

2014

Leantrike



S. Greeve

Afstudeerproject

Bewegingstechnologie

De Haagse Hogeschool

17-6-2014

2014

Leantrike

Voorwoord

Dit verslag is geschreven naar aanleiding van mijn afstudeerproject voor de studie Bewegingstechnologie aan De Haagse Hogeschool te Den Haag. Tijdens mijn afstudeerproject heb ik me beziggehouden met het analyseren, ontwerpen en vervaardigen van een driewieler die stuurt als een gewone fiets.

Dit verslag is geschreven voor docenten en studenten van de opleiding Bewegingstechnologie en voor andere geïnteresseerden in dit onderwerp.

Ten slotte wil ik onderstaande mensen bedanken die geholpen hebben tijdens deze afstudeerperiode, zonder deze hulp had ik het project niet succesvol kunnen doorlopen.

- A.A. Witkam en R.M. van den Doef, docenten aan De Haagse Hogeschool, bedankt voor de begeleiding tijdens mijn afstudeerperiode.
- R.M. Mcmeikan, bedankt voor de hulp tijdens het vervaardigen van het prototype.
- Werkplaats 't Hok, heel erg bedankt voor het aanbieden van een plaats om te werken aan het prototype en de hulp bij het vervaardigen.

Berkel en Rodenrijs, juni 2014

Inhoudsopgave

Voorwoord	2
Samenvatting.....	5
Inleiding.....	6
Analyse.....	7
Besturing	7
Besturing van een fiets.....	7
Besturing van een driewieler.....	11
Kantelhoek.....	12
Wettelijke eisen	13
Antropometrie	14
Kantelsystemen andere voertuigen.....	14
Dynamic Vehicle Control	14
Kantelsysteem Varna 3W	17
Kantelmechanisme Curtis L. Prince.....	18
Wielmaat en bandenkeuze.....	19
Materiaal	20
Lijst van eisen en wensen.....	21
Ontwerp	22
Morfologische kaart.....	22
Concepten	24
Kardinale methode	26
Eindconcept.....	27
Ontwerp tekening	27
Prototype.....	29
Evaluatie.....	31
Testen van eisen	31
Testen in de praktijk.....	32
Test met de doelgroep.	32
Discussie.....	34
Conclusie	36
Literatuurlijst	37
Bijlage 1, wettelijke eisen fietsen en driewielers	38
Bijlage 2, antropometrie van Nederlandse ouderen.	44

Bijlage 3, SolidWorks Simulation	45
Bijlage 4, bouwtekeningen prototype	46

Samenvatting

Veel ouderen met stabiliteitsproblemen kunnen niet meer fietsen op een gewone fiets. Om toch te kunnen blijven fietsen wordt een driewieler aangeraden. Vaak krijgen ouderen de besturing van de driewieler niet onder de knie waardoor er gevaarlijke situaties ontstaan en stoppen ze helemaal met fietsen waardoor veel lichamelijke beweging verloren gaat.

Het doel van dit afstudeerproject was het ontwerpen en vervaardigen van een driewieler met één voorwiel en twee achterwielen waarbij de besturing hetzelfde is als bij een gewone fiets.

Om inzicht te krijgen wat het verschil is tussen een normale fiets en een driewieler is er analyse uitgevoerd naar de besturing van beide voertuigen. Uit deze analyse kwam naar voren dat om een driewieler hetzelfde te besturen als een gewone fiets het frame moet kunnen kantelen ten opzichte van verticaal.

Verdere analyse heeft een lijst met eisen en wensen opgeleverd, aan de hand van deze lijst is begonnen met ontwerpfase. Er is begonnen met het maken van een morfologische kaart, waarbij oplossingen zijn bedacht voor de verschillende onderdelen van de driewieler. Door de verschillende oplossingen met elkaar te bundelen zijn er drie concepten ontstaan. Met gebruik van de kardinale methode is het eindconcept gekozen.

Het eindconcept is verder uitgewerkt met het programma SolidWorks. Nadat het ontwerp klaar was, is begonnen met het vervaardigen van het prototype.

Het prototype is geëvalueerd aan de hand van de gestelde eisen uit de analysefase. Daarnaast is het in de praktijk getest door twee personen uit de doelgroep.

Na de evaluatie zijn er discussiepunten opgesteld en hierop zijn aanbevelingen gegeven. Zo is bij het eerste prototype nog niet mogelijk de kanteling te blokkeren tijdens het stilstaan of langzaam rijden. Daarnaast is de driewieler op dit moment te zwaar voor de doelgroep.

Na de afstudeerperiode kan worden geconcludeerd. Dat het ontwerp en prototype zich in de begin fase van een productontwikkeling bevinden. Maar dat na het testen is gebleken dat het kantelsysteem werkt en de besturing van de driewieler sterkt te vergelijken is met een gewone fiets.

Inleiding

Door stabiliteitsproblemen kon meneer Van der Hurk niet meer fietsen op zijn normale fiets. Een driewieler zou een oplossing kunnen bieden. Jammer genoeg kreeg meneer Van der Hurk de besturing van deze driewieler niet onder de knie, waardoor een onveilige situatie ontstond tijdens het fietsen. De mobiliteit en dagelijkse beweging ging dus verloren.

Naast meneer Van der Hurk zijn er veel meer ouderen met stabiliteitsproblemen, die moeite hebben met de besturing van een driewieler. Naar schatting van ergotherapeuten bestaat de doelgroep uit 25% van de ouderen met stabiliteitsproblemen. Doordat jarenlang is gefietst op een gewone fiets, is de besturing hiervan een gewoonte geworden. Er zijn lessen van ergotherapeuten nodig om deze gewoonte af te leren en om de besturing van een driewieler aan te leren. Het komt vaak voor dat dit niet lukt, waardoor mensen overstappen naar bijvoorbeeld een scooter. Door de besturing van een normale fiets toe te passen op een driewieler kan dit probleem worden opgelost.

Het doel van dit afstudeerproject is de besturing van een normale fiets toe te passen op een driewieler met één wiel voor en twee achter. Waardoor de ouderen uit de doelgroep op een veilige manier kunnen fietsen op een driewieler. Het ontwerp zal worden getest aan de hand van een vervaardigd prototype.

Er is begonnen met de analysefase. Als eerste is onderzocht wat er plaatsvindt bij de besturing van een fiets en wat het verschil is met de besturing van een driewieler. Uit deze analyse komt naar voren hoe de besturing van de driewieler moet worden aangepast. De analysefase wordt afgerond door onderzoek te doen naar wettelijke eisen, maatvoering en materialen van de driewieler. Aan de hand van de analysefase wordt een lijst van eisen gemaakt waar het ontwerp aan moet voldoen. De ontwerpfase wordt begonnen met het maken van een morfologische kaart, waarbij oplossingen worden bedacht voor verschillende onderdelen van de driewieler. Door de onderdelen te combineren worden er drie concepten gemaakt. Het eindconcept wordt gekozen aan de hand van de kardinale methode. Dit eindconcept wordt verder uitgetekend en aan de hand van de tekeningen wordt een prototype gebouwd. In eerste instantie is het de bedoeling het prototype te testen met meneer Van der Hurk. Helaas is meneer Van der Hurk te komen overlijden in de tijd tussen het begin van het afstudeertraject en het moment waarop het prototype getest kan worden. Om het prototype toch goed te kunnen evalueren zijn meneer en mevrouw Van Leeuwen bereidt geweest om mee te werken aan het testen van het prototype. Mevrouw Van Leeuwen behoort tot de doelgroep van het project en heeft ervaring met het rijden op een driewieler waardoor een goede vergelijking kan worden gemaakt.

Na de evaluatie fase is er terug gekeken op het project en zijn de discussiepunten opgeschreven. Daarnaast zijn er aanbevelingen gedaan waarmee het product verder kan worden ontwikkeld.

Analyse

De analyses die worden uitgevoerd zullen in het teken staan van het vormen van eisen en wensen voor de ontwerpfase. Eerst zal worden geanalyseerd hoe een fiets en een driewieler worden bestuurd. Daarnaast zal worden onderzocht wat de wettelijke eisen zijn aan een driewieler. Voor de afmetingen van de driewieler, zal gebruik worden gemaakt van de antropometrische data van de doelgroep. Om het driewieler frame te kunnen kantelen worden bestaande kantelsystemen onderzocht. Als laatste zal er een analyse worden gedaan naar de te gebruiken wielen/banden en materialen van het frame.

Besturing

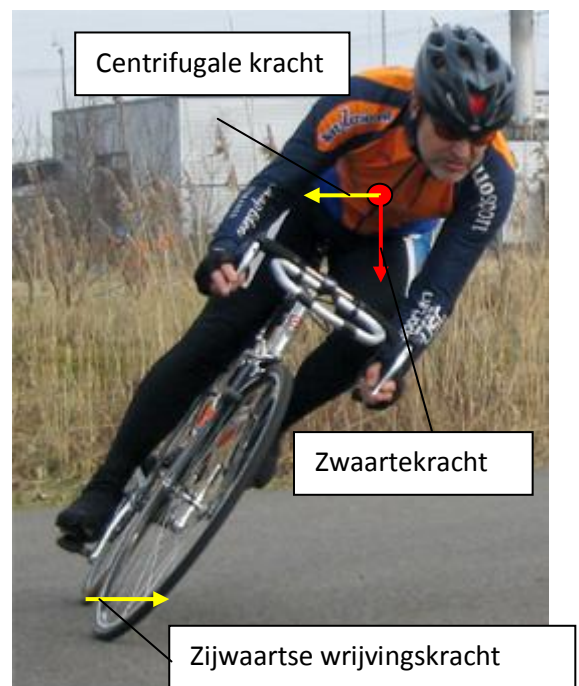
Om inzicht te krijgen waarom mensen moeite hebben met de besturing van een driewieler zal worden geanalyseerd wat het verschil is tussen de besturing van een conventionele fiets en de besturing van een driewieler.

Besturing van een fiets

Veel mensen die hebben leren fietsen weten niet wat er precies gebeurt als ze een bocht maken. Het besturen van een fiets is een gewoonte geworden. Er wordt niet bij stil gestaan dat de besturing van een fiets tegennatuurlijk is. Dit betekent dat om een bocht naar links te maken eerst naar rechts moet worden gestuurd. Dit wordt “tegensturen” genoemd en wordt gebruikt om de fiets te kantelen. Waarom het kantelen van de fiets nodig is zal hieronder worden verklaard.

Als de fiets in een bocht niet wordt gekanteld ten opzichte van verticaal zorgt de middelpuntzoekende kracht ervoor dat de fiets omvalt. De middelpuntzoekende kracht wordt geleverd door de zijwaartse wrijvingskracht (afbeelding 1) tussen de band en het wegdek en duwt de fiets de bocht in. Als deze kracht niet groot genoeg is om de massa van de fiets en fietser de bocht in te duwen gaat de fiets rechtdoor, terwijl het voorwiel al scheef staat. Hierdoor valt de fietser over zijn voorwiel heen.

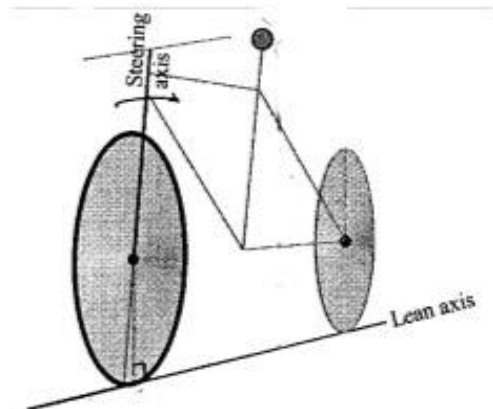
Volgens de derde wet van Newton heeft een actiekracht (in dit geval middelpuntzoekende kracht) ook altijd een reactiekracht. Deze kracht wordt middelpuntvliedende kracht of centrifugale kracht genoemd en trekt de fiets uit de bocht. De centrifugale kracht wordt gebruikt om gecontroleerd een bocht te maken. Hiervoor is het nodig dat de fiets wordt gekanteld, ten opzichte van verticaal. Het kantelen van de fiets zorgt ervoor dat de zwaartekracht de centrifugale kracht compenseert. Er wordt door het kantelen van de fiets gebalanceerd tussen de zwaartekracht die de fiets wil laten omvallen en middelpuntvliedende kracht die de fiets naar buiten trekt (afbeelding 1). Als deze krachten even groot zijn valt de fiets niet om en is het dus mogelijk gecontroleerd een bocht te maken. De grootte van de krachten is per bocht en per snelheid verschillend.¹



Afbeelding 1, De zijwaartse wrijvingskracht duwt de fiets de bocht in. De centrifugale reactiekracht trekt de fiets uit de bocht. Door het kantelen van de fiets wordt de centrifugale kracht gecompenseerd en kan gecontroleerd een bocht worden gemaakt.

Het kantelen van de fiets kan op verschillende manieren worden bereikt. Één van deze manieren is het tegensturen. Tijdens het fietsen moet een bocht naar rechts worden gemaakt. De verschillende fases die plaatsvinden tijdens het tegensturen worden hieronder beschreven.

Er wordt rechtdoor gefietst (zie figuur 1). Het is mogelijk het voorwiel te sturen via de steering axis (stuur as) en de fiets te kantelen rond de lean axis (kantel as).

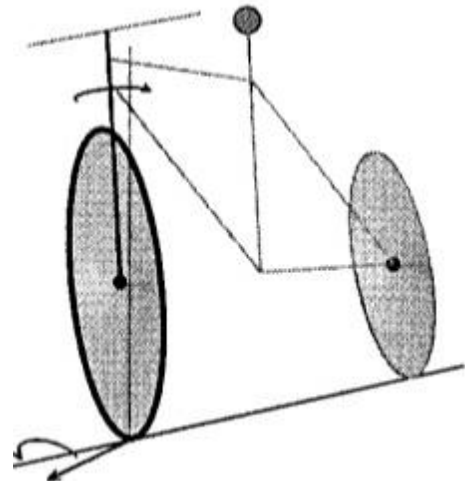


Figuur 1, fiets rijdt rechtdoor, het voorwiel kan draaien rond steering axis (stuur as), fiets kan kantelen rond de lean axis (kantel as).

Aan het begin van de rechterbocht, wordt er via de stuuras naar links gestuurd, (zie figuur 2).

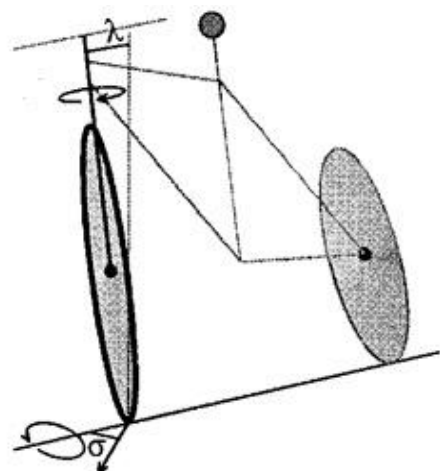
De middelpuntzoekende kracht duwt via de zijwaartse wrijvingskracht de fiets naar links.

De middelpuntvliedende (reactie)kracht zorgt ervoor dat fiets en bestuurder naar buiten worden getrokken (zie afbeelding 1 vorige pagina).



Figuur 2, begin van de bocht van rechts wordt naar links gestuurd.

Dit leidt ertoe dat de fiets naar rechts gaat overhellen langs de kantel as (zie figuur 3). Met λ wordt de hoek weergegeven tussen de fiets en verticaal. De stuurhoek is aangegeven met σ .



Figuur 3, fiets helt over naar rechts, met λ wordt de kantelhoek aangegeven en met σ de stuurhoek.

Het overhellen naar rechts wordt via de voorvork doorgegeven aan het wiel. De kracht die ontstaat door het overhellen zorgt ervoor dat het wiel naar rechts beweegt, de hoek σ wordt kleiner.

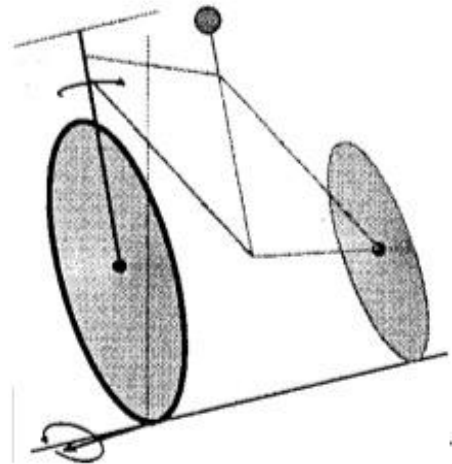
De hoek λ wordt in deze periode nog steeds groter, omdat de fiets nog steeds naar links stuurt (zie figuur 4).

Dan zal de stuurhoek σ van het voorwiel nul worden en naar rechts gaan wijzen (zie figuur 5).

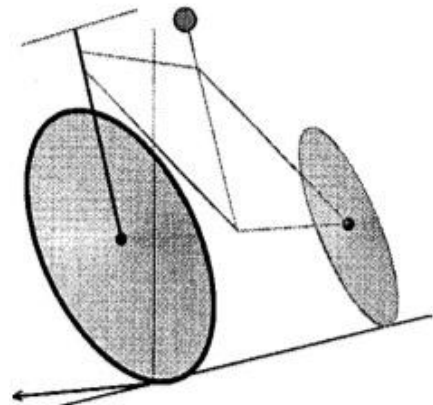
De fiets wordt naar rechts geduwd door de middelpuntzoekende kracht. De middelpuntvliedende kracht trekt de fietser naar links. Hier zijn de krachten omgedraaid ten opzichte van het begin van de bocht.

De middelpuntvliedende kracht zorgt ervoor dat de hoek λ naar rechts afneemt en in evenwicht komt met de zwaartekracht. Hierdoor zal de stuurhoek σ stabiliseren en de fiets de gewenste bocht naar rechts maken.

In de figuren zijn de stuurhoeken extreem weergegeven, in werkelijkheid is de stuuruitslag naar links (tegensturen) maar drie graden en is binnen 0.5 seconden het stuur naar rechts gedraaid, daarom wordt dit niet bewust opgemerkt.¹



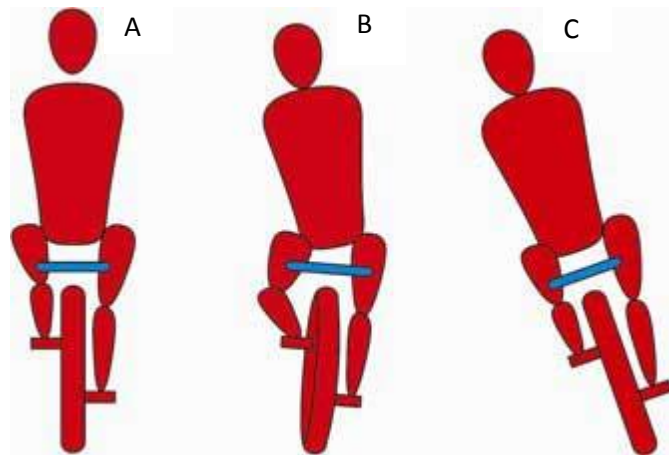
Figuur 4, de kantelhoek λ naar rechts wordt groter, de stuurhoek σ neemt af.



Figuur 5, stuurhoek σ wijst naar rechts, er ontstaat een evenwicht tussen de zwaartekracht en de middelpuntvliedende kracht. Er wordt gecontroleerd een bocht gemaakt.

Het alternatief voor het tegensturen is door gebruik te maken van de heupen de fiets te laten kantelen. Deze eerste kanteling is niet richting de bocht maar ervan af.

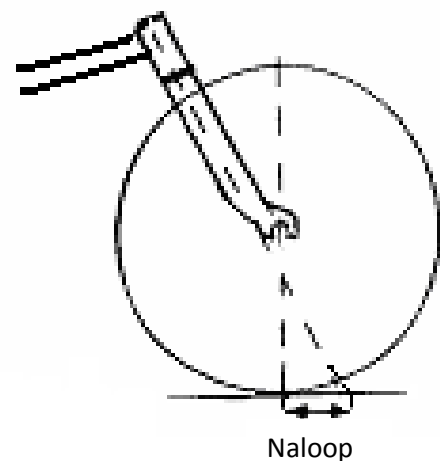
Het begint met het richten van de schouders naar de kant waar je naartoe wilt. Hierdoor zullen de heupen de andere kant op kantelen met als gevolg dat de fiets deze kanteling volgt (zie figuur 6B).



Figuur 6, Sturen met heupen, zoals beschreven in de tekst.

Nu de fiets is gekanteld wordt de naloop belangrijk, omdat de stuuras niet verticaal loopt ligt het contactpunt van de band met de weg voor het punt waar de stuuras met de weg zal kruisen (zie figuur 7). Dit wordt de naloop genoemd en zorgt ervoor dat de fiets zichzelf corrigeert als het uit balans raakt. Als de fiets naar links kantelt zal het voorwiel naar links sturen en omgekeerd.

Als de heupen de fiets naar links hebben gekanteld zal het voorwiel ook een bocht naar links maken (figuur 6B). Waardoor fiets met fietser door de middelpuntvliedende kracht naar rechts zal kantelen. Hierna volgen dezelfde stappen als bij het tegensturen. Het voorwiel zal naar rechts draaien en er ontstaat een evenwicht tussen de zwaartekracht en de centrifugale kracht (figuur 6C) en er kan gecontroleerd een bocht worden gemaakt.¹



Figuur 7, Naloop van voorvork fiets, de naloop zorgt ervoor dat de fiets zichzelf corrigeert als het uit balans raakt.

Het besturen van een fiets heeft dus alles te maken met het vinden van de balans tussen de zwaartekracht en de middelpuntvliedende kracht. Deze balans gebruik je om een bocht te maken. Een fiets is daarom een balansvoertuig.

Besturing van een driewieler

Vaak wordt gedacht dat het besturen van een driewieler gemakkelijk is, omdat hij altijd recht blijft staan. Als je nog nooit op een gewone fiets hebt gefietst is dit waarschijnlijk ook het geval, maar is dit niet zo dan is de besturing van een driewieler vaak een probleem.

Bij de besturing van een fiets, zoals hiervoor te lezen is, zorg je met tegensturen of door gebruik te maken van je heupen ervoor dat het lichaam de kant op leunt waar je naartoe wilt. Hierdoor ontstaat een evenwicht tussen de zwaartekracht en de centrifugale kracht. Bij het fietsen op een driewieler moet deze stap achterwege worden gelaten. Op een driewieler moet je het stuur bewust draaien naar de kant die je op wilt en daarna het lichaamszwaartepunt verplaatsen om te zorgen dat de driewieler niet omvalt. Als het lichaamszwaartepunt niet wordt verplaatst trekt de centrifugale kracht de driewieler uit de bocht hetzelfde als bij een gewone fiets. Als deze kracht niet wordt tegengewerkt door de zwaartekracht, kantelt de driewieler over het wiel aan de buitenkant van de bocht heen en valt de driewieler om.

De besturing zoals die hierboven beschreven is lijkt eenvoudig en geen problemen te geven. Toch ontstaan deze wel bij mensen die al jaren gewend zijn om te fietsen op een gewone fiets. Dit komt doordat men tijdens het fietsen op een driewieler er niet constant aan wordt herinnerd dat er twee wielen achter zitten in plaats van één, waardoor men automatisch gaat sturen zoals op een gewone fiets.

Dit leidt ertoe dat men bij het maken van een bocht naar rechts eerst gaat tegensturen naar links en het lichaam naar rechts overhellen, zoals men gewend is bij een gewone fiets. Door deze verschuiving wordt er getrokken aan het linker deel van het stuur en geduwd aan de rechterkant, dit wordt in extreme mate voorgedaan in afbeelding 2. De driewieler gaat dan niet rechtsaf maar juist linksaf.



Afbeelding 2, besturing van een fiets gebruiken om een driewieler te besturen leidt ertoe dat driewieler naar links gaat als er een bocht naar rechts moet worden genomen.

Als het gelukt is om wel de juiste kant op te sturen is het de bedoeling het lichaamszwaartepunt te verplaatsen zodat de driewieler niet omvalt. Bij een scherpe bocht wordt dit bereikt door over te hellen naar de binnenkant van de bocht. Om dit te kunnen doen moet het pedaal aan de binnenkant naar beneden wordt gebracht in de bocht, dit is tegenovergesteld met wat er gebeurt tijdens het maken van een bocht met een fiets. Hier wordt het pedaal juist omhoog gehouden om ruimte te maken voor het leunen in de bocht. Deze situatie moet ook worden afgeleerd.

Het volgende probleem dat ontstaat bij een driewieler zijn de wegen waarop gefietst wordt. Deze zijn niet vlak aangelegd maar lopen heel licht schuin om het regenwater af te voeren. De driewieler zal richting deze afwatering rollen, omdat de driewieler schuin staat. Er gebeurt hetzelfde als bij het kantelen van een fietsframe het voorwiel zal hierdoor deze richting opsturen. Waardoor het nodig is constant tegen deze helling in te sturen wat op den duur veel kracht kost.^{2,3,4}

Omdat er geen gebruik wordt gemaakt van tegensturen of sturen met de heupen en er op een andere manier evenwicht moet worden gevonden op de driewieler ontstaan er problemen voor mensen die al jaren lang op een conventionele fiets hebben gefietst. Er zullen lessen moeten worden gevolgd om alle gewoontes die bij het fietsen op een gewone fiets zijn aangeleerd af te leren. Vaak komt het voor dat de oudere mensen deze gewoontes niet afleren en het onveilig vinden op een driewieler te gaan fietsen. Wat ertoe leidt dat ze niet meer kunnen fietsen.

Om de besturing van een driewieler zo te veranderen dat deze stuurt als een gewone fiets, is het nodig dat het frame kan kantelen ten opzichte van verticaal. Want zoals in de analyse van de besturing van de fiets is te lezen, wordt het kantelen van de fiets gebruikt om een bocht te maken. Om voor de extra stabiliteit te zorgen tijdens het stilstaan en langzaam fietsen, zal het frame dan recht moeten blijven staan.

De mogelijkheid tot kantelen van het frame lost ook het probleem op van het schuin aflopen van de wegen. Door het frame licht te kantelen zal het verticaal komen te staan en zal zonder sturen rechtdoor kunnen worden gefietst.

Eis 1: Frame van driewieler moet kunnen kantelen ten opzichte van verticaal.

Eis 2: Het frame moet recht blijven staan bij langzaam rijden en stilstaan.

Kantelhoek

Nu bekend is dat het frame van de driewieler moet kunnen kantelen om op dezelfde manier bestuurd te kunnen worden als een fiets, moet worden berekend hoeveel graden het frame moet kantelen ten opzichte van verticaal. Bij deze berekening wordt geanalyseerd hoeveel graden kanteling wordt gebruikt tijdens het fietsen op een tweewieler. Als dit bekend is moet dezelfde hoek van kantelen mogelijk zijn bij de driewieler om deze op dezelfde manier te besturen.

Om een bocht te maken is er een middelpuntzoekende kracht nodig. Deze kracht wordt geleverd door de zijwaartse wrijvingskracht tussen de band en het wegdek. Als deze zijwaartse wrijvingskracht te klein is zal de fietser uit de bocht vliegen.

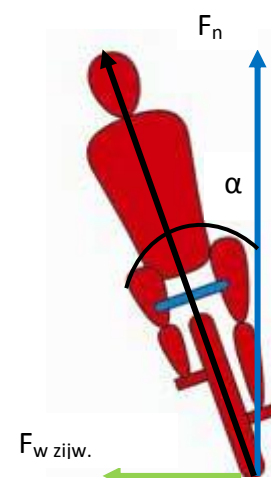
De maximale wrijvingskracht kan worden berekend met de wrijvingscoëfficiënt.

$$F_{wmax. zijw.} = \mu * F_n$$

$F_{wmax. zijw.}$ = maximale wrijvingskracht

μ = wrijvingscoëfficiënt

F_n = normaalkracht fiets + fietser



Figuur 8, weergave krachten die bij berekeningen worden gebruikt.

Als de normaalkracht en de wrijvingscoëfficiënt bekend zijn kan de maximale leunhoek worden berekend.

$$\tan \alpha = \frac{F_{wmax. zijw.}}{F_n} = \frac{\mu * F_n}{F_n} = \mu$$

α = hoek tussen fiets en verticaal

In de meest ideale omstandigheden kan de wrijvingscoëfficiënt 1 zijn tussen rubber en beton. Hierbij is het dan mogelijk om een leunhoek van maximaal 45 graden te maken. Wordt de leunhoek groter zal de fiets omvallen. Tijdens realistische omstandigheden (rubber, vochtig asfalt) is er een wrijvingscoëfficiënt van 0.44. Dit maakt een veilige leunhoek van maximaal 24 graden mogelijk.⁵

Nu bekend is welke leunhoek wordt gebruikt tijdens het fietsen kan worden vastgesteld welke leunhoek mogelijk moet worden gemaakt voor het frame van de driewieler. Tijdens het fietsen met een tweewieler is in de meest ideale omstandigheden een leunhoek van 45 graden mogelijk. Onder normale omstandigheden wordt er een veilige leunhoek van maximaal 24 graden gemaakt. Er is voor gekozen om het frame een maximale kantelhoek te geven van 24 graden. Met deze kantelhoek kunnen de bochten op dezelfde manier worden genomen zoals met een normale fiets.

Eis 3: De kanteling mag maximaal 24 graden zijn.

Wettelijke eisen

Aan de constructie en veiligheid van fietsen en driewielers worden wettelijke eisen gesteld. Bij het ontwerpen van een nieuw soort driewieler moet hier rekening mee worden gehouden. Hieronder staan de belangrijkste eisen waar de driewieler aan moet voldoen. De totale lijst van eisen is terug te vinden in bijlage 1.

1.	Het frame mag niet vervormd zijn, geen breuken of scheuren vertonen en niet zodanig gecorrodeerd zijn dat de stijfheid en sterke in gevaar kan worden gebracht.
2.	Driewielers mogen niet breder zijn dan 1.50m.
3.	De driewieler moet voorzien zijn van een degelijke stuurinrichting.
4.	De driewieler moet voorzien zijn met een goed werkende rem; bij velgremmen moeten minimaal twee wielen geremd worden.
5.	Driewielers moeten voorzien zijn van een parkeerrem.
6.	De trappers moeten degelijk zijn bevestigd en voorzien zijn van een stroef oppervlak.
7.	Driewielers mogen geen scherpe delen hebben die bij een botsing lichamelijk letsel kunnen veroorzaken.
8.	De driewieler moet zijn voorzien van de juist geplaatste retroreflecterende voorzieningen.
9.	De driewieler moet zijn voorzien van een goed werkende bel.

Tabel 1, wettelijke eisen gesteld aan constructie en veiligheid van een driewieler.⁶

Eis 4: De driewieler moet voldoen aan de wettelijke eisen voor constructie en veiligheid.

Antropometrie

Bij het ontwerpen van een product moet er rekening gehouden worden met de lichaamsmaten en de bewegingsmogelijkheden van de doelgroep. Bij het ontwerpen van de driewieler moet er dus gelet worden op de bewegingsmogelijkheden en lichaamsmaten van ouderen en daar moet het ontwerp op worden aangepast.

In bijlage 2 staan de antropometrische maten van bejaarde Nederlanders⁷. Bij het ontwerp moet niet alleen rekening worden gehouden wat mogelijk is tijdens het fietsen, maar ook de mogelijkheden voor het op en afstappen.

Afmetingen waar de driewieler aan moet voldoen:

Onderdelen	Afstand van elkaar in mm
Zadel tot trapper	840-1040
Zadel tot stuur	510-600
Maximaal instap frame tot grond	200

Tabel 2, afmetingen waar de driewieler aan moet voldoen, gebaseerd op de antropometrische lichaamsmaten en bewegingsmogelijkheden van ouderen.

De hoogte van het stuur en zadel zullen aanpasbaar moeten zijn om iedereen in de juiste houding te kunnen laten fietsen op de driewieler. Het frame van de driewieler moet sterk genoeg zijn om het gewicht van bestuurder te houden, het gewicht bedraagt rond 90 kilogram. Als er door een kuil wordt gereden kan de belasting op het frame tot wel drie keer zo groot zijn. Het frame mag niet vervormen bij krachten tot 2700N.

Eis 5: De driewieler heeft een instelbare afstand van zadel tot trapper van 840-1040mm.

Eis 6: De driewieler heeft een instelbare afstand van zadel tot stuur van 510-600mm.

Eis 7: De driewieler heeft een instaphoogte van maximaal 200mm.

Eis 8: Het frame moet kunnen worden belast tot 2700N zonder te vervormen.

Kantelsystemen andere voertuigen

Uit de analyse over de besturing van een fiets blijkt dat door het kantelen van het frame gecontroleerd een bocht kan worden gemaakt. Om een driewieler hetzelfde te besturen als een fiets is het nodig dat het frame van de driewieler ook kan kantelen ten opzichte van verticaal. Er zijn op de markt al vervoersmiddelen die systemen gebruiken die dit mogelijk maken. Zoals het hydraulische DVC-systeem en de mechanische systemen van Varna en van Curtis L. Prince. Deze systemen zullen nader worden geanalyseerd.

Dynamic Vehicle Control

Het DVC-systeem is ontwikkeld door het Nederlandse bedrijf Brink Dynamics en wordt onder andere gebruikt in de gemotoriseerde driewieler genaamd de Carver zie afbeelding 3.

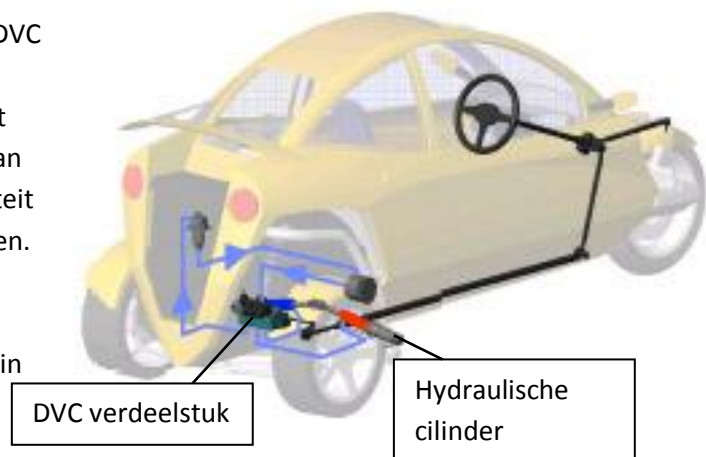


Afbeelding 3, Carver one, auto met drie wielen die door gebruik te maken van het DVC-systeem kan kantelen in de bochten.

Het DVC-systeem is een hydraulisch/mechanisch controle systeem dat voor kantelen van het voertuig zorgt en daarbij de benodigde feedback terug geeft aan de bestuurder. Het voordeel van het DVC-systeem in vergelijking met elektronische systemen zijn de lage kosten, betrouwbaarheid en de snelle reactie.

Het DVC-systeem bestaat niet uit een ingewikkeld systeem van sensoren die informatie doorsturen naar grote computers die de leunhoek berekenen, maar uit een ontwerp dat gebaseerd is op fysieke eigenschappen en fundamentele dynamica. Dit heeft geleid tot het hydraulisch/mechanisch systeem, dat de stuurinput van de bestuurder verdeelt over de besturing van het voorwiel en de kanteling van de carrosserie. Wat ervoor zorgt dat bij variërende snelheden en omstandigheden de verdeling tussen de hoek die het voorwiel maakt en de leunhoek altijd automatisch wordt aangepast. Bij lage snelheden wordt het stuurgedrag volledig naar het voorwiel geleid en blijft de carrosserie rechtop. Bij hoge snelheden wordt dit meer en meer overgedragen naar de leunhoek.

De hoofdonderdelen van het DVC-systeem zijn de twee hydraulische cilinders en het DVC verdeelstuk. De cilinders zijn aan beide kanten van het voertuig bevestigd. Aan het deel van het voertuig dat niet kantelt en aan de bewegende carrosserie, zodat bij activiteit van de cilinders de carrosserie gaat kantelen. Het DVC verdeelstuk, een hydraulisch kleppensysteem, is de hoofdsensor. In figuur 9 zijn de onderdelen aangegeven in stilstaande situatie.



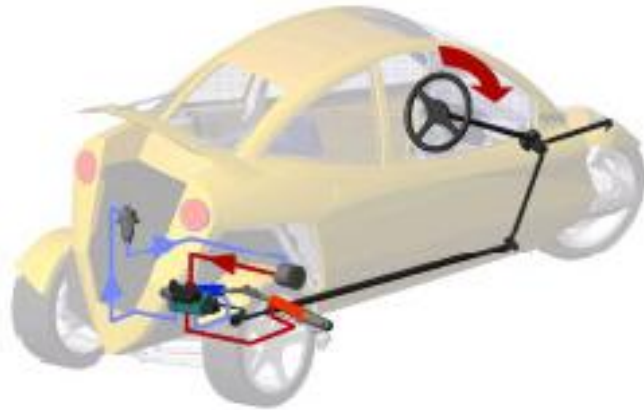
Figuur 9, onderdelen van het DVC-systeem in de Carver one.

Tijdens het rijden wordt de stuurkracht van de bestuurder dat het voorwiel aanstuurt gemeten door het DVC verdeelstuk. Aan de hand van de stuurkracht en de gereden snelheid wordt bepaald hoeveel hydraulische olie in de cilinders moet worden gepompt. Dit is weergegeven met de rode lijn in figuur 10.



Figuur 10, Gebaseerd op de stuurkracht, wordt de hydraulische olie in de cilinders gepompt.

Door de verplaatsing van de hydraulische olie vindt de kanteling plaats. Tegelijkertijd neem de stuurhoek van het voorwiel af (figuur 11).



Figuur 11, kantelen van carrosserie door verplaatsen hydraulische olie.

Als de juiste leunhoek en stuurhoek zijn bereikt om de bocht te nemen. Neemt de olie druk in het systeem af tot aan de normale druk (zie figuur 12). Met als resultaat dat de carrosserie altijd in dynamisch balans is. Wat betekent dat het systeem zonder vertraging kan reageren om veranderende situaties.⁸



Figuur 12, verlaging naar normale oliedruk, zorgt voor dynamische balans van de carrosserie.

Kantelsysteem Varna 3W



Afbeelding 4, Varna 3w

De vastframe handbike van varna (zie afbeelding 4) is een driewieler die wordt aangedreven met de armen en het bovenlichaam. De handbike maakt gebruik van voorwielaandrijving.

In de handbike bevindt zich een kantelsysteem dat het mogelijk maakt te kunnen hangen in de bochten. Het kantelsysteem werkt door gebruik te maken van torsie.

Het frame bestaat uit een rechte buis zoals te zien is in afbeelding 5. Deze buis bestaat uit meerdere delen. Aan de achterkant is de binnenbuis bevestigd aan de camberbar waar de achterwielen

aan zijn bevestigd (zie afbeelding 6). Aan deze binnenbuis is een torsiebar bevestigd. Dit geheel wordt in het frame geschoven en vastgezet aan de voorkant van het frame (afbeelding 7). Dit maakt het mogelijk het frame te laten kantelen om de binnenbuis heen, waarbij spanning komt te staan op de torsiebar. Als er geen kracht wordt geleverd op het frame komt het terug in neutrale stand.



Afbeelding 5, frame varna



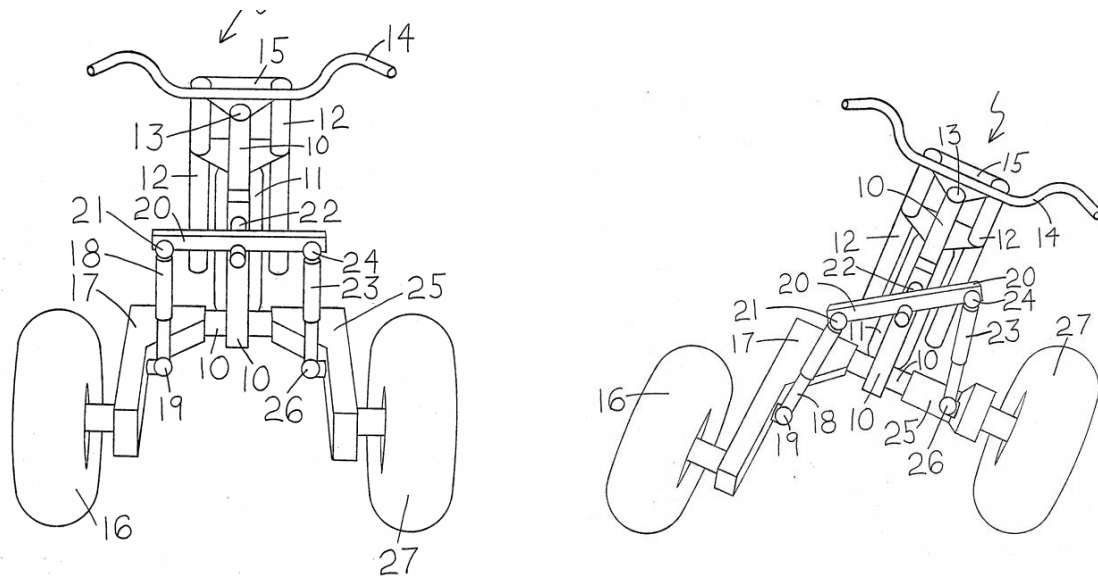
Afbeelding 6, binnenbuis + camberbar



Afbeelding 7, bevestiging torsiebar

Kantelmechanisme Curtis L. Prince

Het derde kantelsysteem dat is geanalyseerd is geïntroduceerd door Curtis L. Prince in 1987. Bij dit ontwerp is de mogelijkheid het frame te kantelen gebaseerd op het feit dat de achterbrug uit twee delen bestaat. De twee delen zijn aan elkaar verbonden met een as die bevestigd is aan het frame. Door de twee losse delen is het mogelijk het linker achterwiel omlaag te verplaatsen en het rechter wiel omhoog. Hierdoor komt de verbindingssas schuin te liggen en is het frame gekanteld (zie figuur 13). Tussen de achterbrug en het frame is ook een stangenstelsel geplaatst. De stangen zorgen ervoor dat de achterbrug recht blijft als het frame niet wordt gekanteld. Met deze stangen is het ook mogelijk de maximale kantelhoek in te stellen.



Figuur 13, ontwerp van Curtis L. Prince, werking kantelsysteem zoals beschreven in de tekst.

Voor de driewieler zal niet gekozen worden om een systeem zoals DVC te gebruiken. Dit systeem is zeer geschikt voor een gemotoriseerd voertuig. Maar met een gewicht van 20 kg is dit te veel om te gebruiken op de driewieler. Daarom zal voor de driewieler worden gekozen om een mechanisch kantelsysteem te gebruiken. De keuze voor welk mechanisch systeem zal worden gebruikt, wordt gemaakt in de ontwerpfase aan de hand van de rest van de eisen.

Eis 9: Voor het kantelen wordt een mechanisch systeem gebruikt.

Wielmaat en bandenkeuze

De rijeigenschappen van de driewieler zijn ook afhankelijk van de grootte van de wielen en het soort banden dat wordt gebruikt.

De grootte van het wiel heeft invloed op verschillende aspecten zoals besturing, acceleratie en rolweerstand.

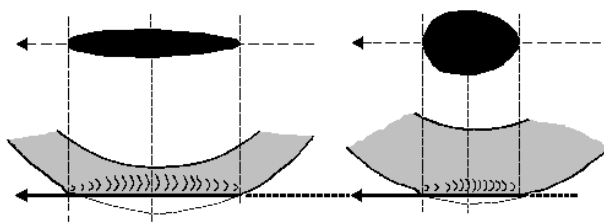
Besturing; wielen met een grotere diameter zijn stabiel tijdens het fietsen, kleinere wielen hebben het voordeel dat ze wendbaarder zijn.

Acceleratie; de roterende massa en de diameter hebben invloed op de acceleratie. Hoe groter de massa en diameter zijn, hoe meer energie en tijd het kost om het wiel te laten draaien en af te remmen.

Rolweerstand; grote wielen hebben een kleinere rolweerstand dan kleine wielen. Dit betekent dat ze beter hun snelheid behouden tijdens het fietsen.⁹

De keuze voor het soort band wordt gemaakt aan de hand van de rolweerstand. Om te zorgen dat het fietsen zo min mogelijk energie kost moet de rolweerstand van de band zo laag mogelijk zijn.

De rolweerstand wordt veroorzaakt door de vervorming van de band. Hoe groter de vervorming hoe groter de rolweerstand. In figuur 14 is te zien dat de vervorming van een dunne band groter is dan een brede band. Een brede band heeft dus een lagere rolweerstand waardoor het minder energie kost om deze weerstand te overwinnen.¹⁰



Figuur 14, verschil in contactoppervlak tussen dunne en dikke fietsband bij dezelfde luchtdruk.

Daarnaast is ook het ontwerp van de band van belang. Brede banden worden vaak gebruikt in ruw terrein en hebben een grof profiel. Dit geeft een hoog wrijvingscoëfficiënt en zorgt voor een hogere rolweerstand. Voor de driewieler is dit niet nodig en zal daarom voor een tussenmaat worden gekozen. Een band van 32mm dik op 5 bar is de juiste band voor de driewieler. Deze band heeft een lage wrijvingscoëfficiënt en vervormt niet veel waardoor de rolweerstand laag is.¹¹

Uit de marktoriëntatie naar driewielers blijkt, dat voor de achterwielen een 24 inch wiel wordt gebruikt. Het voorste wiel verschilt per merk en type, er wordt gekozen voor een 22 inch of een 26 inch voorwiel.¹²

Voor de driewieler zal net zoals bij de commerciële driewielers gekozen worden voor 24 inch achterwielen. Met 24 inch wielen is er minder energie nodig om de driewieler te accelereren en de wielen zijn groot genoeg om over obstakels heen te rijden. Voor het voorwiel zal een 26 inch wiel worden gebruikt. Met deze velgmaat is de rolweerstand laag waardoor de snelheid tijdens het fietsen behouden blijft. De grotere wielmaat heeft als voordeel dat de driewieler stabiel stuurt, waardoor er weinig stuurcorrecties nodig zijn.

Eis 10: De achterwielen hebben een grootte van 24 inch.

Eis 11: Het voorwiel heeft een grootte van 26 inch.

Eis 12: De banden zijn 32mm breed met een druk van 5 bar.

Materiaal

Voor het frame van de driewieler kunnen verschillende soorten materiaal worden gebruikt, zoals staal, aluminium, koolstofvezel. Er is analyse gedaan naar verschillende materialen, waarna een keuze is gemaakt welke materiaalsoort voor de driewieler geschikt is.

Staal

De meeste fietsframes zijn van staal gemaakt. Staal is sterk, eenvoudig te bewerken en relatief goedkoop. Staal is niet alleen sterk maar ook relatief elastisch waardoor het hoge krachten kan weerstaan voordat het scheurt. Het nadeel van staal is dat het zwaar is en dat het corrodeert waardoor het frame altijd moet worden behandeld.



Afbeelding 8, Stalen buizen voor fietsframe.

Aluminium

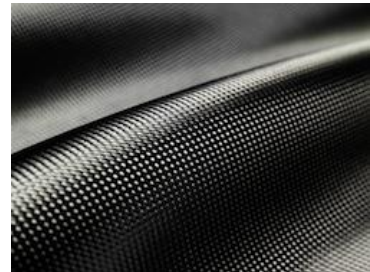
Aluminium frames zijn over het algemeen lichter dan stalen frames en zijn daarom ook populair. Het tweede voordeel is dat aluminium niet gaat roesten waardoor bij beschadiging van het frame geen corrosie ontstaat. Het is bij aluminium frames nodig om dikkere ovaalvormige buizen te gebruiken, om voldoende stijfheid in het frame te krijgen. Hieruit volgt dat goedkope aluminium frames vaak zwaarder zijn dan hoge kwaliteit stalen frames. Het nadeel van aluminium is dat bij één botsing het frame sneller ernstig beschadigd wordt.



Afbeelding 9, Aluminium fietsframe.

Koolstofvezel

Koolstofvezel frames hebben als voordeel dat ze zeer licht zijn, sterk en niet kunnen roesten. Het materiaal kan in elke gewenste vorm worden gemaakt. Waardoor trek en drukkrachten op de juiste manier kunnen worden opgevangen. Het nadeel van koolstofvezel is dat het duur is en broos. Bij een botsing is de kans groot dat het frame scheurt.¹³



Afbeelding 10, Onbehandeld koolstofvezel.

Materiaal	Voordelen	Nadelen
Staal	Sterk, eenvoudig bewerken, goedkoop.	Zwaar, corrodeert
Aluminium	Licht, corrodeert niet.	Stijfheid neemt af na botsing, duur.
Koolstofvezel	Licht, sterk, corrodeert niet.	Duur, broos.

Tabel 3, voordelen en nadelen verschillende materialen.

Voor de driewieler is gekozen voor een stalen frame. Staal is gemakkelijk te bewerken en relatief goedkoop. Aluminium en koolstofvezel frames hebben het voordeel dat ze lichter zijn, maar bij een botsing is de kans groot dat het frame ernstig beschadigt en niet meer kan worden gebruikt. Doordat de driewieler breder is dan een gewone fiets is de kans op een botsing groter. Daarom is voor een stalen frame gekozen. Bij het ontwerpen van het frame moet ervoor worden gezorgd dat het gewicht onder 30 kilogram blijft. Dit gewicht is te vergelijken met de commercieel verkrijgbare driewielers.¹²

Eis 13: Het frame is van staal, maximaal gewicht van 30 kilogram.

Lijst van eisen en wensen

Na het afronden van de analysefase is een lijst met eisen opgesteld. De eisen komen voort uit de verschillende onderdelen die zijn geanalyseerd. Het eindontwerp en prototype zullen worden getest aan de hand van deze lijst van eisen. Waarna een conclusie kan worden getrokken over het ontwerp.

Eisen:

1. Frame van driewieler moet kunnen kantelen ten opzichte van verticaal.
2. Het frame moet recht blijven staan bij langzaam rijden en stilstaan.
3. De kanteling mag maximaal 24 graden zijn.
4. De driewieler moet voldoen aan de wettelijke eisen voor constructie en veiligheid.
5. De driewieler heeft een instelbare afstand van zadel tot trapper van 840-1040mm.
6. De driewieler heeft een instelbare afstand van zadel tot stuur van 510-600mm.
7. De driewieler heeft een instaphoogte van maximaal 200mm.
8. Het frame moet kunnen worden belast tot 2700N zonder te vervormen.
9. Voor het kantelen wordt een mechanisch systeem gebruikt.
10. De achterwielen hebben een grootte van 24 inch.
11. Het voorwiel heeft een grootte van 26 inch.
12. De banden zijn 32mm breed met een druk van 5 bar.
13. Het frame is van staal, maximaal gewicht van 30 kilogram.

Wensen:

- Elektrische trap ondersteuning

Met de opgestelde lijst van eisen is begonnen aan de ontwerpfase. Er zijn verschillende concepten bedacht, deze zijn getoetst aan de hand van de eisen. Het concept dat het beste aan de eisen voldoet is gekozen als eindconcept en verder uitgewerkt.

Ontwerp

Na het analyseren van besturing van de fiets en driewieler, bestaande kantelsystemen en onderzoek is gedaan naar antropometrische data en de te gebruiken materialen is begonnen aan de ontwerpfase. Er is gestart met het maken van een morfologische kaart, waar verschillende mogelijkheden zijn bedacht voor onderdelen van de driewieler. Er zijn drie concepten gemaakt door de verschillende onderdelen uit de morfologische kaart met elkaar te combineren. Door gebruik te maken van de kardinale methode is er een eindconcept gekozen en deze is verder uitgewerkt.

Morfologische kaart

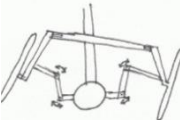
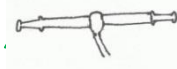
Het ontwerp van de driewieler is in verschillende onderdelen opgedeeld. Voor deze onderdelen zijn verschillende mogelijkheden bedacht en deze zijn in een morfologische kaart weergegeven (zie tabel 3). Er zijn drie concepten gevormd door combinaties te maken van de verschillende onderdelen. Er is begonnen met het maken van een keuze voor een kantelsysteem. Bij de verschillende kantelsystemen zijn combinaties gemaakt van onderdelen die hierbij het beste passen. Bij sommige onderdelen is drie keer voor dezelfde mogelijkheid gekozen omdat dit de beste oplossing is. Er zijn ook mogelijkheden die in geen een van de concepten terugkomen. Deze zijn bedacht in de ideeënfase, maar bij het maken van de combinaties niet goed genoeg bevonden.

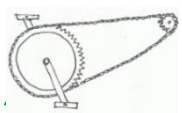
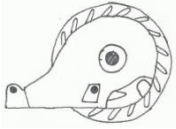
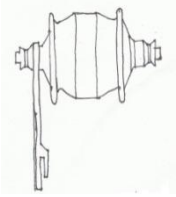
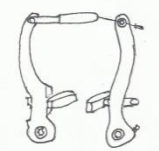
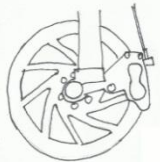
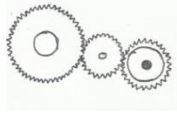
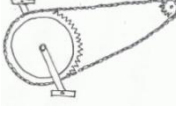
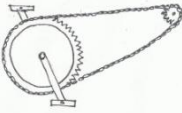
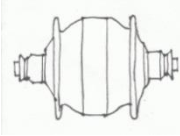
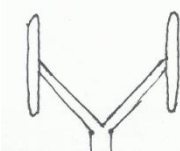
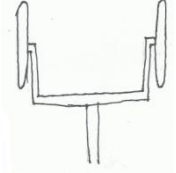
De combinaties zijn aangegeven met verschillende kleuren.

Concept 1 = ■

Concept 2 = ▲

Concept 3 = ●

Onderdelen	Mogelijkheden				
Kantel systeem	 ▲ Demper	 ● Stangen systeem	 ■ Torsiebar	 Vering	
Stuur	 MTB-stuur	 ■ ● Gebogen stuur	 Wielrenstuur		
Zitting	 ■ ● Normaal fietszadel	 ▲ Kuiptoel	 Zadel met hoge leuning		

Rem		 Rollerbrake	 Trommelrem	 V-brake	 Schijfrem
Aandrijving	 Tandwielen	 Cadan	 Ketting	 Riem	
Versnelling	 Single speed	 Naafversnelling	 Deraillieur		
Achterbrug (bovenaanzicht)	 T-frame	 V-frame	 Vierkant frame		

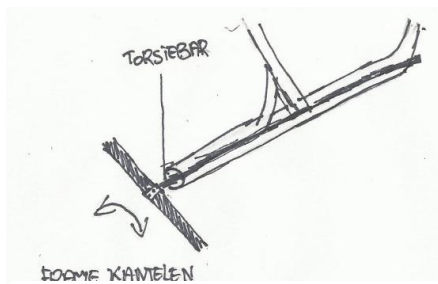
Tabel 4, morfologische kaart driewieler.

Concepten

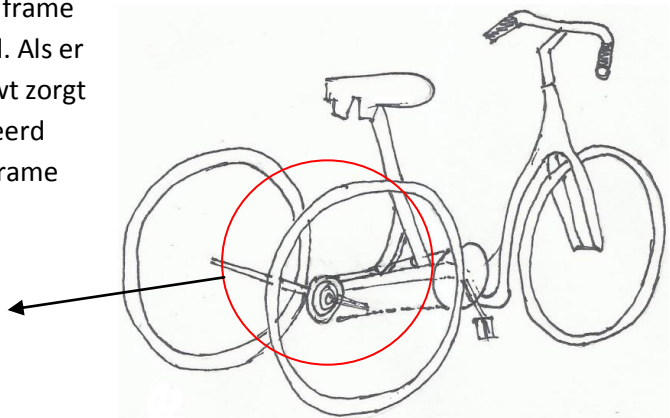
Uit de morfologische kaart zijn drie concepten ontstaan. De drie verschillende concepten zijn hieronder weergegeven.

Concept 1

De driewieler uit concept 1 maakt gebruik van een torsiebar om het frame te kantelen. De driewieler bestaat uit twee delen. De achterbrug waar de achterwielen aan vast zitten en het frame zijn los van elkaar te bewegen. De twee delen zijn met elkaar verbonden door middel van een torsiebar (zie figuur 15). Deze stang is zo geplaatst dat het frame recht staat als er geen kracht wordt geleverd. Als er een kracht vanaf de zijkant op het frame duwt zorgt de torsiebar ervoor dat het frame gecontroleerd kantelt. Als de kracht weer afneemt zal het frame teruggaan in de rechtopstaande positie.



Figuur 15, Detail tekening van concept 1 achterbrug is verbonden via torsiebar aan het frame.



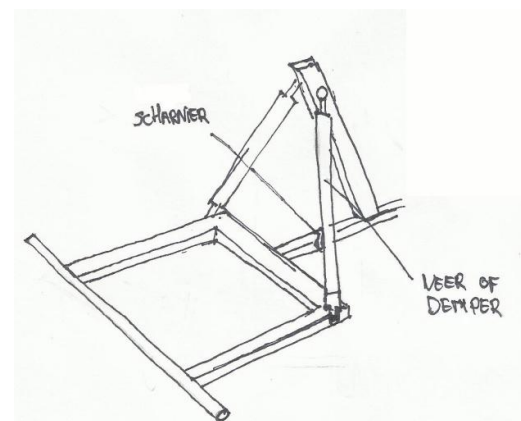
Figuur 16, concept 1.

Concept 2

Dit concept heeft een scharnier in de hoofdbuis van het frame. Dit maakt het mogelijk dat het frame kan kantelen ten opzichte van de achterwielen. Door dempers te plaatsen tussen de achterbrug en het frame is het mogelijk om de kanteling te controleren (zie figuur 18). De dempers kunnen worden ingesteld dat de maximale kanteling van het frame niet wordt overschreden.



Figuur 17, concept 2.

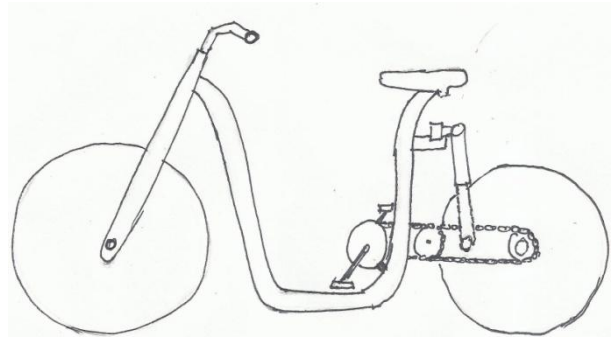


Figuur 18, dempers geplaatst op driewieler om kanteling met scharnier te kunnen controleren.

Concept 3

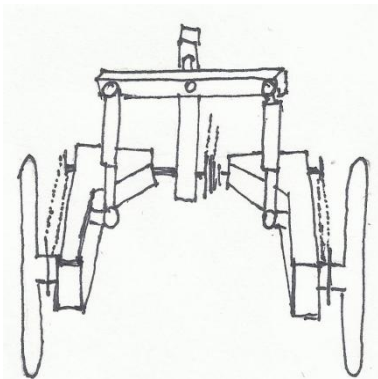
Dit concept is gebaseerd op een kantelsysteem dat is geïntroduceerd door Curtis L. Prince in 1987. De achterbrug bestaat uit twee delen die met een as aan elkaar zijn verbonden (zie figuur 20). Als het linker achterwiel omlaag en het rechterachterwiel omhoog worden verplaatst in figuur 20 en de wielen houden contact met de weg zal het frame moeten kantelen (zie figuur 21).

Het stangensysteem zorgt ervoor dat het frame recht blijft staan tijdens het rechtdoor fietsen.

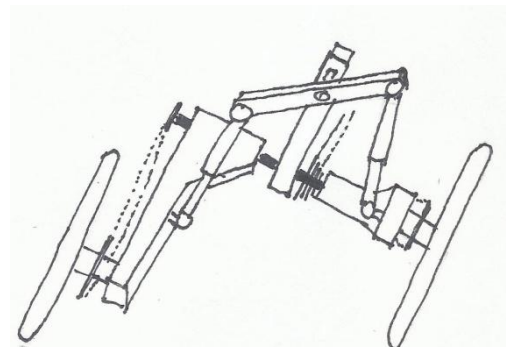


Figuur 19, concept 3.

Het kantelsysteem van concept 3 is al toegepast bij de bouw van een motor. Daarnaast is het vaak te zien bij ligfietsen met kantel mogelijkheid. Ligfietsen hebben als voordeel dat ze voorwiel aangedreven zijn. Nieuw bij concept 3 is het toepassen van achterwiel aandrijving van de driewieler samen met het kantelsysteem van Curtis L. Prince.



Figuur 20, frame in rechtopstaande positie tijdens stilstaan of rechtdoor fietsen.



Figuur 21, frame is gekanteld.

Kardinale methode

Na het vormen van de drie concepten moet er een keuze worden gemaakt voor het eindconcept. De concepten worden getest aan de hand van de eisen die gevormd zijn in de analysefase.

De ontwerper geeft de concepten een aantal punten per eis. Hoe beter het concept voldoet aan de eis hoe meer punten. Maximaal drie punten als het concept volledig voldoet aan de eis, twee punten als het minder voldoet en één punt als het concept slecht voldoet aan de eis. Omdat de eisen niet allemaal even belangrijk zijn, is ervoor gekozen om gebruikt te maken van een weging van één tot en met vier. De belangrijkste eisen krijgen vier punten de minst belangrijke één punt. Door de weging te vermenigvuldigen met het aantal punten per eis wordt het totale puntenaantal per eis berekend.

Eisen	Weging	Concept 1	Concept 2	Concept 3
				
Kantelen tov verticaal	4	3 12	3 12	3 12
Maximaal 35° kanteling	3	2 6	3 9	3 9
Frame recht tijdens stilstaan	4	3 12	2 8	1 4
Mechanisch systeem	2	3 6	3 6	3 6
Wettelijke eisen	4	3 12	3 12	3 12
Afstand zadel trapper	3	3 9	3 9	3 9
Afstand zadel stuur	3	3 9	3 9	3 9
Instaphoogte max. 200mm	2	3 6	1 2	3 6
Belasting tot 120 kg	3	3 9	3 9	3 9
Achterwiel 24 inch	2	3 6	3 6	3 6
Voorwiel 26 inch	2	3 6	3 6	3 6
Banden 32 mm breed	1	3 3	3 3	3 3
Staal frame	3	3 9	3 9	3 9
Totaal aantal punten		105	100	99

Tabel 5, keuze eindconcept door gebruik te maken van kardinale methode. Per eis zijn punten gegeven de punten zijn vermenigvuldigd met de weging. Deze score is weergegeven achter de streep en bij elkaar opgeteld om het totaal aantal punten te berekenen.

Concept 1 is het concept dat de hoogste scoren heeft behaald in de kardinale methode. Het verschil met de andere twee concepten is dat er geen extra systemen nodig zijn om het frame in de recht opstaande positie te houden. Concept 1 zal verder worden uitgewerkt en waar nodig worden aangepast.

Eindconcept

Het gekozen eindconcept is verder uitgewerkt en ontworpen met het programma SolidWorks. Tijdens het ontwerpen is er een probleem gevonden in het ontwerp. Bij het maken van een bocht met de driewieler zal de ketting van de tandwielen lopen. Dit komt doordat de tandwielen kantelen ten opzichte van elkaar. De tandwielen lopen niet meer in lijn, waardoor de ketting eraf valt. Na het ontdekken van dit probleem is ervoor gekozen om een ander concept uit te werken. Bij concept 2 treedt hetzelfde probleem op. Concept 3 heeft dit probleem niet, omdat bij het kantelen van het frame de achtertandwielen meekantelen. Dit concept is dan ook verder uitgewerkt.

Ontwerp tekening

In figuur 22 is het uiteindelijke ontwerp getekend in SolidWorks te zien. De driewieler, vanaf nu Leantrike genoemd, heeft een lage instap speciaal voor de doelgroep. Een stangensysteem geeft de mogelijkheid tot het kantelen van het frame.

Met het programma SolidWorks is ook de sterkte en stijfheid van het ontwerp getest. In bijlage 3 zijn de resultaten van het onderzoek weergegeven. Bij een belasting van 2700N is de vervorming aanvaardbaar, kleiner dan 0.25 mm en het frame sterk genoeg.

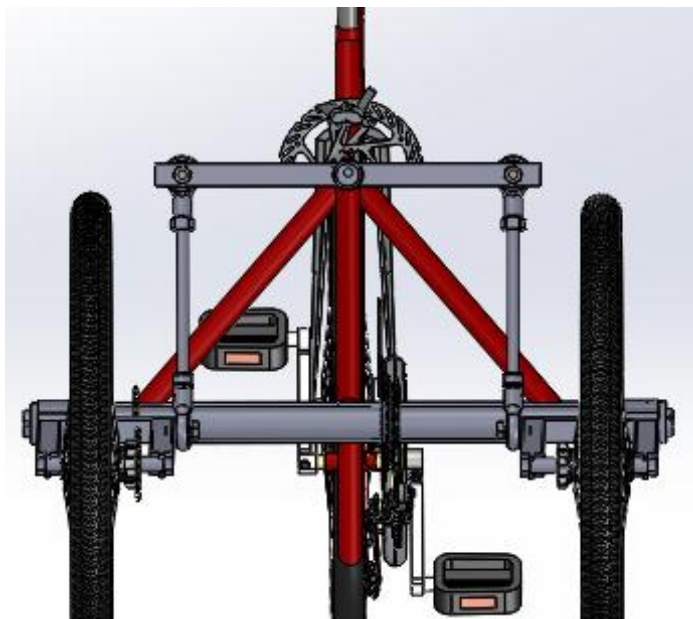


Figuur 22, SolidWorks tekening van de Leantrike.

Het kantelen van het frame wordt mogelijk gemaakt doordat de twee achterwielen los van elkaar op en neer kunnen bewegen. In figuur 23 is te zien hoe dit werkt. Bij het maken van een bocht zal de bestuurder het frame willen kantelen. Door verplaatsing van het lichaamszwaartepunt wordt deze kanteling bereikt. Bij een normale driewieler zal er niets gebeuren, maar met het stangensysteem wordt de verplaatsing van het lichaamszwaartepunt doorgegeven aan de achterwielen. Het linker wiel wordt omlaag geduwd door de linker stang en het rechter wiel omhoog getrokken door de rechter stang. Doordat de achterwielen contact houden met de weg kantelt het frame. Te zien is dat de achtertandwielen meekantelen waardoor de ketting er niet vanaf loopt. Bovenop het stangensysteem is een remschijf gemaakt. Door de schijfrem vast te zetten met een rem op het stuur blijft het frame recht staan, omdat het stangensysteem niet kan bewegen. Waardoor gemakkelijk kan worden op- en afgestapt of gewacht worden voor een rood verkeerslicht.



Figuur 23, werking kantelsysteem, achterwiel onafhankelijk van elkaar bewegen waardoor frame kantelt.



Figuur 24, Detailtekening stangensysteem.

Prototype

Na het tekenen van het eindontwerp is begonnen met het vervaardigen van het prototype om het ontwerp te kunnen testen. In bijlage 4 zijn de bouwtekeningen te zien die zijn gebruikt voor het vervaardigen van het prototype.

Het bouwen van de driewieler heeft zowel thuis als in de werkplaats van BT plaatsgevonden. In de foto's hieronder is het vervaardigde prototype te zien. In afbeelding 11 is de Leantrike met kantelsysteem te zien. Op afbeelding 12 is te zien hoe het kantelsysteem eruitziet, op de foto's zijn de aandrijfkettingen nog niet geplaatst.



Afbeelding 11, Driewieler met kantelsysteem.



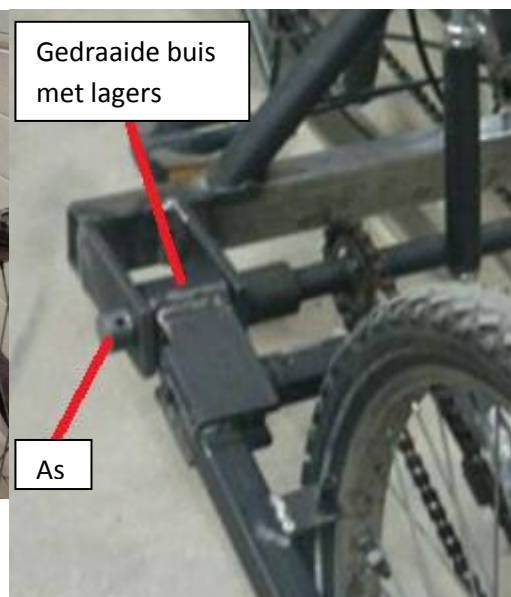
Afbeelding 12, Eerste kantelsysteem blijkt niet goed te werken.

Na de eerste testritten blijkt het kantelmechanisme niet sterk genoeg te zijn, waardoor de achterbrug gaat wringen. Hierdoor is het niet mogelijk om het frame te kantelen tijdens het maken van een bocht. Het kantelsysteem moet worden aangepast.

Door gebruik te maken van dikker materiaal, is de verbinding tussen het frame en de achterbruggen sterker gemaakt. Door toepassen van lagers in de verbinding is het mogelijk het frame zonder wrijving te kantelen. In afbeelding 13 is het vernieuwde stangensysteem te zien, afbeelding 14 toont een detailfoto van de verbinding tussen de achterbrug en het frame.



Afbeelding 13, vernieuwde kantelsysteem.



Afbeelding 14, Detailfoto verbinding frame achterbrug. In de gedraaide buis zitten twee lagers, de verbinding wordt gevormd door een zelfgemaakte as.

Na testen van het verbeterde kantelsysteem, blijkt de Leantrike goed te werken en is verder gegaan met de bouw van de driewieler. De remmen zijn gemaakt, de versnellingen zijn afgesteld en daarna heeft het frame een kleurtje gekregen. In de collage hieronder is het vervaardigde prototype te zien.



Afbeelding 15, Collage van Leantrike.

Evaluatie

Tijdens de evaluatie is getest of het prototype voldoet aan de gestelde eisen uit de analyse. Bij het testen van de rijeigenschappen en het gebruiksgemak hebben meneer en mevrouw Van Leeuwen geholpen. Mevrouw Van Leeuwen valt binnen de doelgroep en heeft zelf ervaring met het rijden op een driewieler waardoor een goede vergelijking kan worden gemaakt.

Testen van eisen

In de tabel hieronder zijn de eisen weergegeven met aangegeven of het prototype aan de eisen voldoet.

Eisen	Voldoet	Opmerking
14. Frame van driewieler moet kunnen kantelen ten opzichte van verticaal.		
15. Het frame moet recht blijven staan bij langzaam rijden en stilstaan.		Tijdens parkeren blijft de fiets recht staan. Tijdens het rijden is de blokkering niet sterk genoeg.
16. De kanteling mag maximaal 24 graden zijn.		Kanteling van het frame wordt niet geblokkeerd.
17. De driewieler moet voldoen aan de wettelijke eisen voor constructie en veiligheid.		
18. De driewieler heeft een instelbare afstand van zadel tot trapper van 840-1040mm.		
19. De driewieler heeft een instelbare afstand van zadel tot stuur van 510-600mm.		De afstand is niet instelbaar tussen deze afmetingen.
20. De driewieler heeft een instaphoogte van maximaal 200mm.		Door voldoende afstand te houden tussen trapper en grond is de instaphoogte 245mm.
21. Het frame moet kunnen worden belast tot 2700N zonder te vervormen.		Berekend in SolidWorks.
22. Voor het kantelen wordt een mechanisch systeem gebruikt.		
23. De achterwielen hebben een grootte van 24 inch.		
24. Het voorwiel heeft een grootte van 26 inch.		
25. De banden zijn 32mm breed met een druk van 5 bar.		Bij het prototype zijn bredere banden gebruikt.
26. Het frame is van staal, maximaal gewicht van 30 kilogram.		Het prototype weegt 35 kilogram.

Tabel 6, Prototype getest aan de eisen.

Testen in de praktijk

Voordat er getest is met personen uit de doelgroep heeft de ontwerper de Leantrike eerst zelf getest om de veiligheid van de proefpersonen te garanderen. Tijdens deze eerste test blijkt dat de driewieler prima rijdt en stuurt. De besturing is te vergelijken met een gewone fiets, maar doordat de wielbasis groter is, is de draaicirkel ook een stuk groter geworden. Dit verschil wordt wel gemerkt tijdens het fietsen. Fietsen zonder handen en sturen met het lichaam is na enige oefening met de driewieler ook mogelijk. Na een geslaagde eerste test zijn meneer en mevrouw Van Leeuwen uitgenodigd om de Leantrike te testen.

Test met de doelgroep.

Mevrouw Van Leeuwen is een half jaar voor de test gevallen met de gewone fiets waarbij ze haar arm heeft gebroken. Na revalidatie is er geprobeerd om met een normale driewieler te gaan fietsen, dit werd ervaren als een groot en onhandig apparaat. Maar door het rijden op een driewieler kan mevrouw goed het verschil vergelijken tussen een normale driewieler en de Leantrike.

Het ontwerp en het uiterlijk van de Leantrike viel erg in de smaak bij mevrouw Van Leeuwen. Tijdens het opstappen, blijkt de instap niet te hoog. Maar het zadel, geplaatst op de laagste stand, vindt mevrouw te hoog van de grond. Het is niet mogelijk om met twee voeten om de grond te staan terwijl ze op het zadel zit. Mevrouw Van Leeuwen vindt dit onprettig, dit heeft waarschijnlijk te maken met de val die ze gemaakt heeft. Tijdens het fietsen is de stabiliteit voldoende en gaat het sturen goed. Bij het stoppen en afstappen wordt hetzelfde probleem ervaren met het te hoge zadel.

Meneer Van Leeuwen fietst zelf nog op een gewone fiets en heeft ook gereden op de Leantrike. Meneer stapte gemakkelijk op en reed ermee weg. Het sturen gaat goed en soepel, ook het remmen werkt goed. Meneer Van Leeuwen zegt geen problemen te ondervinden met het fietsen op de Leantrike, het nadeel is dat het zwaarder trapt dan een gewone fiets.



Afbeelding 16, Meneer Van Leeuwen tijdens het fietsen om de Leantrike.

Na de testritten zijn er enkele vragen gesteld over de Leantrike en de besturing ervan deze zijn weergegeven in tabel 6.

Wat vindt u van het uiterlijk van de Leantrike? <i>Ziet er mooi uit, een aardig kunstwerk heb je gemaakt.</i>
Is de stabiliteit goed tijdens het fietsen? <i>Tijdens het fietsen is de stabiliteit goed, alleen tijdens het op- en afstappen, beweegt de driewieler te veel.</i>
Voelt u zich veilig tijdens het fietsen? <i>Tijdens het fietsen zelf wel en bij het maken van een bocht, alleen stoppen is nog eng.</i>
Welke verandering aan de Leantrike zou de driewieler het meeste verbeteren? <i>Het verlagen van het zadel, dat ik met beide voeten aan de grond kan tijdens het stilstaan.</i>
Wat bevalt u het beste ten opzichte van andere driewielers? <i>Deze is minder breed dan de andere, wat misschien veiliger is op het fietspad.</i>

Tabel 7, Vragen na testrit Leantrike.

Naast het testen met mensen uit de doelgroep, hebben veel meer personen een rondje gereden op de Leantrike. Bijna iedereen vindt de Leantrike goed fietsen nadat ze één rondje hebben geoefend. Er zijn weinig aanpassingen voor nodig om veilig te kunnen fietsen.

Na de evaluatie blijkt dat het prototype aan de belangrijkste eis voldoet, dat het kan kantelen tijdens het fietsen. De eisen waaraan het prototype niet voldoet worden besproken in de discussie. Hier worden ook aanbevelingen gegeven om het ontwerp te verbeteren.

Discussie

Dit afstudeerproject heeft een werkend prototype opgeleverd wat door de doelgroep is getest. Tijdens de evaluatie blijkt dat niet alle eisen zijn voldaan en bij het testritten zijn ook nog verbeterpunten naar voren gekomen. Deze discussiepunten worden hieronder besproken en er worden aanbevelingen gedaan om het ontwerp verder te ontwikkelen.

- Tijdens het parkeren van de Leantrike is het mogelijk het kantelsysteem te blokkeren, waardoor de driewieler recht blijft staan. Als er op de fiets wordt gereden en er wordt gestopt, is de blokkering niet sterk genoeg om de driewieler recht te houden. Dit geldt ook voor het op- en afstappen dan wiebelt de fiets nog.
Aanbeveling: De schijfrem zal goed werken als er een remhandel wordt gebruikt met parkeerrem, hierbij blijft de rem aangespannen ook als er niet in de rem wordt geknepen. Daarbij moet de beugel waarom de schijfrem is bevestigd worden verstevigd, deze buigt waardoor de driewieler door de blokkering kantelt.
- Het prototype kan nu volledig kantelen er is geen blokkering gemaakt om een maximale kanteling van 24 graden mogelijk te maken. Tijdens het fietsen leverde dit geen problemen op, maar voor de veiligheid is het belangrijk dat maximale kanteling wordt ingesteld.
Aanbeveling: In het verdere ontwerp moeten worden nagedacht aan een systeem om de maximale kanteling in te stellen. Dit kan worden gedaan door het beperken van het op en neer bewegen van de achterbruggen.
- Bij het prototype is het niet mogelijk de afstand tussen zadel en stuur in te stellen tussen 510-600mm zoals was geëist. Doordat er een ander soort stuur is gebruikt in het prototype dan bij het ontwerp is de afstand groter geworden.
Aanbeveling: Door gebruik te maken van een ander stuur kan de afstand wel over de juiste maat worden ingesteld. Het ontwerp kan ook worden aangepast zodat de zadelpen dichterbij de stuurpen kan worden geplaatst.
- De instaphoogte van het prototype bedraagt 245mm dit is 4.5 centimeter hoger dan de gestelde eis. Er is voor gekozen om de instap iets hoger te maken, omdat anders de afstand tussen de grond en de trappers te klein werd. Door de proefpersonen uit doelgroep werd dit niet als vervelend ervaren.
Aanbeveling: Door de trapas iets hoger in het frame te plaatsen zal de afstand tot de grond toenemen en kan het gehele frame omlaag waardoor de gewenste maximale instap van 200mm wordt voldaan.
- In het prototype zijn andere banden gebruikt dan geëist waren in de analyse. Door het kleine verschil in rijgedrag tijdens de testritten is ervoor gekozen dit zo te laten.
- Het gewicht van het prototype is 5 kilogram te zwaar. Tijdens de testritten met de doelgroep is ook geconstateerd dat het een stuk zwaarder fietst dan een gewone fiets.
Aanbeveling: Door het frame verder te ontwikkelen en gebruik te maken van dunwandige stalen buizen kan het gewicht worden verlaagd. Hierbij moet gebruik worden gemaakt van ander soort profielen om de sterkte en stijfheid te kunnen garanderen.

- Bij de testritten met de doelgroep bleek dat de afstand tussen het zadel en de grond te hoog werd gevonden. Het was niet mogelijk om met beide voeten op de grond te staan, hierdoor ontstond een onprettige situatie.

Aanbeveling: De afstand van het zadel tot de grond moet kleiner kunnen worden gemaakt. Het nadeel hierbij is dat dan de afstand van zadel tot trapper te klein wordt, waardoor het onprettig fietsen is. Hierin zal een tussenweg moeten worden gevonden.

Conclusie

Het doel van dit afstudeerproject was het ontwerpen en vervaardigen van een driewieler met de besturing van een gewone fiets. Na veertien weken hieraan gewerkt te hebben kan worden geconcludeerd dat het doel is behaald met de Leantrike.

Tijdens het project is onderzocht wat ervoor nodig is om een driewieler hetzelfde te laten sturen als een normale fiets. De bevindingen zijn gebruikt in het ontwerpen van de Leantrike. Het ontwerp is vervaardigd tot een werkend prototype dat is geëvalueerd met personen uit de doelgroep. Uit de evaluatie zijn aanbevelingen naar voren gekomen die het ontwerp verder moeten ontwikkelen.

Literatuurlijst

1. Fajans J. Steering in bicycles and motorcycles. Am. J. Phys. 2000. Vol 68. No. 7.
2. Internetsite CTC. Beschikbaar via: <http://www.ctc.org.uk/cyclists-library/bikes-and-other-cycles/configuration/tricycle>. Geraadpleegd 2014 maart.
3. Internetsite everything2. Beschikbaar via: <http://everything2.com/title/tricycle>. Geraadpleegd 2014 maart.
4. Internetsite tricycle for adults. Beschikbaar via: <http://tricycle-for-adults.com/help-i-can-not-ride-a-tricycle/>. Geraadpleegd 2014 maart.
5. Stroefheid van (weg)verhardingen. CROW 247.2007.druk 1. pag. 44.
6. Internetsite mijnwetten.nl. Beschikbaar via: <http://mijnwetten.nl/regeling-voertuigen/hoofdstuk5/afdeling9>. Geraadpleegd 2014 maart.
7. Internetsite DINED anthropometric database. Beschikbaar via: <http://dined.io.tudelft.nl/dined/nl/>. Geraadpleegd 2014 maart.
8. Brink van den C.R. Kroonen H.M. DVCtm-The banking technology driving the CARVER vehicle class. AVEC. 2004.
9. Internetsite 12gobiking uitleg wielmaat. Beschikbaar via: http://www.12gobiking.nl/mountainbikes/uitleg_wielmaat. Geraadpleegd 2014 maart.
10. Internetsite axeo. Beschikbaar via: <http://www.axeo.be/fiets-banden.html>. Geraadpleegd 2014 maart.
11. Internetsite velofilie rolweerstand. Beschikbaar via: <http://www.velofilie.nl/rolweerstand.htm>. Geraadpleegd 2011 maart.
12. Internetsite fietszaak driewielers volwassenen. Beschikbaar via: <http://www.fietsenzaak.eu/driewielers-volwassen>. Geraadpleegd 2014 maart.
13. Internetsite fietspraat frames. Beschikbaar via: http://www.fietspraat.nl/index.php?option=com_content&view=article&id=14%3Aframe-staal-aluminium-carbon-of-magnesium-titanium&catid=1%3Amateriaal&Itemid=2. Geraadpleegd 2014 maart.

Bijlage 1, wettelijke eisen fietsen en driewielers

Regeling voertuigen

Afdeling 9. Fietsen

Artikel 5.9.0

Een fiets moet voldoen aan de in deze afdeling opgenomen eisen en wordt beoordeeld volgens de bijbehorende wijze van keuren, waarbij in voorkomend geval bijlage VIII van toepassing is.

§ 1. Algemene bouwwijze van het voertuig

Artikel 5.9.3

Eisen	Wijze van keuren
Het frame van fietsen mag:	Onderdelen a tot en met c: visuele controle.
a. niet zodanig zijn vervormd;	
b. geen zodanige breuken of scheuren vertonen, en	
c. niet zodanig door corrosie zijn aangetast, dat de stijfheid en sterkte ervan in gevaar worden gebracht.	

§ 2. Afmetingen en massa's

Artikel 5.9.6

	Eisen	Wijze van keuren
1.	Fietsen op twee wielen mogen niet breder zijn dan 0,75 m.	Lid 1 en 2: in geval van twijfel wordt gemeten.
2.	Fietsen op meer dan twee wielen en fietsen met zijspanwagen mogen niet breder zijn dan 1,50 m.	

Artikel 5.9.12

	Eisen	Wijze van keuren
1.	De accu, indien aanwezig, van fietsen moet deugdelijk zijn bevestigd.	Lid 1 en 2: visuele controle.
2.	De elektrische bedrading van fietsen moet deugdelijk zijn bevestigd en goed zijn geïsoleerd.	

§ 7. Stuurinrichting

Artikel 5.9.29

	Eisen	Wijze van keuren
1.	Fietsen moeten zijn voorzien van een deugdelijke stuurinrichting.	Leden 1 tot en met 3: visuele controle.
2.	De voor de overbrenging van de stuurkrachten noodzakelijke onderdelen moeten deugdelijk zijn bevestigd.	
3.	De voorvork van fietsen mag geen zodanige breuken of scheuren vertonen en niet zodanig door corrosie zijn aangetast, dat vervorming optreedt.	

§ 8. Reminrichting

Artikel 5.9.38

	Eisen	Wijze van keuren
1.	Fietsen moeten zijn voorzien van een goed werkende rem.	Lid 1 en 2: visuele controle.
2.	Fietsen met uitsluitend velgremmen moeten zijn voorzien van twee goed werkende afzonderlijke remmen, waarmee twee wielen kunnen worden geremd.	

Artikel 5.9.39

Eisen	Wijze van keuren
Van fietsen op meer dan twee wielen en fietsen met zijspanwagen moet de rem of één van de remmen in aangezette toestand kunnen worden vastgezet, tenzij een afzonderlijke vastzetinrichting aanwezig is.	Visuele controle.

§ 9. Carrosserie

Artikel 5.9.46

Eisen	Wijze van keuren
De trappers van fietsen moeten deugdelijk zijn bevestigd en zijn voorzien van een stroef oppervlak.	Visuele controle.

Artikel 5.9.48

Eisen	Wijze van keuren
Fietsen mogen geen scherpe delen hebben die in geval van botsing gevaar voor lichamelijk letsel voor andere weggebruikers kunnen opleveren.	Visuele controle.

§ 10. Lichten, lichtsignalen en retroreflecterende voorzieningen**Artikel 5.9.51**

	Eisen	Wijze van keuren
1.	Fietsen op twee wielen moeten zijn voorzien van:	Onderdelen a tot en met c: visuele controle.
	a. één rode retroreflector aan de achterzijde van het voertuig;	
	b. witte of gele retroreflectoren aan de wielen, en	
	c. vier ambergele of gele retroreflectoren aan de trappers.	
2.	Fietsen op meer dan twee wielen moeten zijn voorzien van:	– Onderdelen a, c en d: visuele controle.
	a. een rode retroreflector aan de achterzijde van het voertuig;	– Onderdeel b: visuele controle, in geval van twijfel wordt gemeten.
	b. een naar voren gerichte witte retroreflector indien de fiets breder is dan 0,75 m en is voorzien van één voorwiel;	
	c. witte of gele retroreflectoren aan de wielen, en	
	d. vier ambergele of gele retroreflectoren aan de trappers.	

Artikel 5.9.52

Eisen	Wijze van keuren
Zijspanwagens, verbonden aan een fiets, moeten zijn voorzien van:	Onderdelen a en b: visuele controle.
a. een rode retroreflector aan de achterzijde van het voertuig, en	
b. een witte of gele retroreflector aan het wiel.	

Artikel 5.9.54

	Eisen	Wijze van keuren
1.	De rode retroreflector moet zijn aangebracht: a. bij fietsen met één achterwiel tussen de bagagedrager en het spatbord, dan wel bij afwezigheid van een bagagedrager op het spatbord op een hoogte van niet minder dan 0,35 m en niet meer dan 0,90 m boven het wegdek, dan wel onder het zadel;	Onderdelen a tot en met c. visuele controle, in geval van twijfel wordt gemeten.
	b. bij fietsen met twee achterwielen aan de uiterste linkerzijde, op een hoogte van niet minder dan 0,35 m en niet meer dan 0,90 m boven het wegdek, en	
	c. bij zijspanwagens aan de uiterste buitenzijde, op een hoogte van niet minder dan 0,35 m en niet meer dan 0,90 m.	
2.	De in artikel 5.9.51, tweede lid, onderdeel b, vermelde witte retroreflector moet zijn aangebracht aan de uiterste linkerzijde van het voertuig.	Lid 2 en 3: visuele controle.
3.	De witte of gele retroreflectoren aan de wielen moeten de omtrek van het wiel volgen en op of zo dicht mogelijk bij de velg zijn aangebracht, zodanig dat zij aan beide zijanten van het voertuig zichtbaar zijn.	

Artikel 5.9.55

	Eisen	Wijze van keuren
1.	De in de artikelen 5.9.51 en 5.9.52 bedoelde retroreflectoren mogen voorzover het het lichtdoorlatend gedeelte betreft, ten hoogste 25% zijn afgeschermd.	Leden 1 tot en met 3: visuele controle.
2.	De in de artikelen 5.9.51 en 5.9.52 bedoelde retroreflectoren mogen geen gebreken vertonen die de retroreflectie beïnvloeden.	
3.	De rode retroreflectoren en de witte of gele retroreflectoren aan de wielen moeten zijn voorzien van een goedkeuringsmerk. Hierbij is het bepaalde in bijlage VIII, artikelen 125 en 126, van toepassing.	

Artikel 5.9.57

	Eisen	Wijze van keuren
1.	Fietsen mogen zijn voorzien van: a. een naar voren gerichte witte retroreflector indien deze niet reeds ingevolge artikel 5.9.51 verplicht is, en b. ambergele retroreflectoren aan de zijkanten van het voertuig.	Leden 1 tot en met 3: visuele controle.
2.	Zijspanwagens, verbonden aan een fiets, mogen zijn voorzien van: a. een naar voren gerichte witte retroreflector, en b. ambergele retroreflectoren aan de zijkanten van het voertuig.	
3.	Fietsen en zijspanwagens mogen zijn voorzien van extra witte retroreflecterende voorzieningen aan de voorzijde, extra rode aan de achterzijde en extra ambergele aan de zijkanten van het voertuig.	

Artikel 5.9.57a

Eisen	Wijze van keuren
Fietsen in gebruik bij de in artikel 29, eerste lid, van het RVV 1990 bedoelde diensten, mogen zijn voorzien van retroreflecterende striping, letters, cijfers of tekens die de fiets herkenbaar maken als zijnde in gebruik bij die diensten.	Visuele controle.

Artikel 5.9.60

Eisen	Wijze van keuren
De witte retroreflector op de zijspanwagen moet zijn aangebracht aan de uiterste buitenzijde.	Visuele controle.

Artikel 5.9.65

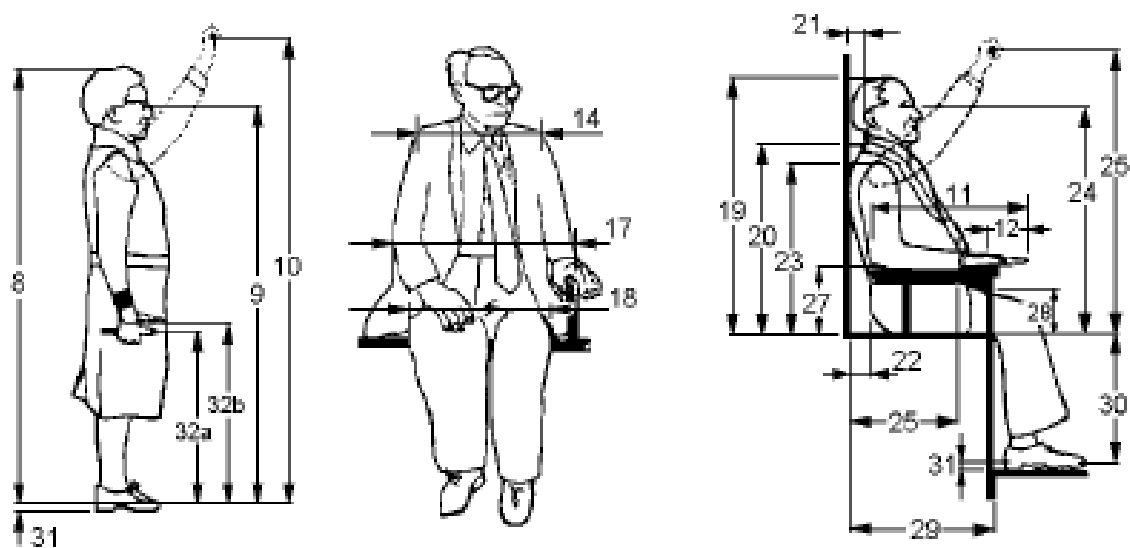
Eisen	Wijze van keuren
Fietsen mogen niet zijn voorzien van meer retroreflecterende voorzieningen dan in de artikelen 5.9.51, 5.9.52, 5.9.57 en 5.9.57a is voorgeschreven of toegestaan.	Visuele controle.

§ 12. Diversen

Artikel 5.9.71

Eisen	Wijze van keuren
Fietsen moeten zijn voorzien van een goed werkende bel.	Visuele en auditieve controle, waarbij de bel in werking wordt gesteld.

Bijlage 2, antropometrie van Nederlandse ouderen.

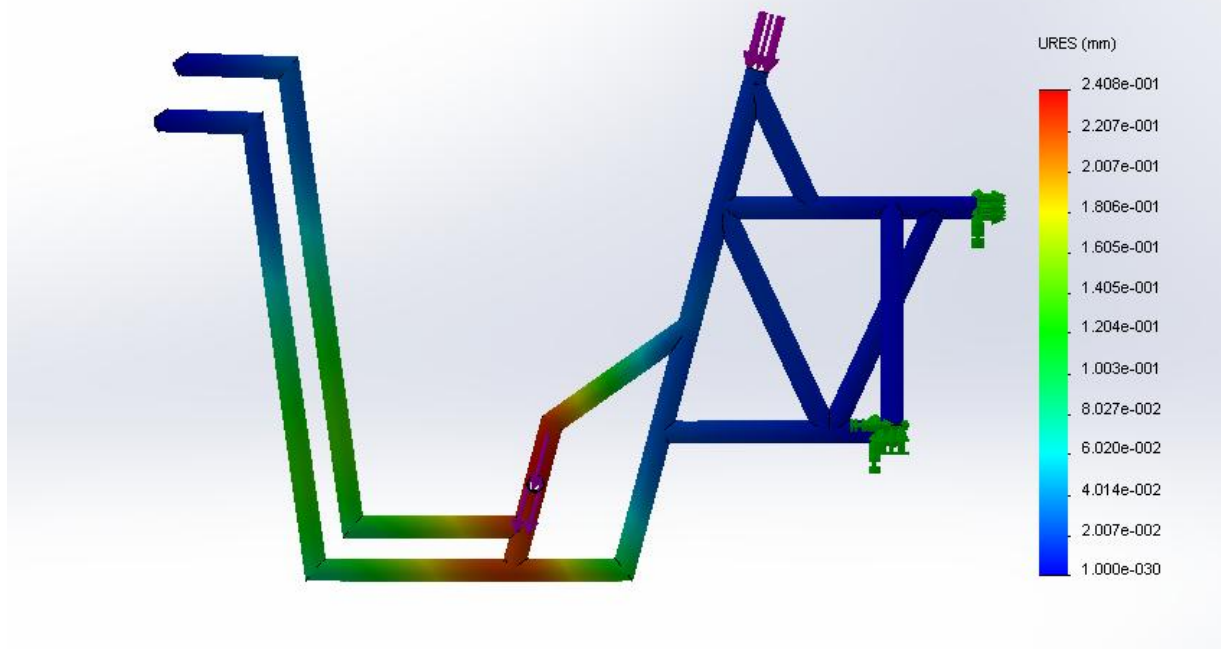


Bejaarden maten in mm Omschrijving		Gemeten bejaarden (ongeschoeid)				
		n	$\bar{x}$	sd	p5	p95
7	gewicht [kg]	815	63.7	14	41.8	87.7
8a	lichaamslengte doorgezakt	809	1571	89	1435	1733
8b	lichaamslengte normaal	261	1579	92	1443	1744
8c	lichaamslengte gestrekt	261	1594	93	1456	1758
9	ooghoogte staand	569	1485	93	1318	1608
10	reikhoogte staand	558	1681	125	1474	1881
11	onderarm lengte tot vingertop	819	442	28	400	492
12	handlengte	818	175	12	156	195
13	handbreedte	820	77	6	67	88
14	schouderhoogte	817	396	32	345	450
17	elleboogbreedte	820	445	50	365	528
18	heupbreedte zittend	818	374	39	316	447
19	zithoogte	817	799	53	713	880
20	hoogte cervicaal 7 zittend	815	591	44	517	660
21	rugleuning tot cervicaal 7	818	80	28	37	127
22	rugleuning tot sacrum	797	26	22	1	71
23	schouderhoogte zittend	821	554	42	486	620
24	ooghoogte zittend	811	694	57	593	787
25	buikdiepte zittend	819	316	43	251	388
26	reikhoogte zittend	413	973	123	740	1157
27	elleboog-zitvlakhoogte	807	218	34	158	275
28	dijbeendikte	820	121	18	92	150
29	zitdiepte	820	489	34	433	545
30	zittinghoogte	816	421	35	364	482
31	hakhoogte	821	36	11	20	53
32a	vuisthoogte staand	582	705	50	622	789
32b	palmhoogte staand	273	702	58	611	802
33	knijpkracht in N	70	100	34	58	161
	leeftijd in jaren	822	81.3	8	66.5	94.0

Antropometrie van Nederlandse bejaarden (Molenbroek et al., 1984)

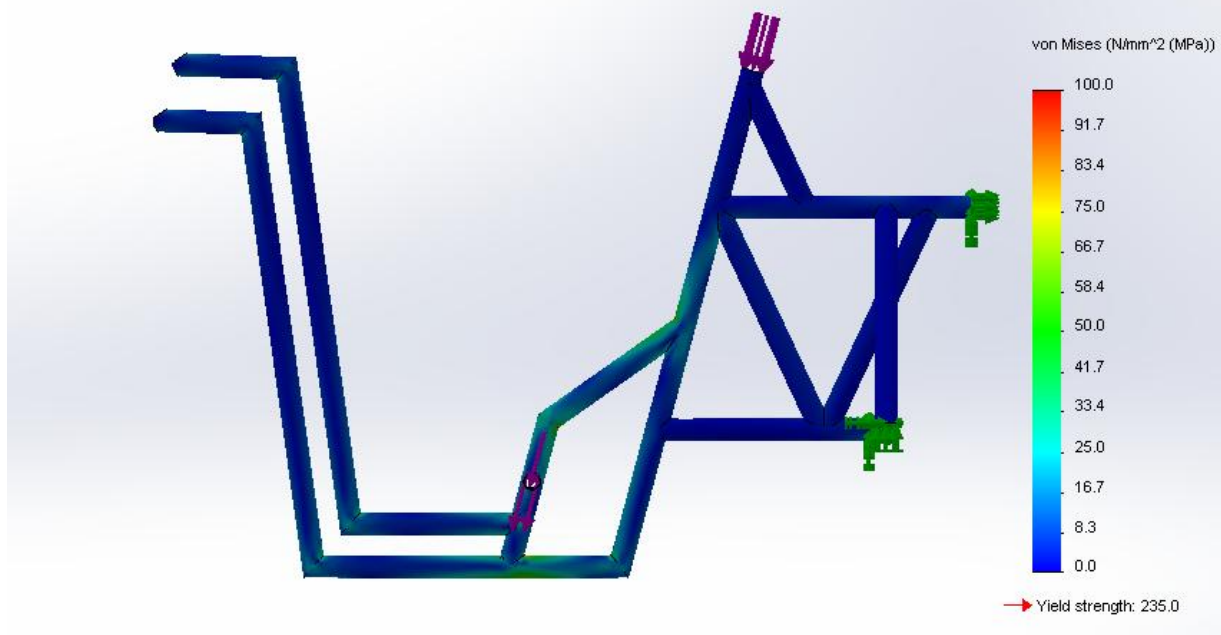
Bijlage 3, SolidWorks Simulation

Model name: voorframe
Study name: Study 2
Plot type: Static displacement Displacement1
Deformation scale: 1



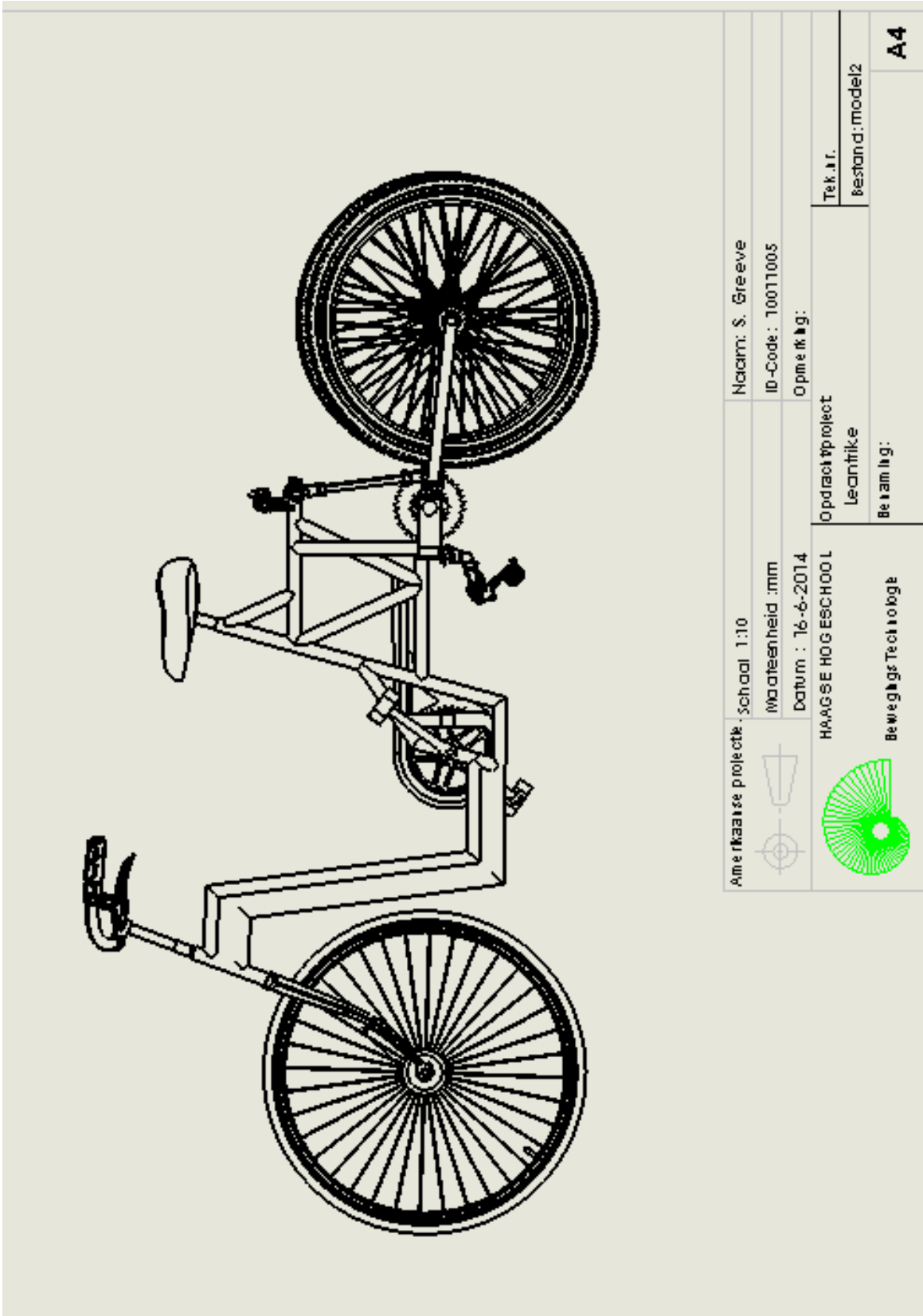
Figuur 1, vervorming van het frame bij een belasting van 2700N.

Model name: voorframe
Study name: Study 2
Plot type: Static nodal stress Stress1
Deformation scale: 1



Figuur 2, sterkte van het frame bij een belasting van 2700N.

Bijlage 4, bouwtekeningen prototype



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	dwaarsbalk		1
2	achterbrug		2
3	lager		4
4	as		1
5	Wheel 24		2
6	cassiet		1
7	as kogelgewricht		2
8	voorframe		1
9	Kniegewricht		4
10	Hexagon head screw B Ø 40 17 (DIN 932) - A012 _ 20	Hexagon head screw B Ø 40 17 (DIN 932) - A012 x 20	4
11	Hexagon head screw B Ø 40 17 (DIN 932) - A012 _ 40	Hexagon head screw B Ø 40 17 (DIN 932) - A012 x 40	1
12	SELLE		1
13	stuuras		1
14	voorfork		1
15	loc-B.B. voorwiel		1
16	stuurpen		1
17	stuurhouder		1
18	Handlebars B001		1
19	trappers		1
20	derailleurhouder		1
21	mare		1
22	kettingkast		1
23	Remgreep Saccon		2
24	Griep Pro Grip Left		2
25	Wano W4 B Mount		1
26	rotor1		1
27	kantelstuk lager		1
28	as achterbrug		2
29	kantel achterbrug		2
30	lager achterbrug		4
31	om as2		1
32	om as1		1
33	om as2		1
34	verbinding frame achterbrug		2
35	dijkant frame		1
36	as houder		1

Amerkunst projectie



School 120

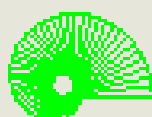
Maatschappij 0 m m

Datum : 16-6-2014

Naam: S. Greeve

ID-Cover: 10011003

Opmerking:



HAN SCHOOL OF TECHNOLOGY

Beweging & Technologie

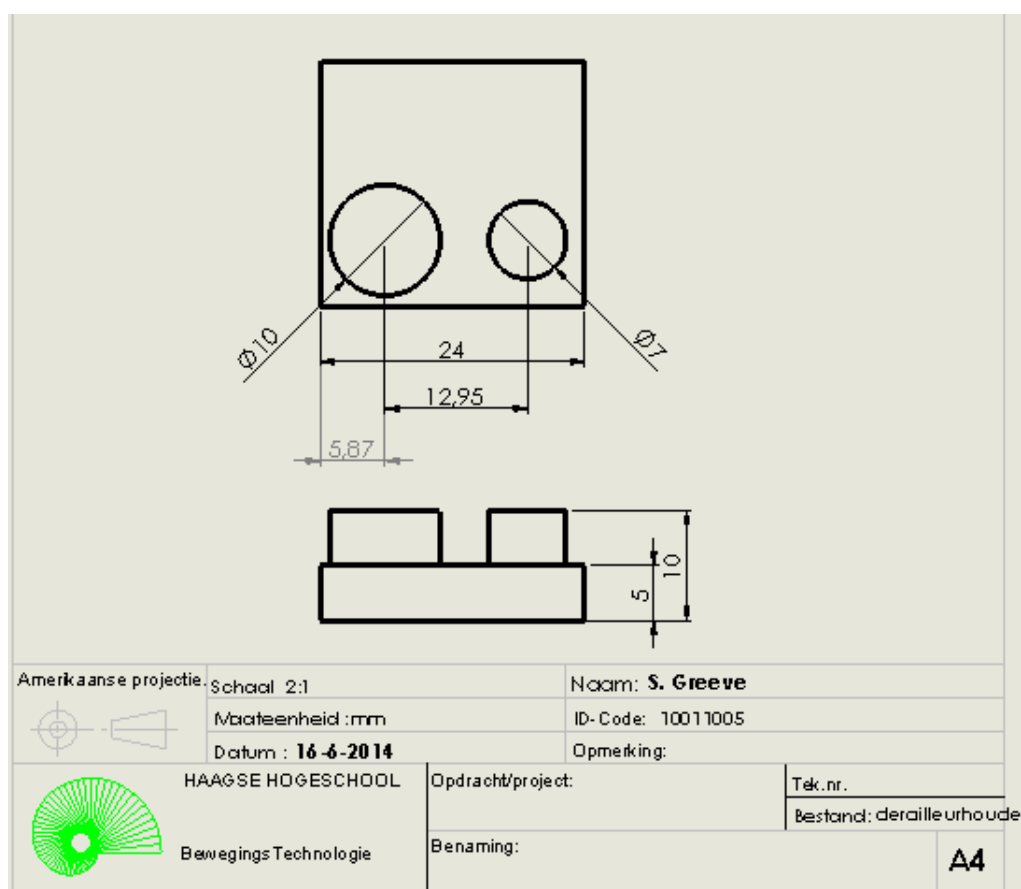
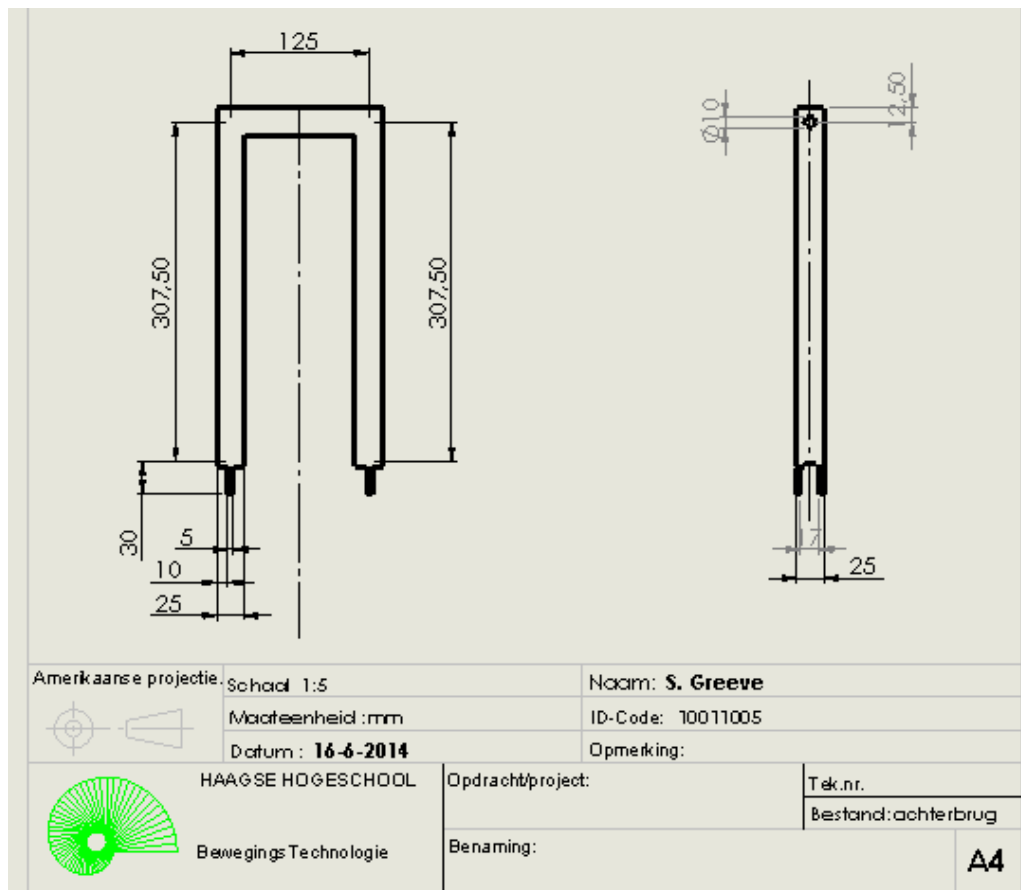
Opdrachtproject

Berekening:

Tekst:

Standaard, B10 of 1 m oerelab

A4



Amerikaanse projectie.	Schaal 1:2	Naam: S. Greeve	
	Maateenheid :mm	ID-Code: 10011005	
	Datum : 16-6-2014	Opmerking:	
	HAAGSE HOGESCHOOL	Opdracht/project:	Tek.nr.
	BewegingsTechnologie	Benaming:	Bestand: as achterbrug
			A4

Amerikaanse projectie.	Schaal 1:5	Naam: S. Greeve	
	Maateenheid :mm	ID-Code: 10011005	
	Datum : 16-6-2014	Opmerking:	
	HAAGSE HOGESCHOOL	Opdracht/project:	Tek.nr.
	BewegingsTechnologie	Benaming:	Bestand: as
			A4

