7 van §3.3.1 is een scherpe bocht uitgezet (de smalste straatjes in het centrum van Delft) en hierbij is een draaicirkel met een straal van 3 meter gebruikt. Deze waarde wordt daarom ook in de berekening van deze scherpe bocht gebruikt. De snelheid waarmee de Alley Hoop deze bocht zal nemen zal niet groot zijn en wordt geschat op maximaal 10 $^{km}/_{u}$.
Met deze waardes is de benodigde F_{mpz} berekend.

m	massa	271,25	kg
v	snelheid	10	$^{km}/_{u}$
r	straal bocht	3	m
a	vertraging	2,6	$^{m}/_{s^2}$
F_{mpz}	middelpunt zoekende kracht	698	N

Situatie 2:
In deze situatie neemt de Alley Hoop een ruime bocht met meer snelheid. Hierbij moet gedacht worden aan een twee- of drie-baan geasfalteerde weg die om het centrum heen loopt, waar een flauwe bocht in zit (waarbij niet afgeremd hoeft te worden). De draaicirkel die in deze situatie gebruikt wordt heeft een straal van $30m$ (schatting) en de Alley Hoop rijdt hier met maximaal 50 $^{km}/_{u}$.

m	massa	271,25	kg
v	snelheid	50	$^{km}/_{u}$
r	straal bocht	30	m
a	vertraging	6,4	$^{m}/_{s^2}$
F_{mpz}	middelpunt zoekende kracht	1744	N

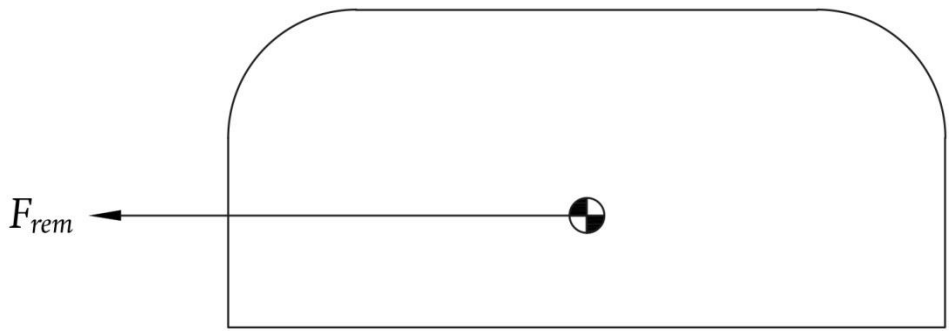
Uitkomst:
Het is duidelijk dat situatie 2 een hogere kracht oplevert. Er wordt dus uitgegaan van situatie 2 in de verdere berekening van de schuifspanning in de wanddoorsnede in de bocht.

De F_{mpz} is $1744N$

Bijlage 4: Remkracht, F_{rem}

Remkracht is een kracht die ontstaat bij het afremmen van een voertuig. De remkracht grijpt aan op het zwaartepunt en de grootte wordt beïnvloed door de massa en de vertraging.

In figuur 1 is de remkracht op de carrosserie van de Alley Hoop schematisch weergegeven.



Figuur 2; zij-aanzicht carrosserie met schematische weergave van Frem

F_{rem} kan berekend worden met de massa en de vertraging. De formule die gebruik wordt voor het berekenen van de remkracht is:

$$F_{rem} = m \times a$$

Met:
$F_{rem} = remkracht$ [N]
$m = massa\ [kg]$
$a = vertraging\ [{}^{m}/_{s^2}]$

Er wordt uitgegaan van de situatie dat de Alley Hoop een noodstop maakt tijdens het rijden met de maximale snelheid en dus is de vertraging dan maximaal.
De formule voor de vertraging, die optreed tijdens het remmen (remvertraging):

$$a = \frac{v}{t}$$

En

$$a = 0.5 \times v^2/s$$

Met;
$v = snelheid\ in\ [{}^{m}/_{s}]$
$t = remtijd\ in\ [s]$
$s = remweg\ [m]$

De maximale snelheid waarmee de Alley Hoop zal rijden is $50\ km/u$. Bij een noodstop met deze snelheid is een remweg van $10m$ het streven (schatting).

Hiermee is de vertraging te bepalen; $a = 0{,}5 \times \frac{50^2}{10} = 9{,}6\ {}^{m}/_{s^2}$

De RDW stelt een gewenste vertraging van minimaal $5\ {}^{m}/_{s^2}$ dus de berekende vertraging is ruim voldoende.

De massa die gebruikt wordt is de massa van de carrosserie inclusief ramen en deur maar exclusief bodem (en chassis). De bodem wordt niet in de massa opgenomen omdat de doorsnede vlak boven de bodem berekend wordt. Ook het gewicht van de inzittenden en het meubilair wordt niet meegenomen in de massa van de be-

rekening, omdat er vanuit gegaan wordt dat het meubilair aan de bodem (+chassis) gemonteerd zal worden en dus niet aan de wanden vast zit.

$F_{rem}$is nu te berekenen:

v_{max}	maximale snelheid	50	km/u
s	gewenste maximale remweg	10	m
a	gewenste vertraging	9,6	m/s^2
m	massa $F = m \times a$	271	kg
F_{rem}	remkracht	2616	N

Met $2616N$ voor de F_{rem} zal verder gerekend worden.

Literatuurlijst

Internet

- www.cbs.nl
- www.vkcn.nl
- www.maps.google.nl
- http://www.mamaloesbabysjop.nl/tutek-ambero-eco-leather-white-kinderwagen.html
- http://www.kinderwagen.nl/easywalker-duo-plus-silver.html
- http://service.transavia.com/app/answers/detail/a_id/113/~/wat-zijn-de-maximale-afmetingen-voor-ruimbagage%3F)

Boeken

Voskamp, P. (2008). *Basisboek ergonomie*.
Houten: Wolters-Noordhoff

Hibbeler, R. (2010). *Dynamica*. 12e editie
Amsterdam: Pearson Education Benelux BV

Hibbeler, R. (2010). *Sterkteleer*. 8e editie
Amsterdam: Pearson Education Benelux BV

van Mourik, P. & van Dam, J. (2001). *Materiaalkunde voor Ontwerpers en Constructeurs.* 3de druk
Delft: VSSD

Elling, R., Andeweg, B., de Jong, J. & Swankhuisen, C. (2005). *Rapportagetechniek*. 3de druk
Groningen: Noordhoff Uitgevers

Nijssen, R. (2013). *Composieten basiskennis*. 2de druk
Nijssen: Hogeschool Inholland

Rapporten

Op bijgevoegde usb-stick staan de volgende rapporten:

- URBAN CRUISERS Sustainable Mobility Business report - Bas Bothof
- Vuistregels ontwerpen met composieten – composietenlab Inholland

Deze rapporten zijn bijgevoegd omdat hier de nodige informatie uit gehaald is.

Alley hoop