



ONTWERP VAN EEN TRILLINGSDEMPENDE FIETSNAAF

KORNEEL DE VIAENE
JUNI 2016

**INDUSTRIEEL
ONTWERPEN**



WOORD VOORAF

Deze masterproef vormt het sluitstuk van mijn opleiding Industrieel Ontwerpen aan de Universiteit van Gent. Tijdens mijn thesisjaar kreeg ik de kans om te werken aan een onderwerp dat mij heel sterk boeit, fietsen. Ik ben geïnteresseerd in alles wat met fietsen te maken heeft, zowel het sportieve als mechanische aspect van deze sport spreken mij aan. In mijn speurtocht naar ideeën werd ik gesteund door mijn promotor Yannick Christiaens die thuis is in de wereld van de fiets. Zijn ervaring en kritische kijk op de zaken hielpen mij het ontwerp van prototypes anders te benaderen en te verbeteren, waarvoor

dank. Voor mijn onderzoek kon ik gebruik maken van meetapparatuur uit het fietslabo in Zwijnaarde. De meetapparatuur stelden mij in staat om metingen uit te voeren tijdens fietstesten op de weg. Op die manier kon ik de werking van prototypes analyseren en vergelijken, hiervoor wil ik dan ook Joachim Vanwalleghem bedanken. Verder wil ik iedereen bedanken die op een of andere manier betrokken was bij het project en zo meehielp deze masterproef tot een goed einde te brengen.

Korneel De Viaene – 1 juni 2016

ABSTRACT

Fietsen als vrijetijdsbesteding heeft de laatste jaren veel aan populariteit gewonnen, in de zomermaanden is het de buitensport bij uitstek waardoor dan ook heel wat mensen op de fiets kruipen. Velen nemen deze hobby al snel meer serieus en gaan op regelmatige basis fietsen, getuige ook de grote groepen wielertoeristen die ieder weekend op pad trekken. Voor vele fietsers kan de tocht niet lang en zwaar genoeg zijn, om deze ritten tot een goed einde te brengen is een fiets van degelijke kwaliteit dan ook noodzakelijk. Hoewel de fietsen tegenwoordig almaar lichter en stijver worden, is het ook de tendens om meer comfortabele racefietsen te ontwikkelen. Deze trend speelt in op de grote groepen wielertiefhebbers die lange tochten ondernemen en vele uren in het zadel zitten. Wat extra comfort is dan geen overbodige luxe, want als fietser krijg je voortdurend schokken en trillingen te verduren. Wegen vertonen allerhande putten en hobbels en bij het fietsen over zo een opeenvolging van oneffenheden worden trillingen opgewekt. Deze trillingen worden via de fiets doorgegeven aan de fietser die deze dus absorbeert. Het is bewezen dat het menselijk lichaam gevoelig is aan trillingen, een langdurige blootstelling aan deze trillingen zorgt ervoor dat spieren sneller

vermoeid raken. Fietsen over goede asfaltwegen levert doorgaans geen problemen op, de opgewekte frequenties zijn te hoog en vallen buiten het frequentiegebied waaraan mensen gevoelig zijn. Het probleem wordt groter wanneer gefietst wordt over terrein waarbij de oneffenheden groter zijn en verder uit elkaar liggen, zoals het geval is bij kasseiwegen. De opgewekte frequenties zijn dan lager en zorgen ervoor dat de fietser sneller vermoeid raakt.

In een poging om het de fietser comfortabeler te maken tijdens het fietsen, werd deze masterproef gelanceerd. In deze thesis wordt op zoek gegaan naar manieren om de vermoeidheid van de fietser -die in de hand gewerkt wordt door de constante blootstelling aan trillingen- tegen te gaan.

Het document bevat een onderzoek naar trillingen en vermoeidheid, een marktonderzoek en een exploratie naar mogelijke oplossingen voor het probleem. Er werd uiteindelijk één concept gekozen en uitgewerkt, het resultaat is het ontwerp van een trillingsdempende fietsnaaf die met behulp van prototypes praktisch werd getest.

Trefwoorden: racefiets, wielnaaf, kasseien, trillingen, vermoeidheid, demping

0. INHOUDSOPGAVE

1. INLEIDING	8
WIE / WAT/ WAAR / WAAROM.....	9
2. ONDERZOEK	12
TRILLINGEN BIJ HET FIETSEN.....	13
TRILLINGEN DEMPEN EN COMFORT.....	18
DE PERFECTE OPLOSSING BESTAAT AL, OF NIET?.....	21
VERING EN ENERGIEVERLIES.....	24
3. MARKTSTUDIE	26
BENCHMARKING.....	27
DE 10 VOORNAAMSTE CONCURRENTEN.....	32
4. IDEEGENERATIE	40
EISEN EN WENSEN.....	41
CONCEPTGENERATIE.....	44
CONCEPT ITERATIE.....	52
5. PROTOTYPING	62
PROCES PROTOTYPING.....	63
PROTOTYPE VS STANDAARD WIEL.....	70
6. TESTEN	72
TESTFASE 1 BASISTESTEN.....	73
TESTFASE 2 TRILLINGSMETINGEN.....	76
TESTFASE 3 GEBRUIKERSTESTEN.....	84
7. EINDRESULTAAT	88
DESIGN FOR ASSEMBLY.....	90
WERKING.....	92
PRODUCTIE.....	94
OVERZICHT PRODUCTEIGENSCHAPPEN.....	96
VERGELIJKING MET CONCURRENTEN.....	98
8. CONCLUSIE	100

1. INLEIDING



afbeelding 1.1 doelgroep, wielertoeristen

DOELGROEP (WIE)

Fietsen als vrijetijdsbesteding heeft de laatste jaren veel aan populariteit gewonnen, zeker in onze streken waar er wekelijks duizenden fietsfanaten aan de start komen van toertochten in de buurt. Iedereen kent wel iemand in zijn naaste omgeving die in zijn vrije tijd vaak op de fiets kruipt, dit heeft ongetwijfeld te maken met de wielercultuur die in België leeft vanwege de vele wielerklassiekers à la Ronde van Vlaanderen die jaarlijks op veel belangstelling kunnen rekenen. Grote wielerrondes zoals de Ronde van Frankrijk komen uitgebreid aan bod in kranten en media en bieden bovendien een mooi schouwspel voor de televisiekijker. Vele potentiële fietsliefhebbers kijken op naar de prestaties van hun wielershelden

en willen vroeg of laat zelf op de fiets springen om dezelfde klimmetjes, kasseiwegen en cols te bedwingen. **De lokale wielertoerist** heeft echter niet de fysieke capaciteiten om urenlang in het zadel te zitten zonder dat lichamelijke kwaaltjes beginnen opspelen. Een wielertoerist vereist dan ook meer comfort van zijn fiets zonder aan prestatievermogen in te boeten, hij wil immers op een even geavanceerde racefiets rijden als waarmee zijn wielershelden fietsen. Het is dan ook meer en meer de trend om niet de snelste fiets te ontwikkelen, maar een racefiets die geoptimaliseerd is naar comfort toe en toch de uitstraling en prestatie van een klassieke racefiets biedt.

OPDRACHT (WAT)

Fietsconstructeurs gaan hier enthousiast in mee, het grootste deel van hun omzet halen ze immers uit de verkoop van fietsen aan de recreatieve fietsliefhebbers. Er is al veel ontwikkeld en uitgetoetst om **racefietsen comfortabeler te maken**, maar vooralsnog met gering succes. De alsmaar lichtere en stijvere fietsframes staan

immers in schril contrast met een meer comfortabele fiets, er worden zelfs al fietszadels gemaakt uit carbon. Het is altijd maar weer een afweging maken tussen prestatie en comfort. Elke jaar rond de periode van Parijs-Roubaix duiken nieuwe systemen op in high-end racefietsen die het **rijden over kasseien en slechte wegen** veel

CONTEXT (WAAR)

comfortabeler moeten maken, maar voorlopig blijven alternatieven zoals een dubbel stuurlint en bredere banden het populairst. Het voordeel van de nieuwe systemen blijkt in praktijk meestal miniem of onbestaande te zijn. Nochtans heeft het zeker zin om op zoek te gaan naar ideeën die schokken uit het wegdek kunnen

filteren en het de fietser dus iets comfortabeler te maken. Het oneffen wegdek zorgt immers voor trillingen die het fietsplezier en de prestatie van de fietser niet ten goede komen. Deze kunnen bij langdurige blootstelling zorgen voor heel wat problemen.



afbeelding 1.2 context, gebruik op slechte wegen



afbeelding 1.3 opdracht, comfort verhogende technologie in racefietsen

MOTIVATIE (WAAROM)

In het volgende hoofdstuk wordt beschreven waarom elk van deze onderstaande problemen de kop kan opsteken bij het fietsen over slechte wegen. Deze vormen met andere woorden de motivatie of redenen om dit onderzoek te voeren.

- **Veiligheid en controle over de fiets**
- **Letsels en discomfort**
- **Spiervermoeidheid**
- **Materiaal schade**

Reden genoeg dus om aandacht te besteden aan deze problematiek en ideeën te zoeken die een uitweg kunnen bieden. De context en doelgroep voor deze opdracht

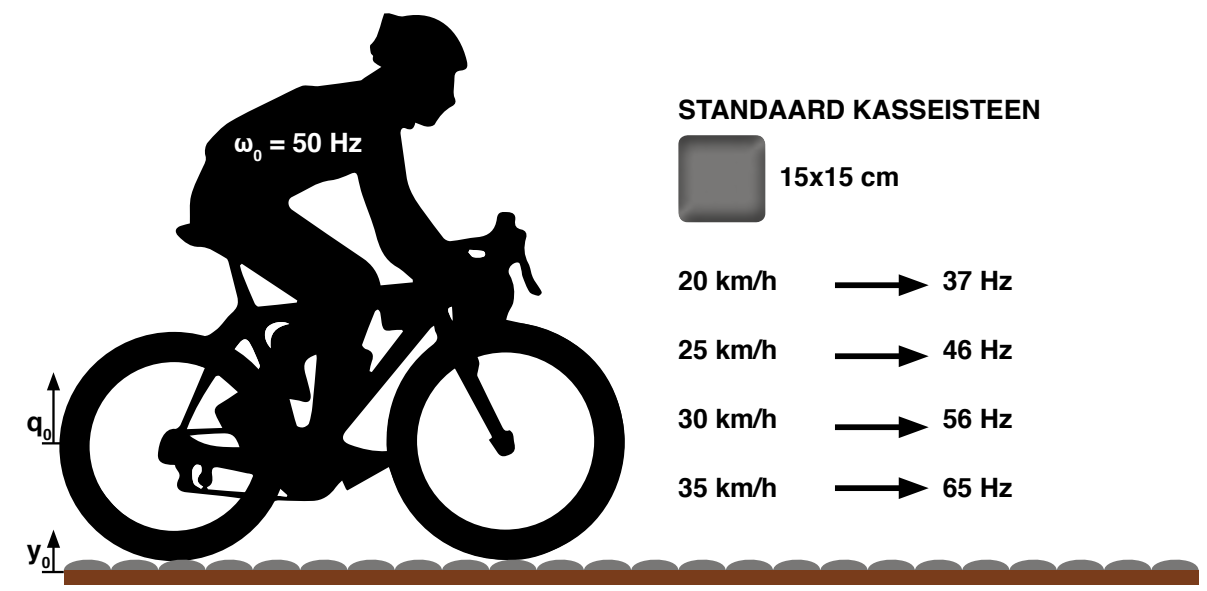
brengen natuurlijk een aantal vereisten met zich mee. Het betreft een racefiets die zijn sportief karakter moet behouden, het spreekt dus voor zich dat een grote gewichtstoename niet is gewenst. De oplossing moet veilig zijn, mag het stuurgedrag niet negatief beïnvloeden en is best ook duurzaam. De wensen van stakeholders spelen een rol, zo moet de uiteindelijke oplossing uiteraard produceerbaar zijn. De opdrachtstelling was aanvankelijk erg ruim, maar doorheen het onderzoek werd een meer gedetailleerd eisenpakket uitgewerkt dat is terug te vinden bij 'eisen en wensen' in het hoofdstuk 'ideeëngeneratie'.

2. ONDERZOEK

TRILLINGEN BIJ HET FIETSEN

Fietsen over hobbelige wegen zorgt voor trillingen, dit effect is duidelijk voelbaar bij het rijden over kasseiwegen. De opeenvolging van gelijk-aardige, vierkante stenen met eenzelfde onderlinge afstand zorgt voor constante trillingen die lang kan aanhouden naargelang de lengte van de kasseistrook. Maar ook andere wegen zorgen voor trillingen, denk maar aan macadamwegen waarbij de gleuven tussen twee stroken voor schokken zorgen, de trillingsfrequentie is hier uiteraard veel lager door de grote afstand tussen twee stroken. Ook mooie asfaltwegen brengen trillingen voort vanwege het kleine reliëf in het asfalt, het spreekt voor zich dat de trillingsfrequentie dan veel hoger ligt. Belangrijk hierbij is om op te merken dat de opgewekte trillingsfrequentie niet enkel afhankelijk

is van het soort weg waarover wordt gefietst, maar ook van de snelheid van de fietser. Om een beter beeld te krijgen van de opgewekte trillingen, wordt in de onderstaande figuur een klassieke kasseiweg als voorbeeld genomen waarover wordt gefietst bij verschillende snelheden. Voor de strook uit het voorbeeld krijgt de fietser elke kilometer 6 667 kasseistenen te verduren. Wanneer hier met een snelheid van 25 km/h over wordt gefietst, raakt een wiel 166 667 stenen per uur, dit komt overeen met een frequentie van 46 Hz. Hoe hoger de snelheid, hoe meer stenen worden geraakt en dus hoe hoger de wegfrequentie. Bij een snelheid van 30 km/h krijgt de fietser 56 stoten per seconde te verduren.



figuur 2.1 opwekking van trillingen bij fietsen over kasseien

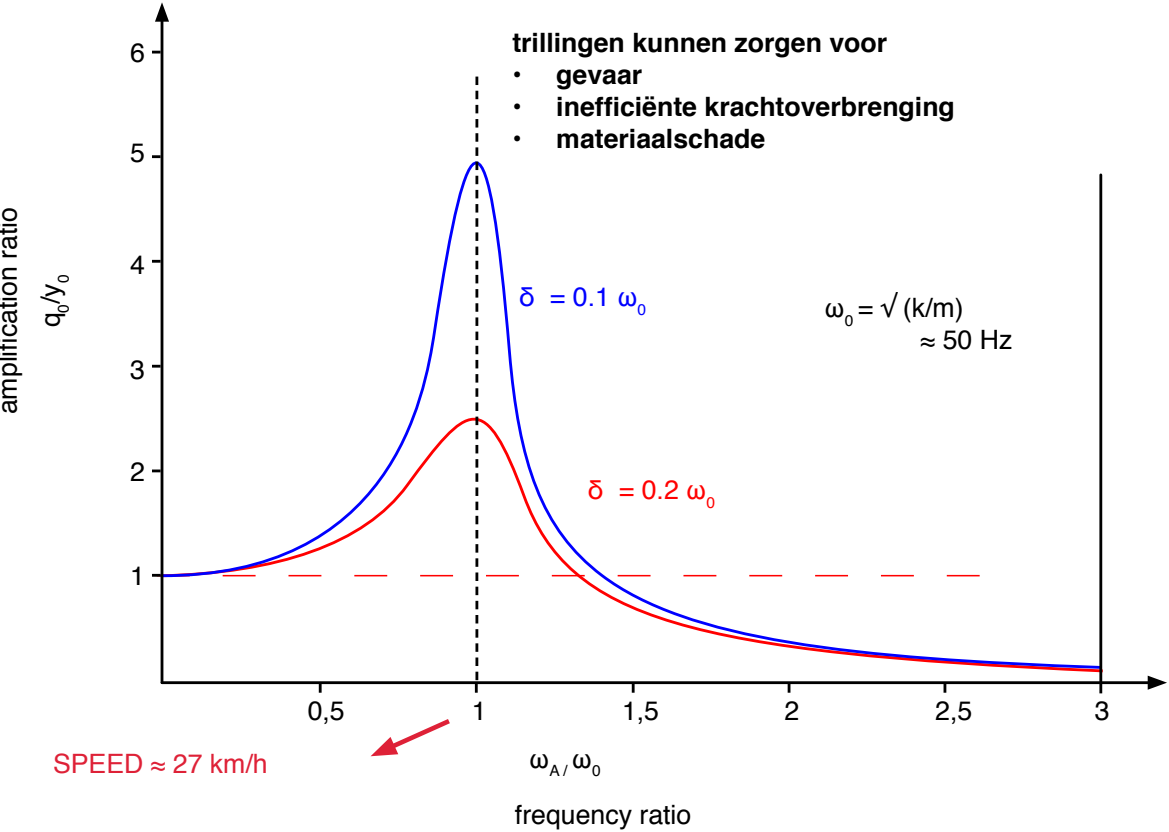
EFFECT OP FIETS

De opgewekte trillingen worden uiteindelijk via de fiets doorgegeven aan de fietser. Deze trillingen kunnen hinderlijke gevolgen hebben voor zowel fiets als fietser, ze kunnen het stuurgedrag beïnvloeden maar ook vermoeidheid van de fietser in de hand werken. Bovendien moet de fiets zelf ook aan deze trillingen weerstaan. Hoe trillingen het stuurgedrag en dus de controle over de fiets kunnen beïnvloeden, wordt hier besproken. Het geheel van fiets en fietser kan gezien worden als een systeem van veren, verbonden met een trillend oppervlak, in dit geval het wegoppervlak. Een dergelijk systeem van massa en veren heeft altijd een eigenfrequentie, ook wel natuurlijke frequentie genoemd. Het verband tussen

massa, veren(stijfheid) en eigenfrequentie is als volgt:

$\omega_0 = \sqrt{k/m}$

De eigenfrequentie is de vierkantswortel van de stijfheid over de massa van het systeem. Dit betekent dat het verhogen van de stijfheid leidt tot het verhogen van de eigenfrequentie en dat het verhogen van de totale massa leidt tot het verlagen van de eigenfrequentie van het systeem. Wanneer de opgewekte frequentie, besproken in figuur 2.1 gelijk wordt aan de eigenfrequentie, zal het systeem beginnen resoneren. Resoneren betekent dat het systeem, in dit geval fiets



figuur 2.2 versterking van trillingen in de buurt van resonantie

en fietser, begint te trillen op zijn eigen frequentie waarbij de amplitude in de tijd constant toeneemt tot oncontroleerbare waarden. Uiteindelijk wordt het systeem instabiel en kan dit leiden tot falen van het systeem. Dit is ook de reden waarom men een kristal glas door geluidstrillingen kan doen breken. Met andere woorden, resonantie kan leiden tot oncontroleerbaarheid van de fiets met een kwalijke val tot gevolg. Figuur 2.2 geeft het gedrag van een systeem weer in de buurt van resonantie. Ieder systeem kan na vereenvoudigingen voorgesteld worden als zo een massa-veer-demper systeem, dit is niet enkel van toepassing op een fiets en fietser. Op de horizontale as wordt de verhouding van de opgewekte frequentie en de eigenfrequentie van het systeem weergegeven, verder beschreven als frequentie ratio ω_A/ω_0 . Op de verticale as wordt de verhouding van de amplitude van de trilling van het systeem (fiets en fietser) ten opzichte van het profiel of reliëf van het wegdek weergegeven, q_0/y_0 , ook te zien in figuur 2.1. Wanneer de opgewekte frequentie gelijk wordt aan de eigenfrequentie, ofwel wanneer de frequentie ratio ω_A/ω_0 gelijk wordt aan 1, dan zal het systeem beginnen resoneren. De amplitude ratio bereikt onaanvaardbaar hoge waarden die het systeem fataal kunnen worden. Ieder systeem heeft een ingebouwde damping, afhankelijk dan deze dempingswaarde kan deze resonantiepiek verkleind worden, dit is het verschil tussen de blauwe en rode lijn in de grafiek. De eigenfrequentie is afhankelijk van het totale gewicht en stijfheid van het systeem, voor de gemiddelde fiets en fietser kan gesteld worden dat de eigenfrequentie ergens zal variëren tussen 40 en 60 Hz. Met ook de opgewekte fre-

quenties van het wegdek die gekend zijn, kan nu berekend worden bij welke snelheden fiets en fietser mee zullen trillen of resoneren. Als we een eigenfrequentie voor het systeem van 50 Hz veronderstellen, zullen fiets en fietser mee trillen bij een snelheid van om en bij de 27 km/h. De opgewekte wegtrilling benadert dan de eigenfrequentie bij een snelheid tussen 25 en 30 km/h, dit kunnen we afleiden uit figuur 2.1. Een snelheid van 27 km/h is een vrij courante fietssnelheid voor een doorsnee wielertoerist. Een ander rijdersgewicht, fiets en kasseiweg kan voor enige variatie zorgen in de resonantie snelheid. De trillingen dwingen de fietser om boven of onder zijn normale snelheid te fietsen wil hij deze ongewenste resonantie tegengaan. Fietsen in de buurt van deze resonatiesnelheid zal leiden tot hevig schudden en botsen op de kasseistenen, hierdoor wordt het naast het stabiel houden van de fiets eveneens moeilijk de kracht efficiënt over te brengen op de pedalen. Door de hevige schokken is het onmogelijk geworden een goede duw- trek beweging op de pedalen uit te oefenen, laat staan een efficiënte cirkelvormige pedaalslag uit te voeren. Naast deze ergonomische belemmeringen voor de fietser, zorgen de trillingen ook voor een stevige beproeving van het materiaal, want ook de fiets moet deze schokken opvangen. Het spreekt voor zich dat dit kan leiden tot falen van het materiaal, denk maar aan kader- of spaakbreuk. Wanneer deze klappen enigszins opgevangen kunnen worden, zal de fiets minder te verduren krijgen en wordt de levensduur mogelijk verlengd.

EFFECT OP FIETSER

De hoofdreden voor dit onderzoek is dat de fietser vermoeid wordt door trillingen. De mens is nu eenmaal gevoelig aan trillingen, in eerder onderzoek werd aangetoond dat het menselijk lichaam het meest onderhevig is aan trillingen tussen 0.5 en 80 Hz. (figuur 2.3) Uit de berekeningen opge- maakt in figuur 2.1, zien we dat de trillingen die opgewekt worden bij het fietsen over kasseien

ISO-2631 HUMAN BODY FATIGUES MOST BETWEEN 0.5 AND 80 HZ
ISO-5349-1 HANDS AND ARMS MOST SENSITIVE TO 8-16 HZ

- GEZONDHEIDSPROBLEMEN
- DISCOMFORT
- SPIERVERMOEIING

figuur 2.3 menselijke gevoeligheid aan trillingen

binnen dit bereik vallen, zelfs mits enige variatie in fietssnelheid en kasseiweg waarover gereden wordt. Deze trillingen zorgen ervoor dat spieren sneller vermoeid raken. In extreme vorm kan het ook leiden tot minder helder kunnen denken en desoriëntatie. Denk hierbij aan trilplaten in fitnesscentra die -bij langdurige blootstelling- helemaal niet goed blijken te zijn voor de organen en het functioneren van de hersenen, anderzijds zijn ze spierversterkend wat ook blijkt uit het feit dat trillingen spieren vermoeien. Een overzicht van de problemen die kunnen optreden bij blootstelling aan trillingen, wordt gegeven in figuur 2.4.

De handen en armen zijn vooral onderhevig aan trillingen tussen 8 en 16 Hz, maar het zijn vooral

de full-body vibraties die ervoor zorgen dat het lichaam vermoeid raakt, hier zal dan ook op gefocust worden.

Uit een studie van de Nederlandse fietsersbond (figuur 2.5) waarbij verschillende soorten wegen werden getest, blijkt dat fietsers vermoeid raken door trillingen die voortkomen van het slechte wegdek. Bij het fietsen over kasseiwegen kom je al gauw in de gevarenzone, dit betekent dat er kans bestaat op valpartijen vanwege de slechte staat van het wegdek, maar belangrijker is om in te zien dat ook bij het fietsen over slechte asfaltwegen na ongeveer 40 minuten vermoeiing optreedt. De trillingen bij slechte wegen zijn ongeveer 3x minder sterk dan trillingen bij het fietsen over kasseiwegen, maar deze zullen uit-

eindelijk toch leiden tot extra belasting van de spieren. Dit betekent dat een trillingsdempende oplossing voor fietsen geen smalle niche is specifiek bedoeld voor het rijden over kasseiwegen, maar dat het ook zijn nut kan hebben op andere, minder hobbelige wegen.

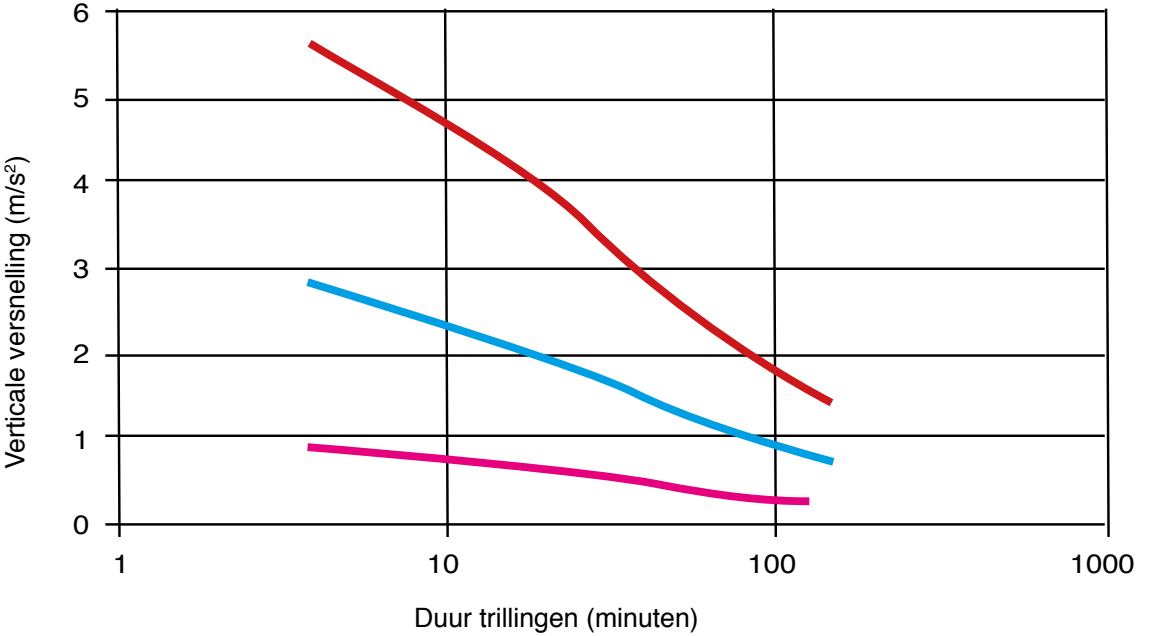
Eerst en vooral is het belangrijk om op te merken dat het niet mogelijk is om de trillingen vanwege een hobbelig wegdek volledig te elimineren, maar we kunnen ze wel proberen dempen. Door over een perfect vlakke weg te gaan fietsen is het wel mogelijk om trillingen te vermijden. Dit is natuurlijk niet de opzet van deze thesis, het onderzoek bestaat erin om het comfort te verhogen bij het rijden over hobbelige wegen. Het wegdek is samen met de snelheid van de fietser, een vaste factor die niet kan worden beïnvloed. Zij vormen samen ω_A , de opgewekte trilling die in figuur 2.1 werd bepaald. Toch kunnen de gevolgen van de trillingen beperkt worden door te spelen met andere factoren.

VERHARDING	TRILLING (M/S²)	
NIEUW ASFALT	0.6	
GEMIDDELD ASFALT	0.8	
KLINKERS/TEGELS	1.2	
SLECHT ASFALT	1.5	
KASSEIWEGEN	5	

GEVAARGRENS

VERMOEIINGSGRENS

DISCOMFORTGRENS



figuur 2.5 optredende vermoeidheid tijdens fietsen



figuur 2.4 mogelijke problemen als gevolg van trillingen

TRILLINGEN DEMPEN EN COMFORT

Er kunnen eigenlijk 3 zones onderscheiden worden in de figuur 2.5. Trillingen afkomstig van het fietsen over de kasseiwegen, kunnen versterkt of verminderd worden doorgegeven aan het systeem, dit hangt af van de verhouding van de opgewekte frequentie (ω_A) en de eigenfrequentie (ω_0) van het systeem, in dit geval het geheel van fiets en fietser samen, verder eenvoudigweg beschreven als fietser. Deze verhouding wordt de frequentie ratio genoemd.

Om het effect van de trillingen beter op te vangen, moet de frequentie ratio naar rechts opgeschoven kunnen worden tot in de gele zone waar effectieve damping plaats vindt. In deze gele zone is de amplification, of met een Nederlandse term de 'versterking' kleiner dan 1, dit betekent dat de trillingen verminderd worden doorgegeven aan de fiets en fietser.

De drie zones die uit figuur 2.6 onderscheiden kunnen worden, zijn:

- $\omega_A/\omega_0 \ll 1$

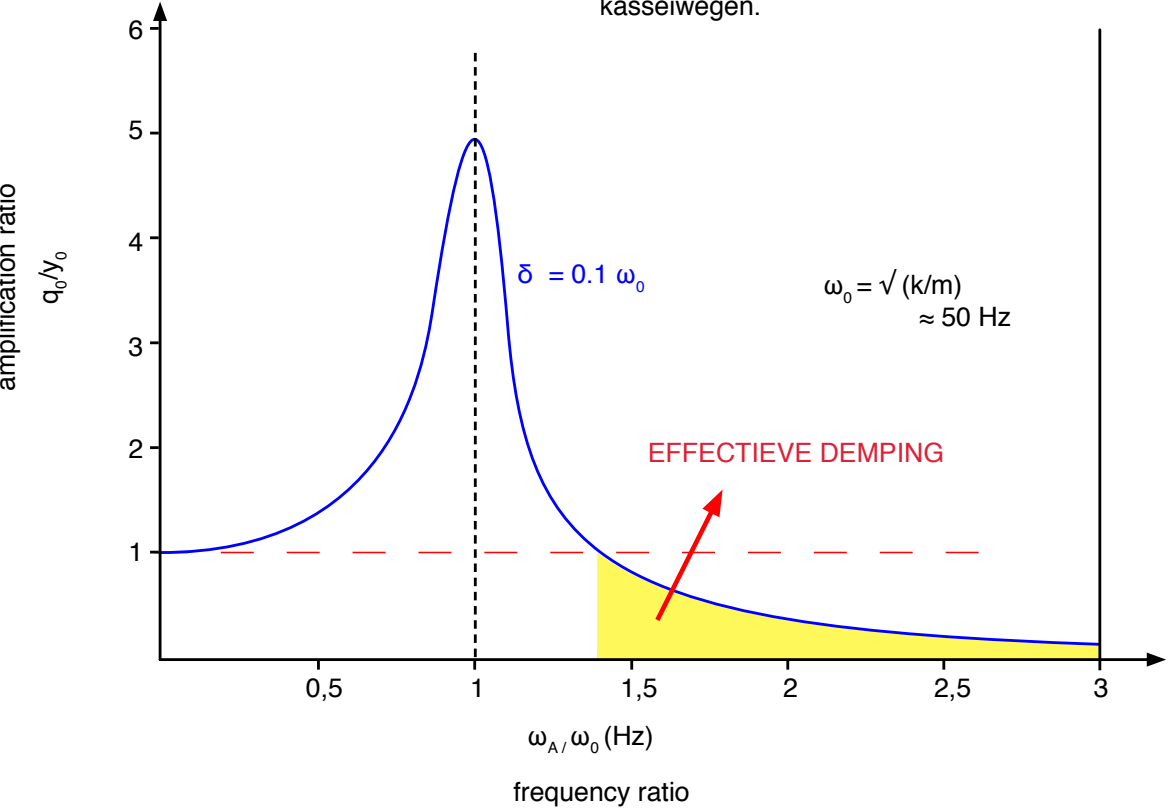
Bij een frequentie ratio kleiner dan 1 wordt iedere trilling met éézelfde amplitude doorgegeven aan de fietser, dit betekent dat hij elke kasseisteent effectief zal voelen.

- $\omega_A/\omega_0 \approx 1$

Wanneer de ratio 1 benaderd, zal het systeem dermate mee schudden dat het uiteindelijk instabiel wordt. Dit moet absoluut vermeden worden daar het kan leiden tot ernstige ongevallen. Het systeem resonanceert.

- $\omega_A/\omega_0 \gg 1$

In deze zone vindt effectieve damping plaats, de trillingen worden verminderd doorgegeven aan de fietser. Hoe hoger de ratio, hoe minder last de fietser zal ondervinden van de trillingen en dus kasseiwegen.



figuur 2.6 trillingen dempen

	1 $\omega_A \uparrow$ hogere wegfrequentie	2 $m \uparrow$ toename totale massa	3 $k \downarrow$ verlagen stijfheid
wat			
hoe	• sneller fietsen • betere weg kiezen	• zwaardere fiets • zwaardere fietser	• stuur los vasthouden • stijfheid fiets verlagen
conclusie	niet van toepassing	ongewenst	compromis vinden

tabel 2.7 comfort verhogen door dempen van trillingen

- 1
 ω_A kan verhoogd worden door een andere weg te kiezen met een hogere wegfrequentie, bv. asfaltwegen. Het uitgangspunt is echter om iets te doen aan trillingen afkomstig van kasseiwegen, dit is dus geen optie.
Door sneller te fietsen kan de wegfrequentie ook verhoogd worden en zal je dus minder hinder ondervinden van trillingen. Dit betekent dat professionele wielrenners minder last hebben van rijden over kasseiwegen dan wielertoeristen. Dit is duidelijk te zien op figuur 2.2 waar toeristen (27 km/h) in de gevarenszone ($\omega_A/\omega_0 = 1$) komen bij het rijden over de kasseiweg uit het voorbeeld. Wielrenners (40 km/h) ondervinden minder hinder van de trillingen afkomstig van kasseiwegen. Let wel, wanneer de ratio ω_A/ω_0 nog hoger gebracht kan worden, hebben ook zij hier baat bij, want dan worden de trillingen nog meer gedempt. Van de gebruiker kunnen we echter niet verwachten dat hij sneller gaat fietsen om minder last van de trillingen te hebben, dit is dus ook geen optie.
- Door de totale massa te verhogen, dit kan door ofwel op een zwaardere fiets te rijden, ofwel als fietser te verzwaren. Beiden zijn uiteraard niet gewenst, daar dit de globale prestatie niet ten goede zal komen.
- 2
Door de stijfheid van het systeem te verlagen. Fiets of fietser moet dus minder stijf uitgevoerd worden, een eerste optie is om als fietser de stijfheid van het systeem te verlagen, dit kan betekenen dat hij het stuur losjes moet vasthouden en de fiets het werk moet laten doen. Dit komt de controle over de fiets en krachtoverbrenging natuurlijk niet ten goede. Een 2de optie is om de fiets zelf minder stijf te maken, hier zal uiteindelijk ook de sleutel liggen. Hedendaagse systemen maken hier ook gebruik van, denk maar aan verende voorvorken, extra zadelhoezen met gel, maar ook een zeemvel en handschoenen kunnen nuttig zijn. Het klinkt in de eerste plaats niet interessant om een fiets minder stijf te maken voor de competitiviteit, maar het komt er op aan de fiets deels flexibel te maken op de momenten dat dit is gewenst. Het is een feit dat minder stijfheid tegenover energie-efficiëntie altijd een compromis zal zijn.
- 3

THEORIE TOEGEPAST OP EEN FIETS

Om het comfort te verhogen bij het fietsen over slecht wegdek, zal er dus een element met lage stijfheid in de fiets moeten zitten. Dit element

verlaagt de stijfheid K van de gehele fiets zodat trillingen beter gedempt kunnen worden.



figuur 2.8 visuele voorstelling fiets

De fiets vormt de verbinding tussen het wegdek en de fietser. Alle onderdelen die het wegdek star verbinden met de handen, het zitvlak of de voeten van de fietser kunnen dus trillingen doorgeven. Onderdelen die onder deze categorie vallen zijn:

- frame,
- vork,
- zadelpen en zadel,
- stuur (+remgrepen) en stuurpen,
- wielen en banden,
- crankarmen én pedalen

Losse, niet-constructieve onderdelen die de stijfheid van het systeem in mindere mate beïnvloeden.

- remklauwen,
- aandrijving (derailleurs, ketting, kettingbladen, cassette),
- rem- en schakelkabels

Dit betekent dat er heel veel mogelijkheden zijn om verbetering aan te brengen. Echter, niet alle onderdelen zijn even interessant om als comfort verhogende factor uit te spelen.

WAAROM NIET GEWOON WAT LUCHT UIT BANDEN LATEN?

Er wordt vaak gezegd dat als je minder last wil hebben van schokken en trillingen, dat je dan maar je fietsbanden wat slapper moet zetten. In wezen lijkt dit te kloppen, de fiets wordt minder stijf, de frequentie ratio wordt groter en dus wordt de zone van effectieve damping sneller bereikt.

Stijfheid K kleiner --> ω_A/ω_0 groter --> effectieve damping

Dit brengt natuurlijk andere zaken met zich mee, slappere banden zullen een groter con-



afbeelding 2.9 slappere banden leiden sneller tot stootlekken

tactoppervlak hebben met het wegdek wat de weerstand vergroot. Dit zal je dus extra energie kosten, waar we juist energie willen sparen door het dempen van trillingen. Bovendien komt dit de wegligging in bochten niet ten goede wat kan lei-

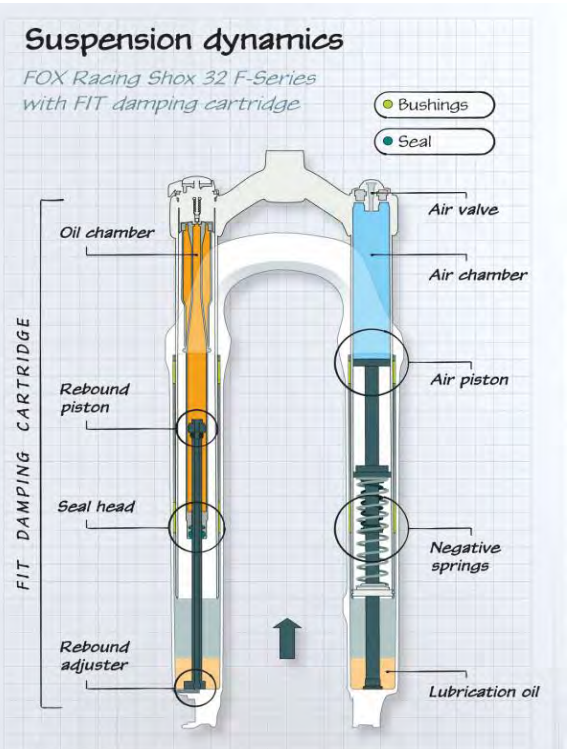
den tot ongevallen. Slappere banden zullen ook sneller leiden tot stootlekken. Lucht uit banden laten om over hobbelige wegen te rijden, heeft dus wel degelijk zijn nut, maar heeft ook nadelen wanneer men op ander, vlakker terrein komt.

DE PERFECTE OPLOSSING BESTAAT AL, OF NIET?

Een goed schokabsorberende systeem bestaat eigenlijk al, namelijk de verende voorvorken die al jaren worden gebruikt in mountainbikes. Dezelfde technologie kan ook toegepast worden in de achtervork van de fiets wat dan een full-suspension systeem oplevert.

De werking van een verende voorvork wordt hier kort geschetst. De beschrijving ervan helpt om het principe van vering-damping beter te begrijpen.

Vering dient altijd samen te gaan met een dempend systeem, indien er enkel vering is zonder damping, dan krijg je een systeem die oncontroleerbaar terugveert en bovendien nog een tijd op- en neer blijft deinen. Allesbehalve wat je comfortabel kan noemen.



figuur 2.10 verende voorvork

WERKING VAN EEN LUCHTGEVEERDE VOORVORK

VERING

Een vork veert op elastomeren, op lucht of op stalen veren. Elastomeren worden meestal toegepast bij de goedkopere voorvorken daar hun werking erg temperatuur afhankelijk is, te hard bij koud weer en te slap bij warm weer. De indrukking van elastomeren verloopt wel progressief, dit betekent dat de weerstand toeneemt met het indrukken ervan wat helpt om schokken beter op te vangen. Dit is ook het geval bij luchtvering, maar niet bij een stalen veer. De inverting is dan weer niet instelbaar in tegenstelling tot stalen veren en lucht waarbij respectievelijk de veerstijfheid en luchtdruk regelbaar zijn. Een instelbare vering is van belang om te voldoen aan de verschillende lichaamsgewichten en de rijstijl van de gebruiker. Een zwaardere fietser zal een hardere vering nodig hebben dan een lichtere fietser teneinde het einde van de veerweg niet sneller te bereiken.

DEMPING

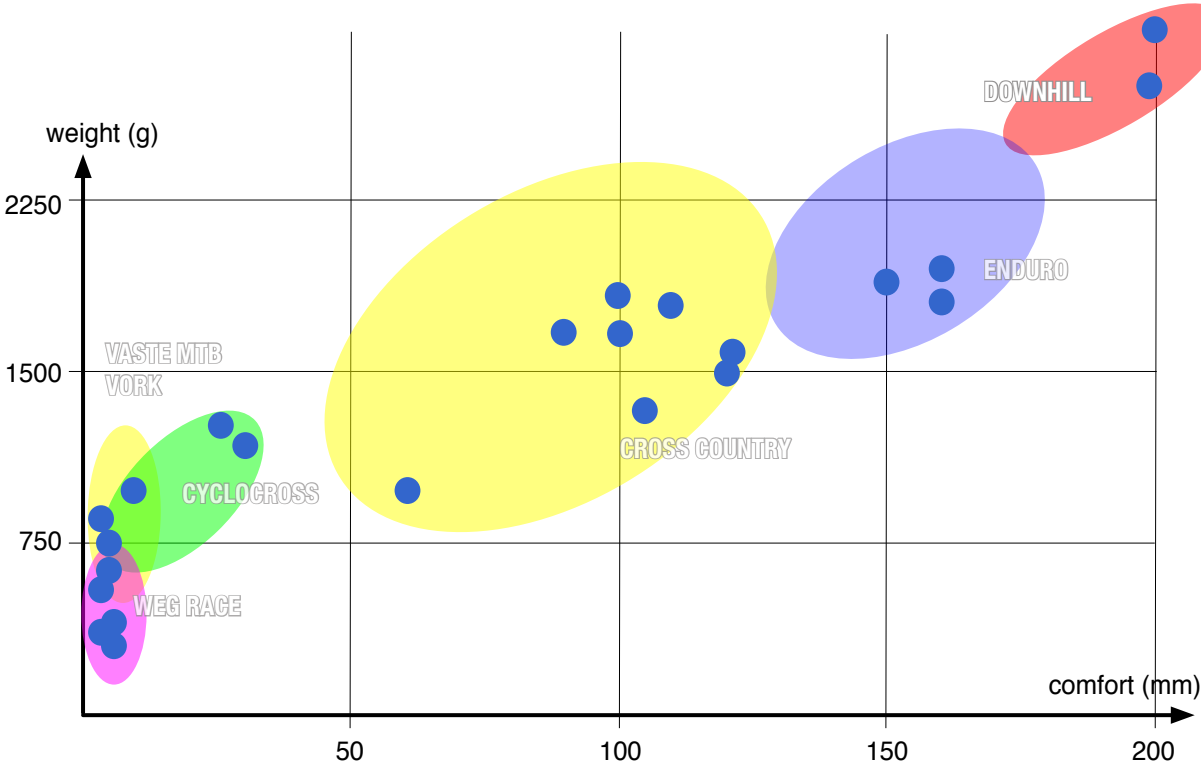
Zonder goede damping is een verende vork waardeloos, damping controleert de terugkerende beweging van de voorvork. De vering moet bij het terugkeren extra weerstand ondervinden die ervoor zorgt dat deze controleerbaar terugkeert naar zijn oorspronkelijke toestand. De eenvoudigste manier om hiervoor te zorgen is wrijving, de juiste weerstand valt hierbij echter moeilijk in te stellen. Elastomeren hebben het voordeel dat ze van zichzelf dempende eigenschappen hebben en hoeven dus geen extra systeem. Tegenwoordig wordt in luchtgeveerde vorken meestal olie gebruikt voor de damping waarbij de olie door kleine gaatjes wordt geperst en voor weerstand zorgt. Met behulp van een draaiknop valt de snelheid van terugkeren te regelen en bovendien zorgt de olie voor een constante smering van het systeem in tegenstelling tot lucht-dempers die ook bestaan.

VEERWEG

Bij voorvorken met een grote veerweg kunnen de schokken beter geabsorbeerd worden dan bij kleine veerwegen, de grote veerweg laat een lagere veerstijfheid toe en geeft de vork meer tijd om de klap op te vangen, hierdoor zal deze minder hard aanvoelen. Een voorvork met een veerweg van 150 mm zal dus grote schokken beter kunnen opvangen dan een voorvork met pakweg een veerweg van 80 mm. Er kan dus gesteld worden dat het comfort bij grotere veerwegen hoger is daar ze helpen de controle over het stuur te bewaren op extreem ruig terrein. Grotere veerwegen zijn echter niet altijd nodig en kosten meer energie tijdens het fietsen, het energieverlies dat er altijd is bij vering wordt in een volgend topic uitgelegd. Het komt erop aan de veerweg zo klein mogelijk te kiezen in functie van het gewenste comfort. Het is dan ook geen toeval dat grotere veerwegen vooral in extreme disciplines zoals downhill van toepassing zijn en de kortere veerwegen in MTB-wedstrijden waar ook moet geklommen worden. Mountainbikevorken zijn ontwikkeld om grote klappen op te vangen zodat de fietser de controle over de fiets kan behouden. De vering zorgt voor meer comfort en beter bodemcontact met de grond zodat je harder over ruig terrein kan rijden. Het is belangrijk om in te zien dat de functionaliteit van verende voorvorken in groot contrast staat met het doel van deze thesis, waarbij op zoek gegaan wordt naar een oplossing om trillingen die vermoeidheid veroorzaken, te absorberen. Het opvangen van grote schokken is geen doelstelling. Is een verende voorvork dan niet geschikt om trillingen op te vangen? Toch wel, de voorvorken kunnen erg gevoelig worden ingesteld. Ze zijn echter ontworpen om veel meer dan trillingen op te vangen, hierdoor krijg je een voor deze toepassing ‘over-engineered’ design wat meer na-

delen dan voordelen met zich meebrengt. De werking van mountainbikevorken is uitstekend, schokken en trillingen kunnen heel goed worden opgevangen. Helaas moet de constructie hierdoor zwaar worden uitgevoerd, te zwaar om ook nuttig te kunnen zijn bij racefietsen. Het is bovendien niet erg aerodynamisch wat opnieuw het sportieve gedrag van de fiets niet ten goede komt. Dit maakt dat een mountainbike voorvork niet voldoet aan de eisen en wensen en er op zoek moet worden gegaan naar andere oplossingen.

Figuur 2.11 toont het verband tussen de veerweg en gewicht van een voorvork voor verschillende toepassingen, er is een recht evenredig verband. De verschillende fietsdisciplines kunnen duidelijk onderscheiden worden van elkaar. De grafiek doet vermoeden dat een veerweg van om en bij de 30 mm een ideale afweging zou zijn voor een ‘kasseifiets’, ware het niet dat er dus gefocust wordt op trillingen en niet op het opvangen van hevige klappen, een wezenlijk verschil.



figuur 2.11 verband tussen veerweg en gewicht van een reeks mtb voorvorken

VERING EN ENERGIEVERLIES

Elk veersysteem is een compromis, vering kost altijd energie en wordt daarom maar zelden toegepast bij racefietsen. Elk jaar komen fietsconstructeurs met nieuwe snufjes en technologieën rond de periode van Parijs-Roubaix, maar voornamelijk zijn hier weinig blijvers bij. Meestal wordt teruggegrepen naar aloude gewoontes zoals het aanbrengen van een extra stuurlint, ook bredere tubes hebben hun nut al bewezen. De verende voorvorken waarmee onder andere J. Museeuw reed in de jaren 90 zien we echter niet meer. Toch is er de laatste jaren een evolutie naar meer comfortabele racefietsen, hiertussen zitten zeker zaken die zich onderscheiden van de traditionele racefietsen en dus voordeel kunnen opleveren. Denk hierbij aan o.a. de Trek Domane die doorheen de jaren werd ontwikkeld tot één van de kasseifietsen bij uitstek, al betekent dit in geen geval dat fietsen over kasseien er een fluitje van een cent mee wordt. In de MTB-wereld is vering wel al jaren ingeburgerd en ontwikkeld.

Hier wegen de pro's genoeg op tegenover het energieverlies. De extra controle over de fiets op ruig terrein, zeker in afdalingen, is een snelheid verhogende factor. Een overzicht van bestaande veringsystemen in racefietsen en MTB's wordt gegeven in het hoofdstuk 'Marktonderzoek'. De kracht die de rijder op de pedalen uitoefent, vooral bij accelereren, kan geabsorbeerd worden door de vering. De rijder pompt dan energie in het veersysteem. Het spreekt voor zich dat dit niet is gewenst. In tegenstelling tot wat wordt beweerd geldt dit voor elk verend systeem, maar dit is duidelijk het geval bij verende voorvorken in mountainbikes waarbij je de vork op en neer ziet bewegen tijdens het klimmen. Hoe je het draait of keert, dit is geen efficiënte manier van fietsen. Dit is ook de reden waarom altijd veel vraagtekens werden gesteld bij het gebruik van achtervering waar het probleem nog groter is, de belangrijkste oorzaak hiervan is dat de aandrijving via het achterwiel verloopt. Het gevolg is dat



afbeelding 2.13
de brain technologie 'herkent' het terrein en past de vering zelf aan

fietsen met een full-suspension fiets een erg deïnerend, maar vooral inefficiënt systeem opleverde bij het fietsen, laat staan bij het klimmen. Mountainbikers eisten de mogelijkheid hun veersysteem tijdens het klimmen te fixeren. Bij de huidige veersystemen zijn er vaak mogelijkheden om demping en vering tijdens het rijden aan te passen aan het terrein. De technologie staat inmiddels al verder dan dat, tegenwoordig zijn er al systemen op de markt die het energieverlies trachten te voorkomen door middel van 'slimme'

vorken die als het ware weten op welk terrein er wordt gefietst. Ze gaan uit van het principe dat een kracht van bovenaf de vering niet mag indrukken en dat de vering pas in werking mag treden bij schokken van onderaf. Bij het fietsen over vlak terrein voelt de fiets stijf aan, zodra men op ruig terrein komt begint de vering te werken. De technologie werkt uitstekend en is zowel beschikbaar in voor- als achtervering.



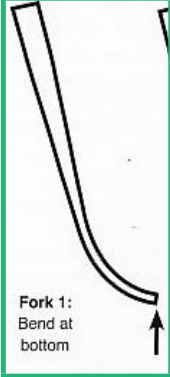
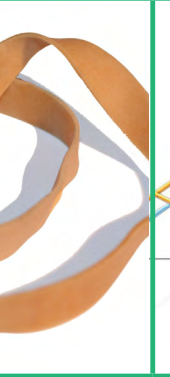
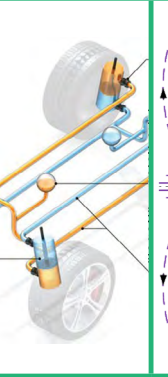
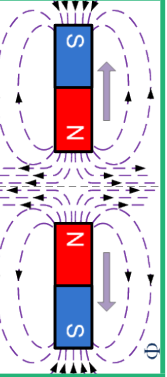
afbeelding 2.12
met een lockout kan de vering in de voorvork geblokkeerd worden

3. MARKTSTUDIE

BENCHMARKING

Er is al veel bedacht om schokken op te vangen in fietsen, zij het dikwijls met andere doeleinden zoals bijvoorbeeld de MTB voorvorken die grote klappen moeten opvangen om zo de controle over het stuur te bewaren. In deze thesis wordt eerder op zoek gegaan naar manieren om trillingen te dempen. Toch is het interessant om ook deze ontwerpen in beschouwing te nemen.

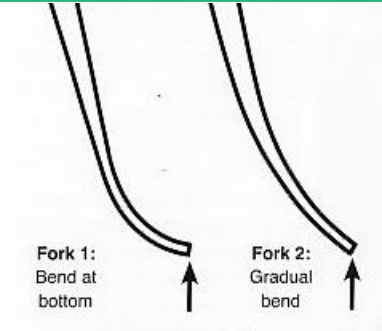
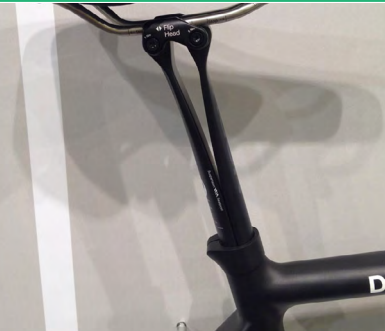
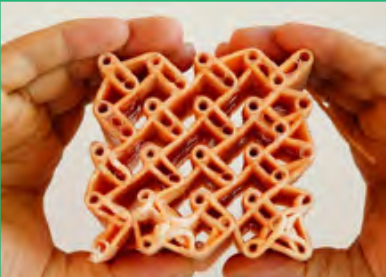
In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van wat reeds bestaat. Hierbij werd in de eerste plaats gekeken naar de manier waarop flexibiliteit wordt verkregen. Alle benchmarks bevatten een verend element of systeem die de stijfheid van de gehele fiets verlaagt. De mechanismen kunnen allen ondergebracht worden in een van de volgende categorieën.

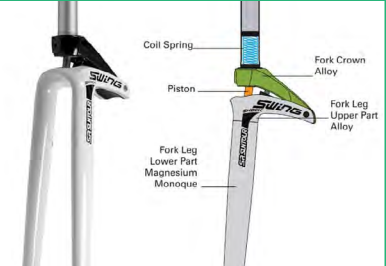
BUIGEN			ELASTICITEIT		COMPRESSIE	MAGNETISME
KROMMING	STRUCTUUR	VEREN	INDRUKKING	UITREKKING	OLIE/LUCHT	AFSTOTING
						

tabel 3.1 overzicht van flexibele elementen

Het valt meteen op dat er eigenlijk vrij weinig mogelijkheden zijn om flexibiliteit te verkrijgen. Er wordt ofwel gebruik gemaakt van verbuiging van materiaal, hiervoor worden dikwijls veren gebruikt, ofwel wordt er een elastisch materiaal gebruikt, ofwel is er een compressie van materiaal. Enkele nieuwere systemen maken gebruik van magnetisme.

Alle ontwerpen verschillen individueel wel van elkaar, maar toch maken ze gebruik van dezelfde basisprincipes. Met uitzondering van magnetisme is er altijd een vervorming van materiaal nodig om flexibiliteit te verkrijgen. De basisprincipes worden op de volgende pagina's uitgelegd aan de hand van enkele voorbeelden.

BUIGEN		
KROMMING Om flexibiliteit te verkrijgen kan er gebruik worden gemaakt van een buigend onderdeel, het onderdeel wordt dan zo ontworpen dat het vervorming toelaat. Door een kromming aan te brengen in het onderdeel, wordt een groter buigmoment gecreëerd waardoor het zal buigen op die specifieke plaats. Hiervoor is het belangrijk dat het onderdeel in een vervormbaar materiaal is vervaardigd zodat het niet breekt bij buiging, dikwijls wordt het carbon plaatselijk minder stijf gemaakt.		
		
Een grotere kromming van de voorvork laat flexibiliteit toe.	De voorvork van de Trek Domane werd extra gekromd uitgevoerd om meer buiging toe te laten. Hierdoor absorbeert de fiets de schokken op kasseien beter.	De CF3 Pro zadelpen van Ergon splits ter hoogte van de zadelbuis waardoor deze in staat is naar achter te buigen bij schokken.
STRUCTUUR Een verende constructie kan ook verkregen worden door middel van een structuur waarbij materiaal is weggenomen om vervorming toe te laten. Door de lege ruimtes in het onderdeel is het in staat om makkelijker te vervormen of te buigen.		
		
De Tweel band van Michelin voor bulldozers is bedoeld voor gebruik op ruig terrein. Lekrijden is uitgesloten.	Voorbeeld van een structuur die vervorming toelaat door materiaalreductie.	Een kussen is eigenlijk ook een verend object door een structuur van pluimen die terugveren na indrukking.

SPIRAALVEER		
De spiraalveer is een onderdeel dat door zijn specifieke vorm flexibiliteit heeft verkregen. Door de staaldraad in een spiraalvorm uit te voeren, krijg je een veer die kan ingedrukt worden en terugveren. Veren worden dikwijls toegepast in verende constructies, ze zijn betrouwbaar, goedkoop, en kunnen lang meegaan. De veerstijfheid valt meestal in te stellen door de veer meer of minder aan te spannen. Het grote nadeel is dat ze niet goed dempen en nog een tijd blijven deinen na inverting, dit levert een soort van jojo-effect op dat in bepaalde toepassingen niet is gewenst. Om deze reden worden veren tegenwoordig niet veel meer toegepast in mountainbikevorken, maar vervangen door lucht/olie dempers.		
		
Veren worden dikwijls toegepast in bewegende constructies.	De Suntour Swingshock maakt gebruik van een veer in de voorvork.	Een scharnierende stuurpleuk die gebruik maakt van veren.
BLADVEER Bladveren zouden ingedeeld kunnen worden bij 'kromming' maar door de frequente toepassing ervan worden ze apart besproken. Flexibiliteit wordt eveneens verkregen door het buigen van het onderdeel. Hoogwaardige bladveren worden tegenwoordig meestal in composiet uitgevoerd omdat de eigenschappen zoals sterkte, stijfheid, gewicht beter bestuurbaar zijn in tegenstelling tot bij stalen bladveren.		
		
De running blades waarmee andersvalide sporters lopen zijn eigenlijk grote bladveren die na indrukking hun energie terug vrij geven.	De Lauf vorken zijn een vernieuwend concept van MTB voorvorken waarbij gebruik wordt gemaakt van bladveren.	De elliptische bladveren in de Loopwheels zorgen voor flexibiliteit.

ELASTICITEIT

INDRUKKING

Bij deze categorie wordt het onderdeel niet gebogen maar is er een indrukking in de normaalrichting van het materiaal. Hiervoor moet de dichtheid van het materiaal laag genoeg zijn om indrukking toe te laten. Hiervoor worden vaak elastomeren gebruikt, elastomeren zijn polymeren met rubberachtige eigenschappen die vaak worden gebruikt voor trillingsdempende toepassingen. Ze zijn goedkoop, licht, verkrijgbaar in alle vormen en hardheden. Elastomeren hebben bovendien het voordeel dat ze uit zichzelf dempen. Elastomeren zijn wel temperatuursafhankelijk en hebben een beperkte levensduur.



Het materiaal van zwenkwiel-tjes is dikwijls een zacht elastomeer.

Specialized gebruikt in veel frames Zertz inserts, dit zijn elastomeren die het comfort moeten verhogen.

BMC heeft een softail MTB waarbij elastomeren schokken opvangen in de achtervork.

UITREKKING

Een uitrekking van het materiaal is ook mogelijk, na uitrekking springt het onderdeel terug naar zijn oorspronkelijke vorm. Dit is dus een verend element. Hiervoor worden dikwijls elastieken gebruikt. Deze vorm van flexibiliteit werd niet terug gevonden in fietsen.



Elastiekenkeren na uitrekking terug naar hun oorspronkelijke vorm.

Het touw om te benji jumpen is eigenlijk een grote elastiek.

Het membraan van een ballon rekt uit wanneer de druk binnenin vergroot.

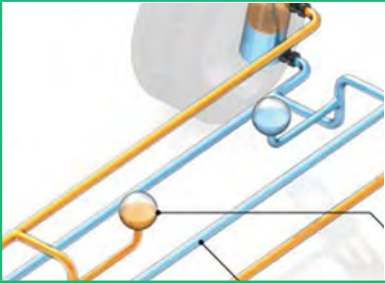
30

MARKTSTUDIE

COMPRESSIE

LUCHT/OLIE

Hydraulische systemen worden vaak gebruikt in toepassingen waarbij de belasting heel groot kan zijn, zoals in kranen en vliegtuigen. Luchtgeveerde voorvorken worden al jaren gebruikt in mountainbikes om klappen op te vangen bij het fietsen over ruig terrein, hun verings- en dempingseigenschappen zijn ongeëvenaard.



In auto's en vliegtuigen worden vaak hydraulische systemen gebruikt.

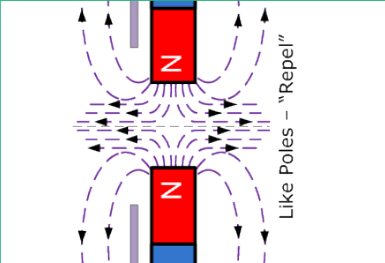
mountainbikevoorvorken veren op lucht.

De Lefty voorvorken worden gekenmerkt door slechts één enkele vorkpoot.

MAGNETISME

AFSTOTING

Een laatste mogelijkheid om flexibiliteit te verkrijgen, is door gebruik te maken van magnetisme. Door gelijke polen naar elkaar toe te richten, wordt een afstotingseffect verkregen die flexibiliteit toelaat. Het principe kan dus gebruikt worden om schokken en trillingen op te vangen. De toepassingen zijn vooralsnog schaars, maar bieden wel toekomst.



Tegengestelde polen stoten elkaar af, dit principe kan gebruikt worden om schokken op te vangen.

De Maglift is een systeem dat onder de poten van zetels geplaatst wordt, de ingebouwd magneten zorgen ervoor dat de zetel 'zweeft' boven de grond.

Deze conceptuele fiets van Canyon maakt gebruik van magnetische dempers die door elektrische signalen kunnen gestuurd worden.

31

MARKTSTUDIE

DE 10 VOORNAAMSTE CONCURRENTEN

Alle benchmarks kunnen ondergebracht worden in een van de bovenstaande categorieën, de veringsmechanismen mogen dan wel allemaal individuele verschillen vertonen, ze maken allen gebruik van dezelfde principes. Hieronder worden de 10 voornaamste benchmarks beschreven die betrekking hebben op verschillende onderdelen van de fiets (voorvork, frame, zadelpen, stuurpen en wielen), maar die wel allen één gelijkaardig doel hebben en dat is het comfort voor de fietser verhogen.

SPECIALIZED ZERTZ

VOOR- EN ACHTERVORK

ELASTOMEER



ZertZ zijn trillingsdempende inserts die in veel fietsen van Specialized worden gebruikt. Ze worden zowel in de voorvork, achtervork als zadelpen ingebouwd en moeten lange fietstochten comfortabeler maken. Hun toepassing sluit dan ook heel nauw aan bij de opzet van deze thesis en is daarom een belangrijke benchmark. Omtrent hun effectieve werking is veel onduidelijkheid. Specialized heeft data die aantoonst dat trillingen worden gedempt en er zijn fietsers die zeggen minder last te hebben van hun handen en schouders. Anderen voelen dan weer geen verschil en volgens velen is het louter een marketing zet. Feit is dat deze fietsen al aardig gepresteerd hebben in kasseiklassiekers zoals Parijs-Roubaix, een nadeel is het dus zeker niet.

TREK DOMANE

VOORVORK

KROMMING



Bij deze voorvorken is de vork ‘offset’ of ‘rake’ groter dan bij gewone racefietsen. De ‘rake’ wordt bepaald door de helling die de vork maakt, de helling van de vork heeft een grote invloed op het stuurbedrag van de fiets. Een grotere helling stuurt iets minder direct, maar zorgt wel voor wat extra comfort. Deze hellingshoek mag niet te extreem variëren, want anders wordt de fiets onbestuurbaar. De Domane voorvork heeft ook een opvallende kromming, hierdoor zijn deze in staat iets meer te buigen bij schokken en trillingen dan een recht vork. Ze zorgen dus voor extra comfort op oneffen wegen, hoewel de veerweg slechts enkele mm’s bedraagt.

REDSHIFT SHOCKSTOP

STUURPEN

ELASTOMEER



De Redshift Shockstop werd pas op de markt gebracht, het is een stuurpen die schokken ter hoogte van de handen kan opvangen door naar beneden te kantelen. De schokken worden opgevangen door een elastomeer dat in de stuurpen zit verwerkt, het elastomeer is verwisselbaar waardoor de gewenste stijfheid kan gekozen worden. Het is nog wachten op uitgebreide gebruikerstesten, maar de eerste bevindingen met prototypes waren alvast positief. Het is vooral efficiënt voor het opvangen van grote klappen.

TREK DOMANE

ZADELPEN EN BALHOOFD

ELASTOMEER



De Trek Domane wordt gezien als dé kasseifiets bij uitstek, er wordt veel aandacht besteed aan technologieën die een fietstocht op oneffen terrein comfortabeler moeten maken. Daar waar de zadelbuis en bovenbuis samenkomen, zit een elastomeer in het frame verwerkt die enige beweging van de zadelbuis mogelijk maakt, de stijfheid is bovendien instelbaar door middel van een schuifmechanisme. Deze IsoSpeed-technologie wordt sinds 2016 ook toegepast aan het balhoofd van de fiets om ook schokken ter hoogte van de handen nog beter op te vangen. Nóg beter, want de Domane maakte reeds gebruik van een extra gekromde voorvork die werd toegelicht in het vorige topic. De fiets heeft ook al zijn strepen verdiend op vlak van comfort/prestatie en is daarom misschien wel benchmark nummer één.

ERGON CF3

ZADELPEN

KROMMING



Ergon maakt ergonomische fiets componenten, zo is er de flexibele zadelpen die splits ter hoogte van de zadelbuis en daardoor makkelijker kan buigen. Het grote verschil met andere verende zadelpenen is dat de zadelpen niet verticaal inverteert, maar in een andere richting beweegt, in dit geval naar achter kantelt. Ergon beweert dat schokken hierdoor veel efficiënter worden opgevangen. Gebruikerstesten leren ons dat het bewegende zadel vaak als storend wordt ervaren.

BMC SOFT TAIL



ACHTERVORK

ELASTOMEER

Bij mountainbike fietsen kunnen grofweg 2 soorten fietsen worden onderscheiden, de hardtails die enkel gebruik maken van een verende voorvork en de full-suspension mtb's die ook vering achteraan hebben. Het grote nadeel van de laatste categorie is het extra gewicht die de achtervering met zich meebrengt, de rij-eigenschappen op ruig terrein zijn daarentegen wel beter. BMC heeft sinds kort een 'soft tail' mtb op de markt, dit is een hardtail waarbij ter hoogte van de achtervork een elastomeer zit ingewerkt om op die manier ook schokken achteraan op te vangen. Het elastomeer is verkrijgbaar in 3 varianten. Een gelijkaardige technologie wordt ook al toegast in racefietsen zoals bij de Dogma K8-S van Pinarello het geval is.

CANYON



VOOR- EN ACHTERVORK

COMBINATIE BLADVEREN EN MAGNETISCH GESTUURDE DEMPERS

Canyon heeft een nieuw concept klaar van een arofiets die fietsritten ook nog eens comfortabeler moet maken. Het project maakt gebruik van een zogeheten MRSC (Magneto-Rheological Suspension Control) technologie. Schokken worden opgevangen door bladveren die voor 15 mm verticale bewegingsvrijheid zorgen. De damping gebeurt net zoals in verende voorvorken met olie die door kleine gaatjes wordt gestuwd. In de olie zitten echter magnetische partikels die door elektrische signalen gestuurd kunnen worden, hierdoor kan de viscositeit van de olie en dus de dempingskarakteristieken, gewijzigd worden. De fiets is nog toekomstmuziek, maar canyon heeft wel reeds een proof of concept model klaar dat momenteel wordt getest.

ERW



BANDEN

RUBBERSTRUCTUUR

Een volledig ander systeem betreft deze band die uit een zachte rubberstructuur bestaat. Het grote voordeel hiervan is dat er geen binnenband meer nodig is en lekrijden dus uitgesloten wordt. Er zijn voorlopig enkel mountainbikebanden verkrijgbaar die ervoor moeten zorgen dat vering in mtb's overbodig wordt, het principe kan dus ook dienen om schokken op te vangen.

LAUF TRAIL RACER



VOORVORK

BLADVEREN

De grootste vernieuwing van de laatste jaren op het vlak van verende mountainbike voorvorken, kwam er met deze Lauf vorken. Ze maken gebruik van een heel ander principe om schokken op te vangen dan de hedendaagse luchtgeveerde vorken. Door composiet bladveren te gebruiken kon het gewicht drastisch gereduceerd worden, dit is dan ook hun belangrijkste verkoopargument. Ze vangen kleinere klappen goed op, het systeem is wel niet te 'locken' en de bladveren zorgen voor een deïndend effect dat dikwijls als storend wordt ervaren.

LEFTY OLIVER



VOORVORK

LUCHTGEVEERD

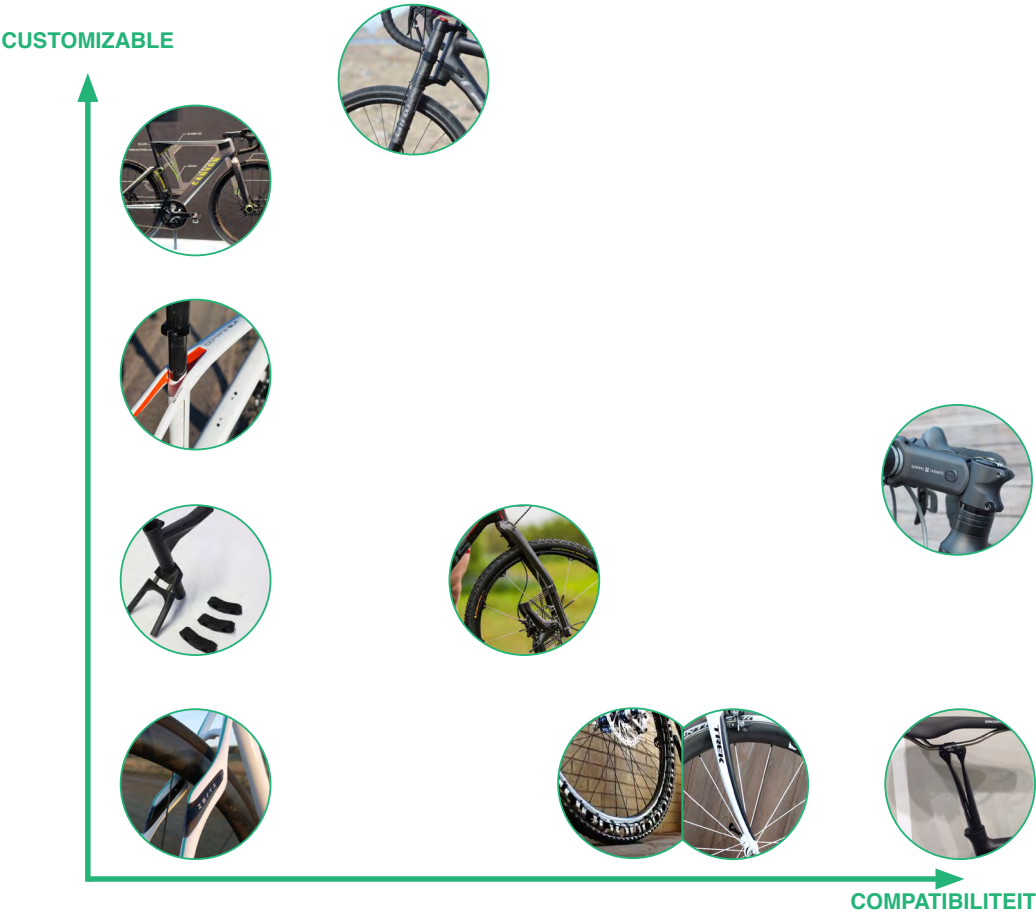
Als laatste wordt een luchtgeveerde voorvork besproken. Deze vork onderscheidt zich van mtb vorken omdat ze is ontworpen voor gebruik op gravel en ander minder extreem terrein. Dit betekent dat de veerweg veel kleiner is (3 cm) en dat het gewicht van de voorvork veel lager is dan van een klassieke mtb voorvork, dit neemt niet weg dat ze nog steeds veel meer weegt dan een race voorvork. Ze is ideaal om kleine oneffenheden uit het wegdek te filteren, de rij-eigenschappen zijn uitstekend door de fijne instelmogelijkheden van de voorvork.

VOORSTELLING CONCURRENTEN OP ASSEN

CUSTOMIZABLE: de mogelijkheid om het systeem aan te passen aan de noden van de gebruiker. Zijn verschillende hardheden beschikbaar naargelang het gewicht van de fietser? Kan de vering optimaal ingesteld worden voor verschillend terrein? Of is het één systeem dat niet is aan te passen. Andere gelijkaardige termen voor customizable zijn: instelbaarheid, aanpasbaarheid.

COMPATIBILITEIT: de mogelijkheid om de component te verwisselen en op een andere fiets te monteren. Past het onderdeel op een standaard fiets? Of past het systeem enkel in een daarvoor ontworpen fiets? Is het mogelijk om een bestaande fiets met het systeem te upgraden? Stuurpenningen en zadelpennen kunnen zonder problemen overgezet worden, verwisselen van een voorvork levert meestal meer problemen op.

Merk op dat de assen niet zijn geijkt daar de positie afhangt van subjectieve scores die aan de benchmarks werden toegekend.



figuur 3.2 customizable vs compatibiliteit

GEWICHT: Hoeveel bedraagt de gewichtstoename als gevolg van het dempend systeem? Met andere woorden, welk extra gewicht brengt een verende voorvork of stuurpen met zich mee? Deze worden telkens vergeleken met hun niet verende tegenhanger, in dit geval een vaste voorvork en gewone stuurpen. Opmerking: Hoe lager de gewichtstoename, hoe hoger op de as.

COMFORT: Verende stuurpenningen dempen enkel trillingen ter hoogte van de handen, verende zadelpennen zorgen voor een vermindering van de full-body trillingen en systemen in zowel voor- als achterschok dempen trillingen voor zowel het lichaam als handen. Links op de as komen dus de benchmarks die enkel vooraan in de fiets dempen, in het midden van de as benchmarks die enkel achteraan dempen en helemaal rechts benchmarks die dienst doen als full-suspension systeem. De veergweg van de systemen heeft geen invloed op de plaats in de grafiek.

ERGONOMIE(FIETSPOSITIE): Zorgt het verende systeem voor een veranderende fietspositie tijdens het fietsen? De fietspositie wordt bepaald door de handen, voeten en het zitvlak.



figuur 3.3 gewicht vs comofrt

CONCLUSIE CONCURRENTEN

In de grafieken werden de 10 voornaamste benchmarks geplot op basis van 5 belangrijke criteria, dit zijn customizable, compatibiliteit, gewicht, comfort en ergonomie. Ze laten ons toe te vergelijken en tonen duidelijk de sterktes en zwaktes van de concurrenten.

De meest compatibele systemen zijn zadel- en stuurpennen, deze kunnen op nagenoeg elke racefiets geïnstalleerd worden. Ze zorgen wel voor een wijziging van de fietspositie doordat ze invloed hebben op de positie van de handen en het zitvlak. De stuur- en zadelpen zijn lichte componenten, maar nemen enkel trillingen weg ter hoogte van de handen of het zitvlak.

De voorvorken zijn slechts beperkt compatibel met andere fietsen, daar o.a. de lengte van de voorvork de geometrie van de fiets kan wijzigen. Verende voorvorken kunnen zeer fijn ingesteld worden, maar zorgen niet voor full-body trillingsdamping.

Systemen die zorgen voor full-body damping zijn vaak geïntegreerd in één specifieke fiets van een fietsconstructeur. Ze bieden meestal de beste rij-eigenschappen, maar kunnen onmogelijk overgezet worden op een andere fiets.

De ERW banden zorgen voor een full-suspension systeem én zijn compatibel met de meeste fietsen, maar scoren dan weer slecht naar gewicht toe. De grote gewichtstoename is niet gewenst bij een racefiets. In dit onderzoek wordt gezocht naar een systeem dat zorgt voor full-body trillingsdamping, dat compatibel is met een standaard racefiets en slechts een geringe gewichtstoename met zich meebrengt. Het systeem moet beperkt aanpasbaar zijn aan de gebruiker en best de fietspositie niet beïnvloedt.

4. IDEEGENERATIE

EISEN EN WENSEN

Op basis van de opdrachtstelling en het marktonderzoek werd een ruim eisen en wensen pakket opgesteld. Het eisen en wensen pakket bestaat uit een aantal criteria waaraan het uiteindelijke concept best voldoet om zich te onderscheiden van de voornaamste benchmarks. De grafieken met de situering van de benchmarks tonen aan waar concurrenten goed en slecht in scoren.

Goed werkende systemen zijn vaak niet compatibel met andere fietsen en andere systemen zijn dan weer niet aanpasbaar aan de gebruiker, dit maakt dat geen enkele benchmark volledig voldoet aan de eisen en wensen van dit onderzoek. In dit hoofdstuk worden concepten bedacht en beoordeeld op basis van deze criteria.

CRITERIA	UITLEG
EISEN	
VEILIGHEID STUURGEDRAG REMGEDRAG	Het spreekt voor zich dat het stuurgedrag van de fiets niet mag lijden onder deze aanpassing aan de fiets. Het systeem mag het remgedrag van de fiets niet nadelig beïnvloeden en moet het gebruik van velg- en/of schijfremmen mogelijk maken.
COMFORT	Full-body vibraties vermoeien het menselijk lichaam het meest, systemen die helpen deze trillingen dempen hebben dus een streepje voor. Een systeem dat zowel vooraan als achteraan in de fiets geïntegreerd kan worden zal dus helpen om full-body trillingen te dempen. Indien dit het geval is, dan komt dit het comfort van de volledige fiets ten goede.
MULTI-INZETBAARHEID ENERGIE-EFFICIËNTIE	Een fiets die uitgerust wordt met het schokabsorberende systeem moet nog steeds gebruikt kunnen worden op alle terreinen. Het mag dan wel bedoeld zijn voor gebruik op oneffen wegen, de racefiets moet even efficiënt zijn op mooie asfaltwegen en bij beklimmingen tijdens fietsvakanties. Dit betekent dat het rendementsverlies van het dempingssysteem beperkt moet worden.

• GEWICHT • CUSTOMIZABLE	Om het sportieve karakter van de racefiets te behouden is het belangrijk om de gewichtstoename zo beperkt mogelijk te houden. De mogelijkheid om het systeem aan te passen aan de noden van de gebruiker. Vering die kan ingesteld worden naar gelang het terrein of een systeem dat kan aangepast worden aan het gewicht van de gebruiker, bijvoorbeeld door het verwisselen van elastomeren.
COMPATIBILITEIT	Met compatibiliteit wordt bedoeld dat het gemonteerd moet kunnen worden op een standaard racefiets. Een bestaande racefiets moet ge-upgrade kunnen worden met het systeem.
WENSEN	
ERGONOMIE (FIETSPOSITIE)	De fietspositie wordt in de regel bepaald door 3 raakpunten tussen fietser en fiets, dit zijn de handen, de voeten en het zitvlak. De onderlinge afstand blijft best gelijk om de fietspositie niet te wijzigen voor ergonomische redenen. Systemen die hier geen invloed op hebben, krijgen dus de voorkeur.
VERWISSELBAARHEID	De verwisselbaarheid van componenten is deels gelinkt aan de compatibiliteit, maar twee compatibele onderdelen kunnen nog steeds verschillen in gemak van installatie. Om een voorbeeld te geven, een voorvork en wielen kunnen beiden compatibel zijn met een racefiets, maar het wisselen van wielen gaat wel een stuk vlotter en kan regelmatig gebeuren. Het wisselen van de voorvork daarentegen is lastiger en wordt best zo veel mogelijk vermeden. OPMERKING: het belang van de verwisselbaarheid wordt in grote mate bepaald door de multi-inzetbaarheid van het systeem. Indien het systeem effectief gebruikt kan worden op alle terreinen zonder nadelig effect, dan is de verwisselbaarheid van het onderdeel minder belangrijk. Een compatibel systeem dat éénmaal wordt geïnstalleerd is dan voldoende.

TOEKOMSTGERICHTHEID	Het ontwerp moet inspelen op innovaties aan de fiets om ook in de toekomst levensvatbaar te blijven. Hierbij wordt o.a. gedacht aan montage van schijfremmen, het gebruik van steekassen, integratie van van kabels, elektronische groepen, enz.
DUURZAAMHEID	Het systeem moet op zijn minst dezelfde levensduur hebben als de andere componenten van de fiets.

CONCEPTGENERATIE

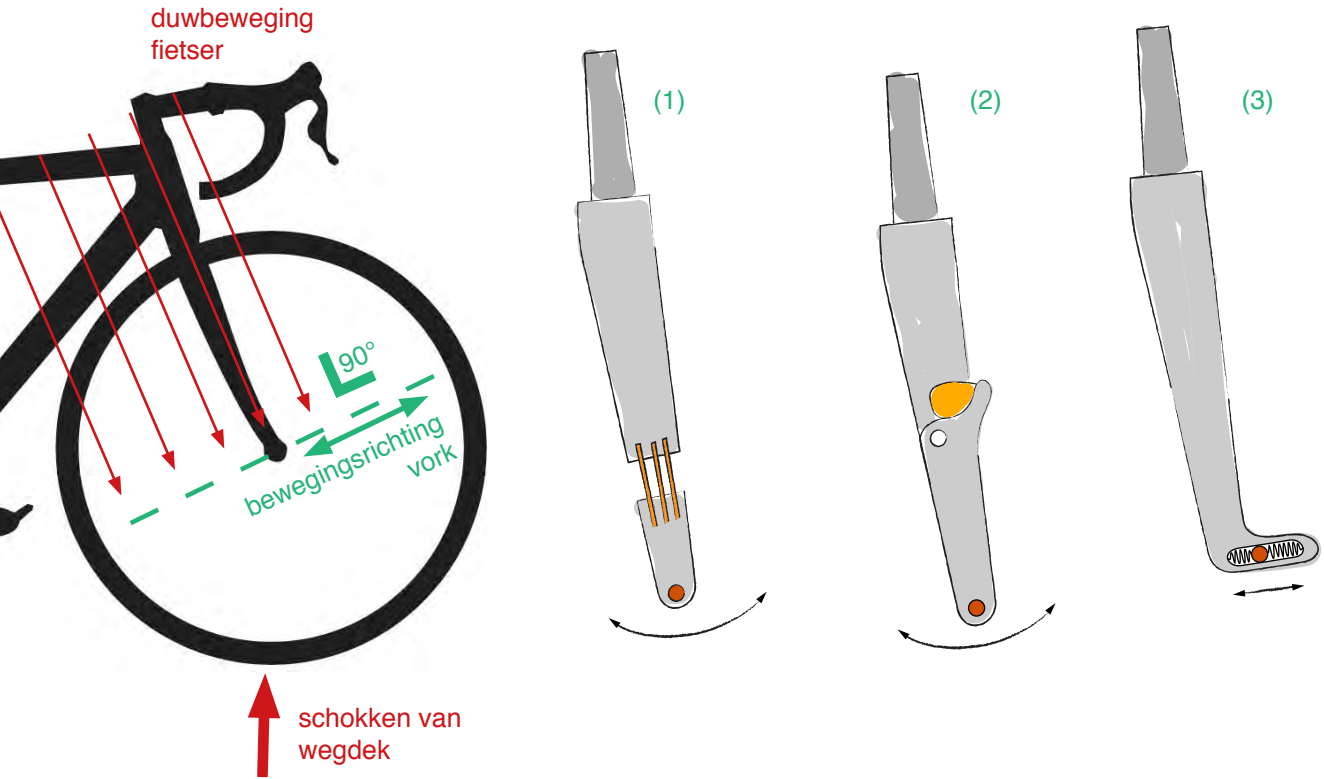
Er werden concepten bedacht voor de voorvork, balhoofd, wielen en de stuurpen. Er werden een 30-tal concepten uitgewerkt, al deze ontwerpen werden beoordeeld op basis van de criteria waarvan de belangrijkste werden beschreven bij ‘eisen en wensen’. De volledige keuzematrix

kan in bijlage teruggevonden worden. Hieronder worden de voornaamste ideeën kort geschetst. Het idee achter de concepten wordt telkens duidelijk gemaakt met figuren en illustraties en er wordt een kort overzicht gegeven van de belangrijkste pro’s en contra’s van het concept.

CONCEPT 1 VOORVORK

Het idee achter al deze ontwerpen is dat ze een energie-efficiënt vering mechanisme moeten opleveren. Dit betekent dat de vork moet veren bij schokken afkomstig van het wegdek, maar stijf moet blijven wanneer de fietser kracht op de pedalen uitoefent of op het stuur duwt. Als de vork veert als gevolg van de duwbeweging, dan pompt de fietser energie in het systeem, dit moet vermeden worden. Het principe is duidelijk in figuur 4.1 bij concept 3, de bewegingsrichting van

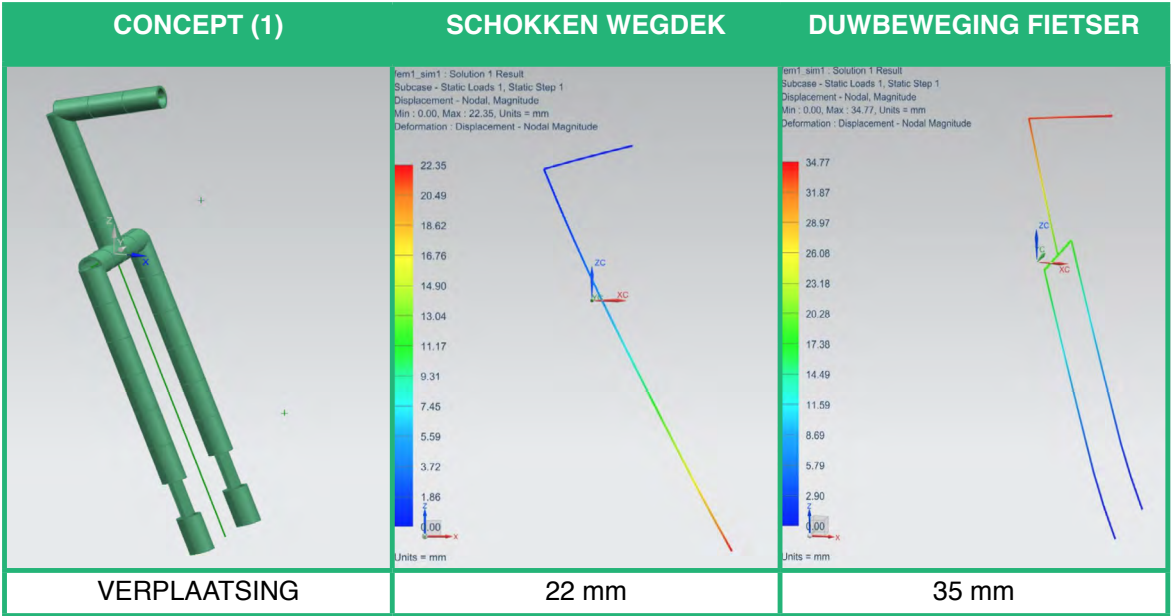
het wiel staat haaks op de duwbeweging van de fietser, hierdoor kan deze niet ingedrukt worden door de fietser zelf. Bij een schok van onderaf kan het wiel wel wegveren, daar de bewegingsrichting van het wiel in een verticale en horizontale component kan ontbonden worden. De verticale bewegingsvrijheid maakt het dus mogelijk schokken van het wegdek op te vangen. Concept 1 en 2 zijn ook op dit principe gebaseerd, maar benaderen de haakse bewegingsrichting



figuur 4.1 concept 1

van het wiel door een rotatiebeweging in de vork. Deze principes kunnen enkel optimaal werken wanneer de duwbeweging van de fietser -de krachtoefening op de pedalen en duwen op het stuur- haaks staat op de bewegingsrichting van het wiel. Deze duwbeweging is echter niet exact gekend en zal ook voortdurend variëren wanneer er wordt gesprint, rechtstaand geklom-

men of gefietst in het zadel. Voor de verschillende fietsposities zal steeds een toegeving gedaan moeten worden op het vlak van energie-efficiëntie. Het principe werd vrij eenvoudig voorgesteld in CAD en getest met CAE-software. Voor deze berekeningen werd enkel de duwbeweging van de handen van de fietser in beschouwing genomen.



Uit de resultaten bleek dat de verplaatsing van het uiteinde van de vork groter was bij de duwbeweging van de fietser dan bij een impact van onderaf. Dit resultaat is uiteraard niet gewenst. Door het feit dat de richting van de duwbeweging niet door het rotatiepunt in de vork loopt wordt een moment gecreëerd waardoor de bladveren

kunnen buigen. De trapbeweging kan wel voor een tegenwerkend moment zorgen waardoor het concept toch werkend is te krijgen, hieromtrent zijn echter veel onduidelijkheden. Het idee biedt mogelijkheden, maar vergt nog verdere uitwerking.

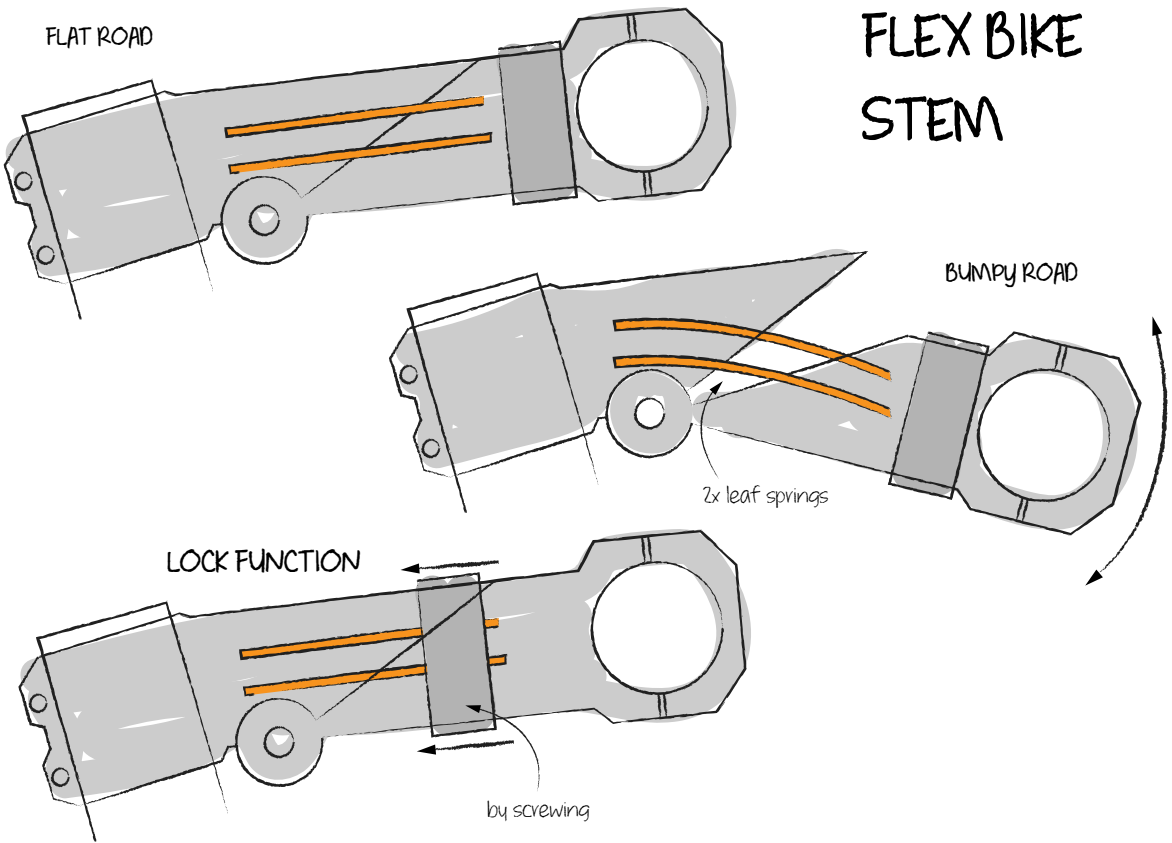
PRO'S EN CONTRA'S CONCEPT

- + energie-efficiëntie (maar veel vraagtekens omtrent werking)
- +/- compatibiliteit
- comfort (enkel demping in voorvork)
- remgedrag (gebruik van velgremmen?)

CONCEPT 2 STUURPEN

Dit concept betreft een stuurpen waarin bladveren verwerkt zitten. Bij schokken buigen de bladveren en kantelt de stuurpen naar beneden. Het veermechanisme bestaat uit 2 bladveren waardoor de buigingskracht progressief toeneemt, dit helpt om klappen egaler op te vangen. Bovendien kan hierdoor de veerstijfheid laag worden gehouden terwijl de maximale uitwijking toch minder snel wordt bereikt. De parallelle bladveren zorgen er ook voor dat de stuurpen sneller naar zijn oorspronkelijke positie terugkeert, bij een uitvoering met een enkele bladveer zou er een deinend systeem ontstaan, dit betekent dat de stuurpen na de schok nog een eind op en neer zou blijven trillen. Wanneer de fietser een duwkracht uitoefent op het stuur, zal de stuurpen

ook naar beneden kantelen. De fietser duwt dan zijn energie in een systeem die hem niet sneller doet rijden, dit energieverlies moet daarom worden vermeden. De stuurpen is voorzien van een ring die door middel van schroefdraad over rotatie snijlijn kan worden geschroefd, hierdoor is de fietser in staat om de stuurpen te 'locken' tijdens het fietsen. Op die manier kan de fietser zelf kiezen wanneer hij de extra vering wenst. Wanneer hij bijvoorbeeld op een kasseistrook komt, zet hij de vering open om die nadien te locken wanneer hij terug op het asfalt terechtkomt. Switchen tussen open en gesloten mag normaal gezien geen probleem vormen, de stuurpen is een makkelijk te bereiken plaats voor de handen van de fietser. Het sluitingsmechanisme kan misschien zo



figuur 4.2 concept 2

ontworpen worden dat de fietser zijn handen op het stuur kan houden, terwijl hij met zijn duim de nodige handelingen verricht. Wanneer wordt gekozen voor een verende stuurpen, moet er wel rekening mee gehouden worden dat de fietspositie hierdoor constant ver-

anderd tijdens het fietsen. De fietspositie wordt bepaald door de 3 raakpunten van de fietser en fiets, dit zijn:
1. de handen op het stuur,
2. het zitvlak op het zadel,
3. de voeten op de pedalen



figuur 4.3 fietspositie

In dit geval wijzigt de positie van handen/stuur (2) ten opzichte van de andere raakpunten. In hoeverre deze fietspositie zal wijzigen hangt af van de maximale uitwijking van de stuurpen. Of

dit gevolgen heeft voor de fietsprestatie moet getest worden, het is uiteraard ook mogelijk dat een kleine uitwijking geen nadelig effect heeft.

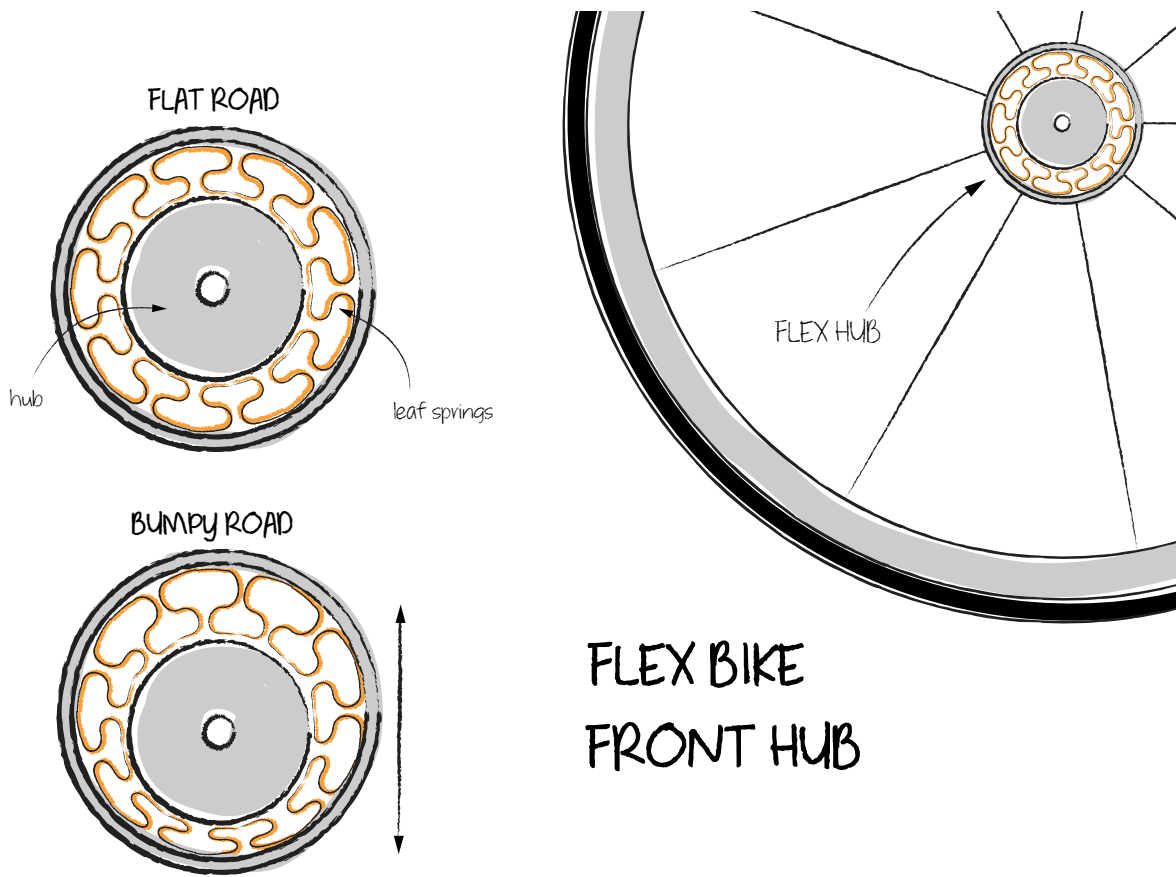
PRO'S EN CONTRA'S CONCEPT

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none">+ compatibiliteit+ lichtgewicht+ customizable (stuurpen binnen handbereik)+ mogelijkheid tot 'locken' mechanisme (energie-efficiëntie) | <ul style="list-style-type: none">- veranderende fietspositie (ergonomie)- enkel trillingen opvangen ter hoogte van de handen |
|---|--|

CONCEPT 3 FLEXIBELE WIELNAAF

Bij dit concept betreft het een aanpassing van het wiel van de fiets, meer bepaald de wielnaaf van de fiets wordt flexibel uitgevoerd. In plaats van de spaken rechtstreeks op de naaf te bevestigen, zit rond de originele naaf een extra buitenring (flens) waarop de spaken zijn bevestigd. Tussen de wielnaaf en deze flens zit een structuur van bladveren die enige bewegingsvrijheid

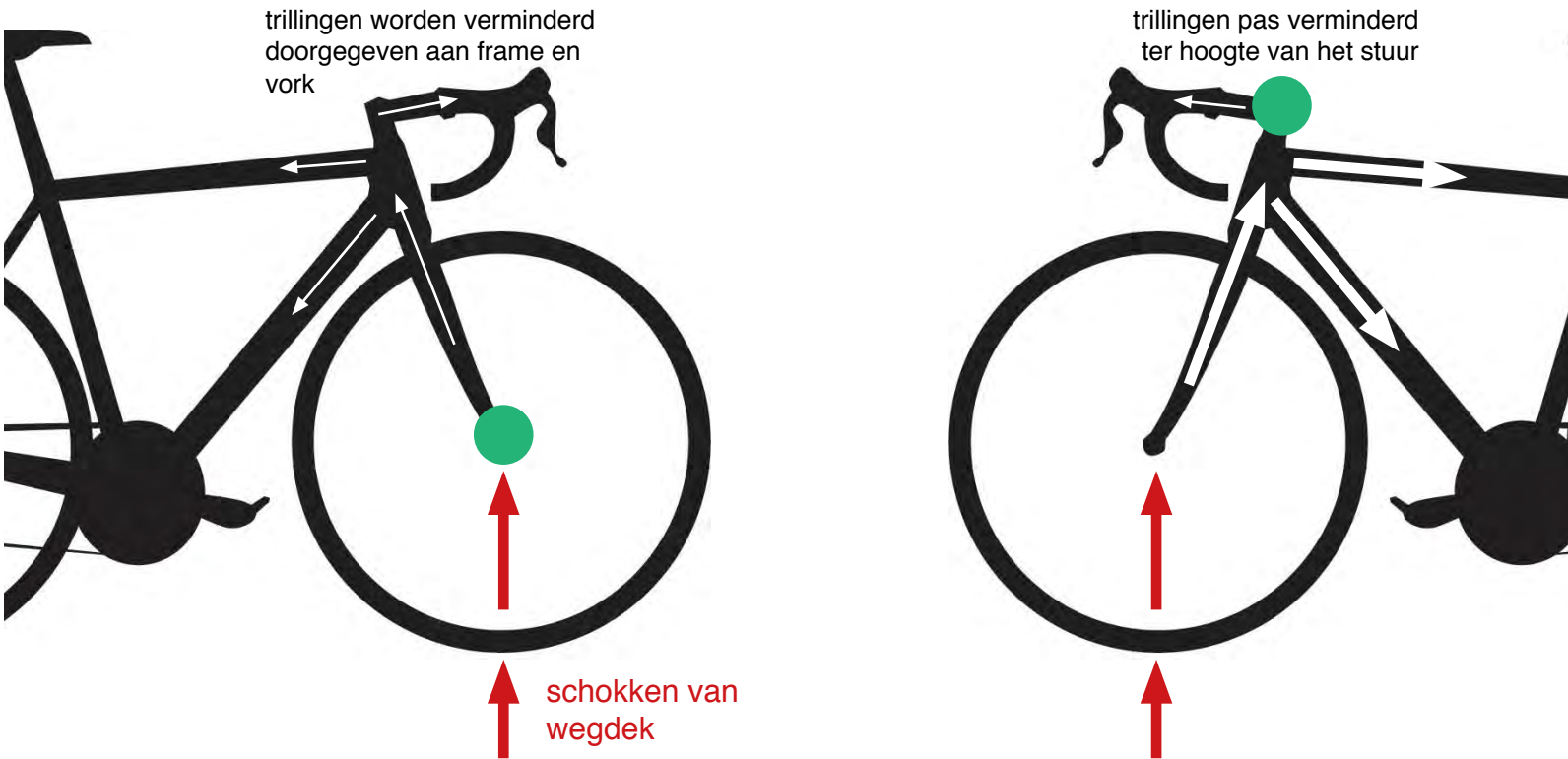
mogelijk maakt, hierdoor kan de velg bewegen ten opzichte van de wielnaaf waardoor schokken en trillingen opgevangen worden. Dit leidt zo mogelijk ook tot beter grondcontact tussen het voorwiel en de grond, het wiel blijft als het ware 'plakken' aan het oneffen wegdek waardoor de grip wordt verhoogd.



figuur 4.4 concept 3

Een ander voordeel aan dit concept is dat schokken vroegtijdig worden opgevangen, de schokken afkomstig van het wegdek worden achtereenvolgens via de band, velg en spaken doorgegeven aan de as van het wiel waar ze reeds gedempt worden alvorens ze het frame 'bereiken'. Trillingen die doorheen het frame naar de achterstevan van de fiets doorgegeven worden, kunnen hierdoor vroegtijdig opgevangen worden. Het systeem dempt dus niet enkel

trillingen ter hoogte van de handen, maar heeft naar alle waarschijnlijkheid ook een positief effect op trillingen ter hoogte van het zitvlak. Bovendien heeft een fiets twee wielen en dus ook twee wielnaven, dit betekent dat het misschien mogelijk is om hetzelfde systeem te integreren in het achterwiel. In dit geval betreft het een full-suspension systeem dat ook schokken en trillingen achteraan kan opvangen.



figuur 4.5 verschil trillingsdemping in wielnaaf en stuurpen

PRO'S EN CONTRA'S CONCEPT

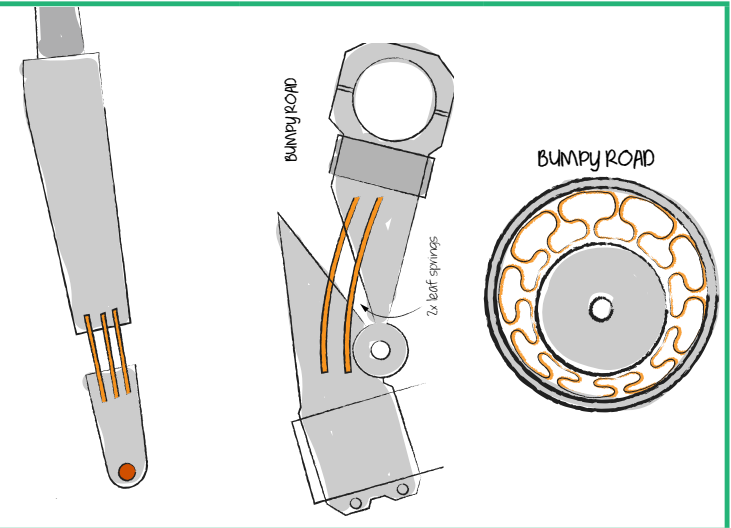
- + mogelijk vrij licht
- + compatibiliteit
- + extra grip
- + vroegtijdig opvangen schokken
- + ook in achterwiel mogelijk

- invloed op stuur- en remgedrag?

IDEESELECTIE

De 3 concepten werden beoordeeld op de criteria uit het eisen en wensen pakket. Op basis van deze tabel werd beslist om verder te werken op concept 3, de flexibele wielnaaf. Het idee heeft het meeste potentieel heeft en scoort bovendien op geen enkel criteria negatief.

GROEN = VOLDOET
ORANJE = VOORLOPIG ONDUIDELIJK
ROOD = VORMT EEN PROBLEEM

CRITERIA			
	CONCEPT 1	CONCEPT 2	CONCEPT 3
STUURGEDRAG	ORANJE	GROEN	ORANJE
REMGEDRAG	ROOD	GROEN	ORANJE
COMFORT	ROOD	ROOD	GROEN
ENERGIE-EFFICIËNTIE	ORANJE	ROOD	ORANJE
GEWICHT	GROEN	GROEN	GROEN
CUSTOMIZABLE	ORANJE	GROEN	ORANJE
COMPATIBILITEIT	GROEN	GROEN	GROEN
FIETSPOSITIE	GROEN	ROOD	GROEN
VERWISSELBAARHEID	ORANJE	ORANJE	GROEN

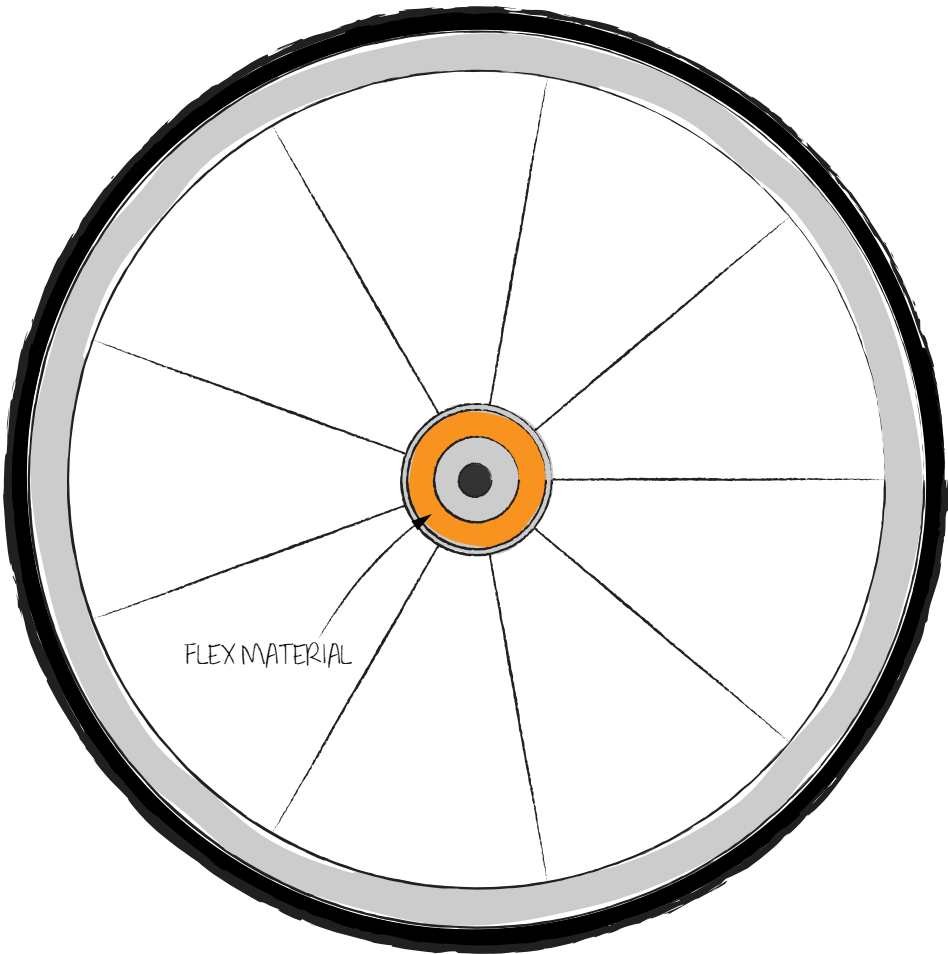
CONCEPT ITERATIE

Doorheen de verdere uitwerking van concept 3 werden verschillende iteraties gemaakt om het idee te verbeteren. Het concept werd in een latere fase ook geprototypet en getest, hieruit kwamen zaken naar boven die leidden tot een herontwerp of aanpassing van het concept. In dit hoofdstuk worden de voornaamste iteraties die werden gemaakt kort geschetst.

ELASTOMEREN VS BLADVEREN

Op concept 3 werden verschillende iteraties gemaakt, aanpassingen aan het ontwerp die mogelijk voor verbetering zorgen. Eén idee bestond erin om in de plaats van bladveren, een elastomeer te gebruiken. Een elastomeer is een polymeer met rubberachtige eigenschappen. Het is een elastisch materiaal dat na indrukking terugkeert naar zijn oorspronkelijke vorm.

meer te gebruiken. Een elastomeer is een polymeer met rubberachtige eigenschappen. Het is een elastisch materiaal dat na indrukking terugkeert naar zijn oorspronkelijke vorm.



figuur 4.6 iteratie op concept 3, gebruik van elastomeren in plaats van bladveren

De voordelen van het gebruik van elastomeren tegenover bladveren lijken overduidelijk waardoor dan ook beslist werd om verder te werken op dit idee. Vooral het feit dat dit onderzoek focust op het uitdempen van trillingen, maakt de grotere veerweg die met bladveren mogelijk is, overbodig. De beperkte levensduur van de rubbers wordt gecompenseerd door het feit dat ze

eenvoudig te verwisselen zijn en dat dit bovendien niet veel hoeft te kosten. Elastomeren worden al vaak toegepast in trillingsdempende toepassingen. Denk hierbij aan grote motoren die op zachte rubbers worden geplaatst om het meetrillen van de werkvloer te vermijden. Elastomeren bestaan er in alle mogelijke hardheden.

BLADVEREN	ELASTOMEREN
COMPOSITET - DUUR	RUBBER - GOEDKOOP
STIJFHEID AANPASBAAR DOOR OPSPANNEN VEER	STIJFHEID AANPASBAAR DOOR ANDERE HARDHEDEN TE GEBRUIKEN
LICHT	LICHT
DEINEND EFFECT	ZELF DEMPEND
GROTE VEERWEG - SCHOKKEN	KLEINE INDRUKKING - TRILLINGEN
DUURZAAM	BEPERKTE LEVENSDUUR
COMPLEXE PRODUCTIE	EENVOUDIGE PRODUCTIE

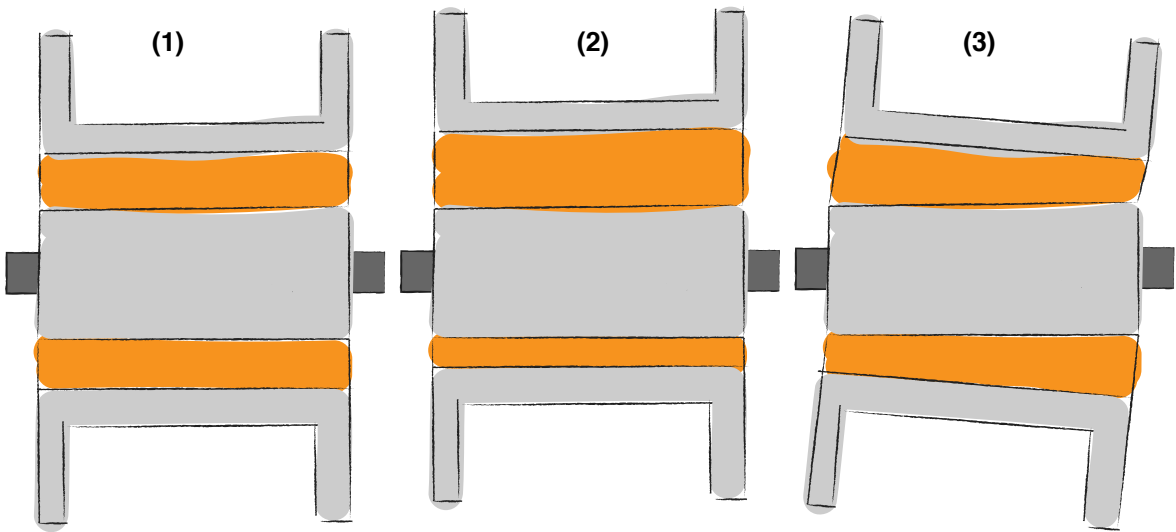
ZIJDELINGSE STIJFHEID WIEL

De volgende exploratie kwam er na testfase 1 (zie hoofdstuk 'testen') waaruit bleek dat het prototype onvoldoende zijdelingse stijfheid had om goed mee te kunnen fietsen. Op de onderstaande figuur wordt het probleem geschetst. Het wiel mag enkel verticaal kunnen bewegen, dit betekent dat het wiel in het groene vlak moet blijven. De velg mag niet zijdelings kunnen uitwijken zoals bij het rode en blauwe vlak het geval is.



figuur 4.7 het wiel moet te allen tijde in het groene vlak blijven

In figuur 4.8 is een doorsnede van het prototype van de naaf te zien. Op de eerste figuur wordt het elastomeer niet belast en is de naaf in 'rust-toestand'. Bij schokken van onderaf wordt het elastomeer ingedrukt en beweegt de flens naar boven zoals op de 2de figuur is te zien, dit is de enige richting waarin het elastomeer mag vervormen. Op de 3de figuur is echter te zien dat het elastomeer ook scheef kan vervormd worden, het wiel kan hierdoor zijdelings uitslaan (rode en blauwe vlak).

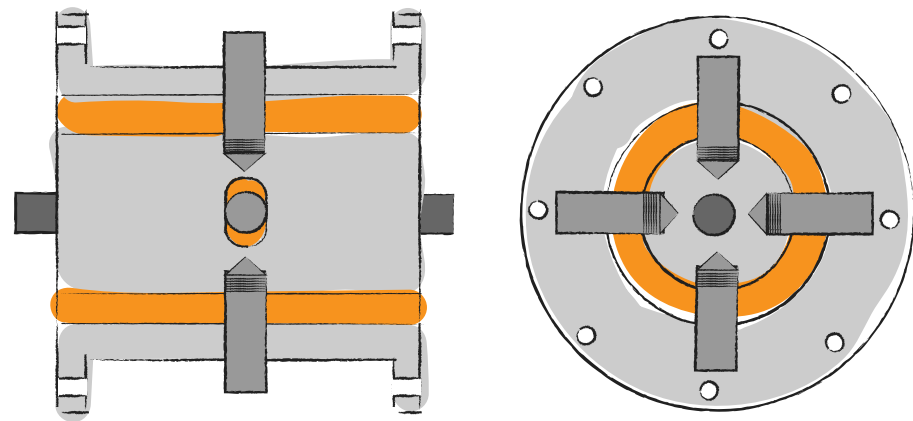


figuur 4.8 er mag enkel verticale bewegingsvrijheid zijn (2), een kanteling van de flens is niet gewenst (3)

De oorzaak ligt hem in de uitvoering van het prototype. Elastomeren zijn isotrope materialen die in alle richtingen even makkelijk vervormen, in dit geval betekent dit dat ze ook beweging toelaten in de richting waarin dit niet is gewenst. Het prototype moet zodanig ontworpen zijn zodat het elastomeer enkel in de juiste richting wordt belast (zie virtuele vlak doorheen het wiel in figuur 4.7) en waarbij de zijdelingse stijfheid reeds gegaran-

deerd wordt in de rest van het ontwerp. Het komt er dus op aan om vrijheidsgraden weg te nemen daar waar nodig. Om een voorbeeld te geven, de wijzers van een klok zijn enkel in staat om rond hun as te roteren en zijn verder 'vastgezet' in hun vrijheid. De vorkpoten van een verende voorvork kunnen maar in één richting bewegen door het gebruik van een zuigersysteem.

3.1 PEN-SLEUF SYSTEEM

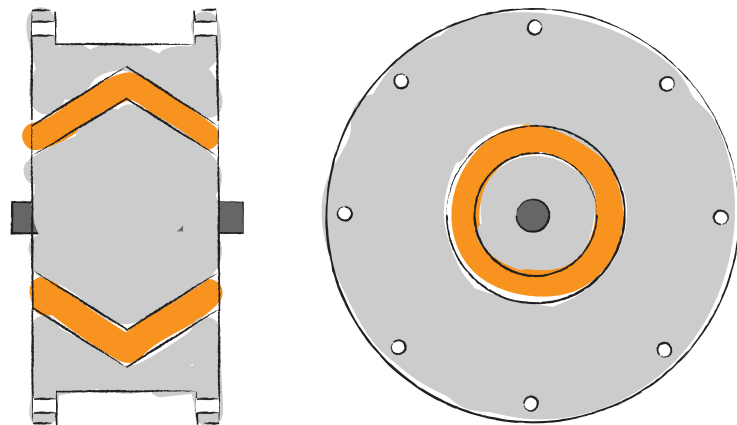


figuur 4.9 doorsnede en zijaanzicht naaf

Dit systeem maakt gebruik van een pen-sleuf systeem. De flens is voorzien van sleuven waardoor een pen wordt gestoken die is vastgeschroefd in de naaf. De pen heeft dezelfde breedte van de sleuf waardoor de naaf niet langer zijdelings kan kantelen. Het is belangrijk dat sleuven gebruikt worden en geen gaten, want anders valt de trillingsdempende eigenschap

van het wiel natuurlijk weg, nu kan de naaf nog steeds verticaal bewegen t.o.v. de flens. Verwisselen van elastomeer blijft mogelijk door het in- en uitdraaien van de pennen, de rubbers moeten wel voorzien worden van gaten. Het schuiven van de pennen in de sleuven is wel gevoelig aan slijtage, de duurzaamheid van dit systeem is daarom een vraagteken.

3.2 ZELF-CENTRERENDE NAAF

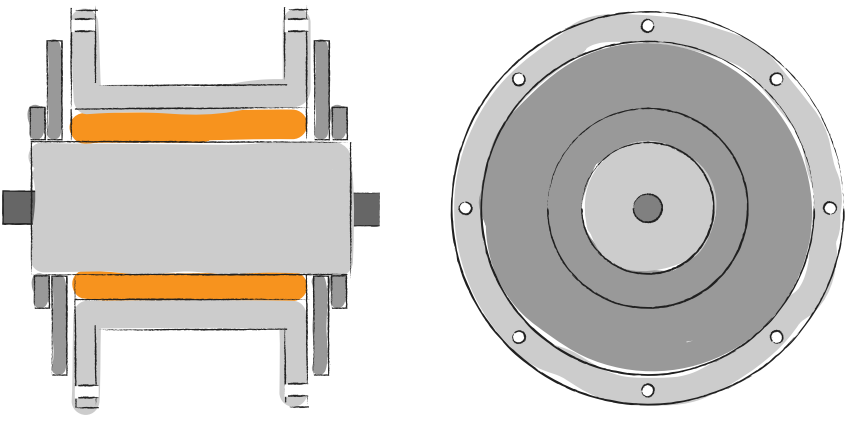


figuur 4.10 doorsnede en zijaanzicht naaf

Door zowel flens en naaf in een puntvorm uit te voeren, krijgen deze de neiging om elkaar op te zoeken en dus zichzelf te centreren. Er is geen extra wrijving en geen verhoogde slijtage. De zijdelingse stijfheid is afhankelijk van de dikte van

het elastomeer en de hellingshoek van de punt, hoe scherper de hoek, hoe beter de naaf zich zal centreren. Met dit systeem zal wel altijd enige zijdelingse uitwijking mogelijk zijn.

3.3 WIELDOPPEN (GEKOZEN CONCEPT)

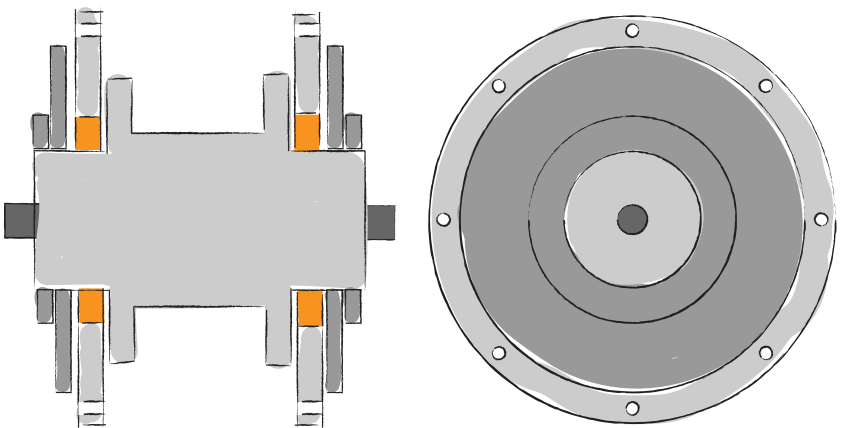


figuur 4.11 doorsnede en zijaanzicht naaf

Aan weerszijden van de naaf worden wioldoppen geschroefd die een kanteling van de flens voorkomen. De flens kan nog steeds verticaal bewegen, maar de zijdelingse rotatiebeweging wordt geblokkeerd. Een wioldop wordt telkens voorzien van een borgmoer om te voorkomen dat de

wioldop begint te verdraaien. Tijdens het veren is er wel een constante wrijving tussen de flens en de wioldoppen, dit verlaagt de gevoeligheid voor trillingen en zorgt voor slijtage aan de onderdelen. De wrijving kan mogelijk voorkomen worden door het gebruik van kogellagers.

3.3 LOSSE FLENZEN



figuur 4.12 doorsnede en zijaanzicht naaf

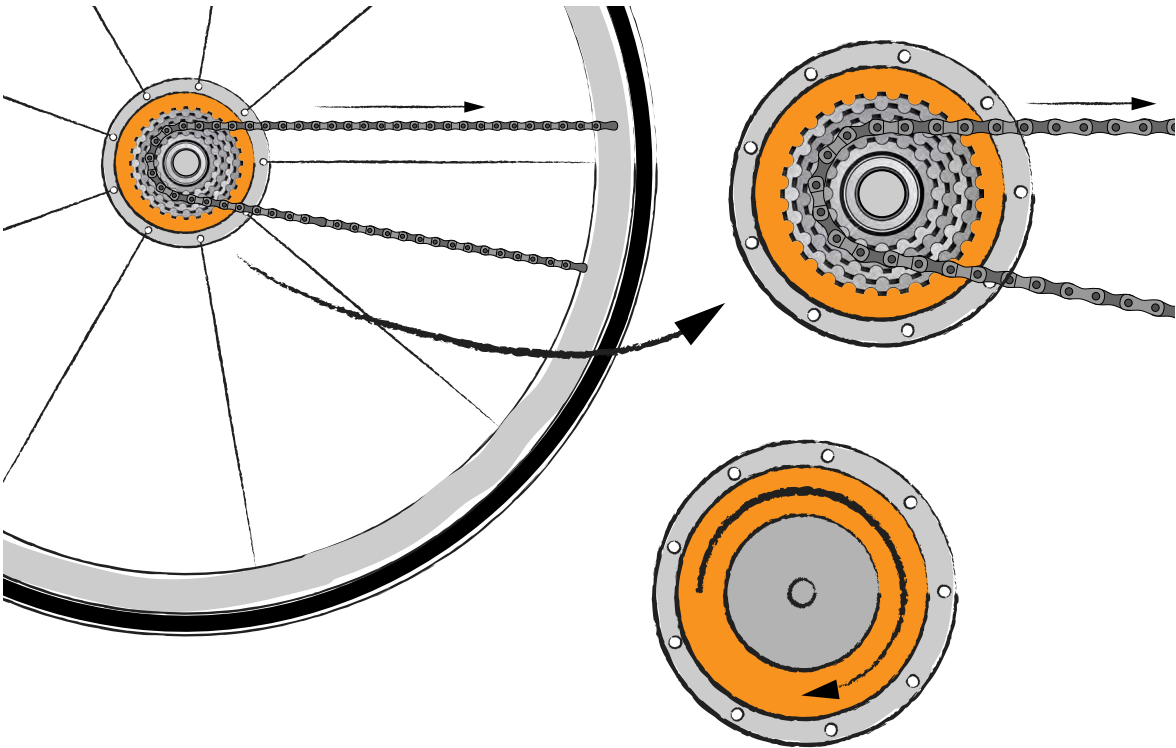
Het volgende idee is een variatie op het vorige idee met de wioldoppen. Het verschilt erin dat de randen of ringen met de spaakgaten niet langer verbonden zijn met elkaar, hierdoor kan veel materiaal worden bespaard op de flens wat een lichter geheel oplevert. Langs de binnenkant van de ring met spaakgaten is dan een aanslag nodig om de ringen op hun plaats te houden. Het

elastomeer is ook niet langer doorlopend, maar bestaat uit twee smallere exemplaren die onder de ring worden geschoven. Doordat de spaakgaten links en rechts niet langer verbonden zijn, kunnen deze ten opzichte van elkaar bewegen. Dit kan mogelijk wel zorgen voor variërende spanningen op de spaken wat kan leiden tot wielbreuk.

KRACHTOVERBRENGING ACHTERWIEL

In navolging op het vorige concept, werd nagegaan of het mogelijk is hetzelfde systeem in het achterwiel toe te passen. In tegenstelling tot het voorwiel dat enkel hoeft te rollen, wordt het achterwiel aangedreven. De kracht die de fietser op de pedalen uitoefent wordt via de ketting overgebracht op de cassette (tandwielen) die deel uitmaakt van de naaf en het achterwiel in beweging brengt. Hiermee moet uiteraard rekening worden gehouden. Dit heeft niet per se gevolgen voor de vormelijke uitvoering van het concept aangezien het dempingsmechanisme rond de naaf zit verwerkt. Er hoeft dus niet gewijzigd te worden aan de klassieke werking van een achternaaf. Een

mogelijk probleem zit hem in de stijfheid van het wiel. De fietser wil dat de kracht die wordt uitgevoerd op de pedalen zo goed mogelijk wordt overgebracht op het wegdek en hem dus ogenblikkelijk doet versnellen. Het flexibel uitvoeren van de achternaaf kan er dus toe leiden dat er een rendementsverlies optreedt bij het versnellen. Het elastomeer wordt dan namelijk belast op torsie en zal hierdoor vervormen. Hierin kruipt energie die de fietser niet doet versnellen, dit is uiteraard niet gewenst. Het elastomeer mag enkel ingedrukt worden bij schokken afkomstig van het wegdek.

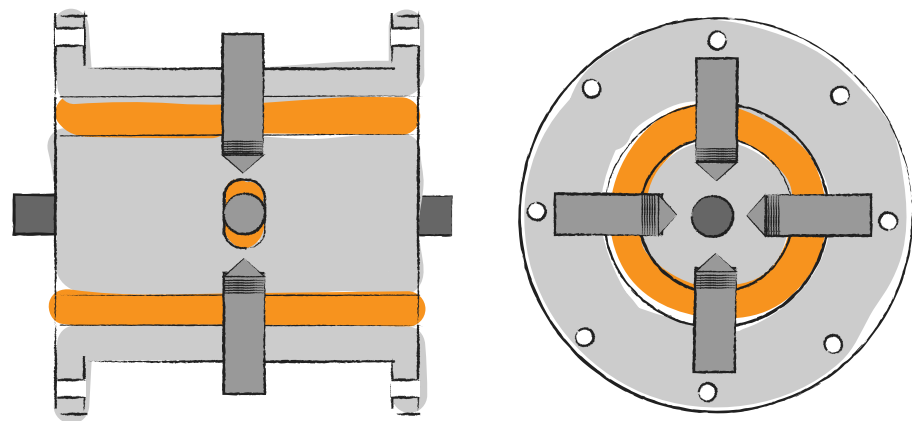


figuur 4.13 belasting elastomeer door kracht op de pedalen

In de conceptuele fase werd er reeds rekening mee gehouden dat de toepassing in het achterwiel een probleem kan zijn. Het probleem werd ook effectief bevestigd na testfase 3 (zie hoofdstuk 'testen') waarbij getest werd met zowel een voor- als achterwiel. Voor deze testen werd het elastomeer vastgelijmd aan de naaf en flens. Na verloop van tijd loste de lijm waardoor de naaf

doorslipte in het elastomeer wat aantoonde dat de torsiekrachten vrij groot zijn. Lijm is uiteraard geen oplossing, want dan kunnen de elastomeren niet meer verwisseld worden. Daarom wordt hier geëxploreerd naar ideeën om dit krachtsverlies te beperken.

3.3.1 PEN-SLEUF SYSTEEM

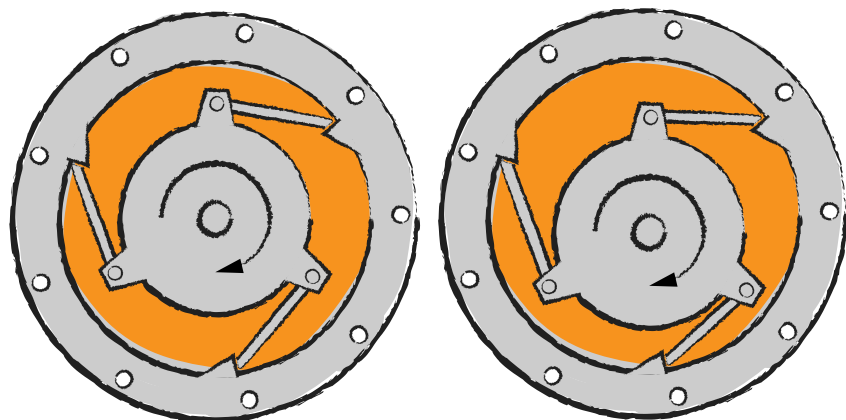


figuur 4.14 doorsnede en zijaanzicht naaf

Een idee uit de vorige exploratie zorgt reeds voor het opvangen van de torsiëkrachten. De pennen die door sleuven in de flens steken kunnen slechts over een beperkte afstand verdraaien, op het einde van de sleuf kan de flens niet anders dan meedraaien met de naaf doordat ze wordt meegenomen door de pennen. Hetzelfde systeem zorgt dan zowel voor de zijdelingse stijfheid van het wiel als voor de krachtoverbrenging op het wiel. De vraag is of het systeem in staat

is om aan deze grote krachten te weerstaan, de schroefverbinding van de pen in de sleuf moet deze krachten opvangen. Het systeem zal waarschijnlijk niet erg lang meegaan, verwacht wordt dat de verbinding pen/naaf het snel zal begeven. De kracht zou beter opgevangen kunnen worden door ze over nog meer pennen te verdelen, maar dit zorgt voor extra wrijving waardoor de gevoeligheid voor trillingen afneemt, etc.

3.3.2 FREEHUB SYSTEEM



figuur 4.15 zijaanzicht naaf in rust en bij schokken

Het volgende idee is gebaseerd op de cassettebody van een klassieke achternaaf waarbij de kracht wordt overgebracht door 4 kleine pallen

(zie afbeelding 4.16). Door het systeem ook toe te passen rond de naaf en de pallen te verlengen, kan de naaf nu bewegen binnen de flens

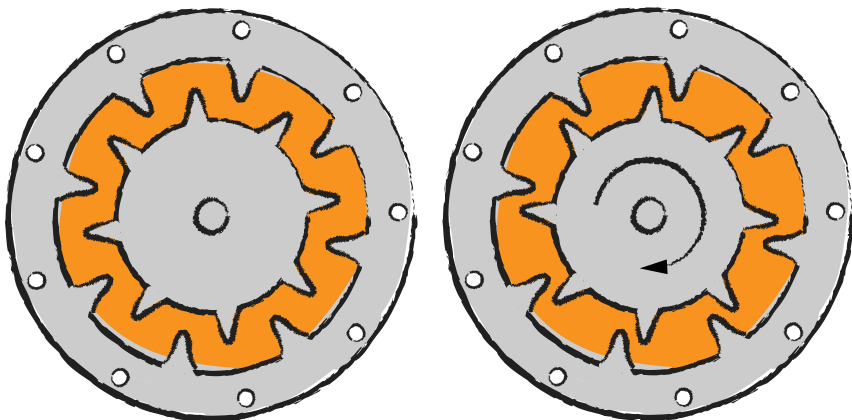
terwijl ze te allen tijde aangrijpt op de flens om de kracht over te brengen. Het systeem van pallen en rotatiepunten zorgt er wel voor dat de naaf beperkt wordt in zijn bewegingsvrijheid, niet ie-

dere beweging, zoals een verticale verplaatsing, is mogelijk. De beweging van de pallen wordt bovendien tegengewerkt door de aanwezigheid van het elastomeer.



afbeelding 4.16 freehub of cassettebody met 4 pallen

3.3.3 VERTANDING (GEKOZEN CONCEPT)



figuur 4.17 zijaanzicht naaf in rust en bij krachtoefening

In het volgende systeem is er net zoals bij het eerste idee geen directe aangrijping van de naaf op de buitenflens. In dit geval worden zowel de naaf als flens voorzien van tanden. Bij een rotatie van de naaf beweegt de vertanding op de naaf toe naar de vertanding op de flens waardoor het elastomeer ertussen wordt samengedrukt, de flens kan nu niet anders dan meedraaien met de

naaf. De tanden kunnen elkaar immers niet 'passeren', de tanden zullen elkaar overigens nooit raken door het elastomeer dat tussen beide zit. De verticale bewegingsvrijheid wordt enigszins beperkt door de lengte van de tanden, dit valt echter op te vangen door een zachter en groter elastomeer.

5. PROTOTYPING

PROCES PROTOTYPING

De enige manier om te weten of het idee kan werken, is door te prototypen en deze prototypes te gaan testen. Dit was dan ook de logische volgende stap in het verdere onderzoek. In dit

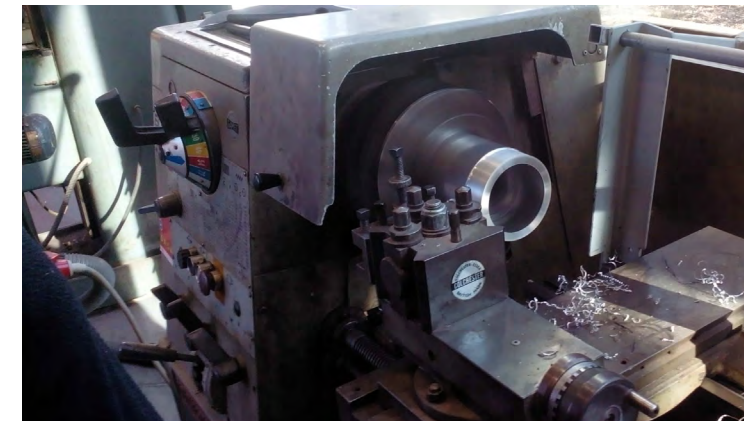
deel wordt uitgelegd hoe het prototype tot stand kwam. Deze beknopte beschrijving moet de terminologie en het idee achter het concept duidelijker maken.

FLENS

Dit onderdeel betreft de buitenring of flens waarop de spaken worden bevestigd. Deze buitenring komt rond het elastomeer te zitten.

Voor het maken van de flens werd vertrokken van een aluminium buis met een doorsnede van 100 mm en een wanddikte van 10 mm. Er werd voor aluminium gekozen om het gewicht van de naaf te beperken.

Op de draaibank werd de buis afgedraaid zodat twee randen overbleven om de spaken op te bevestigen.



Vervolgens werden de spaakgaten geboord, 16 gaten langs beide zijden zodat het wiel kon opgebouwd worden met 32 spaken.



Uiteindelijk werd de flens gespaakt in een velg. (dit was pas mogelijk na het uitvoeren van de volgende stappen)



HACKEN WIELNAAF

Er werd een bestaande fietsnaaf gebruikt om in het prototype te steken. (hier wordt het proces van de achternaaf weergegeven, het prototypen van de voornaaf verliep analoog)



De originele spaakgaten werden afgedraaid aangezien deze niet meer nodig zijn en er gespaakt zal worden op de flens. Er werd een huls gestoken over de versmalde naaf om een cilindrische naaf te krijgen waarover de rubbers geschoven kunnen worden.

De ruimte tussen de originele naaf en huls werd opgevuld met een gietmateriaal om de sterkte van de naaf te verhogen. Vervolgens werd de naaf geassembleerd.



RUBBERS

Het flexibele materiaal dat tussen de flens en wielnaaf komt te zitten, wordt met behulp van een mal gemaakt waarin materialen worden gegoten. De mal maakt het mogelijk om verschillende rubbers te prototypen die allen dezelfde vorm hebben en meteen klaar zijn om in de naaf te schuiven. Op die manier kan getest worden met rubbers die allemaal verschillen in hardheid en andere eigenschappen.



In de mal passen kalibers van de flens en naaf waartussen het rubber kan gegoten worden. Hierdoor zal het rubber perfect passen in de flens over de cilindrische naaf.

Voor de eerste testmaterialen werden siliconen gebruikt. Deze zijn net als rubbers flexibel en beschikbaar in verschillende hardheden, maar verschillen van de hoogwaardige elastomeren in dempingseigenschappen voor trillingen. Voor de eerste testen maakt dit niet zoveel uit, het idee is dat als het concept werkt met deze materialen dat het alleen maar beter kan werken met elastomeren die reeds voor deze toepassingen zijn ontwikkeld.

De mal werd eveneens op de draaibank gemaakt.



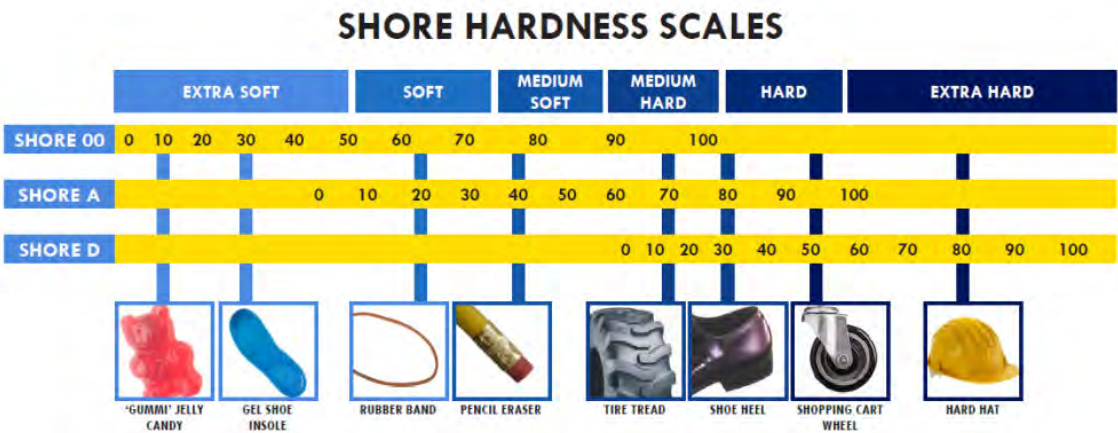
Na het gieten van de rubbers, harden deze uit en kunnen ze uit de mal verwijderd worden. De mal kan opnieuw gebruikt worden voor het gieten van andere rubbers met precies dezelfde afmetingen.



UITBREIDING RUBBERS (ELASTOMEREN)

Flexibele materialen kunnen op veel vlakken verschillen van elkaar, ze hebben een andere dichtheid die hun gewicht bepaald, maar ook eigenschappen als terugvering, weerstand, gevoeligheid, enzoverder kunnen afwijken van elkaar. Echter, de voornaamste eigenschap die

flexibele materialen van elkaar onderscheid is de hardheid ervan. De hardheden van de verschillende testmaterialen werden gemeten met een durometer, de volgende tabel geeft een indicatie voor de hardheid van materialen op basis van durometers met schalen Shore 00, A en D.



figuur 5.1 hardheden van verschillende materialen



afbeelding 5.2 de verschillende testmaterialen



afbeelding 5.3 samenwerking met indurub-bekina

Doorheen de testfase werd contact opgenomen met Indurub-Bekina die jarenlange ervaring heeft met hoogwaardige rubbers. Ze zullen me dan ook doorheen het project voorzien van enkele testmaterialen. Er zijn vijf verschillende rubbers of silicones om te testen. Drie silicones die werden gegoten in

de mal en twee natuurrubbers die werden gemaakt door Indurub-Bekina. De testmaterialen zijn te zien in afbeelding 5.2.

TESTMATERIALEN VAN LINKS NAAR RECHTS OP AFBEELDING 5.2:

- 1. F16 / 80 Shore D
- 2. Blauwe silicone / 22 Shore A
- 3. Rode silicone / 55 Shore A
- 4. Natuurrubber 1 / 35 Shore A
- 5. Natuurrubber 2 / 56 Shore A

ASSEMBLAGE PROTOTYPE

Het wiel werd gespaakt door een professionele wielbouwer, bij een goed wiel is het belangrijk dat de alle spaken onder gelijke spanning staan om een slag in de velg en spaakbreuk te voorkomen. Op de afbeelding zijn de drie onderdelen van het prototype duidelijk te onderscheiden, de volgorde van montage is als volgt:
De velg, spaken en flens vormen een star geheel

waarin het elastomeer kan geschoven worden, vervolgens wordt de wielnaaf in het elastomeer geschoven. Elastomeer en wielnaaf zijn dus te allen tijde losneembaar.
Om de borging van de losneembare onderdelen tijdens het fietsen te verzekeren, werden deze voor de testen aan elkaar vastgelijmd.



afbeelding 5.4 de geassembleerde wielnaaf

MONTAGE IN DE FIETS

Prototype gemonteerd in een fiets, klaar om getest te worden.



afbeelding 5.5 prototype gemonteerd in fiets

VOOR- EN ACHTERWIEL

Het prototypen van het voor- en achterwiel verliep min of meer analoog aan elkaar.



afbeelding 5.6 Uit de achternaaf steekt de cassettebody

PROTOTYPE VS STANDAARD WIEL

Het prototype verandert niks aan het gebruik van velgen of banden. De naaf kan net als een klas-sieke naaf voorzien worden van een variërend aantal spaakgaten. Dezelfde spaakpatronen kunnen toegepast worden, in dit geval werden de wielen 2 kruis gespaakt. Het grote verschil tussen een klassiek wiel en het prototype, zijn de

afmetingen van de naaf. De flens is beduidend hoger bij het prototype, dit brengt met zich mee dat er kortere spaken moeten gebruikt worden. Kortere spaken eleveren en stijver wiel op. De grote flens in combinatie met een hoge carbon-velg zou de spaaklengte nog reduceren, dit le-vert een nog stijvere wielset op.



afbeelding 5.7 gewoon wiel vs prototype

Ook het gewicht van het prototype werd verge-leken met dat van een lichte aluminiumset, een gewone wielset en een doorsnee aero carbon wielset. Conclusie, de prototype wielset weegt in totaal ongeveer 1 kg meer dan een doorsnee aluminium wielset. Naar normen van een race-fiets die tussen de 7 en 8 kg weegt, is dit vrij veel. Er moet natuurlijk rekening gehouden worden met het feit dat het hier gaat om een weging van het prototype, bij het maken ervan werd geen aandacht besteed aan het totale gewicht van het wiel. De flenzen en naaf zijn wel uit een licht alu-

minium gemaakt, maar daar stopte het denkwerk omtrent het besparen van gewicht op het proto-type. De onderdelen zijn niet ontworpen om licht te zijn, de wielnaaf kan kleiner uitgevoerd, er kan nog veel materiaal gereduceerd worden, etc. Er is dus nog veel marge om gewicht te besparen op het eindproduct. In het eindresultaat wordt een schatting gemaakt van de gewichtstoename van het eindproduct, een grote gewichtsreduc-tie t.o.v. het prototype is nog mogelijk. Het extra gewicht bedraagt dan ongeveer 150 g per wiel.

LICHTE ALU SET	GEWONE ALU SET	CARBON WIELSET	PROTOTYPE
VOORWIEL			
- 160 g	RICHTWAARDE	+10 g	+ 570 g
ACHTERWIEL			
- 170 g	RICHTWAARDE	+ 110 g	+ 445 g

6. TESTEN

TESTFASE 1 BASISTESTEN

Alvorens de weg op te gaan, werd uit veiligheids-overwegingen eerst gekeken naar de gedragingen van het wiel eenmaal gemonteerd in de fiets. Door een paar praktische functionaliteiten te testen, werd vergeleken waarin het prototype ver-

schilt van een klassiek wiel en welke gevolgen dit eventueel met zich meebrengt. De volgende tabel geeft een overzicht van de eerste bevindingen van het prototype met 3 verschillende materialen.

		F16	BLAUWE SILICONE	RODE SILICONE
	TYPE	voelt heel hard aan, is breekbaar	voelt heel zacht aan, makkelijk in te drukken	semi-zacht, licht indrukbaar met vinger
	HARDHEID	extra hard 80 Shore D	zacht 22 Shore A	medium zacht 55 Shore A
				
STATISCHE TEST	WIEL IN DE HAND	stijver (hogere flens), wel iets zwaarder uiteraard	geheel voelt veel stijver dan wanneer silicone los in de hand, weinig indrukbaar verticaal (groot oppervlak), wel is zijdelings wrikken makkelijk	silicone duidelijk veel stijver dan de blauwe
	WIEL IN DE FIETS	voelt even stijf aan als een normaal wiel wanneer met het wiel tegen de grond wordt gestuiterd	heel slap, voelt precies of wiel niet vastzit. remoppervlak gaat heel makkelijk van ene remblok tegen de andere	verticaal amper beweging merkbaar, wrikken is mogelijk, door duwen op het stuur kan remoppervlak tamelijk makkelijk tot tegen de remblok geduwd worden

RIJGEDRAG	RECHTDOOR FIETSEN	valt normaal mee te fietsen, op eerste zicht geen damping merkbaar, dit is eigenlijk een stijve (maar zwaardere) naaf.	fietstest onmogelijk	lukt om voorzichtig te fietsen, soms wel tegen remblok, maar verder geen groot probleem.
	BOCHTEN	levert geen probleem op, wel voorzichtig gefietst	fietstest onmogelijk	lukt, wel opletten dat silicone niet verschuift (voorlopig enkel een klemspanning)
	REMMEN	op eerste zicht geen probleem	fietstest onmogelijk	lijkt op het eerste zicht geen probleem te vormen. Zou met schijfremmen waarschijnlijk een ander verhaal zijn

tabel 6.1 testfase 1

De tabel leert ons heel veel over de functionaliteit van het prototype. Het wiel is eenvoudig te monteren, past in een doorsnee racefiets en remmen levert voorlopig geen problemen op. Opmerking: het gebruik van velgremmen is nog steeds mogelijk doordat de indrukking van het flexibele materiaal beperkt is, met extreem zachte materialen levert dit mogelijk wél problemen op doordat de remblokken dan boven of onder de velg kunnen aangrijpen. Een uitvoerige fietstest was echter niet mogelijk met materialen 2 en 3, respectievelijk de flexibele blauwe en rode silicone. De oorzaak hiervan

is de beperkte zijdelingse stijfheid van het wiel waardoor de velg te makkelijk van de ene naar de andere remblok beweegt tijdens het fietsen. Dit is vooral merkbaar bij het nemen van bochten, de velg wordt dan zo hard tegen een van de remblokken gedrukt dat de fietser wordt afgeremd. Het probleem doet zich ook voor bij het rechtdoor rijden, tijdens het fietsen wordt constant gecorrigeerd en bijgestuurd wat zorgt voor zijdelingse krachten op het wiel. Een aanpassing van het prototype is dus nodig voor het vervolg van de fietstesten.

AANPASSING PROTOTYPE

Er is te veel zijdelingse uitslag van het wiel, hierdoor kan niet op een ‘normale’ manier gefietst worden. Er moet extra zijdelingse (laterale) stijfheid verkregen worden zodat het elastomeer enkel in de juiste richting (virtuele vlak doorheen het wiel) flexibiliteit kan leveren, zie ook pagina 54. In het hoofdstuk ideegeneratie wordt gezocht naar ideeën om de zijdelingse stijfheid te garanderen.

Afbeelding 6.2 toont de aanpassing van het prototype waardoor het wiel zijdelingse stijfheid verkrijgt.



afbeelding 6.2 aanpassing prototype

De rolweerstand is minimaal doordat de buitenband tussen twee industriëlagers rolt, het wiel kan niet langer zijdelings uitslaan, maar biedt nog steeds verticale bewegingsvrijheid. Het prototype kan gebruikt worden voor praktische fietsproeven. Het spreekt voor zich dat dit onderdeel geen deel zal uitmaken van het uitein-

delijke product, het stelt ons alleen in staat om fietstesten uit te voeren zonder de wielnaaf te moeten ombouwen. Hoe de zijdelingse stijfheid kan gegarandeerd worden in het eindproduct, staat zoals eerder aangegeven in het hoofdstuk ideegeneratie op pagina 56 en 57.

TESTFASE 2 TRILLINGSMETINGEN

Tijdens de 2de testfase werden de trillingen tijdens het fietsen gemeten met behulp van sensoren, deze testen werden telkens met zowel het

prototype als met een standaard wiel uitgevoerd om de vergelijking te kunnen maken.

PROTOTYPES

1. STANDAARD WIEL

Het prototype voorwiel zal vergeleken worden met een normaal voorwiel. Het prototype achterwiel werd vooralsnog niet getest.

2. PROTOTYPE

Voor de testen werd het wiel met de blauwe silicone gebruikt.



TESTPARCOURS

1. TESTRIT OP KASSEIEN

Testrit op 400 m lange kasseiweg aan een snelheid van 25 km/h waarbij halverwege werd gekeerd op de kasseien.

2. TESTRIT OP ASFALT

5 minuten durende fietstest op asfalt aan een snelheid van 25 km/h

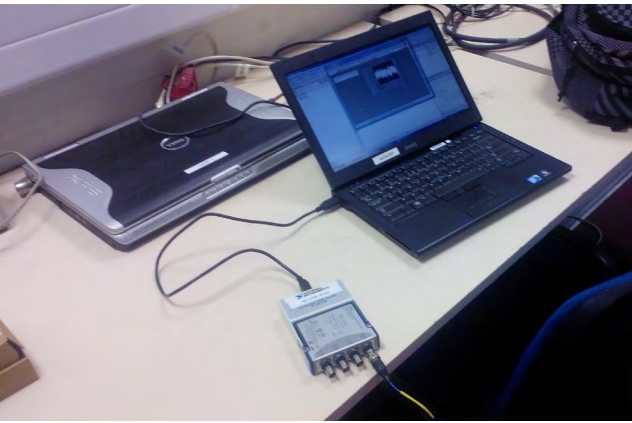


MEETOPSTELLING

Een sensor wordt bevestigd op een wioldop van de snelsluiters van het wiel. De sensor, een accellerometer, kan verticale versnellingen meten. Bij het fietsen over hobbelig terrein wordt dus een trillingspatroon geregistreerd dat voor beide trajecten en wielen onderling zal vergeleken worden.



De sensor is verbonden met een aparte module om de data uit te lezen, de module is aangesloten op een laptop waarmee de data gecapteerd kan worden.



De meetopstelling: fiets - sensor - module en laptop.



De laptop en module wordt in een rugzak gedragen tijdens het fietsen.



1. ANALYSE TESTRIT OP KASSEIEN

Een eerste vergelijking werd gemaakt door het uitgangssignaal van de sensor voor beide wielen te plotten in dezelfde grafiek, hierbij is de versnelling uitgezet tegenover de tijd. De versnelling is een maat voor de grootte van de schok-

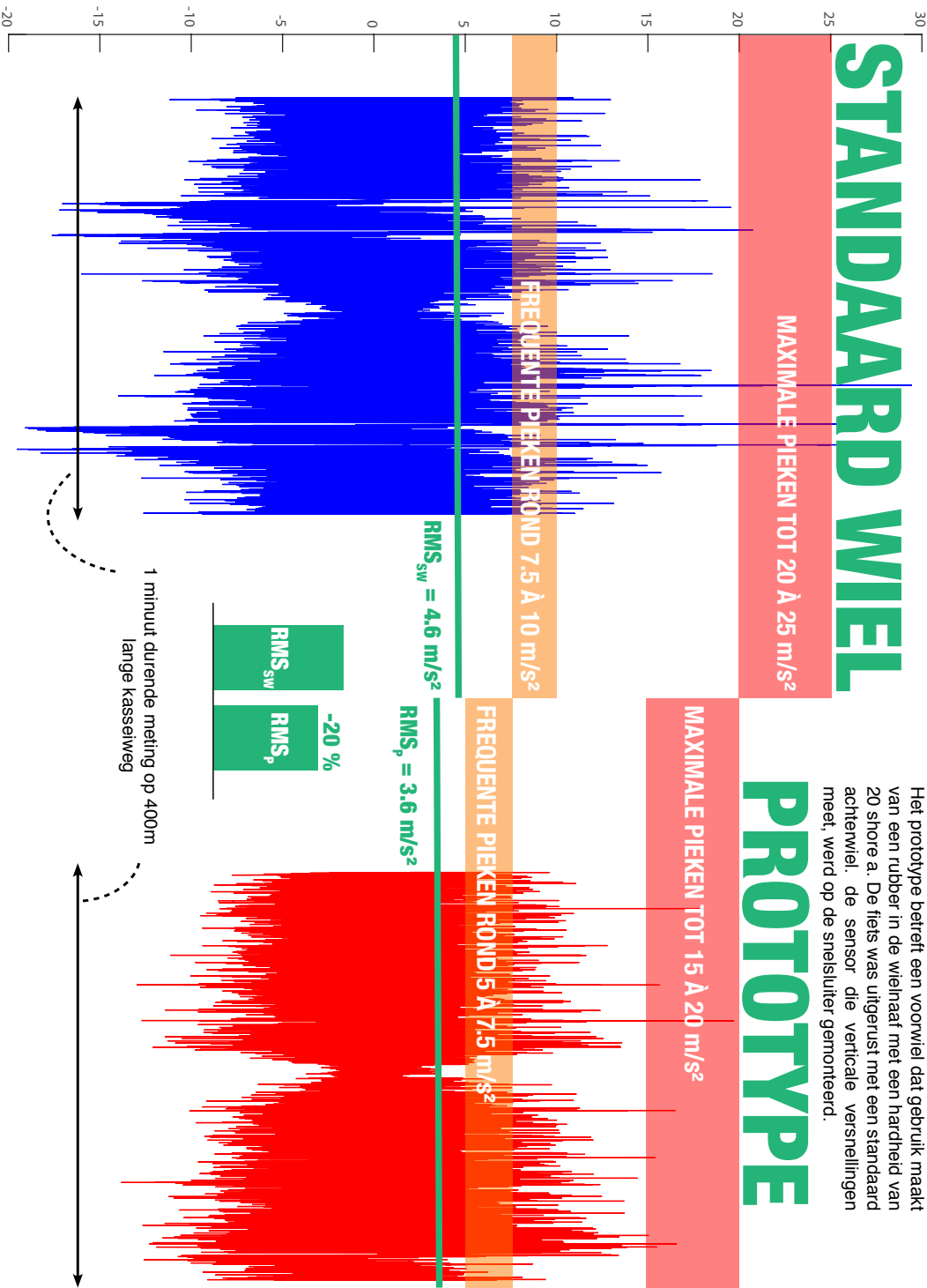
ken, grote klappen zullen met andere woorden de fiets harder doen versnellen met een grotere y-waarde tot gevolg. De vergelijking van de trillingspatronen voor beide wielen, werd gevisualiseerd in figuur 6.3.

Op basis van de meetwaardes uit die figuur kan het volgende geconcludeerd worden:

- De maximale pieken liggen bij het prototype een stuk lager, deze pieken worden als het ware getopt. Dit betekent dat de grote schokken en klappen minder hard aanvoelen, het elastomeer vangt de schokken deels op. Het lijkt waarschijnlijk dat een zachter rubber de schokken nog beter zal opvangen.
- Een zone met frequente pieken, dit is een zone met pieken die onder de maximale waardes liggen, maar wel frequenter worden bereikt, ligt opnieuw lager bij het trillingspatroon van het prototype. Hiervoor kan eenzelfde verklaring gegeven worden als voor de maximale pieken, de indrukking van het elastomeer breekt de hardste klappen. De interpretatie van deze zone is subjectief, maar geeft wel een duidelijk beeld van de verhoudingen tussen de trillingspatronen.
- De RMS waarde, ofwel de root-mean-square, is een maat voor de gemiddelde waarde van trillingen. De waarde wordt berekend als de vierkantswortel van de som van de kwadraten van de versnelling. Het is de meest objectieve vergelijkmingsmethode die mogelijk is met deze metingen. De RMS bij het prototype bedraagt 3,6 m/s² terwijl dit voor het standaard wiel 4,6 m/s² bedroeg, dit betekent een 20% verbetering ten opzichte van vroeger. De schokken worden met andere woorden gemiddeld als minder hard aangevoeld bij het gebruik van het prototype, dit is een logisch gevolg van de gereduceerde piekwaardes.

Verder kunnen weinig conclusies worden getrokken op basis van het uitgangssignaal van de sensor. Ze geven een beeld van de grootte van de schokken en tonen in dit geval duidelijk aan dat de piekwaardes bij het prototype een stuk lager liggen, maar verder leren ze ons weinig bij over de demping van de trillingen. Een courantere manier om trillingen te gaan vergelijken, is door gebruik te maken van frequentie-analyses.

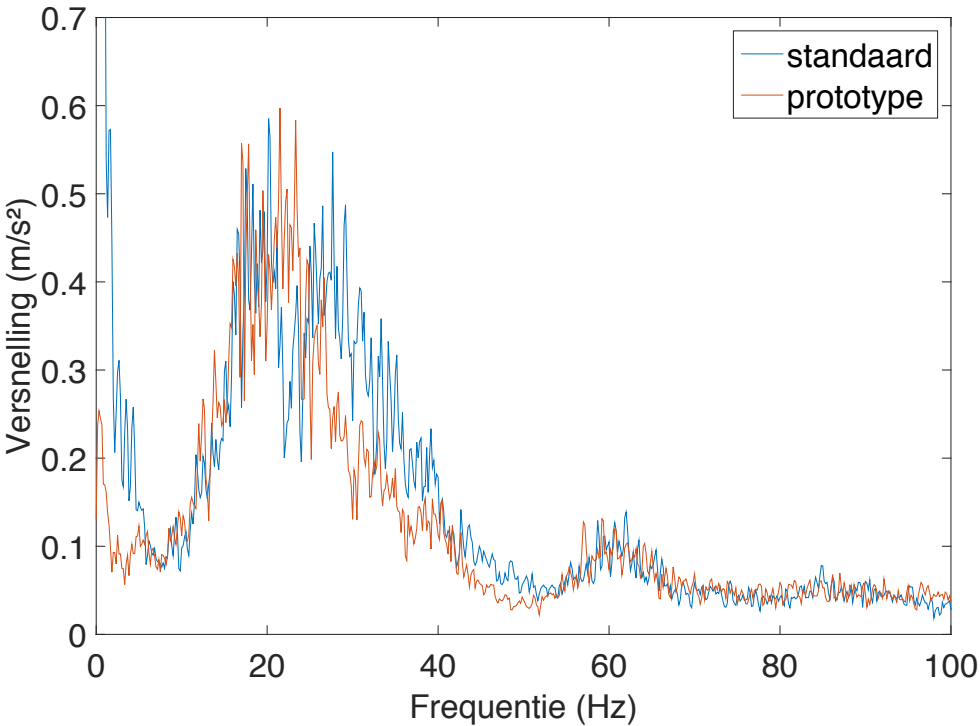
Hierbij wordt een geswitcht van het tijdsdomein naar het frequentiedomein. Zoals eerder gezegd zijn het zijn vooral deze frequenties die belangrijk zijn in dit onderzoek, niet zozeer het opvangen van schokken. Het zijn trillingen die het menselijk lichaam vermoeien, we hebben er dus alle baat bij om deze indien mogelijk te dempen.



figuur 6.3 versnelling uitgezet tegenover de tijd van de testritten op kasseien

Voor de grafiek in figuur 6.4 worden voor alle duidelijkheid dezelfde metingen gebruikt als in de vorige vergelijking. De switch van het tijdsdomein naar het frequentiedomein verloopt softwarematig. Op de horizontale as worden de trillingsfrequenties weergegeven, de verticale as geeft het spectrum van de trillingen weer. Het spectrum geeft weer hoe sterk iedere frequentie in het signaal aanwezig is. Tijdens het rijden over de kasseien worden een reeks frequenties geëxciteerd, het signaal van

de accelerometer kan dan ook maar deze frequenties bevatten. Voor deze test werd aan een snelheid van 25 km/h gefietst waarbij halverwege de kasseiweg werd gekeerd. Hierdoor wordt het systeem (fiets en fietser) geëxciteerd met frequenties van 0 tot 50 Hz. Als we het spectrum bepalen van dit signaal zien we dat vooral deze frequenties sterk aanwezig zijn, hogere frequenties zijn ook minimaal aanwezig maar dit is te wijten aan ruis.



figuur 6.4 frequentie-analyse van de metingen op kasseien

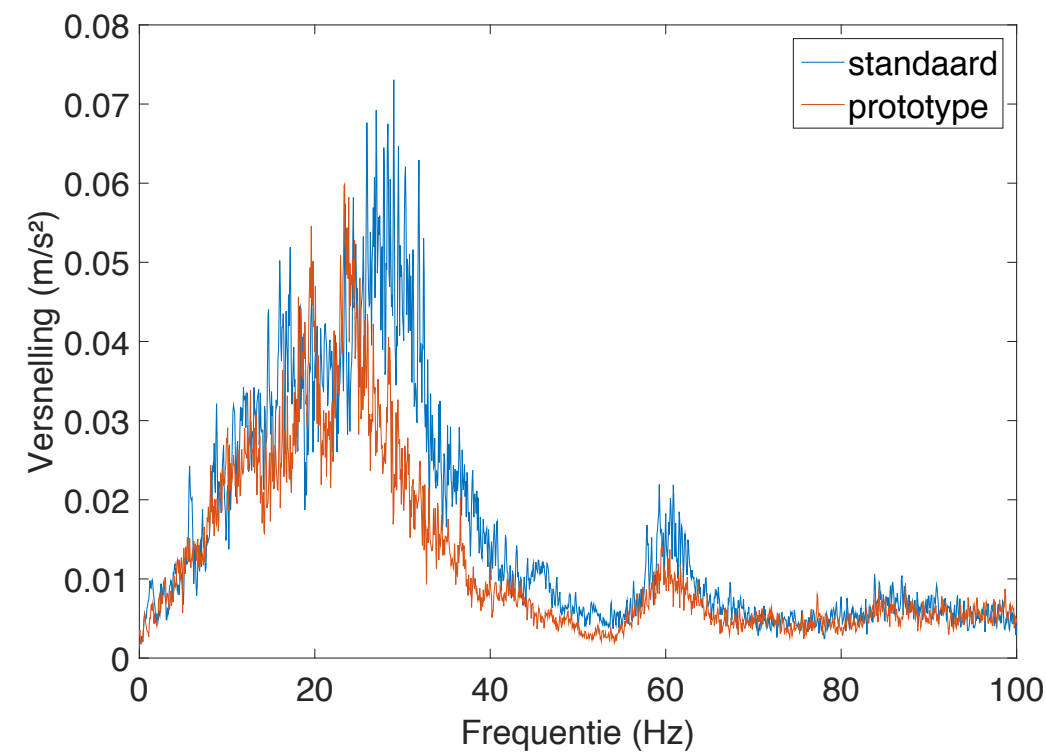
Op de grafiek werd het spectrum voor het prototype uitgezet tegenover het spectrum voor het standaard wiel. We kunnen dus beide spectra met elkaar vergelijken om te zien of het prototype voor damping zorgt of niet.

Zoals eerder gezegd geeft het spectrum weer hoe sterk iedere frequentie in het signaal aanwezig is. Als de versnelling bij een bepaalde frequentie kleiner is, wil dit zeggen dat minder voelbaar zal zijn voor de fietser.

Uit de figuur 6.4 kunnen we het volgende concluderen:

- We zien duidelijk een piek rond 20 Hz in het spectrum. De zone rond 20 Hz is sterk aanwezig in zowel het gewone wiel als het prototype.
- Frequenties lager dan 20 Hz leveren een gelijkaardig spectrum op tussen het prototype en het standaard wiel. Beiden gedragen zich hetzelfde en dempen niet beter of slechter dan de andere.
- Voor frequenties van 20 tot 25 Hz vertoont het spectrum van het standaard wiel een negatieve knik, het standaard wiel blijkt deze frequenties beter te dempen dan het prototype. Het is voorlopig niet meteen duidelijk waarom, de frequentie-analyse van de test op asfalt kan mogelijk een antwoord bieden.
- Frequenties lager en hoger dan 25 Hz worden duidelijk gedempt door het prototype. Het signaal ligt beduidend lager dan deze van het standaard wiel. Voor een frequentie van 30 Hz is de versnelling van het gewone wiel 0,3 tegenover 0,15 bij het prototype, dit betekent dat de trillingen 50% meer worden gedempt. Deze verbetering is wel niet constant over het volledige gebied van 25 tot 50 Hz.
- Bij het ontwerpen van de demper is het minder belangrijk om te kijken naar de extreem lage en hoge frequenties omdat deze tijdens het fietsen toch zelden getriggerd worden en dus van weinig belang zijn.

2. ANALYSE TESTRIT OP ASFALT



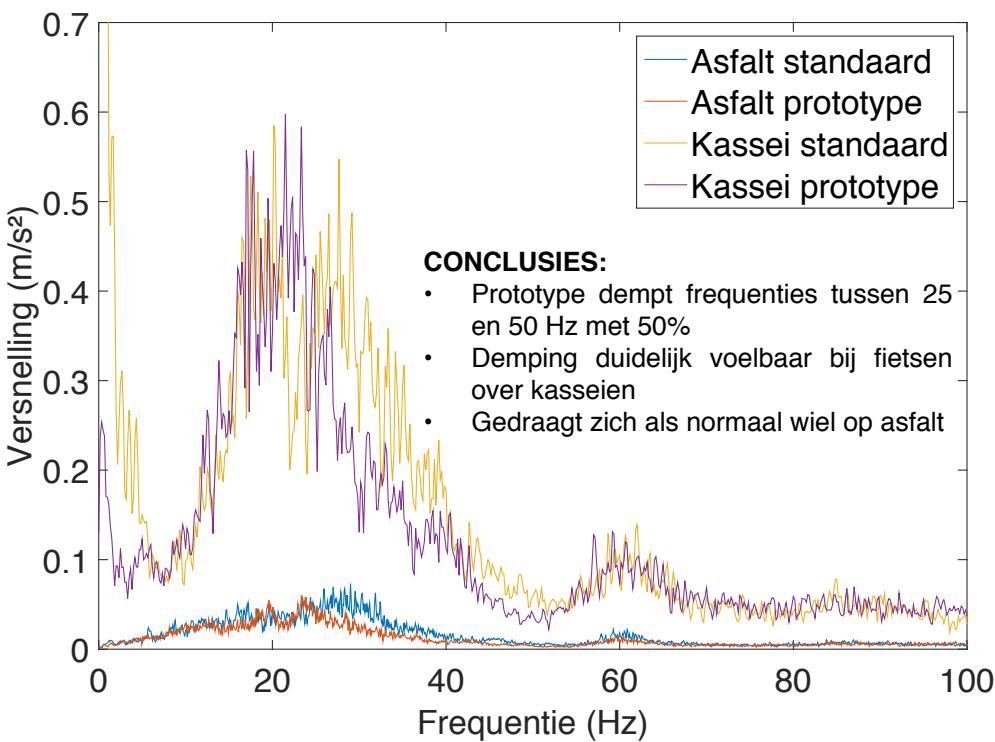
figuur 6.5 frequentie-analyse van de metingen op asfalt

Uit de figuur 6.5 kunnen we het volgende concluderen:

- Wat betreft damping, kunnen dezelfde conclusies getrokken worden uit deze metingen als bij de metingen op kasseien. Het prototype dempt duidelijk frequenties tussen 25 en 50 Hz. Door de langere duur van deze test (5 minuten) geven de curves een nog preciezer beeld van de verschillen.
- Voor de zone van 20 à 25 Hz blijkt het gewone wiel opnieuw beter te dempen dan het prototype. De knik in de rode curve is dus naar alle waarschijnlijkheid niet toevallig, maar wel degelijk permanent aanwezig. Gezien de beperkte frequentiezone van 5 Hz waarbij het standaard wiel beter presteert, is dit geen rampzalige vaststelling.
- Het grootste verschil met de metingen op kasseien zit hem in de grootteorde van de trillingen. Het spectrum van de metingen op asfalt (y-waarden) ligt bijna een factor 10 lager dan deze van de metingen op asfalt, getuige de grootste pieken van 0,6 m/s² op kasseien tegenover 0,06 m/s² op asfalt. De trillingen zijn een factor 10 sterker op kasseien.

3. VERGELIJKING TESTRIT OP KASSEIEN EN ASFALT

Om het verschil in grootte van de pieken te verduidelijken, werden de spectra van beide metingen geplot in dezelfde grafiek.



- CONCLUSIES:**
- Prototype dempt frequenties tussen 25 en 50 Hz met 50%
 - Damping duidelijk voelbaar bij fietsen over kasseien
 - Gedraagt zich als normaal wiel op asfalt

figuur 6.6 vergelijking spectra op kasseien en asfalt

Hoewel de grafieken elk afzonderlijk een relatief gelijkaardig patroon opleverden, blijken deze gevoelig te verschillen in grootteorde, zie figuur 6.6. De curves van de metingen op kasseien lijken wel een verschaling van de metingen op asfalt. Dit is natuurlijk geen verrassing, als fietser voel je zelf duidelijk dat de schokken die je te verduren krijgt op kasseien groter zijn dan deze op asfalt, dit is dan ook wat deze grafiek weergeeft. Het heeft echter geen belang om te testen op kasseien of asfalt om uitspraken te doen omtrent de damping van het prototype. Grafieken 6.4 en 6.5 leerden ons hetzelfde, namelijk een duidelijke verbetering voor frequenties tussen 25 en 50 Hz én een gelijkaardige damping voor de andere frequenties.

Deze grafiek leert ons echter nog iets belangrijks omtrent de damping op kasseien tegenover deze op asfalt. Het effect van de damping op kasseien is namelijk veel groter dan deze op asfalt, dit kan afgeleid worden uit de marges tussen beide curves in de zone van 25 tot 50 Hz. De marge op kasseien is veel groter dan de marge op asfalt. Concreet betekent dit dat het prototype op asfalt procentueel evenveel dempt als op kasseien, maar door de grootte van de trillingen op kasseien is het effect van damping op kasseien veel meer voelbaar. Bij het fietsen op asfalt zal het effect van damping veel minder voelbaar zijn, het prototype gedraagt zich dan als een gewoon wiel. Dit is uiteraard een positieve vaststelling.

TESTFASE 3 GEBRUIKERSTESTEN

De 3de testfase is eigenlijk een herhaling van de eerste tesfase, maar dan met een verbeterd prototype én het gebruik van het achterwiel. Er wordt vooral gefocust op de rij-ervaringen van de testpersonen.

TESTPERSONEN

23 jaar

Student aan de hogeschool

Pieter heeft vroeger nog gekoerst op vrij hoog niveau. Momenteel heeft hij zijn studies voorrang gegeven en fiets hij enkel nog recreatief. Toch gaat Pieter nog steeds vrij veel fietsen in zijn vrije tijd.



PROTOTYPES

De gebruikerstesten werden uitgevoerd met zowel het voor- als achterwiel dat gebruik maakt van rubbers. Om te voorkomen dat het rubber in het achterwiel begint door te slippen wanneer de fietser kracht op de pedalen zet, werd het rubber vastgelijmd in de flens van het wiel. Dit is echter geen definitieve oplossing omdat het dan niet meer mogelijk is om te wisselen van rubbers, in het hoofdstuk ideegeneratie wordt op zoek gegaan naar oplossingen om de verwisselbaarheid te behouden. Deze testen werden echter uitgevoerd met een vastgelijmd rubber in het achterwiel. Het probleem doet zich niet voor bij het voorwiel aangezien dit niet wordt aangedreven en enkel hoeft te rollen.

TESTPARCOURS

Er werd gefietst op kasseien en op asfalt.



50'ers die regelmatig samen gaan fietsen.

Snelheid maken is minder belangrijk, thuis geraken zonder fysieke klachten des te meer.



		RESULTATEN			
		TEST	QUOTES	BEOORDELING	
RIJGEDRAG	ASFALT	REMMEN	“De fiets lijkt normaal te remmen.”		Bevestiging van testfase 1
		BOCHTEN	“Minder zijdelingse stijfheid dan met normaal wiel.”		Probleem was reeds gekend
		ZITTEND FIETSEN	“Niet direct een verschil voelbaar met gewoon wiel”		Positief, gedraagt zich op asfalt als gewoon wiel
		RECHTSTAAND FIETSEN	“Wielen lijken wel wat heen en weer te slingeren.”		Gevolg van beperkte zijdelingse stijfheid
		VERSNELLEN	“Wiel is duidelijk slapper.”		Lijm losgekomen, oplossing nodig voor krachtoverbrenging
	KASSEIWEGEN	ZITTEND FIETSEN	“Moeilijk om te zeggen of er een verschil merkbaar is, kan het niet direct zeggen, slechter is het alvast niet.”		Langere en uitgebreidere test nodig

tabel 6.7 testfase 3



afbeelding 6.8
pieter tijdens de gebruikerstesten

De beoordelingen uit testfase 3 zijn over het algemeen vrij positief. Het prototype presteert nog niet optimaal in bochten en bij het rechtstaand fietsen, dit is een gevolg van de beperkte zijdelingse stijfheid van het wiel. Dit probleem werd reeds in de eerste testfase aangekaart en in het hoofdstuk ‘ideegeneratie’ werden hiervoor reeds enkele oplossingen gepresenteerd. Er is dus nog enkel een probleem met accellereren

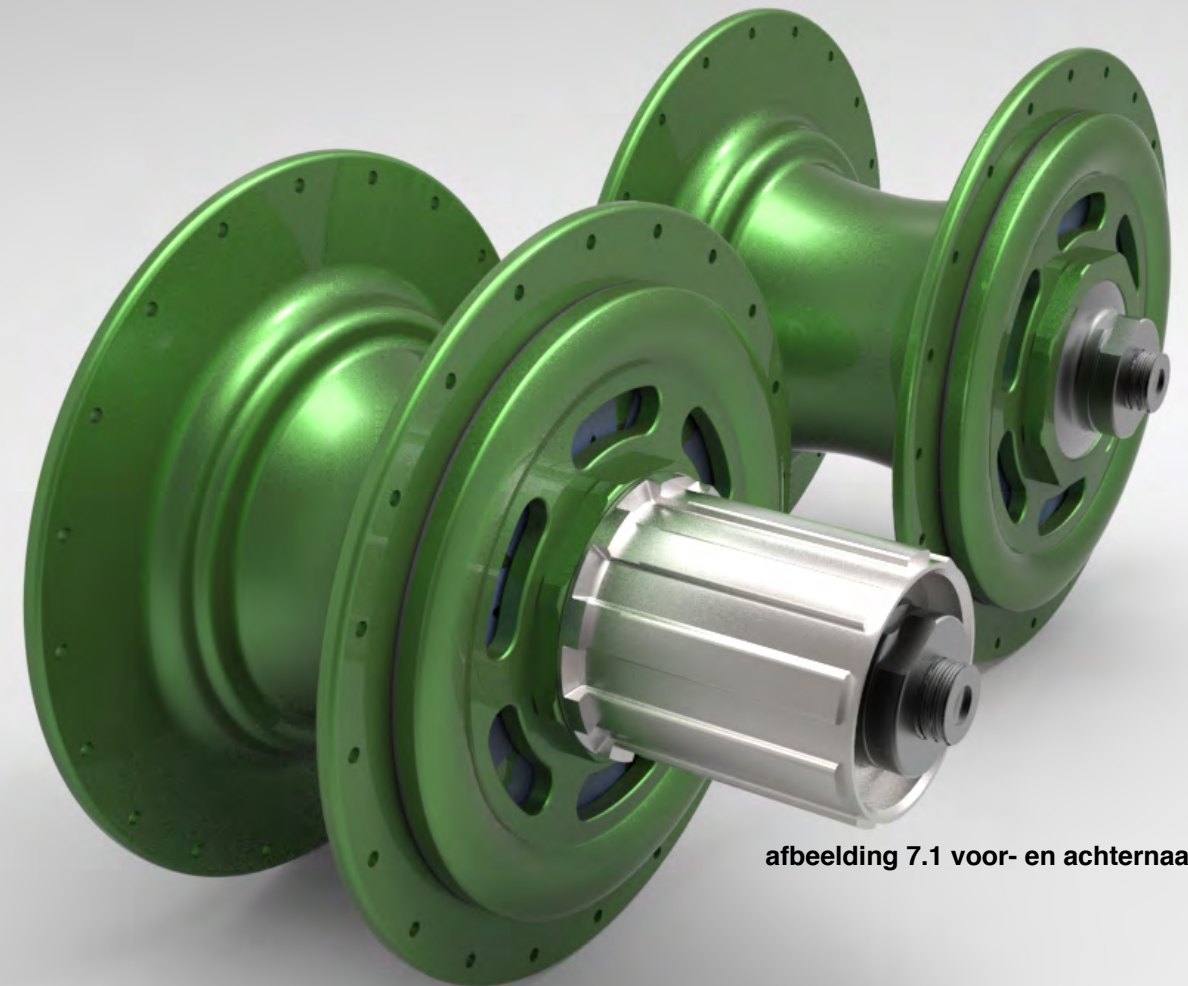
waarbij de krachtoverbrenging op het achterwiel onvoldoende wordt opgevangen door het elastomeer. Vooral de borging van het elastomeer in de flens is een probleem, lijm is hier geen goede oplossing. Het probleem wordt duidelijk geschetst op pagina 58. In het hoofdstuk ‘ideegeneratie’ op pagina 60 en 61, wordt op zoek gegaan naar manieren om de krachtoverbrenging op het achterwiel efficiënter te laten verlopen.

7. EINDRESULTAAT

In het hoofdstuk ideegeneratie werd gezocht naar oplossingen voor de problemen die naar boven kwamen tijdens de testen met prototypes. In deze laatste stap worden deze ideeën verder uitgewerkt en geïntegreerd in het ontwerp. De trillingsdempende fietsnaven worden gevisualiseerd en aan de hand van detailafbeeldingen wordt getoond hoe het product optimaal kan functioneren.

Eerst wordt de opbouw van de naven besproken in het deel design for assembly waarbij de

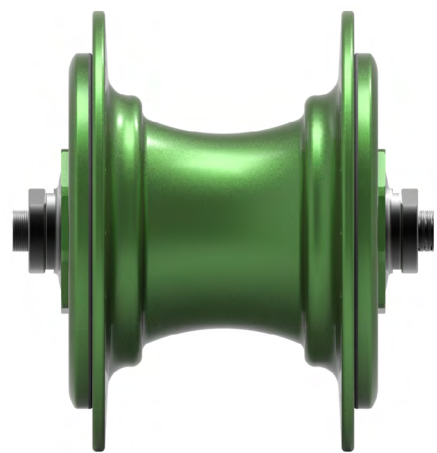
verschillende componenten zijn aangeduid. De assemblage van de componenten helpt om de functionaliteit die in een volgend deel wordt uitgelegd, beter te begrijpen. Er wordt tevens een overzicht gegeven van de verschillende stappen in het productieproces dat eigenlijk vrij gelijkaardig is aan dat van een klassieke fietsnaaf. Tot slot worden het concept vergeleken met zijn concurrenten op basis van de voornaamste criteria uit het eisen en wensen pakket.



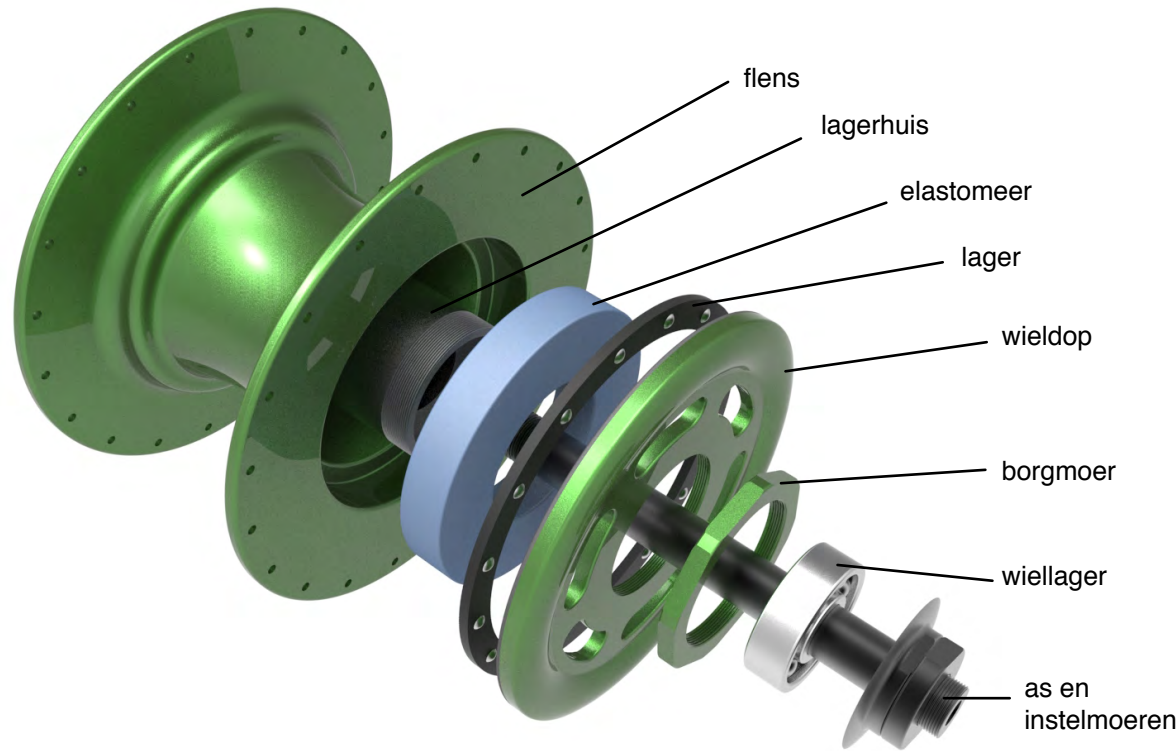
afbeelding 7.1 voor- en achternaaf

DESIGN FOR ASSEMBLY

VOORNAAF

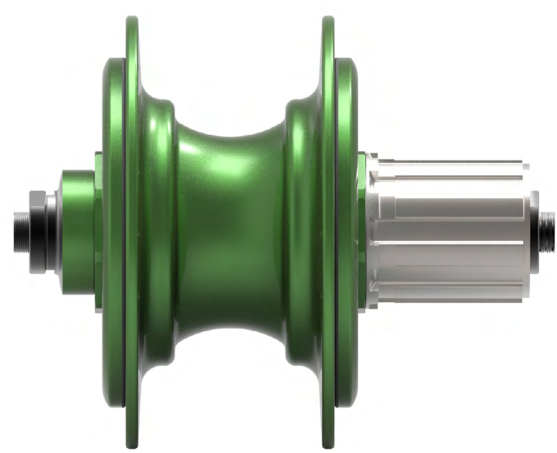


Op de afbeeldingen is een frontaal aanzicht en een exploded view van de voornaaf te zien. Het binnenwerk van de naaf, dit zijn de wielas met moeren, het lagerhuis en de wiellagers, worden op dezelfde manier geassembleerd als van een klassieke naaf. De onderdelen die voor de functionaliteit van de naaf zorgen zijn de elastomeren, de flens, de wieldoppen, de borgmoeren en de extra lagers die ingewerkt worden in de wieldoppen. Merk op dat slechts de assemblage van onderdelen aan één zijde van de naaf wordt getoond, deze onderdelen komen dus in tweevoud voor.

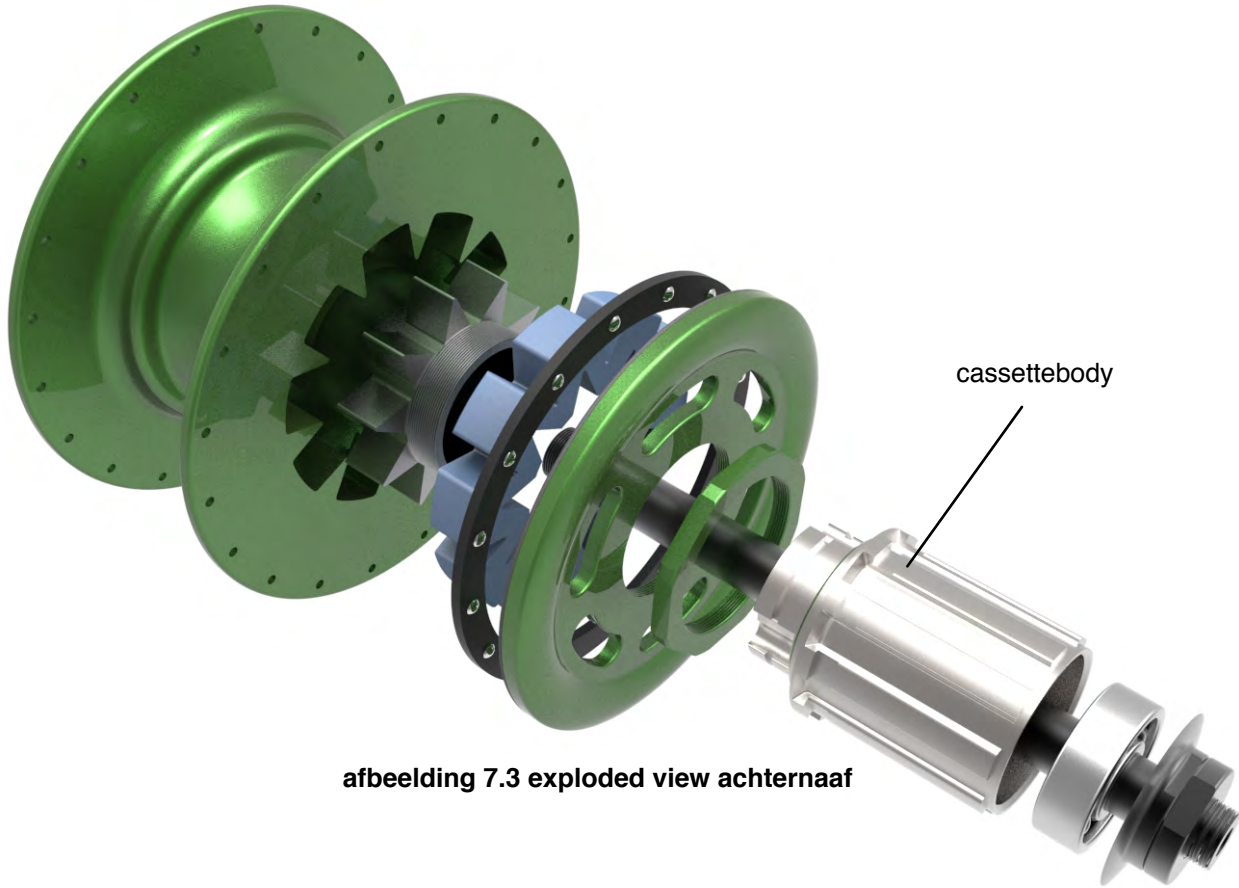


afbeelding 7.2 exploded view voornaaf

ACHTERNAAF



De assemblage van de achternaaf verloopt gelijkwaardig aan deze van de voornaaf. Er is natuurlijk de extra cassettebody, maar deze heeft enkel betrekking tot de assemblage van het binnenwerk van de naaf en heeft verder geen invloed op de montage van de onderdelen die voor de trillingsdemping zorgen. De elastomeren hebben een andere vorm dan deze in de voornaaf, dit is om een efficiëntere krachtoverbrenging te garanderen. De werking wordt besproken in een volgend deel.



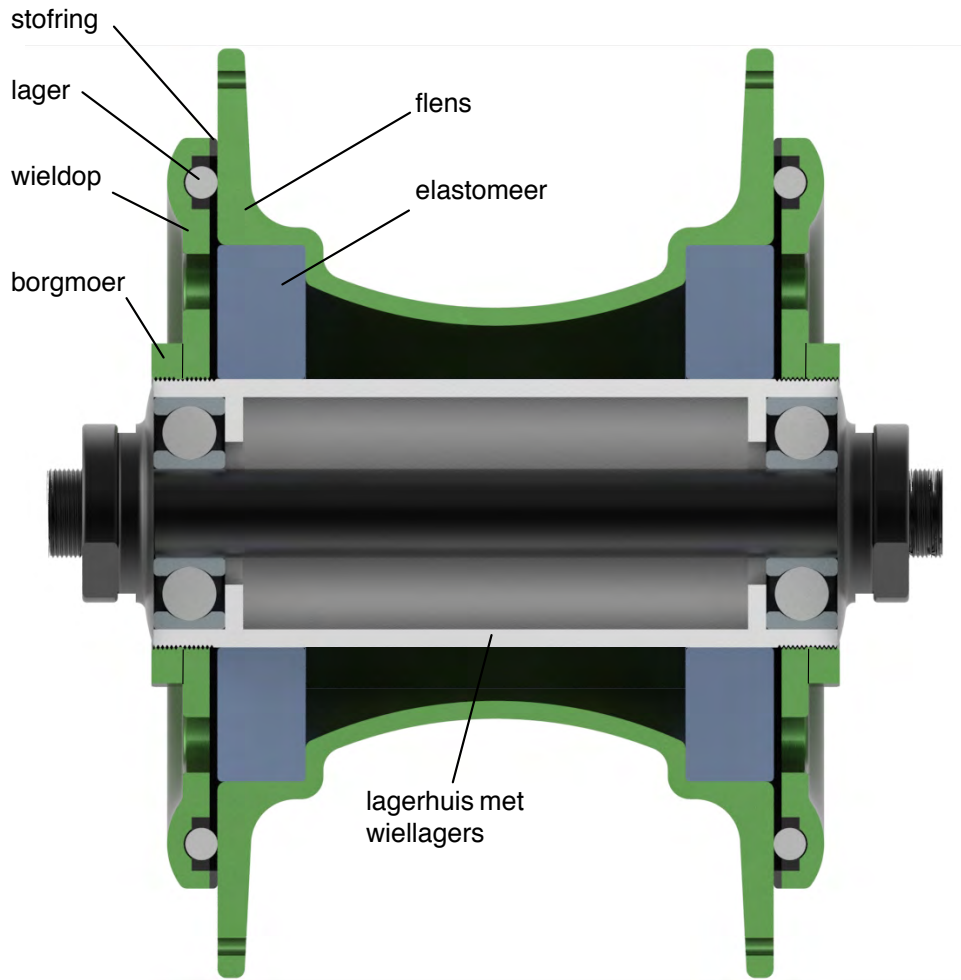
afbeelding 7.3 exploded view achternaaf

WERKING

ZIJDELINGSE STIJFHEID (VOOR- EN ACHTERNAAF)

Dit is een uitwerking van een idee uit het hoofdstuk ideegeneratie waarbij gezocht werd naar oplossingen om het wiel zijdelings stijf te maken. Uit testfase 1 was immers gebleken dat het prototype onvoldoende zijdelingse stijf was om goed mee te fietsen. Uit de ideeën werd uiteindelijk concept 3.3 gekozen om mee verder te werken, dit is dus een uitwerking van het idee op

pagina 55 dat gebruik maakt van wioldoppen. De wioldoppen worden over de binnennaaf tot tegen de flens geschroefd, op die manier voorkomen ze een kantelbeweging van het wiel. De flens kan enkel nog verticaal bewegen waarbij de elastomeren worden ingedrukt. Het systeem zorgt niet voor extra vrijving door het gebruik van kogellagers die in de wioldoppen zitten ingewerkt.

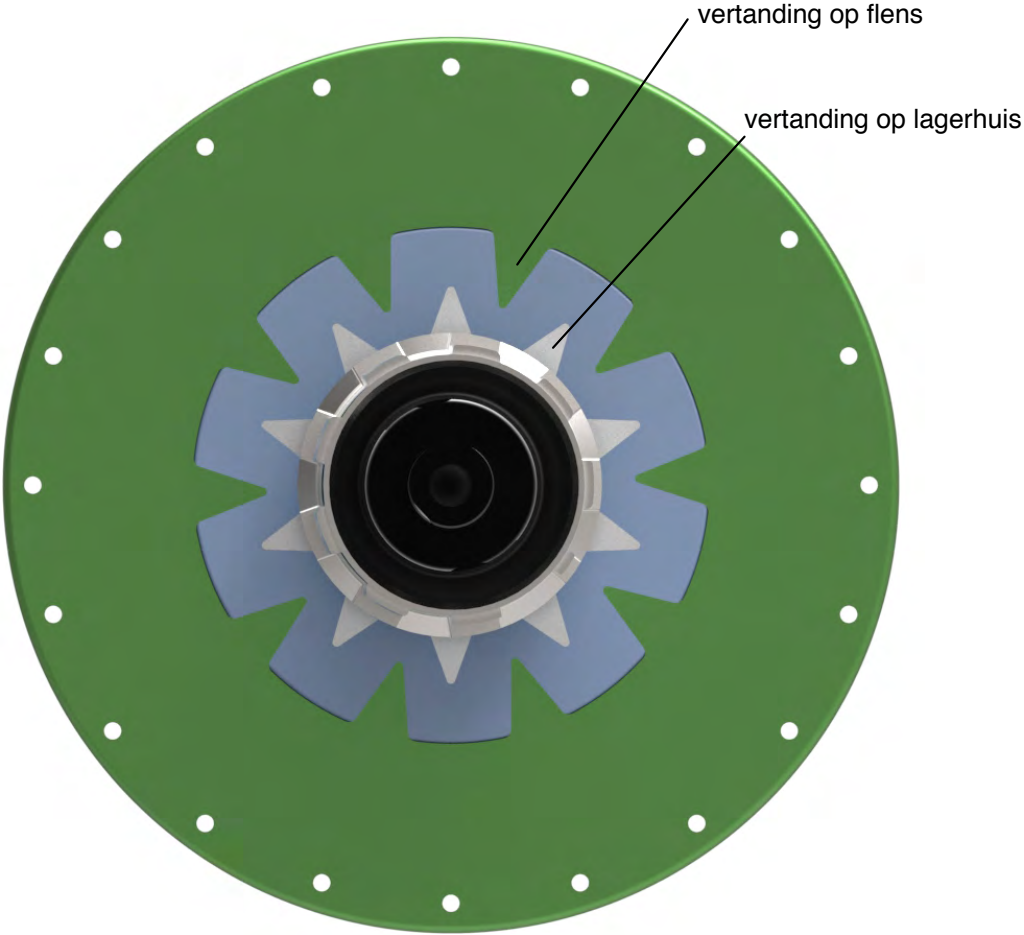


afbeelding 7.4 doorsnede van de voornaaf

KRACHTOVERBRENGING (ACHTERNAAF)

De onderstaande afbeelding toont de uitwerking van idee 3.3.3 dat als beste naar voor kwam in de ideegeneratie naar oplossingen voor de krachtoverbrenging op het achterwiel op pagina 59. In testfase 3 werd duidelijk dat het elastomeer niet geschikt is voor het opvangen van de torsiekrachten die worden opgewekt bij krachtuitoefening op de pedalen. Het elastomeer moest bovendien vastgelijmd worden in de flens om de kracht te kunnen overbrengen, hierdoor

waren de elastomeren ook niet meer te verwisselen. Op de onderstaande afbeelding van is te zien hoe deze twee zaken kunnen voorkomen worden. Het verandingsysteem zorgt ervoor dat het elastomeer niet langer wordt belast op trek, maar op druk. De tanden houden het elastomeer bovendien op zijn plaats waardoor geen lijm nodig is en de rubbers te allen tijde kunnen verwisseld worden.



afbeelding 7.5 zijaanzicht van de achternaaf (wioldop en borgmoer verwijderd)

PRODUCTIE

verschilt van de klassieke productie van naven

1. RUW MATERIAAL



Voor het maken van iedere naaf wordt vertrokken van een massieve aluminium staaf. De lange staven worden vervolgens tot de juiste lengte gebracht..

2. KOUDSMEDEN EN WARMTEBEHANDELING



Het metaal wordt bij kamertemperatuur onder zeer hoge druk in een mal geperst waardoor de naaf zijn vorm krijgt. Hiervoor zijn zeer grote krachten vereist, de machine ontwikkeld 500 ton. Nadien wordt het metaal gehard tijdens een warmtebehandeling. Het materiaal verliest hierbij zijn zachtheid en kan nu niet meer hervormd worden.

3. CNC FREZEN



Hoewel de basisvorm er al is door het koudsmeden, zijn de toleranties nog niet precies genoeg. De naaf wordt nog eens gefreesd op de CNC waarbij overtollig materiaal wordt verwijderd en de naaf zijn juiste afmetingen krijgt.

4. SCHROEFDRAAD SNIJDEN



Op dezelfde CNC frees wordt schroefdraad op het onderdeel aangebracht, deze is nodig om de wioldoppen op de naaf te kunnen schroeven.

5. ANODISATIE



De naven worden geanodiseerd in de juiste kleuren.

6. SPUITGIETEN ELASTOMEREN



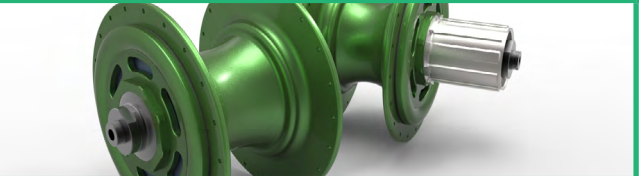
De elastomeren worden door middel van spuitgieten in matrijzen geproduceerd. Dit is ook hoe de twee natuurrubbers van Indurub-Bekina werden gemaakt. Er zijn meer elastomeren nodig dan naven, hun levensduur is beperkt en ze zijn beschikbaar in verschillende hardheden.

7. ASSEMBLAGE



De onderdelen worden geassembleerd tot het uiteindelijke product. Hierin verschilt de assemblage van een gewone naaf, er komen enkele onderdelen bij, dit zijn de flens, wioldoppen, elastomeren en de extra lagers.

8. AFGEWERKT PRODUCT



Een geassembleerde voor- en achternaaf.

OVERZICHT PRODUCTEIGENSCHAPPEN

1. GEWICHTSTOENAME

ELASTO VOORNAAF			AANTAL	MASSA (g)
naaf			1	120
BIJKOMENDE ONDERDELEN	flens (alu)		1	80
	wieldoppen		2	50
	borgmoer		2	10
	elastomeer		2	20
	lager		2	15
TOTAAL				295

TYPE VOORNAAF	MASSA (g)	TOENAME (g)
ELASTO VOORNAAF	295	0
SHIMANO 105	148	+ 147
SHIMANO ULTEGRA	140	+ 155
SHIMANO DURA-ACE	121	+ 174

SET (VOOR- EN ACHTER)	MASSA (g)	TOENAME (g)
ELASTO SET	787	0
SHIMANO ULTEGRA	487	+ 300

De massa van de voornaaf bedraagt 295 g, dit werd berekend op basis van de CAD modellen op de vorige pagina's. Dit betekent dat de naaf 155 g meer weegt dan een doorsnee naaf. De gewichtstoename van de achternaaf is iets kleiner door de smallere flens. De totale gewichtstoena-

me van de comfortverhogende naven bedraagt ongeveer 300 g tegenover gewone naven. Dit is een aanvaardbare gewichtstoename voor een 'full-suspension systeem' als je weet dat een volle drinkbus 500 g weegt.

2. COMFORT



Het systeem is zowel beschikbaar voor het voor- als achterwiel, dit betekent dat het een zogenaamd full-suspension systeem betreft. Hierdoor kunnen full-body vibraties gedempt worden, het zijn deze trillingen die het menselijk lichaam het meest vermoeien.

3. COMPATIBILITEIT



De naven zijn compatibel met een standaard racefiets. De versie op de afbeelding is er een voor snelsluiters, maar de naven kunnen ook uit-

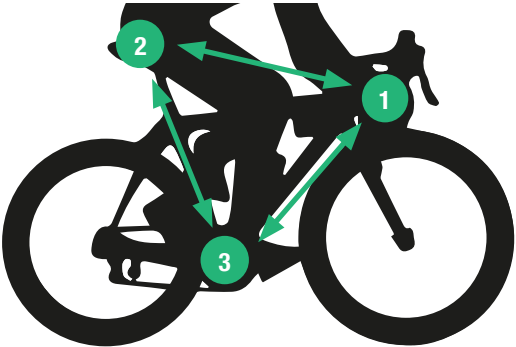
gevoerd worden in een versie voor steekassen en schijfremmen.

4. CUSTOMIZABLE



De elastomeren kunnen verwisselt worden naargelang het gewicht en de wensen van de fietser. De elastomeren zijn in beschikbaar in verschillende hardheden en kunnen eenvoudig vervangen worden door de gebruiker zelf.

5. ERGONOMIE



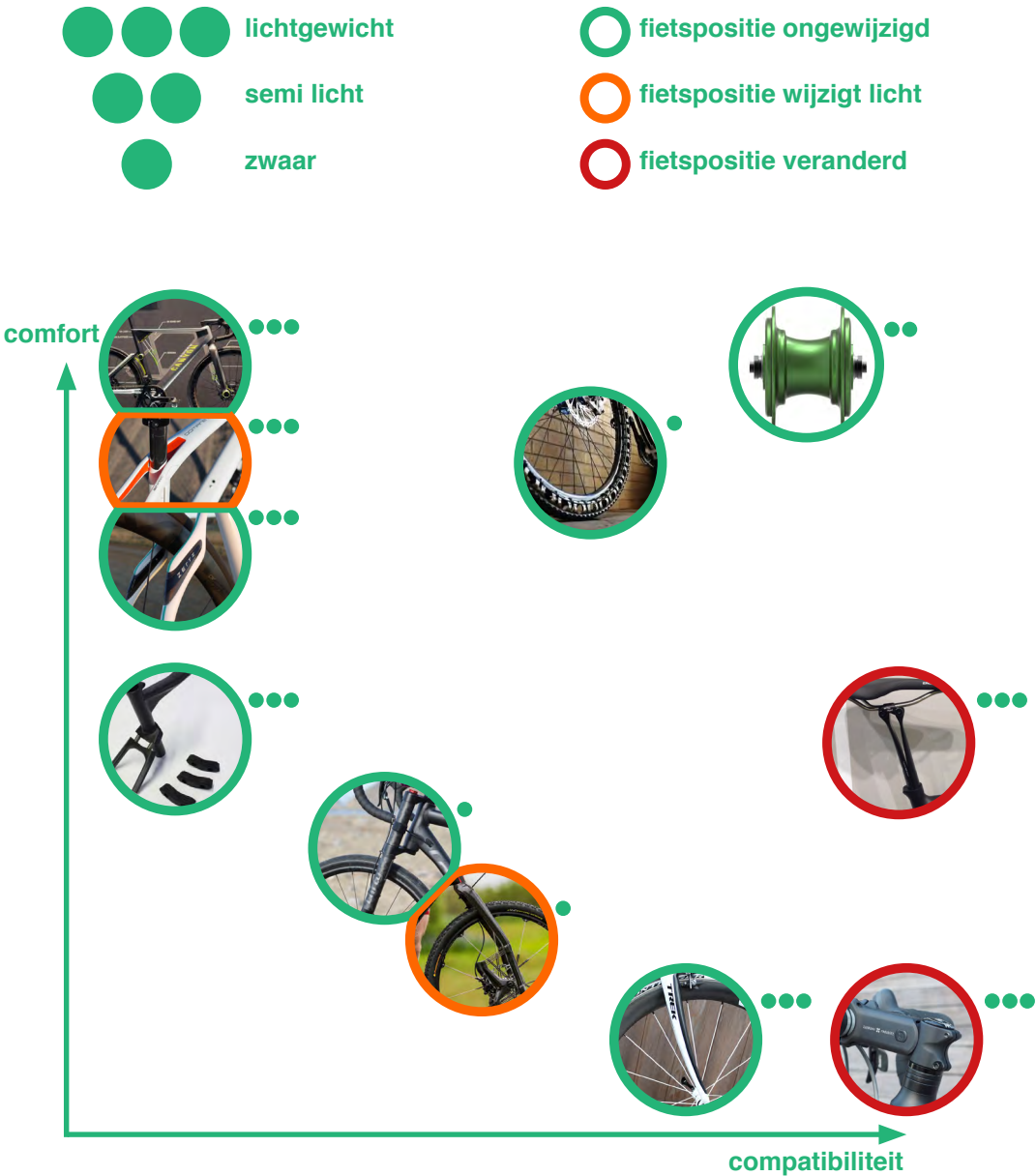
Het ontwerp verandert niets aan de positie van de handen, voeten of zitvlak en brengt dus geen verandering van de fietspositie met zich mee.

VERGELIJKING MET CONCURRENTEN

In figuur 7.6 werden de criteria die doorheen de hele thesis naar voor komen in één en dezelfde grafiek uitgezet. De hoofdassen worden gevormd door de criteria comfort en compatibiliteit, de criteria gewicht en ergonomie worden op alternatieve wijze gevisualiseerd. Het criteria ‘customazation’ werd niet in deze grafiek opgenomen.

De grafiek toont duidelijk hoe de ‘elastomeer-naven’ zich onderscheiden van hun concurrenten voor de criteria waarvoor ze ontworpen zijn. Ze vormen het enige systeem dat een hoge compatibiliteit biedt én toepasbaar in de voor- en achterkant van de fiets. Ze wegen bovendien niet veel meer dan de lichtste benchmarks. Op deze

grafieken lijken de ERW banden het dichtst in de buurt te komen van de elasto-naven, maar deze zorgen voor een significante gewichtstoename die niet is gewenst bij een racefietsen. Het is ook belangrijk om op te merken dat de grafieken niks zeggen over de functionaliteit en ervaringen met het product. De ERW banden zorgen voor een grote rolweerstand vergeleken met klassieke mountainbikebanden. De Ergon zadelpen die volgens de grafiek ook enigzins dicht in de buurt komt, wordt vaak als onprettig ervaren tijdens het fietsen, dit wordt ook aangegeven door de rode band omheen de afbeelding van de zadelpen.



afbeelding 7.6 wielnaaf en concurrenten geplot in grafiek

8. CONCLUSIE

CONCLUSIE

In dit onderzoek werd op zoek gegaan naar manieren om trillingen te dempen die ontstaan bij het fietsen over oneffen wegen. Deze trillingen worden geabsorbeerd door fiets en fietser en kunnen nadelige gevolgen met zich meebrengen.

De hoofdreden om iets te doen aan deze trillingen was omwille van het feit dat trillingen het menselijk lichaam uitputten. Mensen zijn onderhevig aan bepaalde frequenties die tijdens het fietsen regelmatig worden opgewekt, bij blootstelling aan deze frequenties gaan de spieren sneller vermoeien. Het spreekt voor zich dat dit niet wenselijk is voor fietsers. Het heeft dus zeker zin om manieren te zoeken waardoor deze trillingen gedempt worden.

Na heel wat benchmarking en generatie van concepten, werd uiteindelijk gekozen om een trillingsdempende fietsnaaf te ontwerpen.

Het ontwerp maakt gebruik van elastomeren -een soort rubbers- die enige beweging toe laten tussen de velg en de naaf. De elastomeren zijn indrukbaar waardoor kleine schokken en vibraties opgevangen worden, ze zijn bovendien zelf dempend waardoor het systeem zichzelf stabiliseert.

Het concept biedt enkele significante voordelen tegenover concurrenten. Op basis van enkele criteria werd het idee getoetst aan de voornaamste benchmarks. De trillingsdempende fietnaaf onderscheidt zich duidelijk van de rest als enige full-body trillingsdempend systeem dat compatibel is met een standaard racefiets.

Van het ontwerp werd een prototype gemaakt dat werd onderworpen aan een reeks testen. In een eerste testfase werden enkele basisprincipes en functionaliteiten getest.

In een tweede testfase werden volwaardige fiets-testen uitgevoerd waarbij de fiets werd uitgerust met een sensor die de opgewekte trillingen effectief kon meten. Deze testen werden zowel uitgevoerd op kasseien als op asfalt. Om de werking van het prototype te kunnen aantonen, werden de testen overgedaan met dezelfde fiets die werd uitgerust met een gewoon, klassiek wiel. Op die manier konden de metingen van beide wielen vergeleken worden om conclusie te trekken. Met dit 'proof of concept' werd aangetoond dat het prototype wel degelijk trillingen dempt tegenover het gewone wiel. Frequenties tussen 25 en 50 Hz kwamen veel minder voor in de meetwaardes.

In een 3de testfase werd de fiets ook uitgerust met een dempend achterwiel en onderworpen aan een gebruikerstest op kasseien. Hieruit leerden we dat er weinig verschil wordt ervaren tussen het prototype en gewone wielen. Gezien de beperkte duur van de test, kon dit als positief worden beschouwd aangezien vermoeidheid pas optreedt na enige tijd. In die zin was testfase 3 vooral een herhaling van testfase 1, maar dan met verbeterde prototypes.

De testen legden ook pijnpunten bloot van de prototypes, in een volgende ideegeneratie werden hiervoor enkele aanpassingen voorgesteld. Deze aangepaste ontwerpen lijken potentieel te hebben, maar werden vooralsnog niet getest. Hiermee kan dan ook besloten worden dat het ontwerp van de trillingsdempende fietsnaaf mogelijkheden biedt, maar dat er nog verdere ontwikkeling nodig is met verbeterde prototypes en bijkomende testen om te komen tot een eindproduct.

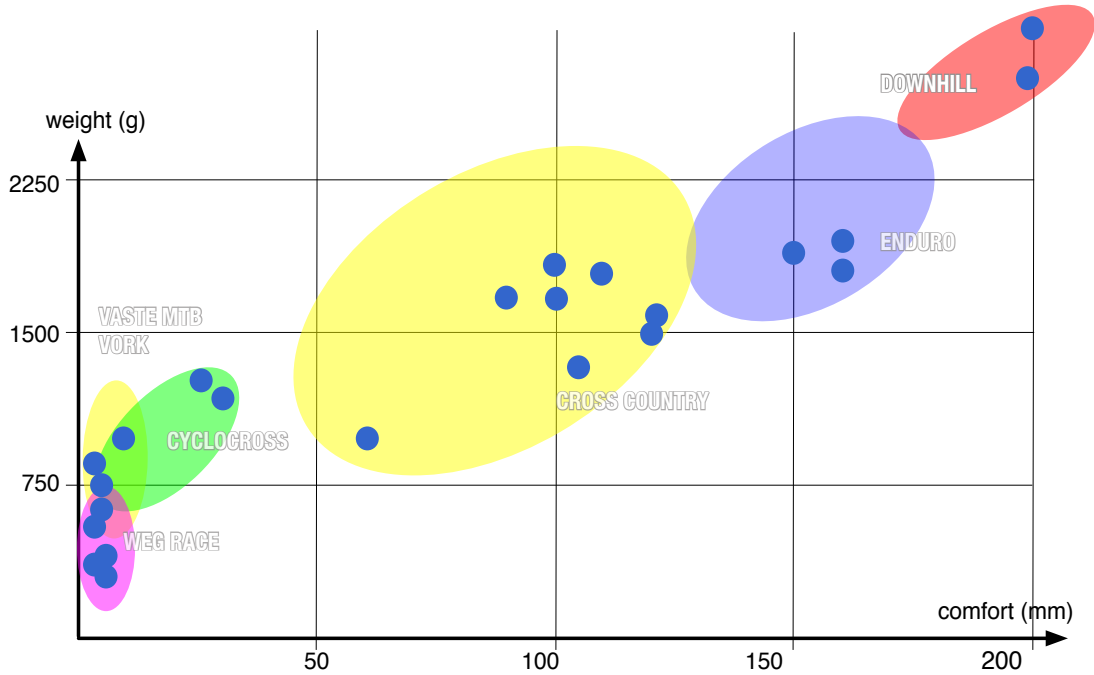
9. APPENDIX

REFERENTIES

1. “De fysica en de kasseien een verhaal apart,” [Online]. Available: <http://www.fietsica.be/>. [Accessed: 10-October-2015].
2. Vanwalleghem, Joachim. “Study of the damping and vibration behaviour of flax-carbon composite bicycle racing frames.” Master’s Thesis, Ghent University 2010 (2009).
3. “Trillingshinder: cijfers over slechte verharding van fietspaden,” 2011 [Online]. Available: <http://www.fietzersbond.nl/de-feiten/verkeer-en-veiligheid/infrastructuur/fietspaden/trillingshinder-cijfers-slechte-verharding#.V02t6GM1rWh>. [Accessed: 12-October-2015].
4. “fietsvering,” [Online]. Available: <http://www.kvandewater2wielers.nl/tips/vering.html>. [Accessed: 14-October-2015].
5. “voorvering,” [Online]. Available: <https://defietssite.nl/de-voorvering/>. [Accessed: 14-October-2015].
6. “Redshift Shockstop,” [Online]. Available: <https://www.kickstarter.com/projects/redshiftsports/shockstop-the-shock-absorbing-bike-stem>. [Accessed: 15-October-2015].
7. “Suntour Swingshock,” [Online]. Available: <http://www.gizmag.com/suntour-swing-shock-suspension-fork-for-commuter-bikes/18607/>. [Accessed: 19-October-2015].
8. “Zertz Specialized,” [Online]. Available: <http://www.bike-advisor.com/bicycle-guides/road-comfort-guide-damping-shock-absorbing-and-vibration-reducing-technologies-for-road-bikes.html>. [Accessed: 13-October-2015].
9. “Lauf trail racer,” [Online]. Available: <http://dirtragemag.com/first-impression-laufs-radical-leaf-spring-suspension-fork/>. [Accessed: 8-Novembre-2015].
10. “Canyon Concept Bike,” [Online]. Available: <http://www.bikerumor.com/2014/09/02/eb14-project-mrsc-electronically-controlled-full-suspension-road-prototype-from-canyon/>. [Accessed: 15-December-2015].
11. “BMC soft tail,” [Online]. Available: <http://www.bikeradar.com/mtb/news/article/bmc-teamelite-01-first-look-44285/>. [Accessed: 6-Novembre-2015].
12. “Trek Domane,” [Online]. Available: <http://road.cc/content/news/56064-trek-domane-launch-pave-busting-road-bike-with...-suspension-video>. [Accessed: 15-October-2015].
13. “Ergon Pro CF3,” [Online]. Available: <http://www.ergon-bike.com/en/index.html>. [Accessed: 28-October-2015].

ONDERZOEK NAAR VOORVORKEN

VORK	TOEPASSING	MATERIAAL	SYSTEEM	COMFORT (1→ 5)	VEERWEG (m)	GEWICHT (g)
Lauf Trail Racer	XC	CARBON	BLADVEER	4	60	990
BMC granfondo	RACE	CARBON	VAST/SLOPE	1	5	380
FOX RACING SHOX 34 TALAS 26	ENDURO	ALU	LUCHT	5	160	1920
Ritchey WCS Carbon	XC	CARBON	VAST	1	2	625
Rock Shox Reba RL 29	XC	ALU	LUCHT	4	100	1664
Rock Shox Boxxer World Cup	DOWNHILL	ALU	LUCHT	5	200	2750
Rock Shox Pike RCT 3	ENDURO	MAG/ALU	LUCHT	5	160	1835
ROCK SHOX 30 GOLD TK 29	XC	ALU	LUCHT	4	100	1828
Fox 32 Float 27,5	XC	ALU	LUCHT	5	110	1800
Bontrager Race Road	RACE	ALU/CARBON	VAST	1	2	550
Dedacciai Black Magic 2	RACE	CARBON	VAST	1	2	378
Scott CR1 superlight	RACE	CARBON	VAST	1	5	329
Token TK9231	RACE	CARBON	VAST	1	2	350
Easton EC70X CYCLOROSS	CX	ALU/CARBON	VAST	1	2	775
Advanced Suspension-Style Tapere	XC	ALU/CARBON	VAST	1	2	860
MAGURA TS8 ELECT 120	XC	ALU	LUCHT	5	120	1500
ATB 28"/700 C	XC	STAAL	VAST	1	10	990
WCW 28"/700 C	XC	ALU	VAST	1	10	574
Rock Shox RS-1 29	XC	CARBON	LUCHT UP-SIDE-C	4	90	1666
Cannondale LEFTY Carbon XLR 10	XC	CARBON	LUCHT/SINGLE A	4	105	1332
Cannondale Lefty Oliver	CX	CARBON	LUCHT/SINGLE A	3	30	1180
RockShox Pike RCT3 29	ENDURO	ALU	LUCHT	4	150	1876
Manitou Dorado	DOWNHILL	ALU	LUCHT	5	200	2973
Manitou R7	XC	ALU	LUCHT	4	120	1533
Specialized SL4 Zertz	RACE	CARBON	VAST/ZERTZ	1		
	ROOD	WAARDEN WERDEN NIET TERUGGEVONDEN EN ZIJN EEN SCHATTING				



KEUZEMATRIX CONCEPTEN

		CONCEPTS																							
		1. FRONT FORK									2. WHEELS					3. STEM			4. HEADSET						
		links >	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	3.1	3.2	3.3	3.4	4.1	4.2
CRITERIA	testing >	CAE																							
	v importance v	CAE																							
	safety	steering behaviour	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
		braking behaviour	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
		UCI legality (similar benchmarks)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	performance	rider position (ergonomics)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
		energy efficiency	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
		lightweight	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
		lateral stiffness (cornering)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
		traction (live-ground contact)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
suspension	adjustable tension (during ride)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
	adjustable tension (between rides)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
	travel	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
	progressive suspension	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
	damping rebound	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
	lock-out	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	rear suspension application	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	2.5 / 2.8	5	5	5	5	5	2.3	5	5	5	5	5	5	
	early shock absorbing (frame)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
looks	coollocking	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
	aero	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
production	geometry frame	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
	little changes of classic design needed	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	manufacturability	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
universality	rider's weight	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
	all terrain use	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
	compatibility with other bikes	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
	use of standard brakes	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
innovation	classic way of tightening wheel	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
	pros towards benchmarks	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
	added value	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
	ease of use	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
	usability	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
	durability	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
v importance v		#	15	14	14	9	8	9	9	14	16	15	12	16	15	15	13	19	19	19	15	8	7	7	
5	demands	#	9	12	11	16	17	16	13	11	8	9	9	9	8	8	9	7	7	7	4	10	16	7	
2 - 4	wishes	#	5	3	4	4	4	3	6	4	4	5	7	3	5	5	6	2	2	2	3	3	4	3	
1	extra's	/	5	3	4	4	4	3	6	4	4	5	7	3	5	5	6	2	2	2	3	3	4	3	
			* SCORES																						
			Some criteria do overlap and there are many uncertainties (will be tested). The column 'importance' was not taken into account for the scores, but will be used for final decision.																						
			present / good performance / safe																						
			no improvement towards benchmarks / semi / adjustments needed / uncertainty / possible danger																						
			not possible / poor / absent / danger																						

MASTER INDUSTRIEEL ONTWERPEN

**ACADEMIEJAAR
2015-2016**