

OPENBAAR VERSLAG - Bacheloropdracht Industrieel Ontwerpen

TWEE CONCEPTEN VAN EEN ELEKTRISCHE TRACTOR DIE IN LIJN ZIJN MET HET HUIDIGE MODEL VAN DE MULTI TOOL TRAC.

Dion Hofsté



Auteur: D. Hofsté
Studentnummer: s1078488

Opdrachtgever: Multi Tool Trac Holding B.V.
Begeleider: ir. P.W.M. van Ham
Examinator: ing. T.G.M. Krone
Tweede examiner: prof. dr. ir. A.O. Eger

Verslag bachelor eindopdracht
Universiteit Twente
Faculteit Construerende Technische Wetenschappen
Opleiding Industrieel Ontwerpen
Postbus 217, 7500 AE Enschede

Almelo, 20-02-2015
Aantal bladzijden: 136

VOORWOORD

Het verslag dat voor u ligt is geschreven als afsluiting van de bacheloropleiding van Industrieel Ontwerpen aan de Universiteit Twente. De procesgang van mij als ontwerper binnen het bedrijf Multi Tool Trac B.V. staat beschreven in dit eindverslag. De opdracht betrof het ontwerpen van twee nieuwe concepten die aansloten bij het huidige model van Multi Tool Trac B.V. Aangezien het bedrijf Multi Tool Trac B.V. zich toespitst op het ontwikkelen van de allereerste elektrische tractor, bevond ik mij binnen deze ontwerpoperdracht op een heel ander terrein dan ik vanuit mijn opleiding gewend was. Dit was echter juist wat mij zo aansprak aan deze opdracht.

Na de eerste jaren van mijn bacheloropdracht bezig te zijn geweest met het ontwerpen van consumentenproducten, mocht ik me opeens een aantal maanden storten op het ontwerpen van een heuze tractor. Uiteraard bracht dit aanvankelijk een hoop onzekerheid en besef van ontbrekende kennis met zich mee, maar dit loste zich tijdens het proces allemaal op.

Tijdens het uitvoeren van de opdracht heb ik besloten een grens te trekken bij het ontwikkelen van de twee concepten. Omwille van de tijd was dit noodzakelijk, omdat het gehele project anders niet binnen de gestelde tijd van drie maanden paste. Aangezien dit het openbare verslag is, komt het voor dat bijvoorbeeld merknamen, leveranciers en overige informatie geschrapt is. Dit wordt te zijner tijd aangegeven.

Tot slot wil ik mijn begeleiders Paul van Ham en Theo Krone bedanken voor de begeleiding tijdens mijn bachelor eindopdracht. Tevens wil ik de medewerkers van Machinefabriek Boessenkool bedanken voor het prettige verblijf gedurende de opdracht voor Multi Tool Trac B.V.

Almelo, februari 2015

Dion Hofsté

BEGRIPSBEPALING

Tijdens het lezen van dit verslag is het van belang dat bepaalde begrippen en aanduidingen niet door elkaar gehaald worden. Om verwarring te voorkomen dienen er daarom een aantal begrippen nader verklaard te worden. Enkele begrippen die van belang zijn om de aanpak en aanleiding van het project te begrijpen staan hieronder opgesomd.

Landbouwwerktuig:

Een landbouwwerktuig is ontwikkeld om handwerk in de landbouwsector te vervangen door mechanische systemen, met als doel de productiviteit en efficiëntie te verhogen.

Landbouwwerktuigen kunnen voortbewogen en aangedreven worden door tractors of werktuigdragers, maar kunnen ook zelfrijdend zijn (Landbouwwerktuig, 2014).

Multi Tool Trac B.V.:

Het bedrijf Multi Tool Trac Holding B.V. wordt aangeduid met Multi Tool Trac B.V. Dit bedrijf bestaat uit de drie partners Wissels Techniek BV, Machinefabriek Boessenkool BV en Van Ham Organisatie en Advies BV. Samen ontwikkelen zij de Multi Tool Trac.

Multi Tool Trac:

Met de Multi Tool Trac wordt het huidige product van Multi Tool Trac B.V. bedoelt. Dit product is op het moment van schrijven nog een prototype van een elektrische werktuigdrager en is dus nog niet uitontwikkeld. Dit kan betekenen dat het prototype gedurende de opdracht aangepast wordt en/of dat sommige aspecten van het bedrijf of de werktuigdrager nog niet bekend zijn.

PTO of aftakas:

Een tractor kan met behulp van een PTO (Power Take Off) of aftakas zijn werktuigen aandrijven. De motor van de tractor drijft een spieas aan die vervolgens via een cardanverbinding de werktuigen aandrijft.

Spoorbreedte:

Afstand tussen het hart van twee wielen aan dezelfde as.

Tractor:

Wanneer er over een tractor gesproken wordt, gaat het over een tractor in de breedste zin van het woord met uitzondering van een werktuigdrager.

Werktuigdrager:

Een werktuigdrager is een bedrijfsvoertuig dat voornamelijk wordt gebruikt in de landbouw. Het is een modificatie van de conventionele tractor. De werktuigdrager moet universeel toepasbaar zijn; dit doel moet worden bereikt door de manier waarop landbouwwerktuigen aan de voorkant, de achterkant en tussen de beide assen gemonteerd kunnen worden (Geräteträger, 2014).

SAMENVATTING

Multi Tool Trac B.V. is een samenwerking van drie bedrijven die met de hulp van zeven boeren een nieuwe elektrische werktuigdrager ontwikkelen. Deze werktuigdrager zal actief zijn in de onbereden beddenteelt en maakt gebruik van een variabele spoorbreedte. Hierdoor kan de gebruiker op de akker met een grote spoorbreedte rijden, waarna hij op de weg naar huis weer over een smalle werktuigdrager kan beschikken. Dit is waarmee de Multi Tool Trac zich onderscheidt van andere tractoren en werktuigdragers. De elektrische aandrijving was aanvankelijk geen vereiste, maar bleek tijdens het ontwerpproces de meest geschikte manier van het aandrijven van de wielen. Dit bracht uiteraard nieuwe mogelijkheden met zich mee.

Na veel belangstelling van boeren en de media bestond er gedurende het assemblageproces van de Multi Tool Trac behoefte aan variaties op het bestaande prototype. Dit was de aanleiding voor deze opdracht. Er is besloten om twee nieuwe concepten te ontwikkelen die aan moesten sluiten bij het huidige model van de Multi Tool Trac. Hieruit is de opdrachtsformulering gerold:

“Ontwerp zo mogelijk twee concepten die gebaseerd zijn op het huidige model van de Multi Tool Trac, die voldoen aan de eisen en wensen van de geïnteresseerde boeren en die binnen de mogelijkheden van Multi Tool Trac B.V. passen.”

Concept 1 zou bestaan uit het ontwikkelen van een conventionele tractor die gebruik maakt van de Multi Tool Trac elektrische aandrijflijn en concept 2 zou een kleinere en lichtere versie van de Multi Tool Trac worden. Na een gezamenlijke analysefase waarin het prototype van de Multi Tool Trac, de beide doelgroepen en de mogelijke concurrenten geanalyseerd zijn, is de Multi Tool Trac opgedeeld in modules. Met behulp van deze modules zijn de beide concepten systematisch opgebouwd. Gedurende het proces werd duidelijk dat de modulaire opbouw niet alleen voor dit project geschikt is, maar ook voor de toekomstige productie van de Multi Tool Trac en met name concept 2. Wanneer dit bij ieder ontwerpproces centraal wordt gehouden, kan dit een sterk punt van het bedrijf Multi Tool Trac B.V. worden. Concept 1 & 2 zijn ontwikkeld door iedere module apart te behandelen en per module te kijken wat de meest geschikte oplossing zou zijn. Het divergeren en convergeren van ideeën binnen het ontwerpproces verliep dus per module. Wanneer alle modules behandeld waren, kon het geheel samengevoegd worden tot één tractor/ werktuigdrager.

Concept 1 wordt gekenmerkt door de centraal geplaatste cabine in combinatie met de vier identieke brede wielen. Door het centraal plaatsen van de cabine ontstaat er tevens een laadvloer aan de achterzijde van de tractor. Met een hefinrichting aan de voor- en achterzijde voldoet de elektrische tractor aan de eisen van de gemiddelde gebruiker. Concept 1 beschikt over een aslastverdeling van 60% op de vooras en 40% op de achteras. Met een dergelijke verdeling hoeft er minder snel contragewicht toegevoegd te worden als er een grote kracht op de achterhef uitgeoefend wordt. Dit komt ten goede van de efficiëntie van de elektrische tractor.

Concept 2 is door zijn modulaire opbouw erg geschikt voor boeren die een lichtere en kleinere variant van de Multi Tool Trac willen hebben. Het kleine broertje van de Multi Tool Trac is eenvoudig aan te passen naar de wensen van iedere akkerbouwer. Zo zijn de spoorbreedte en wielbasis te variëren en kan de klant ook beslissen of hij gebruik wil maken van een verrijdbare cabine.

Als de Multi Tool Trac in series geproduceerd wordt, is het met name concept 2 die op korte termijn als prototype gebouwd kan worden. Concept 2 vergt het minste aanpassingen ten opzichte van de Multi Tool Trac en kan daarom het eerst daadwerkelijk gerealiseerd worden. De modulaire opbouw dient ook bij de doorontwikkeling van concept 2 in het achterhoofd gehouden te worden. Concept 1 zal een langetermijnproject worden, omdat dit model simpelweg minder dicht bij het huidige prototype van de Multi Tool Trac staat.

De ontwikkelde concepten kunnen met behulp van het programma van eisen getoetst worden. Hieruit kan geconcludeerd worden dat concept 1, afgezien van de draairadius, voldoet aan de gestelde eisen. Er moest een afweging gemaakt worden tussen een kleine draairadius, een grote wielbasis en de grootte van de banden. Deze aspecten konden niet allemaal gerealiseerd worden, waardoor er is gekozen om de minimale draairadius op 5.4m te stellen. Dit is vergelijkbaar met concurrerende tractoren. Hier valt in de toekomst wellicht nog winst te behalen.

Concept 2 zou met de doorontwikkeling van de Multi Tool Trac ook aan alle eisen voldoen. De gewenste massareductie van 25% is echter nog niet gehaald, omdat de uitgangswaarde van de, nog niet uitontwikkelde, Multi Tool Trac nog te hoog is. De massa van de Multi Tool Trac dient eerst naar beneden gebracht te worden. Hierna is een massareductie van 25% voor concept 2 reëel.

SUMMARY

Multi Tool Trac B.V. is a partnership of three companies that has, together with the help of seven farmers, developed the prototype of an electrical powered agricultural machine. This machine is capable of carrying three agricultural implements at the same time and has the capability to vary its track width on the go. Especially the adaptable track width makes the Multi Tool Trac suitable for controlled traffic farming. This kind of farming makes use of permanent traffic lanes. The farmer repetitively uses the same wheel tracks for every operation. Multi Tool Trac B.V. decided during the development process to implement an electrical powertrain in their agricultural machine. This decision led to a lot of media attention and aroused curiosity among other farmers. Some farmers were interested in the application of the electrical powertrain in regular tractors, where others were potentially interested in a smaller and lighter version of the Multi Tool Trac. Because of all this interest there was a growing demand for additional concept studies. This final bachelor assignment report contains two of these concept studies. The exact assignment reads:

"Design two new tractor concepts, which are in line with the current prototype of the Multi Tool Trac, which satisfy the needs and wishes of future customers and fits within the capabilities of Multi Tool Trac B.V."

Concept 1 will exist of the implementation of the Multi Tool Trac power train within a conventional tractor. The second concept will cover the demand for a smaller and lighter version of the Multi Tool Trac. In the first design phase the prototype of the Multi Tool Trac will be analysed. Both concepts will experience the benefits from this research, because it is essential to fully understand the functioning of the Multi Tool Trac. This will be the foundation of the two concepts. Research has also been done into the potential customers and the products that are already on the market. Concept 1 and 2 are developed by dividing the original Multi Tool Trac into several modules. These modules are used during the design process to determine the best solutions. However, during the process it became clear that a module driven tractor design can bring a lot of advantages for Multi Tool Trac B.V. in comparison to competing companies. By making use of a module driven business strategy each farmer can order their own unique custom made agricultural machine.

Concept 1 is characterized by the central position of the cabin in combination with the four large identical wheels. By placing the cabin between the axles, a cargo floor is created on the rear side of the tractor. The farmer can carry implements using the three-point-hitch on the front or rear side of the tractor. One of the unique selling points of concept 1 is the load distribution of the electric tractor. Sixty percent of the total weight of the tractor rests on the front axle. This results in the fact that the user of the tractor does not have to put on additional counterweight when there is a force applied on the rear linkage. This fact ensures that the tractor runs more efficiently.

The module driven development of concept 2 makes it suitable for customers who want a smaller and lighter version of the Multi Tool Trac. Concept 2 requires the least changes compared to the

Multi Tool Trac. Therefore the second concept is most likely to be produced within a short period of time. Concept 1 will be a long-term project, because it is a totally different tractor compared to the Multi Tool Trac.

With the help of the specifications as mentioned in the requirements, concept 1 and 2 can be graded. From these specifications it can be concluded that concept 1, except from the turning radius, meets the requirements. Due to conflicting features as the tyre size, wheelbase et cetera, the turning radius could not meet the requirement. Because these features could not all be realised, there has been chosen to set the turning radius on 5.4m. This specification still fits within the range of turning radii of competing tractors. Future development could focus on improving the turning radius of the electric tractor.

When in the future the Multi Tool Trac is fully developed, concept 2 could also meet all its requirements. In this stage of the design process concept 2 is not able to meet the expected mass reduction of 25% of the original weight of the Multi Tool Trac. This requirement is not met, because the benchmark value of the Multi Tool Trac is still too high.

INHOUDSOPGAVE

Algemeen		Concept 2	
Inleiding	13	Analyse	94
Multi Tool Trac B.V.	14	Doelgroep	95
Plan van aanpak	16	Concurrentie	99
		Eisen en wensen	101
Multi Tool Trac	19		
Concept 1		Ontwerp	104
Analyse	26	Modules	105
Doelgroep	27		
Concurrentie	29	Detaillering	109
Eisen en wensen	34	Wielophanging	110
		Frame	112
Ontwerp	38		
Basis opzet	39	Eindontwerp	114
Wielophanging	43		
Frame	51	Conclusies 1 & 2	118
Stuurinrichting	54		
Range extender	56	Referenties	120
Overige modules	58		
Conclusie	61	Bijlagen	
		Bijlage F - CAD Model 1	123
Detaillering	63	Bijlage G - CAD Model 2	125
Frame	64		
Wielophanging	68		
Stuurinrichting	71		
Carrosserie	76		
Overige modules	82		
Eindontwerp	85		
Aanbevelingen	91		

INLEIDING

Het hoofdstuk 'Inleiding' bevat informatie over de totstandkoming van het bedrijf Multi Tool Trac B.V. en over het plan van aanpak van deze bachelor opdracht. Het is van belang dat er bekend is wat de achtergrond van het bedrijf is en welke beweegredenen er zijn geweest om de Multi Tool Trac te ontwikkelen. Aangezien Multi Tool Trac B.V. bestaat uit een samenwerking van meerdere bedrijven en partijen is het belangrijk dat de rol van iedere partij bekend is.

In het plan van aanpak staat beschreven op welke manier de opdracht aangepakt wordt. Het is hierbij goed om te weten dat de volgorde van het proces verschilt van de volgorde van het verslag. De opzet van het verslag is zo gekozen, dat de lezer zo min mogelijk verwarring ervaart tijdens het lezen van het verslag. Er dient namelijk een duidelijk onderscheid gemaakt te worden tussen concept 1, de elektrische tractor, en concept 2, een kleinere en lichtere versie van de Multi Tool Trac. Daarom wordt er in het verslag eerst aandacht besteed aan het gehele ontwerptraject van concept 1. Nadat dit traject is afgerond, staat het gehele ontwerptraject van concept 2 beschreven. Voorafgaand aan deze ontwerptrajecten wordt informatie verschaft over de Multi Tool Trac.

MULTI TOOL TRAC B.V.

Initiator Paul van Ham werd in zijn advieswerk voor 'Van Ham Organisatie en Advies B.V.' benaderd door akkerbouwers met de vraag naar een specifieke landbouwmachine voor de beddenteelt. De afgelopen vier jaar heeft hij partners gezocht die de ambitie voor het ontwikkelen van een dergelijke landbouwmachine deelden. De drie partners die binnen Multi Tool Trac Holding B.V. hun krachten bundelen zijn Wissels Techniek BV, Machinefabriek Boessenkool BV en Van Ham Organisatie en Advies BV. Multi Tool Trac B.V. is tevens partner van de Osse Equipment Manufacturing Group. Met de hulp van zeven akkerbouwbedrijven wordt er gewerkt aan twee op maat gemaakte prototypes van de Multi Tool Trac, te zien in figuur 1.1.

1.1.1 Aanleiding

Van Ham kwam in zijn werk als organisatieadviseur in contact met een akkerbouwer die met aangepaste ouderwetse werktuigdragers in de beddenteelt actief was. Deze machines waren verre van ideaal en hierdoor was de akkerbouwer druk aan het filosoferen over een hedendaagse opvolger. Aangezien Van Ham aan de Wageningen Universiteit is opgeleid als landbouwtechnicus zag hij mogelijkheden in het ontwikkelen van een passende oplossing voor deze akkerbouwers. Na het vinden van de juiste partners is dit project in een stroomversnelling gekomen met als huidig resultaat twee in aanbouw zijnde prototypes van de Multi Tool Trac (Grondig, 2014). Dit project wordt gesteund door het Rijk en door het Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling.

1.1.2 Wissels Techniek B.V.

Wissels Techniek is gestart in het begin van de jaren negentig binnen de landbouw mechanisatie. Al gauw heeft het bedrijf zich breder georiënteerd en is tegenwoordig voornamelijk actief in



Figuur 1.1: Multi Tool Trac render

het aanpassen, repareren en onderhouden van machines. Tevens bouwt en installeert Wissels Techniek nieuwe producten. Wissels Techniek is met meer dan tien jaar ervaring op het gebied van ontwikkeling, techniek, constructie, hydrauliek en service een nuttige partner binnen Multi Tool Trac B.V (Wissels Techniek, 2014).

1.1.3 Machinefabriek Boessenkool B.V.

Machinefabriek Boessenkool ontwerpt en produceert onderdelen voor machinebouw, complete machines en apparaten en verzorgt machinereparatie, renovatie of opwaardering van bestaande machines. Tevens biedt Boessenkool de nodige ruimte, in de vorm van fabriekshallen, om de Multi Tool Trac te assembleren. Vanuit Machinefabriek Boessenkool zullen de eerste modellen van de Multi Tool Trac de markt op gaan (Boessenkool, 2014).

1.1.4 Van Ham Organisatie en Advies B.V.

De initiator van het project is Van Ham Organisatie en Advies. Door de organisatiewerkzaamheden van Paul van Ham is hij in contact gekomen met de problemen in de akkerbouwsector. Deze problemen hebben ertoe geleid dat er op dit moment gewerkt wordt aan een passende oplossing. Wissels, Osse en van Ham zijn te zien in figuur 1.2.

Multi Tool Trac B.V. heeft een hedendaagse werktuigdrager ontwikkeld die elektrisch wordt aangedreven. Een werktuigdrager lijkt op een reguliere tractor, maar het is een modificatie daarvan. De werktuigdrager moet universeel toepasbaar zijn; dit doel moet worden bereikt door

de manier waarop landbouwwerktuigen aan de voorkant, de achterkant en tussen de beide assen gemonteerd kunnen worden (Geräteträger, 2014). Een conventionele tractor heeft niet de mogelijkheid om een werktuig tussen de assen te monteren. Dit is bij de Multi Tool Trac wel het geval. De Multi Tool Trac maakt tevens gebruik van twee schuifassen waarmee de spoorbreedte al rijdend veranderd kan worden. Het variëren van de spoorbreedte is met name voor akkerbouwers in de beddenteelt van groot belang. Op de akker wil men namelijk breder rijden dan op de weg is toegestaan. Multi Tool Trac B.V. werkt op het moment van schrijven aan het eerste prototype. Wanneer deze operationeel is zal hij meerdere testen ondergaan om zwakke plekken bloot te leggen. Het totaal aan functionaliteiten van de Multi Tool Trac wordt in hoofdstuk 2 vermeld. In hoofdstuk 3 worden de werkzaamheden van een akkerbouwer in de beddenteelt toegelicht.



Figuur 1.2: Wissels, Osse en Van Ham op de Multi Tool Trac

PLAN VAN AANPAK

Het doel van de opdracht is het ontwikkelen van twee conceptvarianten van het huidige model van de Multi Tool Trac. Deze opdracht is voortgekomen uit een bezoek aan de Agro Techniek Holland beurs. Deze beurs bracht het prototype in contact met potentiële gebruikers, welke zich afvroegen of er nog andere modellen beschikbaar waren. Dit was niet het geval waardoor er bij Multi Tool Trac B.V. behoefte ontstond aan meerdere varianten van de Multi Tool Trac. Het ontwikkelen van twee nieuwe concepten zal dus hopelijk de aandacht trekken van boeren die niet per se binnen de beoogde doelgroep van de Multi Tool Trac vallen, maar wel open staan voor innovaties binnen de landbouwsector. Het productaanbod, en daarmee de mogelijkheden, van het bedrijf kunnen met twee nieuwe concepten worden verbreed.

1.2.1 Concept 1

De eerste variant zal een elektrische tractor (geen werktuigdrager) worden die gebruik maakt van dezelfde elektrische aandrijftechniek als de Multi Tool Trac. De elektrische tractor kan, in tegenstelling tot de Multi Tool Trac, gebruikt worden door boeren uit vrijwel alle sectoren. Met name dit model verbreedt de doelgroep van Multi Tool Trac B.V. Op dit moment is er binnen Multi Tool Trac B.V. nog geen aandacht besteed aan het ontwikkelen van een dergelijk concept.

1.2.2 Concept 2

De tweede variant zal een kleinere en lichtere variant zijn van het huidige model van de Multi Tool Trac. Dit kleine broertje van de Multi Tool Trac zal geschikt zijn voor boeren die minder land tot hun beschikking hebben. De mogelijke varianten zijn gebaseerd op wensen van potentiële klanten. Op dit moment is er binnen Multi Tool Trac B.V. nog geen aandacht besteed aan het ontwikkelen van een dergelijke concept.

1.2.3 Opdrachtsformulering

Ontwerp zo mogelijk twee concepten die gebaseerd zijn op het huidige model van de Multi Tool Trac, die voldoen aan de eisen en wensen van de geïnteresseerde boeren en die binnen de mogelijkheden van Multi Tool Trac B.V. passen.

1.2.4 Detailleringniveau

Om te voldoen aan de opdrachtformulering is het van belang dat er grenzen worden aangegeven. Wat wordt er wél onderzocht en ontwikkeld en wat niet. Dit zijn zowel grenzen met betrekking tot de detaillering van de concepten, als grenzen aan de deliverables. De opdracht kan met hulp van deze grenzen ook eenvoudiger beoordeeld worden. De opdrachtgever heeft de voorkeur gegeven aan twee nieuwe concepten boven één gedetailleerd uitgewerkt concept. Het uitwerken van zo mogelijk twee concepten zal dus betekenen dat er duidelijkheid moet bestaan over het niveau van uitwerking. Deze grens zal voor beide concepten gelijk moeten zijn, zodat beide concepten op een gelijkwaardig niveau uitgewerkt worden.

De detailleringsgrens kan lastig in absolute waarden uitgedrukt worden. De detailleringsgrens wordt daarom beschreven door middel van technische modules, zoals aanwezig in het huidige prototype van de Multi Tool Trac. Het ontleden in modules is in dit geval tevens de start van het modulaire ontwerpproces. De betreffende modules zijn te zien in figuur 1.3. Er is bij het opdelen in modules onderscheid gemaakt tussen modules die aangepast mogen worden (intramodulair aanpasbaar) en modules waarbij het verstandig is ze niet aan te passen (intramodulair niet-aanpasbaar). Onderling mag er wel gevarieerd worden met modules (intermodulair aanpasbaar).

Intramodulair niet-aanpasbaar

De intramodulair niet-aanpasbare modules zijn in het geval van de ‘verstelbare spoorbreedte’ en de ‘elektrische aandrijflijn’ technische systemen waar Multi Tool Trac B.V. expertise en kennis in heeft opgedaan. Het is het meest verstandig om deze kennis rechtstreeks toe te passen in toekomstige modellen van de Multi Tool Trac. Deze kennis is wat Multi Tool Trac B.V. onderscheidt van zijn concurrenten. Andere intramodulair niet-aanpasbare systemen zijn onmisbaar voor het werk in de landbouwsector zoals de ‘hefrichting & PTO’ en de ‘cabine’. Wanneer deze systemen veranderd worden sluiten ze wellicht niet meer aan op het gebruik van bestaande werktuigen.

Intramodulair aanpasbaar

De intramodulaire veranderingen van de systemen worden toegestaan bij bijvoorbeeld het ‘frame’, de ‘stuurinrichting’ en de ‘carrosserie’ om aan de wensen van de doelgroep te voldoen. Het veranderen van deze systemen in combinatie met de intermodulaire veranderingen moet uiteindelijk tot het nieuwe product leiden.

Intermodulair aanpasbaar

Met de relaties van de modules onderling mag gevarieerd worden. Deze variaties in combinatie met de intramodulaire veranderingen zullen zo mogelijk leiden tot twee nieuwe concepten.

CONFIDENTIËLE INFORMATIE:

Verdeling modules

1.2.5 Planning

Binnen deze opdracht wordt er prioriteit gegeven aan concept 1. Dit concept lijkt op voorhand de meeste aanpassingen ten opzichte van de Multi Tool Trac te moeten ondergaan en vergt daarom het meeste tijd. In het overzicht in figuur 1.4 komt dit naar voren doordat het ontwerpproces van concept 2 telkens parallel loopt met een ander proces. Het ontwerpproces van concept 1 vergt het meeste tijd en wordt daarom niet tegelijk met andere werkzaamheden gepland.

PROCESPLANNING	
CONCEPT 1	CONCEPT 2
Algemene analyse	
Analyse 1	Analyse 2
Ontwerp 1	
Detaillering 1	Ontwerp 2
Eindontwerp 1	Detaillering 2
Verslag	Eindontwerp 2

Figuur 1.4: Procesplanning

Hoofdstuk 2

MULTI TOOL TRAC

Bij het ontwerpen van twee nieuwe concepten voor Multi Tool Trac B.V. is het van belang dat het bekend is welke kennis en expertise omtrent de Multi Tool Trac al in huis is. Het is daarom noodzakelijk dat de werking van de Multi Tool Trac duidelijk is. Aangezien de Multi Tool Trac nog in aanbouw is, kunnen er een aantal aspecten nog onduidelijk zijn. Mocht dit voorkomen, dan zal dit aangegeven worden. Het prototype van de Multi Tool Trac wordt binnen deze analyse als grootste bron van informatie gebruikt. De werknemers en partners van Multi Tool Trac B.V. zijn tevens bereid informatie omtrent de Multi Tool Trac te verschaffen. Verschillende systemen binnen de Multi Tool Trac zullen tijdens het ontwerpproces als uitgangsbasis gebruikt worden. Het kan ook voorkomen dat sommige systemen in zijn geheel, zonder aanpassingen, overgenomen worden. Deze systemen zullen per module behandeld worden in dit hoofdstuk. De informatie en terminologie die in dit hoofdstuk vermeldt staan zullen tevens gebruikt worden bij de analyse- en ontwerphoofdstukken. Voor nadere uitleg kan er bij het hoofdstuk 'Begripsbepaling' gekeken worden.

MULTI TOOL TRAC

Het ontwerpen van twee aanvullingen op het productaanbod van Multi Tool Trac B.V. vergt kennis van het bedrijf en het huidige product van Multi Tool Trac B.V. Dit hoofdstuk vermeldt alle hoofdlijnen en details van het huidige prototype van de Multi Tool Trac.

2.1.1 Algemene afmetingen

De Multi Tool Trac is met een wielbasis van 5.50m en een hoogte van bijna 4m erg groot in vergelijking met de andere tractoren op de markt. De afmetingen van de Multi Tool Trac, een werktuigdrager, en overige tractoren is echter slecht te vergelijken, omdat ze andere doelen hebben. De ruimte onder het frame van de Multi Tool Trac en tussen de assen wordt gebruikt om werktuigen op te hangen, terwijl dit bij de reguliere tractoren niet het geval is. Dit gegeven resulteert in de maten voor de hoogte (4m) en de wielbasis (5.50m).

2.1.2 Cabine

De cabine is traploos verstelbaar over de lengterichting van het frame om zo de bestuurder meer zicht te geven wanneer hij op de weg rijdt. Dit kan tevens handig zijn als de bestuurder zicht wil houden op zijn voorste werktuig. De cabine kan dus daar staan waar de bestuurder er het meest baat bij heeft. Een bestuurder in een reguliere tractorcabine kijkt altijd tegen de neus van de tractor aan, waardoor het zicht rondom de stuurinrichting minimaal is. Aangezien het voor de Multi Tool Trac van belang is dat er voldoende zicht in op de weg en de werktuigen is er gekozen



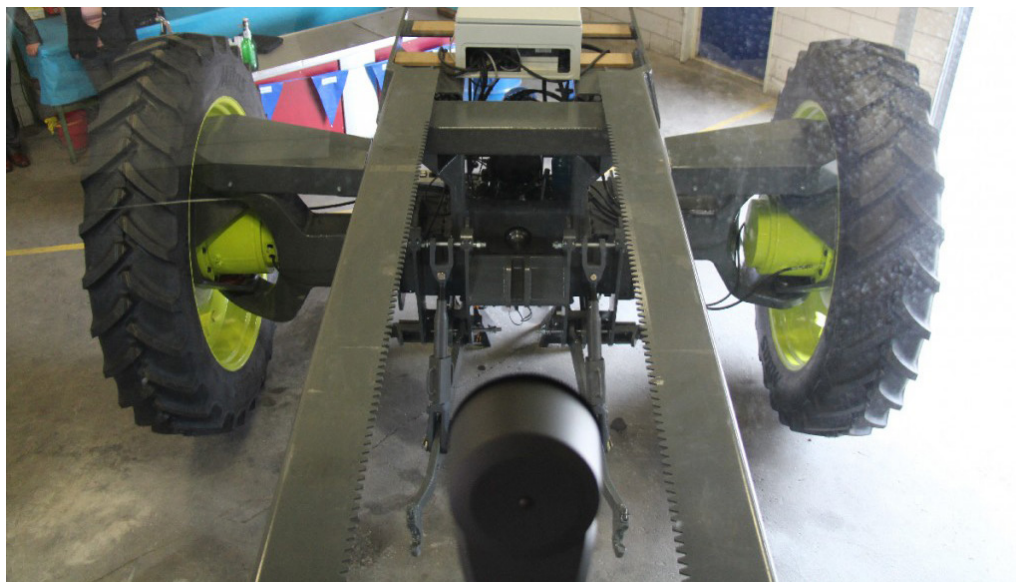
Figuur 2.1: Hakselaar met cabine

voor een maaidorsercabine. Bij deze cabine kan er bijvoorbeeld zonder belemmering naar het middelste werktuig gekeken worden.

Met behulp van twee elektromotoren en twee tandwielen wordt de cabine via een vertanding in het frame naar voor en achter geschoven. Deze vertanding in het frame is te zien in figuur 2.2. De elektromotoren worden aangestuurd door twee frequentieregelaars.

2.1.3 Verstelbare spoorbreedte

De werktuigdrager wordt gekenmerkt doordat hij over een variabele spoorbreedte beschikt. Het vergroten van de spoorbreedte zorgt ervoor dat de werktuigdrager minder akkerland verdicht wanneer de boer over zijn akker rijdt. Hoe groter de werkbreedte van de werktuigdrager, hoe minder rijpaden er gebruikt hoeven worden. Het huidige prototype varieert zijn spoorbreedte van 2.25m naar 3.25m. Dit verschil zal in de toekomst wellicht nog groter kunnen zijn.



Figuur 2.2: Zicht vanuit cabine Multi Tool Trac

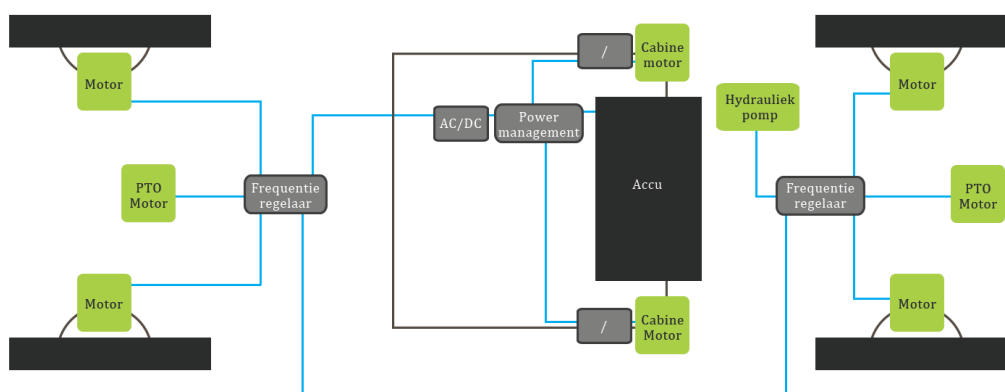
2.1.4 Stuurinrichting

De besturing van de Multi Tool Trac vindt plaats in de cabine zoals hiervoor beschreven. De gebruiker heeft de beschikking over vier sturende wielen. Op deze manier kan de draairadius, gezien de lengte van de werktuigdrager, redelijk klein gehouden worden. De exacte draairadius is op het moment van schrijven nog niet bekend. Met behulp van GPS ondersteuning kan de tractor zich nauwkeurig over de rijpaden bewegen. Met een nauwkeurigheid van $\pm 2\text{cm}$ wordt er ieder jaar optimaal gebruik gemaakt van de rijpaden, waardoor de grond en gewassen in de bedden intact blijven (Twentrac, 2014).

2.1.5 Elektrische aandrijflijn

Het variëren van de spoorbreedte zou lastig uit te voeren zijn met een reguliere aangedreven as. De eenvoudigste oplossing daarvoor was het elektrisch aandrijven van de vier wielen. Op deze manier hoeft er geen geïntegreerde aandrijving in de module van de variabele spoorbreedte

te zijn. De vier elektromotoren, met een nominaal vermogen van 4x 22kW en een maximaal vermogen van 4x 44kW, worden namelijk rechtstreeks bij het wiel geplaatst. Binnen de naaf wordt de roterende beweging via een planetaire overbrenging overgebracht op het wiel. Het gehele elektronicaschema van de Multi Tool Trac is in figuur 2.5 te zien. Wanneer het accupakket leeg is, zal de range extender ingeschakeld worden. Door gebruik te maken van elektromotoren is het koppel maximaal bij snelheid nul. De koppel-toerentalcurve van figuur 2.6 geeft dit duidelijk weer. Dit is erg gunstig voor een tractor, omdat deze juist gebruik wil maken van een zo groot mogelijk koppel bij een lage snelheid. Het koppel van een elektromotor is ook vele malen groter dan die van een interne verbrandingsmotor (Tesla Motors, 2014). Daar komt nog eens bij dat ieder wiel beschikt over een eigen motor, terwijl een traditionele tractor vier wielen aan moet drijven met slechts één motor. De vier elektromotoren zullen warmte produceren en daarom dienen deze motoren gekoeld te worden. Er is daarom een koelsysteem aangelegd die alle elektromotoren binnen de Multi Tool Trac koelt. De vier wielmotoren, de twee PTO-motoren en de twee cabinemotoren zijn opgenomen binnen dit koelsysteem. Via een radiator wordt de warmte weer afgegeven aan de buitenlucht. De koelleidingen van de wielmotoren lopen, met een zo groot mogelijk contactoppervlak, door de motoren heen om de warmtewisseling zo groot mogelijk te maken.



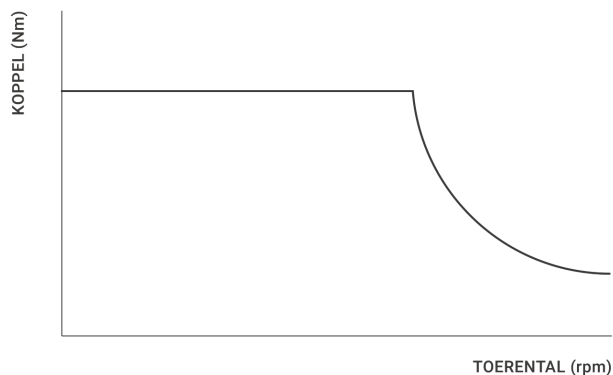
Figuur 2.5: Netwerk van elektronica

2.1.6 Wielophanging

De wielophanging van de Multi Tool Trac wordt gekenmerkt door twee assen die langs elkaar schuiven in een daarvoor ontworpen omhullende box. De achteras zit met een starre verbinding aan het frame gemonteerd. Deze as wordt dus niet gewenteld of geveerd. Een in het oog springend kenmerk zijn de fuseearmen van de Multi Tool Trac.

2.1.7 Range extender

Op het moment dat de accu geen energie meer kan leveren, wordt de range extender ingeschakeld. Een range extender is een toevoeging op een elektrisch aangedreven voertuig die er voor zorgt dat de actieradius, bij nood, uitgebreid kan worden. Deze uitbreiding wordt gerealiseerd door een hoge toeren generator die wordt aangedreven door een zes cilinder dieselmotor van 140kW. Wanneer de dieselmotor wordt gestart, laadt de generator het



Figuur 2.6: Koppel-toerental curve van wisselstroommotor

accupakket weer bij. Op deze manier kan de gebruiker langer van de Multi Tool Trac gebruik maken.

2.1.8 Hefinrichting en PTO

De werktuigdrager van Multi Tool Trac B.V. heeft de beschikking over drie hefinrichtingen waarbij twee inrichtingen ook een aftakas (PTO) hebben. Er kan daardoor

een werktuig geplaatst worden achter de achteras, voor de vooras en achter de vooras. De tractor kan hiermee meerdere werktuigen tegelijk hun werk laten doen. Een conventionele tractor drijft de aftakas aan met dezelfde dieselmotor die gebruikt wordt voor de aandrijving van de wielen. De Multi Tool Trac maakt gebruik van twee watergekoelde elektrische aftakasmotoren.

2.1.9 Carrosserie

De carrosserie van de Multi Tool Trac heeft als primaire doel het afschermen van de dieselmotor en generator. Deze carrosserie zal ook plaats bieden aan de verlichting, de luchtinlaat voor de radiator en overige toevoegingen aan de werktuigdrager. De carrosserie dient zo weinig mogelijk van het zicht van de bestuurder weg te nemen. Om aan deze eis te voldoen zal er rekening gehouden moeten worden met de module 'cabine'. De secundaire functie van de carrosserie is het vormen van een identiteit en merkbeeld. De cabine valt niet binnen de module carrosserie, omdat de cabine ingekocht wordt en niet zelf ontwikkeld en gefabriceerd wordt. In figuur 2.10 is de carrosserie van het prototype te zien, terwijl figuur 2.11 de carrosserie van het CAD-model toont.



Figuur 2.10: Multi Tool Trac op Agrotechniek Holland beurs

2.1.10 Frame

Het frame van de Multi Tool Trac staat voornamelijk in dienst van de werktuigen die het draagt. Dit komt terug in bijvoorbeeld de ruimte tussen de assen en de mogelijkheid dat de cabine traploos verstelbaar is over de lengte van het frame. De constructie van het frame bepaalt mede wat het maximaal belastbare gewicht van de Multi Tool Trac is.



Figuur 2.11: Render CAD-Model Multi Tool Trac

CONCEPT 1

Dit is het begin van het ontwerpproces van concept 1, de elektrische tractor. Alle analyses, beslissingen en keuzes binnen dit deelverslag hebben betrekking op de ontwikkeling van concept 1. Later in het procesverslag van deze bachelor eindopdracht wordt het ontwerpproces van concept 2 behandeld.

Binnen dit deelverslag wordt een onderscheid gemaakt tussen de analysefase, de ontwerpfase en de detailleringsfase. In de ontwerpfase zullen eerst grove ontwerpkeuzes worden gemaakt. De detailleringfase zal vervolgens de ontwerpkeuzes op een gedetailleerder niveau toelichten. Het eindresultaat van deze fases is te zien in het hoofdstuk 'Eindontwerp - 1'. Dit deelverslag wordt afgesloten met aanbevelingen ten opzichte van het ontworpen product.

Hoofdstuk 3

ANALYSE - 1

Het hoofdstuk 'Analyse - 1' is de start van het ontwerpproces van concept 1. Binnen dit hoofdstuk zullen de doelgroep en concurrentie geanalyseerd worden. Deze analyses zullen gebruikt worden om een programma van eisen op te stellen voor concept 1. Deze eisen en wensen zullen gedurende het hele ontwerpproces terugkeren zodat het eindontwerp aan de juiste verwachtingen voldoet.

De doelgroepanalyse van concept 1 bestaat voornamelijk uit de eigenschappen en werkzaamheden van deze doelgroep. Er zal hierbij ingegaan worden op de mogelijke beweegredenen van een boer om over te stappen op een elektrische tractor en er wordt een korte opsomming gemaakt van de legio werkzaamheden van de doelgroep.

De concurrentieanalyse behandelt vrijwel alle aspecten van een hedendaagse tractor. Hieruit wordt er een beeld gecreëerd waar concept 1 aan zou moeten voldoen. De kenmerken van deze aspecten zijn gebundeld in een samenvatting van vier hedendaagse tractoren. Concept 1 zou met deze groep van tractoren moeten kunnen concurreren.

Wanneer de kenmerken van de doelgroep en de concurrentie geanalyseerd zijn, kan er een programma van eisen opgesteld worden. Dit eisenpakket wordt meegenomen naar het hoofdstuk 'Ontwerp - 1'.

DOELGROEP - 1

De eerste variant van de Multi Tool Trac zal ontwikkeld worden voor boeren die niet in een specifieke sector actief zijn. Deze variant zal gebruikt worden voor uiteenlopende doeleinden en kan als vervanger van de klassieke multifunctionele tractor gezien worden.

3.1.1 Eigenschappen doelgroep

De boer die geïnteresseerd is in een multifunctionele elektrische tractor wordt gekenmerkt door zijn zelfstandigheid, vooruitstrevendheid en affiniteit met grond en natuur. Er wordt daarom constant nagedacht over hoe er zo goed mogelijk met land en materieel omgesprongen kan worden.

De meeste boeren stappen voornamelijk om de economische redenen over naar biologische landbouw. De vraag naar biologisch voedsel wordt namelijk alsmaar groter. Monitor Duurzaam Voedsel (2014) vermeldt dat het percentage marktaandeel van duurzaam voedsel sinds van 4.39% (2011) naar 6.07% (2013) is gestegen. Met het oog op de toekomst zou dit economisch gezien een verstandige overstap zijn.

Zelfvoorzienende landbouw lijkt tevens steeds aantrekkelijker te worden. In navolging van zelfvoorzienendheid op het gebied van energie en afvalverwerking lijkt het alsmaar belangrijker te worden dat er ook zelfvoorzienend geboerd wordt. Deze zelfvoorzienendheid is nationaal gezien van belang, maar ook ieder individu afzonderlijk heeft er baat bij dat hij minder afhankelijk is van middelen uit het buitenland.

Een elektrische tractor zou deze boeren, op een duurzame manier, kunnen voorzien in hun behoeftes. Wanneer de boeren hun gegenereerde energie via hun elektrische tractor weer nuttig kunnen gebruiken is de cirkel bijna weer rond.

3.1.2 Werkzaamheden

De tractor in zijn huidige vorm wordt gebruikt voor talloze doeleinden. Er wordt daarom ook van de elektrische variant verwacht dat deze niet achterblijft bij de mogelijkheden die de huidige tractor al biedt. De hedendaagse tractor wordt gebruikt om werktuigen zonder eigen aandrijving te duwen, trekken of slepen. In figuur 3.1 staat een voorbeeld van een dergelijke tractor met werktuig. Het duwen, trekken of slepen van een werktuig gebeurt voornamelijk met behulp van een trekhaak of een hefinrichting. Een drie-punts-hefinrichting wordt gebruikt om werktuigen in op te hangen. Hydraulisch kan het werktuig in hoogte worden versteld. De aandrijving van werktuigen geschiedt door middel van de aftakas. Middels een cardanverbinding kan er een vermogen overgebracht worden van tractor naar het werktuig. Het vermogen dat via de cardanverbinding naar het werktuig gestuurd wordt, is afkomstig van de dieselmotor van de tractor. Het vermogen aan de aftakas is dus afhankelijk van het vermogen van de motor.



Figuur 3.1: Claas tractor + balenpers

Verschillende werktuigen bieden legio mogelijkheden aan het gebruik van de tractor. Zo kan er bijvoorbeeld gemaaid, geploegd, bemest, gezaaid en geoogst worden. Door het toevoegen van een voorlader kan een boer bijvoorbeeld ook gebruik maken van een grondbak, pallet lepels, mestvork en een sneeuwschuiver. Deze opsommingen laten slechts een deel van de handelingen zien die een boer met behulp van zijn multifunctionele tractor uit kan voeren.

CONCURRENTIE - 1

Wanneer Multi Tool Trac B.V. concept 1, een elektrische tractor, in productie gaat nemen, moet het er van op de hoogte zijn wie haar concurrenten zijn. De markt waarin Multi Tool Trac B.V. gaat opereren wordt gedomineerd door bedrijven die een jarenlange ervaring hebben in het produceren van landbouwvoertuigen. De klant zal op sommige vlakken niets aan kwaliteit in willen leveren. Bij het zoeken naar een nieuwe tractor is er een aantal aspecten waar de boer rekening mee zal houden. De prioriteiten van deze aspecten zullen echter voor iedere boer verschillend zijn.

3.2.1 Brandstof + brandstofverbruik

Het verbruik van een conventionele tractor wordt door een aantal factoren beperkt. Zo maakt vrijwel iedere hedendaagse tractor gebruik van een dieselmotor. Het afschaffen van de rode diesel heeft ervoor gezorgd dat het brandstofverbruik steeds belangrijker is geworden bij het aanschaffen van een nieuwe tractor. Ook voor het afschaffen van de rode diesel steeg de prijs jaar op jaar. Zo is de rode diesel van 1995 tot 2005 €0.41 per liter gestegen naar €0.64 per liter (Boerderij, 2005). De reguliere diesel is van 2006 tot 2013 €0.38 per liter gestegen naar €1.42 per liter (CBS, 2014). Deze prijsstijgingen doen boeren beslissen voor zuinigere tractoren te kiezen. Deze vraag heeft er al voor gezorgd dat producenten zuinigere tractoren op de markt hebben gebracht. Het brandstofverbruik van een tractor stijgt dus langzamerhand op de prioriteitenlijst van een boer. In tegenstelling tot auto's, is het bij tractoren niet van belang hoeveel kilometers er per liter brandstof gereden kunnen worden. Het is voornamelijk belangrijk dat de tractor zoveel mogelijk vermogen per liter brandstof kan leveren. Het gaat hierbij om het maximale vermogen en maximale koppel per liter dieselolie.

3.2.2 Vermogen

Het vermogen van een tractor is in het dagelijks gebruik wellicht het belangrijkste aspect waaraan een tractor, volgens boeren, moet voldoen. De werktuigen die de boer bezit zijn afgestemd op het vermogen van de tractor en vice versa. Het is daarom van belang dat de boer ruim keuze heeft wat betreft vermogen. Vermogen wordt in de tractorbranche op verschillende manieren gemeten. De meest gebruikte manieren worden aangegeven met de volgende coderingen: ECE-R24, 97/68/EC, ISO 14396. Deze manieren van het meten van vermogen gebeuren allemaal in een proefopstelling, waarbij de motor nog niet is ingebouwd in de uiteindelijke tractor. Er is zelfs geen aandrijflijn of transmissie aanwezig waar vermogen in verloren kan worden. De Engelse term voor dit vermogen is 'brake horsepower (BHP)'. De ECE-R24 meting wordt verricht met een aangesloten en aangedreven koelventilator, waardoor de motor iets minder vermogen vertoont dan zonder aangesloten koelventilator. De ISO meting wordt verricht zonder aangedreven koelventilator (externe koeling), waardoor de meting hoger uitvalt dan de ECE-R24 meting. De 97/68/EC meting maakt gebruik van een nog efficiëntere externe koeling wat resulteert in het hoogste vermogen (Farmers Guardian, 2007).

Het echte vermogen van een tractor wordt pas zichtbaar op het moment dat er werktuigen aangedreven moeten worden via de aftakas en/of dat er zware lasten getrokken moeten worden. De vermogens die in de brochures van de tractoren te vinden zijn, zijn dus niet de werkelijke vermogens. De boer zal, afhankelijk van zijn werkzaamheden, in sommige gevallen een voorkeur hebben voor meer vermogen aan de wielen of meer vermogen aan de aftakas. Bij 3.2.6 wordt verder uitgelegd wat een aftakas is en waar deze aansluiting aan moet voldoen.

3.2.3 Massa

De massa van een tractor wordt vaak zo goed mogelijk verdeeld over de wielen zodat de bodemdruk laag gehouden kan worden. Door gebruik te maken van brede banden wordt de grond zo min mogelijk verdicht. Brede banden hebben echter consequenties voor de draairadius. Iedere producent probeert zijn tractor zo licht mogelijk te houden om verdichting van het land te minimaliseren. Er dient echter rekening gehouden te worden met de te verrichten werkzaamheden. Zo wordt er bij ploegen vaak contragewicht toegevoegd om het omhoog komen van de vooras te voorkomen. De massa op de aangedreven assen is tevens van belang om tractie te houden. Hoe lager de aslast, hoe groter de kans op het slippen van de banden.

3.2.4 Draairadius

De wendbaarheid van een tractor kan op twee verschillende manieren uitgedrukt worden. Sommige producenten gebruiken de term draaicirkel terwijl anderen de term draairadius gebruiken. Hier dient op gelet te worden bij het vergelijken van tractoren. Binnen dit project wordt er alleen gewerkt met de term draairadius. Een kleine draairadius draagt bij aan het efficiënt gebruik maken van de akker. Een boer keert zijn tractor op de kop van een akker. Wanneer deze ruimte klein gehouden kan worden, kan er meer akkerland gebruikt worden om gewassen op te verbouwen. Een kleine draairadius van de tractor leidt dus tot een kleinere kopakker. Tevens draagt een kleine draairadius bij aan het gebruiksgemak van de tractor.

3.2.5 Hefvermogen



Figuur 3.2: Hefinrichting + PTO achter

Het hefvermogen van een tractor heeft betrekking op de drie-punts-hefinrichting. Deze hefinrichting zit op een conventionele tractor achter de achteras. Een dergelijke hefinrichting is te zien in figuur 3.2. Optioneel is een hefinrichting voor de vooras. De driepuntsophanging bestaat uit een topstang en twee hefarmen die hydraulisch bedienbaar zijn. Zijdelings heeft de hefinrichting enige speling zodat het werktuig eenvoudig aan te koppelen is. De topstang zorgt ervoor dat het werktuig op de juiste diepte werkt. De krachten die op het werktuig werken worden via de hefinrichting overgebracht op de tractor (Driepuntsophanging, 2014). Een groter hefvermogen betekent dat de tractor een grotere kracht kan leveren op het te bedienen werktuig.

3.2.6 Aftakas snelheden

De meeste werktuigen die aandrijving vanuit de aftakas nodig hebben, zijn ontworpen om gebruik te maken van 540 omwentelingen per minuut. Werktuigen die veel vermogen vragen worden vaak aangedreven met een aftakas van 1000tpm. Door het hoge toerental blijven de krachten in de as lager. Om brandstof te besparen bestaan er ook tractoren die 750tpm of 1400tpm aan de aftakas kunnen leveren. Deze snelheden worden gebruikt om werktuigen met respectievelijk 540tpm en 1000tpm aan te drijven met een lagere toerental van de motor. Op deze manier verbruikt de tractor minder brandstof. Hierom worden deze snelheden ook wel met 540E en 1000E aangeduid (Aftakas, 2014).

3.2.7 Voor- en achterlader

De multifunctionele tractor wordt nog veelzijdiger wanneer er een voor- of achterlader gemonteerd wordt. Deze lader stelt de boer in staat om een grondbak, pallet lepels, een mestvork et cetera te bedienen met zijn tractor. In figuur 3.3 is een tractor te zien die zijn voorlader gebruikt om hooibalen te stapelen.

3.2.8 Carrosserie

De carrosserie van een nieuwe tractor zal een boer niet direct aanzetten tot koop. Er wordt bij



Figuur 3.3: Claas tractor met voorlader

nieuwe tractormodellen ook weinig mee gevarieerd, omdat er voornamelijk volgens het 'form follows function' principe wordt gewerkt. Een merkidentiteit van een tractorfabrikant wordt echter in grote mate toch bepaald door de carrosserie van zijn productaanbod. Aangezien een tractor voor een boer tevens een statussymbool is, zal een duidelijke productlijn bijdragen aan het imago van de tractorfabrikant. Afgezien van de praktische functies, afschermen motor compartiment, plaats bieden aan verlichting et cetera, speelt de carrosserie onbewust toch een grote rol in de uitstraling van de tractor. De carrosserie van een hedendaagse tractor heeft geen invloed op de sterkte van het voertuig en bestaat voornamelijk uit een cabine, motorkap en spatborden.

3.2.9 Transmissie

Tractors maken gebruik van een transmissie, omdat het gevraagde koppel of de gevraagde snelheid niet rechtstreeks uit de motor gehaald kan worden. Met behulp van een overbrenging kunnen koppel en snelheid handmatig geregeld worden. Hedendaagse tractoren maken vrijwel allemaal gebruik van een (half)automatische transmissie. De meest gebruikte zijn de continu variabele transmissie (CVT) en de powershift transmissie. Het is voor dit project niet van belang dat de werking van een tractor transmissie uitgewerkt wordt, omdat de Multi Tool Trac geen gebruik maakt een dergelijke transmissie. Het is alleen van belang dat het duidelijk is welke voordelen de transmissies van concurrenten bieden. Het gebruik van elektromotoren maakt het echter mogelijk om traploos te variëren in de snelheid van de wielen. Er is daarom tevens altijd vermogen beschikbaar. De motor hoeft nooit ontkoppeld te worden van het wiel.

3.2.10 De gemiddelde tractor

Om vergelijkingsmateriaal te hebben worden de specificaties van een aantal tractoren op een rijtje gezet. Deze soortgelijke tractoren zijn voornamelijk gekozen op basis van hun vermogen. Het vermogen van een tractor wordt vaak gebruikt om tractoren te classificeren. Deze tractoren zullen dus tot de toekomstige concurrenten van concept 1 van Multi Tool Trac B.V. horen. Met behulp van deze tractoren kan er een overzicht van specificaties ontstaan waaraan concept 1 moet voldoen of waarmee concept 1 moet kunnen concurreren. In de tabel in figuur 3.4 is het overzicht van een aantal van deze concurrerende tractoren te zien. In de laatste kolom staan de gemiddeldes van de tractoren, deze waarden kunnen als leidraad gebruikt worden tijdens het ontwikkelen van concept 1.

CONCURRENTIE		Case IH CVX 140	Fendt 516 Vario	Deutz Fahr 6150	Massey Ferguson 7614	Gemiddelden
Motor	Cilinders	6	4	6	6	-
	Vermogen nominaal (kW/PK)	104 / 141 ECE R 120	110 / 150 ECE R 24	101 / 137	96 / 120	102,75 / 137
	Vermogen maximaal (kW/PK)	120 / 163 ECE R 120	121 / 165 ECE R 24	110 / 149	110 / 140	115,25 / 154,25
	Koppel (nM)	665	687	605	645	650,5
	Inhoud (cm3)	6600	4038	6057	-	n.v.t.
Aftakas	Geschikt voor koolzaadolie	Ja	-	-	-	Ja
	Type	Electro-hydraulisch	Electro - hydraulisch	Electro - hydraulisch	Electro-hydraulisch	Elektrisch
	Snelheden achter	540 / 540E / 1000 / 1000E	540 / 540E / 1000	540 / 540E / 1000 / 1000E	540 / 1000	540 / 1000
	Snelheid voor	1000	540 of 1000	1000	1000	1000
	Hefvermogen (kg)	9900	±7935	9240	7100	8550
Hefinrichting	Hefvermogen voor (kg)	4000	±3485	3800	3200	3600
Algemeen	Voorlader	Optioneel	Optioneel	Optioneel	Optioneel	Optioneel
	Lengte (mm)	4740	4453	4686	4900	4700
	Breedte (mm)	2550	2451	2500	2480	2420
	Hoogte (mm)	3042	2965	-	3030	3010
	Bodemspeling (mm)	500	530	-	-	515
	Wielbasis (mm)	2806	2560	2647	2880	2750
	Spoorbreedte voor / achter (mm)	1898 / 1870	1880 / 1860	-	1920 / 2020	1910
	Draairadius (m)	5,4	5,52	-	-	5,5
	Gewicht (kg)	6390	6400	5740	5800	6080
	Maximaal belastbaar gewicht (kg)	10000	10500	9500	9250	9815

Figuur 3.4: Overzicht specificaties concurrenten

EISEN EN WENSEN - 1

Het programma van eisen bevat kwantitatieve eisen en wensen die zijn voortgevloeid uit het kwalitatieve onderzoek wat gedaan is met potentiële klanten en gebruikers. Hierbij zijn de huidige mogelijkheden en capaciteiten van het bedrijf Multi Tool Trac B.V. in ogenschouw genomen. Het programma van eisen wordt samengesteld aan de hand van de gekozen modules. De eisen en wensen van de intramodulair niet-aanpasbare modules worden hier ook vermeld. De uitvoering van deze modules zal slechts beschreven, dus niet uitgewerkt, worden. Dit zal bijvoorbeeld door middel van het terugschalen of aanbevelen van een component of systeem gebeuren.

3.3.1 Intramodulair niet-aanpasbare modules

De intramodulair niet-aanpasbare modules worden hieronder gespecificeerd, maar hoeven tijdens de ontwerpfase niet verder ontwikkeld te worden. Er wordt hierbij vaak gebruik gemaakt van al bestaande systemen of onderdelen.

Elektrische aandrijflijn

De elektrische aandrijflijn moet zo veel mogelijk gebaseerd zijn op het huidige systeem, omdat de expertise en kennis omtrent dit systeem problemen in de toekomst kan voorkomen. Er zal dus gebruik gemaakt worden van dezelfde elektromotoren en dezelfde overbrenging naar het wiel. Het minimale koppel van de elektrische tractor hoeft hierom niet gespecificeerd te worden, omdat het koppel van de bestaande elektromotoren al vele malen groter is dan het koppel van tractoren met interne verbrandingsmotoren. Er dient gebruik gemaakt te worden van wielen en banden die in staat zijn de massa van de belaste tractor te dragen en die eventueel bijdragen aan het verminderen van de grondverdichting.

Verstelbare spoorbreedte

De multifunctionele elektrische tractor zal geen gebruik maken van een verstelbare spoorbreedte.

Range extender

Een range extender is noodzakelijk als het verbruik van de tractor zo groot is dat het accupakket niet voldoende capaciteit heeft om de gebruiker in zijn behoeftes te voorzien. De range extender laadt het accupakket in deze gevallen bij zodat de boer zijn werkzaamheden kan vervolgen. De laadcapaciteit van de range extender hangt af van de grootte van de motor en de efficiëntie van de daaraan gekoppelde generator ten opzichte van het verbruik van de elektromotoren. Wanneer de energie output groter is dan de input, zal het accupakket alsnog leeglopen. De input van de range extender dient daarom groter te zijn dan de output van de elektromotoren. De range extender moet bestaan uit een zo klein mogelijke dieselmotor die geschikt is om op koolzaadolie te lopen. In een ideaal scenario is er geen range extender aanwezig. Dit betekent dat de

capaciteit van het accupakket voldoende is om de tractor draaiende te houden. Er spelen hierbij verschillende factoren een rol. Zo zijn de efficiëntie van de elektromotoren, de capaciteit van het accupakket en de te vervoeren massa van belang bij het energieverbruik van de tractor. Het wel of niet gebruiken van een range extender hangt dus deels af van de technische vooruitgang binnen de elektrische aandrijftechniek.

Hefinrichting & PTO

De hydraulische hefinrichting achter de achteras dient een minimaal hefvermogen te hebben van ## ton. Dit komt wellicht niet overeen met de specificaties van de gemiddelde tractor bij het hoofdstuk 'Concurrentie 1', maar er is, bij het plan van aanpak, ervoor gekozen om deze module niet aan te passen. Hierdoor wordt de huidige hefinrichting, zoals deze bij de Multi Tool Trac is, overgenomen. De elektrische tractor dient de mogelijkheid te hebben om een PTO voor, achter of voor en achter te monteren. De PTO moet ten minste op de snelheden 540 en 1000 toeren per minuut kunnen draaien. Huidige werktuigen zijn ontworpen om op deze snelheden te draaien. In een ideaal scenario zou de boer zijn werktuigen elektrisch en traploos kunnen bedienen, de werktuigtechniek laat dit echter nog niet toe. Het vermogen van de PTO wordt bepaald door de elektromotor die deze aandrijft.

Cabine

De huidige cabine is wellicht niet geschikt voor het concept van de elektrische tractor. De enige eis is daarom dat de cabine voldoet aan het comfort wat boeren van hedendaagse tractors gewend zijn. Aangezien de cabine ingekocht wordt zal het ontwerp wel rekening moeten houden de beschikbare cabinemodellen. De cabine hoeft niet over de lengterichting van het frame vrijdbaar te zijn.

3.3.2 Intramodulair aanpasbare modules

De intramodulair aanpasbare modules zijn de systemen waar tijdens de ontwerpfase het meest aandacht aan besteed wordt. Deze modules kunnen namelijk niet zo eenvoudig overgenomen worden van de Multi Tool Trac.

Frame

Het frame dient voornamelijk plek te bieden aan de elektrische aandrijflijn, de cabine en eventueel een range extender. Tevens mag het frame niet bezwijken onder de krachten waaraan de tractor wordt blootgesteld. De gebruiker van de tractor moet de mogelijkheid hebben extra contragewicht toe te voegen om zo het omhoogkomen van de tractor te voorkomen. Het frame zal geschikt moeten zijn om er een voor- of achterlader aan te bevestigen. Deze kan achteraf los gemonteerd worden, of hij kan tijdens het ontwerpproces geïntegreerd worden in het frame. Aan het frame moet ook plek zijn om een bol- en spiltrekhaak te bevestigen.

Algemene afmetingen

De massa van de tractor is wellicht de belangrijkste eis binnen deze module. Iedere boer zou zijn massa zo klein mogelijk willen hebben, om de grondverdichting te minimaliseren. Hoe kleiner de massa van de tractor, hoe groter de werktijd en actieradius. Het is dus ook voor het algehele gebruik van de tractor van belang dat de tractor zo licht mogelijk blijft. De verdeling van de aslast speelt tevens een rol bij het de verdichting van de grond. Een slecht verdeelde massa

over de assen kan alsnog betekenen dat de bodemdruk op de zwaarst belastte as groot blijft. De maximale lengte en hoogte van de tractor zijn wettelijk vastgelegd op respectievelijk 12.0m en 4.0m (RDW, 2014). Deze eisen hoeven niet verder gespecificeerd te worden, omdat deze geen wezenlijke rol spelen in het ontwerpproces. De breedte van de tractor moet maximaal 2.55m. Met deze breedte mag de tractor zonder ontheffing en zonder maximale snelheid over de openbare weg rijden. De breedte van 2.55m wordt tevens gehanteerd, omdat vrijwel alle landen in Europa, met uitzondering van Nederland, de maximale breedte van 2.55m hanteert (FAO European Cooperative Research Network, 2002). De bodemspeling van de tractor moet minimaal 0.5m zijn. Op deze manier kan de tractor over bijvoorbeeld ruggen rijden zonder deze te beschadigen.

Stuurinrichting

De stuurinrichting bepaalt op welke manier het voertuig gestuurd wordt. De minimale draairadius (straal van kleinst mogelijke bocht) is de daarbij horende grootte. Hoe kleiner de draairadius, des te wendbaarder de tractor. Het is dus het streven naar een zo klein mogelijke draairadius. De draairadius moet daarom kleiner of gelijk zijn aan 5m (diameter = 10m).

Ophanging

De wielophanging van de elektrische tractor zal geschikt moeten zijn voor het rijden op de weg en op het land. Het rijgedrag van de tractor en het comfort van de bestuurder moeten daarbij gewaarborgd worden. Er is daarom gekozen om bestaande ophangingssystemen aan te passen voor het gebruik binnen een elektrische tractor. In het hoofdstuk 'Ontwerp - 1' zal er aandacht besteed worden aan mogelijke oplossingen voor de wielophanging van concept 1.

Carrosserie

De carrosserie dient bescherming te bieden aan systemen die schade toe kunnen brengen aan de gebruiker, inzicht te bieden aan het gebruik van de tractor en de merkidentiteit van Multi Tool Trac B.V. te vertegenwoordigen.

3.3.3 Conclusie

Het eindontwerp van concept 1 kan tijdens de evaluatie getoetst worden aan de bovenstaande eisen en wensen. Door de lijst van eisen en wensen naast het resultaat te leggen kan besloten worden of het concept voldoet aan de door Multi Tool Trac B.V. en de doelgroep gestelde eisen. De uitkomst van deze evaluatie zal in de vorm van aanbevelingen kunnen leiden tot het continueren of het stopzetten van dit project. In de tabel in figuur 3.5 worden de harde eisen nogmaals opgesomd.

HARDE EISEN	
Spoorbreedte (m)	≤ 3
Massa leeg (kg)	≤ 6000
Massa toelaatbaar (kg)	≥ 10000
Lengte (m)	≤ 12
Hoogte (m)	≤ 4
Breedte (m)	≤ 2.55
Bodemspeling (m)	≥ 0.5
Hefvermogen achter (kg)	≥ 5500
Hefvermogen voor (kg)	≥ 4000
Minimale snelheden PTO (tpm)	540 & 1000
PTO voor	optioneel
PTO achter	ja
Draairadius (m)	≤ 5

Figuur 3.5: Harde eisen

Hoofdstuk 4

ONTWERP - 1

Het hoofdstuk 'Ontwerp - 1' bevat de grootste ontwerpkeuzes. Deze keuzes zijn deels gebaseerd op de informatie die verkregen is in het hoofdstuk 'Analyse - 1'. Om echter nog meer knopen door te hakken moest er nog extra informatie verzameld worden. Dit hoofdstuk bevat daarom meer diepgaande informatie om bijvoorbeeld vragen omtrent de wielophanging te kunnen beantwoorden. Het hoofdstuk 'Ontwerp - 1' is daarmee tevens een verdieping op de analysefase.

Per module wordt de aanvullende informatie vermeldt waarna er keuzes met betrekking tot deze module worden gemaakt. De grootste ontwerpkeuzes zullen binnen dit hoofdstuk gemaakt worden. Binnen het hoofdstuk 'Detaillering - 1' zal er vervolgens aandacht worden besteed aan de uitwerking en details van de verschillende modules.

Dit hoofdstuk wordt begonnen met de basis opzet van concept 1. Hierin wordt de globale indeling van de elektrische tractor doorgenomen. Verschillende voordelen van het gebruik van elektromotoren als primaire aandrijving worden benut om zo tot een andere indeling van de tractor te komen. Vervolgens worden alle andere modules behandeld en er wordt afgesloten met een opsomming van de gemaakte keuzes.

BASIS OPZET - 1

De voordelen van de elektrische aandrijflijn moeten ten volste benut worden. Hierdoor zijn deze mogelijkheden als basis gebruikt voor de elektrische tractor. Paragraaf 4.1.1 vermeldt de globale vorm van concept 1. De massaverdeling wordt toegelicht in paragraaf 4.1.2, waarna paragraaf 4.1.3 de conclusie vermeldt.

4.1.1 Basis opzet

Wanneer er vier gelijke wielmotoren gebruikt worden, is het van belang dat er ook vier gelijke wielen worden gemonteerd. Qua aansturing is dit het meest eenvoudig, omdat alle wielen en wielmotoren dan identiek zijn. Conventionele tractoren maken over het algemeen gebruik van twee grote wielen achter en twee kleine wielen aan de voorzijde. Aangezien de meest zware lasten aan de achterzijde getrokken worden, is de last op de achteras het hoogst. Om het wegzakken van het voertuig te voorkomen worden er twee grote banden gebruikt. Hoe groter het contactoppervlak met de grond, hoe beter de druk verdeeld wordt en hoe moeilijker het is om weg te zakken in bijvoorbeeld modder. Tevens hebben aangedreven wielen genoeg tractie nodig om de kracht op de grond over te brengen. Grote, brede wielen hebben een groter contactoppervlak en dus meer tractie. Aangezien de voorwielen meestal niet aangedreven worden en vrijwel geen last dragen, is de enige functie van deze wielen het sturen van de tractor. Het sturen van de tractor vergt niet per se grote voorwielen. Daarom worden deze vaak klein gehouden. Wanneer er in het geval van de Multi Tool Trac of concept 1 echter wel gebruik wordt gemaakt van vier aangedreven wielen, is het omwille van de tractie verstandig om dus vier identieke wielen en banden te gebruiken.

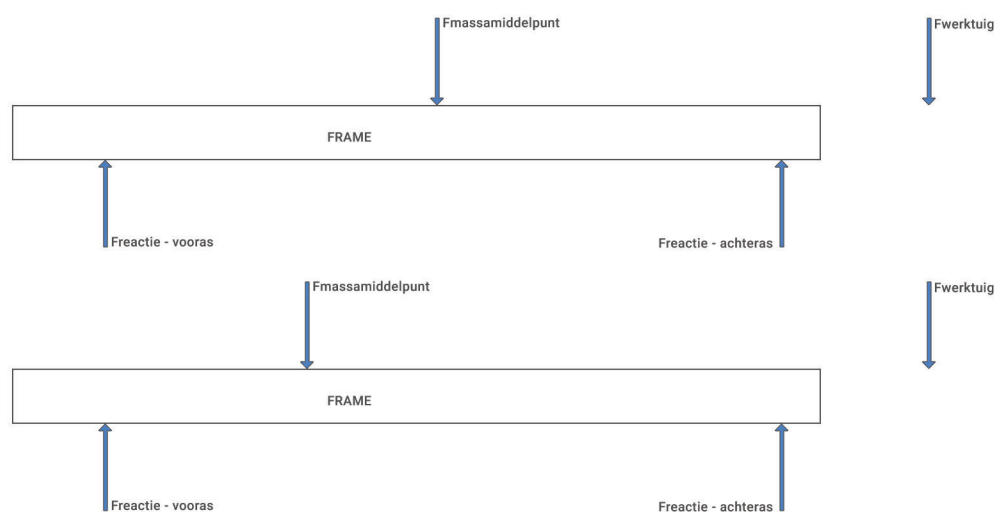
Het gebruiken van vier identieke wielen komt het comfort en rijgedrag tevens ten goede. Het comfort van de bestuurder wordt nog verder vergroot door de cabine tussen de assen te plaatsen. De bestuurder ondervindt dan optimale vering en demping van alle vier de wielen. Wanneer er geen additionele veer-dempersystemen zijn, kan het centraal plaatsen van de cabine al veel extra comfort bieden. Meer informatie hierover is te vinden bij 'wielophanging'.

4.1.2 Massaverdeling

De totale massa in combinatie met de massaverdeling over de wielen is van invloed op de verdichting van de grond. De massaverdeling over de assen en wielen bepaalt hoeveel druk er op de grond wordt uitgeoefend. Huidige tractoren gebruiken vaak contragewicht om het omhoog komen van assen te voorkomen. De elektrische tractor heeft twee systemen, het accupakket en de range extender, aan boord die wellicht als nuttig contragewicht gebruikt kunnen worden. Wanneer dit ontwerp technisch mogelijk is, hoeft er geen additionele massa toegevoegd te worden wat ten goede zou kunnen komen voor de efficiëntie van de elektrische tractor. Als er geschoven kan worden met deze systemen zou er eventueel ook een laadvloer kunnen ontstaan, die gebruikt kan worden voor uiteenlopende doeleinden. Er dient echter wel rekening gehouden

te worden met de montage van een voorlader.

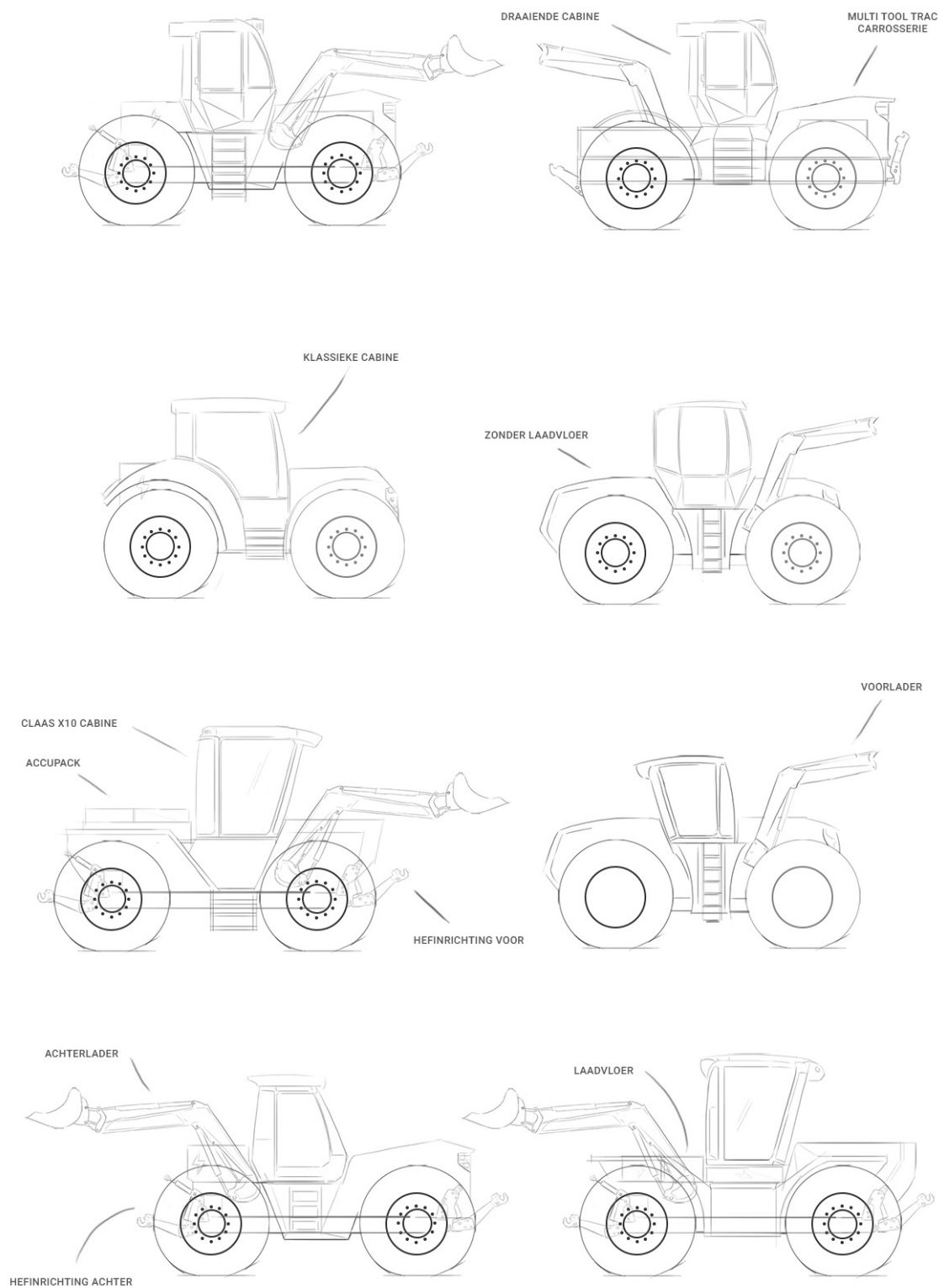
Door de range extender boven de vooras te monteren ligt het zwaartepunt van de elektrische tractor dicht bij de vooras. Dit komt ten goede van de tractie van de voorwielen. Tevens helpt dit het omhoog komen van de vooras tegen te gaan, aangezien de werktuigen die de zwaarste last vragen aan de achterhef gemonteerd worden. Een massaverdeling van een onbelaste tractor van 60% op de vooras en 40% op de achteras wordt als maatstaf gebruikt. Wanneer er vervolgens een kracht op de achterhef wordt uitgeoefend zal de massaverdeling richting de 50%-50% gaan. Het zou in sommige gevallen voor kunnen komen dat er met het belasten van de achterhef alsnog een grotere last op de achteras komt. Er zal dan altijd nog additionele massa in de frontheff gehangen kunnen worden. Het toevoegen van dit contragewicht wordt echter uitgesteld door de massaverdeling van de onbelaste tractor op 60%-40% te stellen. In figuur 4.1 zijn twee vrij lichaam systemen te zien waarin het verschil tussen 50%-50% (boven) en 60%-40% (onder) massaverdeling te zien is. De afbeeldingen laten zien dat het tegenwerkend moment om de achteras van de eigen massa van de tractor bij een 60%-40% verdeling groter is. De exacte waarden kunnen nog niet gegeven worden, omdat de massa van de tractor en de plaatsing van de assen nog niet bekend is. Deze vrij lichaam systemen laten alleen zien dat het moment in de achterhef tegengewerkt wordt door de eigen massa van de tractor.



Figuur 4.1: Momentwerking Fwerktuig op reactiekrachten

4.1.3 Vormgeving

Met de voorgaande beslissingen in het achterhoofd kunnen er basisschetsen gemaakt worden van het uiteindelijke concept. In figuur 4.2 staan een aantal voorbeelden van hoe de elektrische tractor er uit zou kunnen komen te zien. De vier identieke wielen zijn hier duidelijk herkenbaar. Ook het centraal plaatsen van de cabine bepaald sterk hoe de tractor er uit komt te zien. Er is in deze schetsen nog gevarieerd met het plaatsen van een voor- of achterlader. Ook het wel of niet toepassen van een laadvloer en het type cabine is in figuur 4.2 terug te zien. De carrosserie is in deze fase al enigszins gebaseerd op de vormkenmerken van de Multi Tool Trac.



Figuur 4.2: Ontwerpstudie zijaanzichten basisvorm elektrische tractor

4.1.4 Conclusie

Aan een boer, die binnen de doelgroep van concept 1 valt, zijn de schetsen van figuur 4.2 voorgelegd. De boer werd gevraagd een onderbouwde keuze te maken op basis van de schetsen.

De laatste schets uit figuur 4.2 zal gebruikt worden als uitgangsbasis voor concept 1. Uit het interview kwam naar voren dat deze configuratie de boer het meest aansprak. De achterlader dient hierbij wel vervangen te worden door een voorlader.

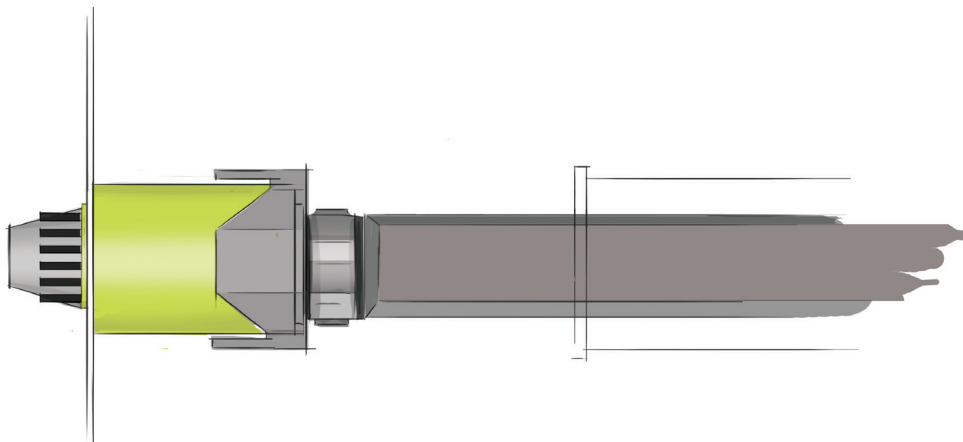
WIELOPHANGING - 1

De wielophanging van een voertuig kan onderverdeeld worden in drie groepen. Op volgorde van complexiteit wordt bij 4.2.1 uitleg gegeven over de starre as, de wentelas en de onafhankelijke wielophanging. Er is bij iedere wielophanging gezocht naar een geschikte manier om de elektromotoren te monteren. Deze afbeeldingen worden gebruikt om de verschillende wielophangingen te verduidelijken. Er is hierbij geen rekening gehouden met de kenmerkende fuseearmen van de Multi Tool Trac. Vervolgens worden bij paragraaf 4.2.2 de belangrijkste veren en dempers behandeld. Paragraaf 4.2.3 vermeldt alle beschikbare veer-dempersystemen voor een tractor en binnen paragraaf 4.2.4 wordt vervolgens een keuze gemaakt voor geschikte ophangings en veer-dempersystemen voor concept 1.

4.2.1 Soorten assen en wielophanging

Starre as:

De starre as wordt bij tractoren vaak als achteras gebruikt. Deze wielophanging wordt vaak gekozen, omdat het niet praktisch is om een geveerde achteras te hebben als er zware werktuigen in de achterste hefinrichting hangen. De tractor zal dan vrijwel geheel doorgeveerd zijn, waardoor de vering geen enkele werking meer heeft. Cabine- of stoelvering wordt vaak als oplossing voor dit probleem gebruikt. De bestuurder wordt daardoor toch van het nodige comfort voorzien. De Multi Tool Trac maakt gebruik van een starre achteras. In figuur 4.3 is een dergelijke starre as te zien.

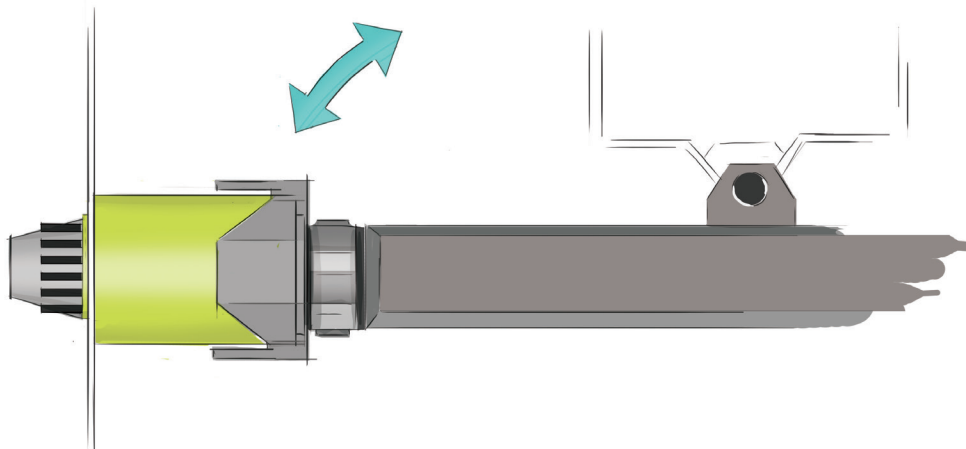


Figuur 4.3: Starre as

Starre wentelas:

Deze wentel- of pendelas verbindt beide wielen direct met elkaar via een lange buis en kan wentelen om een hulpas tussen frame en ophanging. Een ophanging met behulp van een starre wentelas wordt meestal geveerd door bladveren, schroefveren of luchtvering. De wielen kunnen hierdoor niet afzonderlijk van elkaar veren. Er treedt namelijk altijd een verandering van het ene wiel op ten gevolge van de inverting van het andere wiel. Starre assen worden voornamelijk

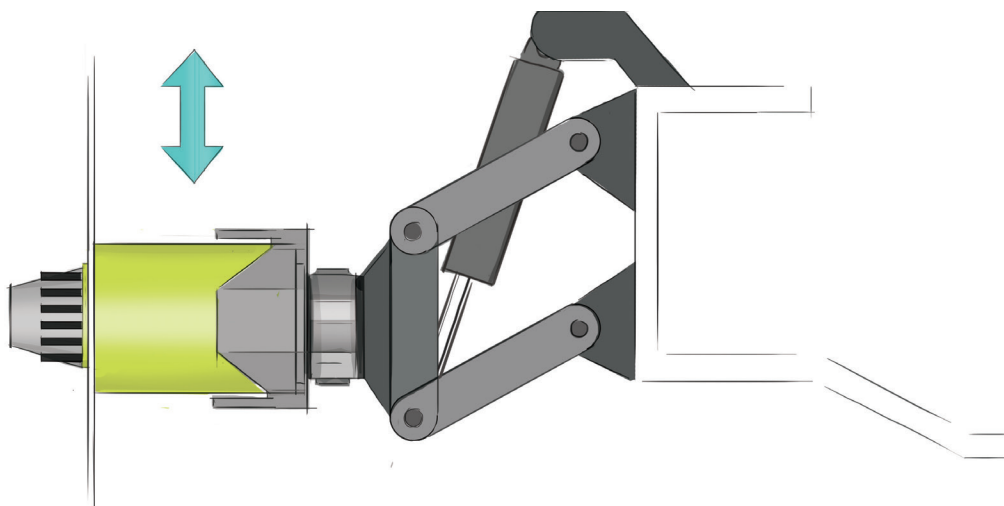
gebruikt bij vrachtwagens, bestelbusjes, terreinauto's vanwege de sterke constructie. De Multi Tool Trac is voorzien van een starre wentelas zonder veer-dempersysteem aan de voorzijde. In figuur 4.4 is een afbeelding van een dergelijke wentelas te zien.



Figuur 4.4: Wentel- of pendelas

Onafhankelijke wielophanging:

Via een onafhankelijke wielophanging hebben de beide wielen tijdens het veren geen invloed op elkaar. Dit soort wielophanging kan op meerdere manieren tot stand komen. Er bestaan namelijk verschillende varianten van de onafhankelijke wielophanging. Het geheel wordt voornamelijk geveerd door schroefveren, torsiestaven, hydropneumatische veren of luchtveren. In figuur 4.5 is een voorbeeld van een onafhankelijke wielophanging met schroefveren te zien.



Figuur 4.5: Onafhankelijke wielophanging

Combinatie:

Er wordt er vaak voor gekozen om deze systemen binnen een voertuig te combineren. Het is dus mogelijk om een starre achteras in combinatie met een onafhankelijke wielophanging voor te hebben.

Conclusie:

De belangrijkste aspecten van de verschillende ophangingssystemen voor de vooras zijn in figuur 4.6 van een waarde voorzien. Onder 'Totaal' is de eindscore van iedere ophanging te zien. Hieruit blijkt dat het waarschijnlijk het verstandigst is om aan de vooras te kiezen voor een starre wentelas. Wanneer er een wentelas als vooras gekozen wordt, is het vanwege de stabiliteit van het voertuig, vrijwel noodzakelijk om een starre achteras te gebruiken.

CONFIDENTIËLE INFORMATIE:

Prioriteitschema ophangingssysteem vooras

Figuur 4.6: Schema ophangingssystemen vooras

4.2.2 Chassis vering en demping

De vering van een voertuig moet er voor zorgen dat er zoveel mogelijk contact tussen de band met de grond blijft. Wanneer het wiel van de grond is kan er geen vermogen overgebracht worden op de grond en kan er tevens niet gestuurd worden met dat wiel. Er dient bij deze actie een balans te zijn tussen comfort en grip. Een veer met een grote veerstijfheid zal de band beter aan de grond houden dan een veer met een lage veerstijfheid. Het comfort heeft hier echter onder te lijden. Het dempen van onaangename trillingen komt ten goede van het rijcomfort. Het is daarom van belang dat er bekend is welke componenten hiervoor geschikt zijn. Hieronder worden verschillende veren en dempers toegelicht

Bladveer:

De bladveer bestaat uit meerdere lagen op elkaar gestapeld staal. De doorbuiging van deze stapel zorgt voor de benodigde vering. De enigszins verouderde bladveer wordt voornamelijk nog gebruikt bij vrachtwagens.

Torsieveer:

Een torsieveer of torsieas wordt zoals de naam al doet vermoeden op torsie belast. De rolstijfheid van een torsieveer bepaalt de uitslag bij een bepaalde belasting. De torsieas loopt over de lengte van het voertuig tussen de voor- of achteras en het frame. Als de torsieveer wordt toegepast, dan is dat met name bij auto's die gebruik maken van voorwielaandrijving.

Springveer/schroefveer:

De spring- of schroefveer is tegenwoordig de meest gebruikte vering voor een voertuig. Door de springveren aan te passen kan er gevarieerd worden in de rijhoogte, comfort en grip van het voertuig.

Schokbreker:

De schokbreker is de belangrijkste demper in een voertuig. Hij zet kinetische energie om in voornamelijk thermische energie. Er bestaan pneumatische, hydraulische en elektromagnetische dempers, welke allemaal op hun eigen manier de kinetische energie omzetten.

Rubber bus:

De rubberen bus wordt gebruikt als overgangsmiddeel tussen twee stalen componenten. Hierdoor werkt het rubber als demper en kan het vibraties verminderen.

4.2.3 Geschikte ophanging en veer-dempersysteem

Een geschikte ophanging voor de elektrische tractor zal niet rechtstreeks overgenomen kunnen worden van een reguliere tractor of personenauto. De elektromotor dient op het wiel gemonteerd te worden en ditzelfde wiel moet ook nog gestuurd en geveerd kunnen worden. De vering, damping en besturing dienen dus zodanig aangepast te worden dat de veeruitslag en de draaihoek zo groot mogelijk blijven. Het is tevens van belang dat de as zo stijf mogelijk is, zodat de kracht van de elektromotoren zo efficiënt mogelijk overgebracht wordt naar het frame. Conventionele tractoren hebben een starre achteras en een starre wentelas aan de voorkant. De voor- en achteras van de elektrische tractor zullen vrijwel identiek zijn, omdat alle vier de wielen gestuurd moeten kunnen worden. Doordat alle vier de wielen met een gelijk vermogen aangedreven worden, is het belangrijk dat er ook vier identieke wielen en banden gebruikt worden. De ophanging van de voor- en achteras zou daarom dus ook identiek kunnen zijn.

De functies van de wielophanging en het daarbij horende veer-dempersysteem zijn van groot belang wat betreft het rijgedrag van het voertuig en het comfort van de bestuurder. Het rijgedrag wordt bevorderd door de maximalisering van frictie tussen de banden en het wegoppervlak en door het mogelijk maken van besturing van de wielen. Het veer-dempersysteem moet het comfort van de bestuurder waarborgen. De ongewenste trillingen en versnellingen in x-, y- en z-richting dienen opgevangen te worden door dit veer-dempersysteem. Tevens dient de wielophanging in staat te zijn het gehele voertuig te dragen.

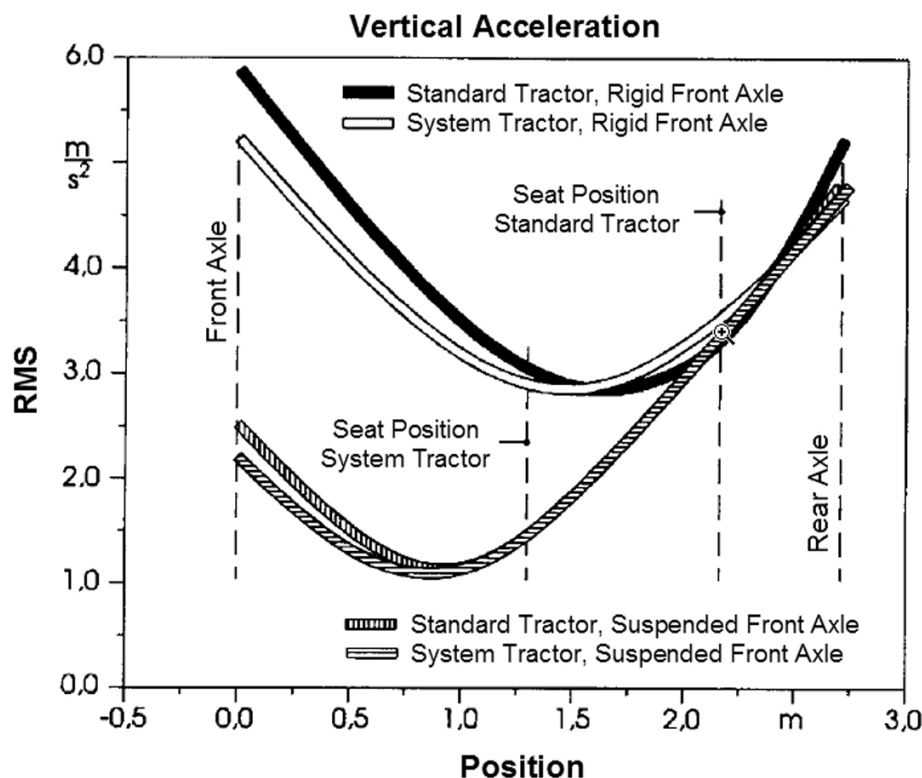
Er zijn meerdere oplossingen beschikbaar om ongewenste trillingen te dempen. Zo wordt er binnen de tractorbranche gebruik gemaakt van voorasvering, vering van beide assen, bandenvering, cabinevering, stoelvering en vering van de hefinrichting. Deze verschillende oplossingen hebben allemaal hun eigen voor- en nadelen en worden daarom vrijwel allemaal met elkaar gecombineerd. Het is van belang dat er voor concept 1 – de elektrische tractor – een geschikt veer-dempersysteem wordt gekozen, omdat deze tractor qua comfort en rijgedrag moet concurreren met de luxe tractoren van de grote concurrenten. Doordat er gebruik gemaakt wordt van een elektrische aandrijving zou er meer ruimte beschikbaar moeten zijn voor een eenvoudig veer-dempersysteem, omdat er geen ruimte gereserveerd hoeft te worden voor een transmissie en differentieel. De transmissie en differentieel maken het bij conventionele tractoren lastig om voor- en achterasvering te implementeren. In een ideaal scenario maakt een tractor gebruik van alle bovenstaande veer-dempersystemen. Dit is echter niet altijd mogelijk, omdat het financieel en/of mechanisch niet haalbaar is.

Voorasvering:

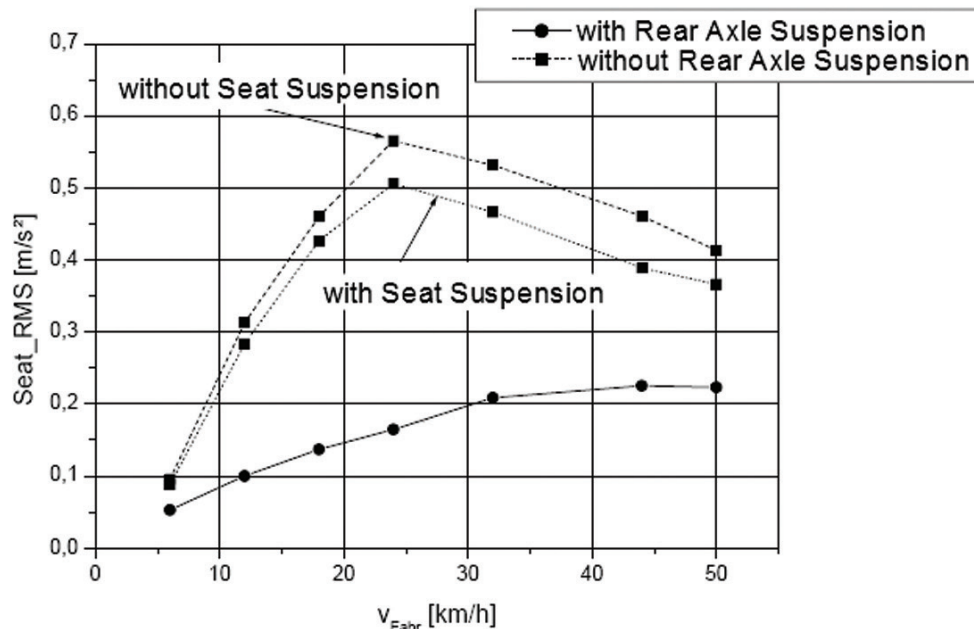
Het veren en dempen van de vooras heeft bij conventionele tractoren weinig invloed op het comfort van de bestuurder. Daarentegen heeft het wel veel invloed op het rijgedrag van de tractor. De geveerde vooras heeft een positieve invloed op de tractie, rem efficiëntie en het stuurbedrag. Aangezien de bestuurder van een conventionele tractor vaak vrijwel geheel boven de achteras zit, wordt het comfort door voorasvering niet bevorderd. Bij een systeemtractor is de cabine vaak tussen de voor- en achteras geplaatst, waardoor voorasvering wél een behoorlijke invloed heeft op het comfort van de bestuurder. In figuur 4.7 is de verticale versnelling te zien van een conventionele tractor en een systeemtractor met en zonder voorasvering. Er is goed te zien dat het comfort van de bestuurder afhangt van de positie op de tractor. De bestuurder van de systeemtractor zit tussen de assen en ondervindt daarom minder verticale versnellingen dan wanneer er gebruik wordt gemaakt van voorasvering. De bestuurder van de conventionele tractor zit vrijwel bovenop de achteras waardoor hij minder voordeel heeft van de voorasvering (Sarami, 2009).

Vering van beide assen:

Het rijgedrag van de tractor wordt bevorderd als ook de achteras geveerd wordt. Bij conventionele tractoren is dit een dure aanpassing, omdat de gehele constructie aangepast dient te worden. Conventionele tractoren hebben een chassis wat gevormd wordt uit drie blokken. De motor, transmissie en differentieel/achteras worden rechtstreeks aan elkaar gemonteerd zodat er een chassis ontstaat. Het differentieel en de transmissie moeten vervolgens gescheiden worden, zodat ze los van elkaar kunnen veren. Wanneer er echter gebruik gemaakt wordt van



Figuur 4.7: Invloed voorasvering op comfort bestuurder bij twee verschillende zitposities



Figuur 4.8: Invloed achterasvering op verticale versnelling met en zonder stoelvering

vier afzonderlijke motoren zonder transmissie en differentieel, is het wellicht eenvoudiger om achterasvering toe te voegen. In figuur 4.8 is te zien wat achterasvering doet met de verticale versnelling van de bestuurder. Het verminderen van deze verticale versnellingen draagt voornamelijk bij aan het comfort van de bestuurder bij het rijden op hoge snelheid (Sarami, 2009). Op hoge snelheid kan het zelfs onveilig zijn als de tractor niet goed geveerd is. Een bult of kuil in de weg kan bij ongeveerde tractoren ongecontroleerd stuiteren tot gevolg hebben. Het toevoegen van voor- en achterasvering maakt het mogelijk om wel veilig op hoge snelheid te rijden. De hefinrichting wordt bij een geveerde achteras vaak aan de as zelf vast gemaakt in plaats van aan het frame. Hierdoor ondervindt het werktuig geen invloed van de bewegingen van de afgeveerde massa, omdat het onderdeel is geworden van de onafgeveerde massa. Dit is echter wel weer een complexere oplossing.

Stoelvering:

De eenvoudigste manier om het comfort van de bestuurder te verbeteren is het toevoegen van stoelvering. De stoelvering vermindert de versnellingen in de verticale richting. Stoelvering is tegenwoordig geen luxe meer, omdat de ongeveerde trillingen schadelijk kunnen zijn voor de gezondheid van de bestuurder. De tractor wordt voornamelijk gebruikt bij seizoensgebonden werk, waardoor de bestuurder soms lange dagen wordt blootgesteld aan de vibraties binnen de tractor. De stoelvering heeft geen invloed op het rijgedrag van de tractor (Sarami, 2009).

Cabinevering:

Het veren van de cabine minimaliseert de vibraties in x-, y- en z-richting. Dit biedt een hoop comfort aan de bestuurder en zal tevens alle elektronica in de cabine beschermen tegen deze vibraties. De cabinevering vermindert het cabinegeluid door minder structureel overgedragen lawaai. Doordat de cabine een grotere massa heeft dan de stoel met de bestuurder, heeft

cabinevering wel een lichte invloed op het rijgedrag van de tractor. De cabine kan op twee of op vier punten ondersteunt worden door een veer-dempersysteem. Wanneer de cabine op twee punten geveerd wordt, biedt het vering in slechts vier vrijheidsgraden. Als de cabine op alle vier de hoeken geveerd wordt, biedt het weerstand tegen versnellingen in zes vrijheidsgraden. De cabinevering heeft geen invloed op het rijgedrag van de tractor (Sarami, 2009).

Band:

De eerste elastische elementen die de trillingen van het rijoppervlak moet verminderen zijn de banden van de tractor. De lucht in de banden wordt samengedrukt waardoor de kinetische energie omgezet wordt in thermische energie. Hoe meer lucht er in de banden zit, hoe meer kinetische energie er opgevangen kan worden. Brede en hoge banden zijn daarom aanbevolen bij assen die niet geveerd zijn. De veerstijfheid en dempingcoëfficiënt van banden zijn niet constant en worden bepaald door de bandendruk en de snelheid waarmee de banden ronddraaien. Een hoge rijsnelheid bij een ongeveerde tractor verhoogt de kans op resonantie, waarbij het zelfs voor kan komen dat beide wielen het contact met het rijoppervlak verliezen (Sarami, 2009). Het is daarom niet aan te raden om de vering slechts uit de banden te halen.

Vering van de hefinrichting:

Een aangekoppeld werktuig verandert de totale massaverdeling van een tractor. Dit kan voornamelijk tijdens wegtransport vervelende gevolgen hebben voor het rijgedrag van de tractor (Sarami, 2009). De trillingen van het werktuig zouden, zonder vering van de hefinrichting, rechtstreeks doorgegeven worden aan de tractor. Deze bewegingen kunnen het geheel in eigenfrequentie brengen waardoor het voertuig minder goed te besturen zal zijn. Het is dus van belang om tijdens wegtransport op hoge snelheid het aangekoppelde werktuig te veren.

Conclusie + keuze:

Met de bovenstaande kenmerken van de veer-dempersystemen in ogenschouw genomen is er een schema opgezet waarbij het comfort, het rijgedrag, de kosten en de complexiteit van de veer-dempersystemen tegen elkaar zijn uitgezet. Hoe hoger het getal onder 'totaal', hoe groter het rendement in het uiteindelijke concept. In figuur 4.9 is bijvoorbeeld te zien dat het al snel loont om de juiste banden onder het voertuig te zetten. Dit veer-dempersysteem is niet duur en complex, maar is toch al gauw een toegevoegde waarde voor het concept. Op deze manier is ook te zien dat het waarschijnlijk niet zal lonen om beide assen te voorzien van vering. Ondanks het verhoogde comfort en rijgedrag is het financieel gezien niet verstandig om beide assen van een veer-dempersysteem te voorzien.

CONFIDENTIËLE INFORMATIE:

Prioriteitschema veer-dempersystemen

Figuur 4.9: Schema veer-dempersystemen

4.2.4 Keuze wielophanging + veer-dempersysteem

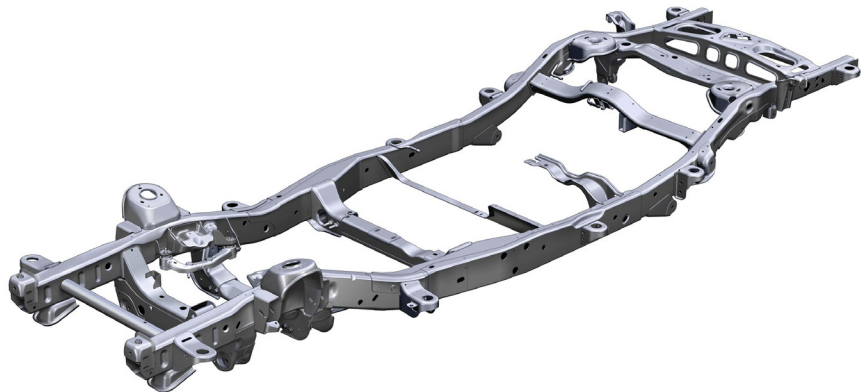
Op basis van de in deze paragraaf opgesomde voor- en nadelen is er voor concept 1 gekozen om gebruik te maken van een starre achteras in combinatie met een starre wentelas aan de voorzijde. De veer-dempersystemen band, stoel en cabine proberen het comfort en het rijgedrag zo goed mogelijk te houden. De eenvoudigste vormen van vering/damping en wielophanging zijn gekozen, omdat de ontwikkelkosten op deze manier het laagst gehouden kunnen worden. Het concurreren met de grote producenten van tractoren vergt concessies en wat betreft de veer-dempersystemen en de wielophanging betekent het dat de meest complexe varianten helaas niet toegepast kunnen worden. In de toekomst zou er dus voor concept 1 op het gebied van comfort en rijgedrag nog winst te boeken vallen.

FRAME - 1

Het chassis of frame van een conventionele tractor bestaat in 80% van de gevallen uit een combinatie van motor, transmissie en differentieel/achteras. Deze drie essentiële componenten van een tractor met interne verbrandingsmotor zijn aan elkaar gemonteerd waardoor een chassis ontstaat. Aan dit chassis worden vervolgens de vooras, carrosserie en hefinrichting gemonteerd. Een elektrisch aangedreven tractor heeft echter geen transmissie en differentieel en heeft daarom een apart chassis nodig. Dit chassis draagt de elektrische aandrijflijn, wielophanging, hefinrichting en carrosserie. Tevens dient het chassis de nodige stijfheid te bieden tegen torsie, buiging, afschuiving en trek en druk. De vervorming van het chassis dient onder invloed van deze belastingen minimaal te zijn. Een hoge stijfheid van het chassis leidt tot een efficiëntere overbrenging van vermogen, bescherming van de bestuurder en betere verdeling van krachten. Hierbij moet de massa echter zo klein mogelijk blijven. Het is verstandig om als uitgangsbasis een type frame te kiezen dat al gebruikt wordt in soortgelijke voertuigen als auto's, vrachtwagens en dergelijke. De kenmerken van een aantal van de typen frames staan hieronder vermeld.

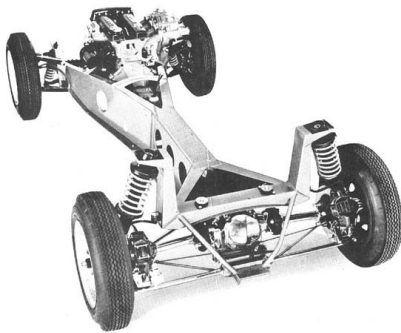
4.3.1 Soorten frames

Ladderframe: Het ladderframe is het oudste en eenvoudigste ontwerp voor een frame. Twee parallelle balken worden door meerdere dwarsbalken verbonden. Dit frame wordt tegenwoordig vooral nog voor vrachtwagens gebruikt en staat bekend om zijn goede weerstand tegen buiging. Het ladderframe is echter minder goed bestand tegen torsie. In figuur 4.10 is een voorbeeld te zien van een ladderframe.



Figuur 4.10: Ladderframe

Ruggengraat frame: Het ruggengraat frame bestaat uit een buisvormige ruggengraat, die de voor- en achter ophanging met elkaar verbindt. Dit frame biedt geen enkele weerstand tegen zijdelingse aanrijdingen en wordt daarom vaak voorzien van een carrosserie die deze tekortkoming compenseert. De kwetsbare onderdelen zoals de aandrijf-as worden beschermd



Figuur 4.11: Ruggengraat frame



Figuur 4.12: Perimeter frame

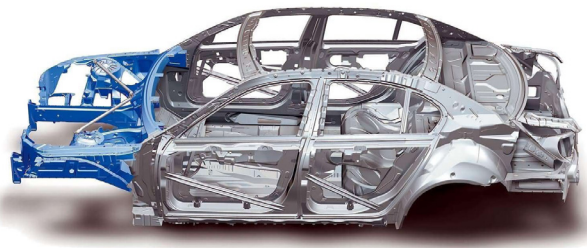
door het ruggengraat frame. Het frame dat voor de Multi Tool Trac gebruikt is, lijkt het meest op het ruggengraat frame. In figuur 4.11 is een voorbeeld te zien van een ruggengraatframe.

Perimeter frame: Het perimeter frame is gebaseerd op het ladderframe. Dit frame heeft als toevoeging dat het middelste stuk frame tussen de assen verbreed en verlaagd is. Hierdoor was het mogelijk om de bodemplaat laag te houden, waardoor de ruimte in de auto groter werd. Het verbreedde middenstuk biedt veel weerstand tegen zijdelingse aanrakingen. Dit frame is echter minder goed bestand tegen torsie en buiging, omdat het frame minder stijf is bij de overgang van het verbreedde naar het smalle deel van het frame. In figuur 4.12 is een voorbeeld van een perimeter frame te zien.

Platform frame: Lijkt erg op het perimeter frame, maar heeft als toevoeging dat de bodemplaat onderdeel is van het frame. Door richels toe te voegen wordt de stijfheid van het frame vergroot. De Tesla Model S maakt bijvoorbeeld gebruik van een platform frame. Het platform bevat in deze auto's het gehele accupakket. Hierdoor kan tevens het zwaartepunt laag gehouden worden. In figuur 4.13 is een dergelijk frame te zien.



Figuur 4.13: Platform frame



Figuur 4.14: Monocoque frame

Unibody: Een unibody frame of semi-monocoque bestaat uit een samengevoegd geheel van chassis en carrosserie. Er wordt soms gebruik gemaakt van zogenaamde 'torque boxes' om trillingen in het voertuig te voorkomen. Dit frame is complex om te ontwikkelen en is daarom minder geschikt voor het gebruik in deze opdracht. Een ingekochte cabine kan ook lastig gecombineerd worden met een unibody. Een dergelijk frame is te zien in figuur 4.14.

4.3.2 Keuze frame

Als uitgangsbasis voor het chassis van de elektrische tractor lijkt het verstandig om het ladderframe te kiezen. Dit relatief eenvoudige frame vergt minimale kennis omtrent chassisbouw en het laat zich gemakkelijk aanpassen mochten er problemen ontstaan. Er zou eventueel nog gebruik gemaakt kunnen worden van kenmerken van het perimeter en/of platform frame.

4.3.3 Mogelijkheden

Wanneer het frame van de elektrische tractor zelf ontwikkeld wordt, zou het voordelen kunnen bieden ten opzichte van concurrenten. Een conventionele tractor zit vaak vast aan het traditionele chassis bestaande uit een combinatie van motor, transmissie en achteras. Achterasvering is bijvoorbeeld één van de beschikbare mogelijkheden die een apart frame biedt. De extra ruimte die het frame biedt zou bijvoorbeeld ook gebruikt kunnen worden om de accu's in op te slaan. Op deze manier wordt het massamiddelpunt van de tractor verlaagd, wat kantelen wellicht doet voorkomen. Mits het technisch gezien mogelijk is, biedt dit tevens de kans om te schuiven met het accupakket. De massa van het accupakket kan vervolgens gebruikt worden als nuttig contragewicht. Heden ten dage wordt er vaak gebruik gemaakt van additionele massa in de hefinrichting of op de velg als contragewicht. Het zou de efficiëntie van de elektrische tractor ten goede komen wanneer een boer zou kunnen variëren met nuttig gewicht.

STUURINRICHTING - 1

De stuurinrichting maakt de besturing van de wielen mogelijk. Doordat de wielen naar binnen en buiten kunnen draaien is het mogelijk dat de tractor bochten kan maken. Hoe groter de draaihoek van de wielen, hoe kleiner de uiteindelijke draairadius. Het programma van eisen verplicht een minimale draairadius van 5m.

4.4.1 Manier van sturen

De manier van sturen in een tractor bepaalt mede de grootte van de draairadius. Het gros van de hedendaagse tractors stuurt met behulp van de twee voorwielen. Een enkele tractor krijgt bij het sturen assistentie van sturende achterwielen. Het licht bijsturen van de achterwielen kan al voor een grote verbetering zorgen wat betreft de draairadius. Knikbesturing op tractoren zorgt er tevens voor dat de tractor erg wendbaar is. Kniktractoren zijn daarom geliefd bij boeren in de fruitteelt, omdat deze gemakkelijk door de boomgaard te rijden zijn. Knikbesturing is echter minder geschikt voor grondbewerking, omdat de tractor de neiging heeft om uit te zwenken. Hierdoor wordt de grondbewerking minder nauwkeurig. Daar bovenop komt dat de stijfheid van het frame kleiner wordt en dit dus op andere manieren gecompenseerd dient te worden. Het ontwerpen van een knikchassis vergt dus specifieke kennis. Aangezien de aandrijving direct op de wielen plaatsvindt, kan de besturing eenvoudig ook op de achterwielen geplaatst worden. De kennis omtrent het aandrijven en sturen van alle vier de wielen is aanwezig binnen Multi Tool Trac B.V. Dit is daarom een uitgelezen kans om vierwielbesturing toe te passen op een conventionele tractor. De speciaal ontwikkelde fuseearmen zijn overbodig geworden voor de elektrische tractor, omdat deze geen gebruik zal maken van de variabele spoorbreedte. De kromme fuseearmen zullen aangepast kunnen worden, maar er kunnen ook geheel nieuwe draagarmen ontwikkeld worden.

4.4.2 Keuze stuurinrichting

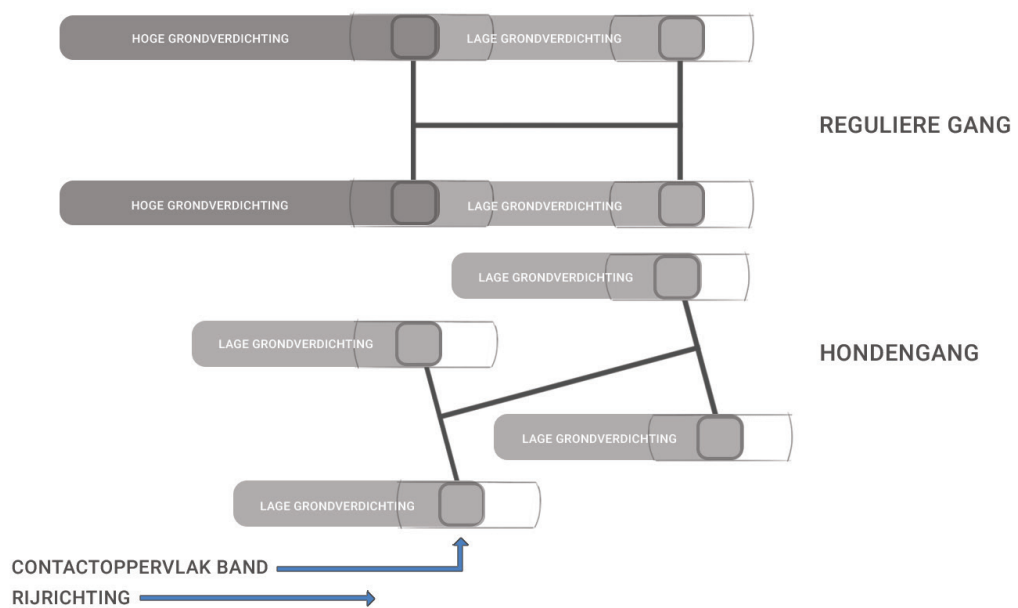
De Multi Tool Trac maakt gebruik van hydraulische besturing van de wielen. Dit systeem zal ook gebruikt worden binnen concept 1, omdat dit de eenvoudigste oplossing is om vierwielbesturing te realiseren. Vierwielbesturing met behulp van vaste stuurstangen is erg lastig te realiseren. De uitwerking van deze besturing is te vinden in het hoofdstuk 'Detaillering - 1'. Het zou in theorie ook mogelijk zijn om met behulp van stappenmotoren te sturen. Het is echter de vraag of deze manier van sturen genoeg vermogen kan leveren in de beperkte ruimte die de elektrische tractor beschikbaar heeft. Aangezien Multi Tool Trac B.V. ervaring heeft met het hydraulisch sturen van de tractorwielen is het verstandig om deze techniek ook in concept 1 toe te passen. De hydraulische techniek heeft zichzelf in de tractormarkt ook al meer dan bewezen. Er zal waarschijnlijk wel een variant op de stuurinrichting van de Multi Tool Trac ontwikkeld moeten worden, omdat de beschikbare ruimte in concept 1 kleiner zal zijn.

4.4.3 Hondengang

Door gebruik te maken van vier sturende wielen wordt het tevens mogelijk om in hondengang te rijden. Hondengang is een manier van rijden waarbij ieder wiel door een apart rijspoor rijdt. Bij een conventionele tractor rijden bijvoorbeeld het rechter voor- en achterwiel door hetzelfde spoor. Om grondverdichting te verminderen kan er, door gebruik te maken van vier sturende wielen, dus in hondengang gereden worden. In figuur 4.15 is een schematische afbeelding te zien van een tractor die in hondengang rijdt. In de reguliere gang rijden de voor- en achterwielen door dezelfde sporen waardoor de grond extra wordt verdicht. In hondengang rijdt ieder wiel door een apart spoor waardoor de grondverdichting geminimaliseerd kan worden.

4.4.4 Vierwielbesturing

Het sturen met vier wielen moet echter wel gecontroleerd gebeuren. Wanneer er op hoge snelheid met vier wielen gestuurd wordt raakt de tractor namelijk snel instabiel. De software in de tractor zal hiervoor grenzen moeten aangeven. Het is bijvoorbeeld mogelijk dat de tractor boven de 15km/h slechts met zijn voorwielen stuurt, om zo de stabiliteit van het voertuig te garanderen.



Figuur 4.15: Grondverdichting reguliere gang t.o.v. hondengang

RANGE EXTENDER - 1

4.5.1 Algemeen

De range extender laadt het accupakket op wanneer deze leeg dreigt te raken. Hiermee wordt de actieradius van de elektrische tractor vergroot. Een range extender bestaat uit een verbrandingsmotor, meestal een dieselmotor, in combinatie met een generator. De generator zet de mechanische energie, die wordt opgewekt door de verbrandingsmotor, om in elektrische energie. Om het accupakket bij te laden zal de range extender een groter vermogen moeten hebben dan het vermogen wat er tijdens het ontladen uit het accupakket verdwijnt. Wanneer dit het geval is, zou de elektrische tractor, zo lang als hij diesel heeft, kunnen blijven rijden. In een ideaal scenario zou het accupakket een dermate grote capaciteit hebben dat de range extender overbodig is geworden. Dit is echter in de huidige accutechnologie nog niet mogelijk waardoor een extra energiebron een vereiste is.

4.5.2 Input - output

Als er vervolgens een range extender gekozen moet worden, is het van belang dat er bekend is hoeveel vermogen er maximaal ontladen kan worden uit het accupakket. De range extender dient vervolgens maar slechts iets meer vermogen te kunnen leveren om het accupakket weer op te laden. Als de dieselmotor zo klein mogelijk gehouden kan worden, wordt er zo weinig mogelijk fossiele brandstof gebruikt. In theorie is het echter niet zo eenvoudig om het maximale vermogen van de tractor te bepalen. Dit is namelijk afhankelijk van factoren als weersomstandigheden en rijgedrag van de bestuurder. Dit zal tijdens het ontwerpproces afgeschat moeten worden waarna een geschikte range extender gekozen dient te worden. Het is voor dit project aan te bevelen om een range extender te monteren die voornamelijk qua volume en massa overeen komt met de gebruikte dieselgenerator van de Multi Tool Trac. Door middel van praktijktesten moet bepaald worden wat het output vermogen is en welk input vermogen daar tegenover moet staan.

4.5.3 Keuze dieselmotor

Het huidige model van de Multi Tool Trac maakt gebruik van een 6-cilinder dieselmotor van 140 kW in combinatie met een hoge toeren generator. Dit type dieselmotor, te zien in figuur 4.16, is in het begin van het ontwikkelproces van de Multi Tool Trac gekozen om er zeker van te zijn dat er genoeg input vermogen geleverd kan worden. Aangezien de output van het accupakket van de elektrische tractor ongeveer hetzelfde zal zijn als die van de Multi Tool Trac, is het verstandig om met een soortgelijke dieselmotor te werken. Er is op dit moment nog weinig bekend van het elektrische verbruik van de tractor, waardoor er bij de keuze van de range extender een verstandige marge toegepast moet worden. Er dient echter toch rekening gehouden te worden met de efficiëntie van de dieselmotor, omdat de gebruiker van de elektrische tractor de totale efficiëntie van de tractor hoog in het vaandel heeft staan. Om deze reden alleen zou de potentiële gebruiker al voor een elektrische tractor kiezen. Voor dit project wordt er, om dezelfde input-output marge te houden, gekozen voor dezelfde 140kW 6-cilinder dieselmotor. De afmetingen

bedragen 1090 x 572 x 754mm (l x b x h). Het kiezen van deze motor biedt Multi Tool Trac B.V. de mogelijkheid om in de toekomst nog over te gaan op één van de efficiëntere varianten uit deze serie. Wanneer er meer bekend is over het elektrisch verbruik van de elektrische tractor kan er dus altijd nog van dieselmotor gewisseld worden.

Nadere informatie over de gekozen dieselmotor is te vinden in 'Bijlage A'.

OVERIGE MODULES - 1

4.6.1 Algemene afmetingen

Zoals in het programma van eisen is vermeld, wordt er een vaste spoorbreedte gekozen. De module 'variabele spoorbreedte' komt daarmee te vervallen. De vaste spoorbreedte ligt op ongeveer 1.90m (gemeten vanuit het hart van het wiel), zodat de totale breedte van het voertuig niet groter wordt dan 2.50m. Het is namelijk de totale breedte van het landbouwvoertuig die wettelijk is vastgelegd. De hoogte van het voertuig zal om en nabij de 3.50m liggen, de lengte zal niet langer dan 5.00m worden.

4.6.2 Elektrische aandrijflijn

De elektromotoren worden bevestigd aan de fuseearmen. De grootte en plaatsing van deze bevestigingsmantel is afhankelijk van de ophanging van de elektromotoren. In het hoofdstuk 'Detaillering - 1' zal de vorm en plaatsing van de bevestigingsmantel verder uitgewerkt worden. Verder wordt er aan de elektrische aandrijflijn niets aangepast. Deze kan rechtstreeks overgenomen worden van het huidige prototype van de Multi Tool Trac.

4.6.3 Cabine

Het werken in een conventionele tractor is fysiek ergonomisch gezien niet voordelig. Ondanks de luxe van cabinevering, stoelvering, verwarming et cetera kijkt een boer nog vaak lange tijd over zijn schouder. Wanneer boeren gebruik maken van de hefinrichting achter de achteras ziet men vaak dat de bestuurder van de tractor achterom kijkt om in de gaten te houden hoe het werktuig zijn werk doet. Tijdens het aankoppelen van de werktuigen wordt er vrijwel constant achterom gekeken. Deze statische houding wordt gedurende lange tijd aangehouden, waardoor er fysieke klachten kunnen ontstaan. Een oplossing voor dit probleem is het roteren van de cabine. Dit vergt een speciaal vormgegeven cabine die eenvoudig tijdens het rijden om zijn as



Figuur 4.17: WF Trac met draaiende cabine

kan draaien. Een dergelijke cabine wordt gebruikt bij de WF-Trac van Werner, te zien in figuur 4.17. Een draaiende cabine wordt vaak in de bosbouw toegepast, omdat wendbaarheid en zicht in deze sector nog belangrijker zijn. Een andere manier om de bestuurder meer comfort te bieden, is om het interieur van de cabine volledig te kunnen draaien. Dit wordt al in verscheidene tractoren toegepast, zodat de tractor eenvoudiger voor- en achteruit te rijden is. Het omkeren van de besturing gebeurt voornamelijk door de stoel en de besturingsconsole te draaien. Hiervoor is het vaak wel noodzakelijk dat de stoel opgeklapt wordt, waardoor de tractor niet bestuurd kan worden. Dit systeem is daarom niet tijdens het rijden te gebruiken. Een volledig draaiende cabine lijkt daarmee de meest geschikte optie om het comfort van de bestuurder te vergroten. Leveranciers van zulke cabinesystemen zijn onder andere John Deere, Werner Forst- und Industrietechnik, Komatsu en Ponsse.

Het ombouwen van een ingekochte standaard cabine, die geschikt is voor het gebruik met een tractor met verbrandingsmotor, naar het gebruik met een tractor met vierwiel-aandrijving en vierwiel-sturing vergt erg veel ontwikkelkosten. Vanuit het financiële oogpunt van het bedrijf is het het handigst om exact dezelfde cabine voor concept 1 te gebruiken. Deze cabine is weliswaar niet in staat om te draaien, maar een nieuwe cabine zou opnieuw een grote investering qua ontwikkelkosten van het bedrijf vergen. Wanneer er in de toekomst meer ervaring is met het aansluiten van verschillende cabines, zou er gevarieerd kunnen worden met de cabine. Aangezien het bedrijf nog in de kinderschoenen staat, moet er gebruik gemaakt worden van alle kennis en ervaring die er is. Er is daarom gekozen om dezelfde cabine als de Multi Tool Trac te gebruiken. Deze cabine, te zien in figuur 4.18, heeft echter wel als nadeel dat het zicht naar achteren toe erg slecht is. De achterwand van de cabine is namelijk niet van glas.



Figuur 4.18: Cabine zonder interieur

4.6.4 Hefinrichting & PTO

De elektrische tractor zal voorzien zijn van een hefinrichting en aftakas aan de achterkant. Optioneel kan een dergelijke inrichting ook aan de voorkant toegevoegd worden. De achterste hefinrichting dient een hefvermogen te hebben van minimaal 5.5 ton. Met dit gegeven kan de elektrische tractor concurreren met de in hoofdstuk 3 opgesomde tractoren. De fronthef moet

minimaal 3.5ton hefvermogen hebben. Het frame moet deze krachten uiteraard ook kunnen dragen.

4.6.5 Carrosserie

De carrosserie heeft een aantal functies. Zo beschermt de carrosserie de bestuurder van het voertuig tegen de draaiende delen van bijvoorbeeld de range extender, zorgt het ervoor dat opspattend vuil het zicht van de bestuurder niet hindert en vormt het de identiteit van het merk Multi Tool Trac B.V. De carrosserie dient daarom zo ontworpen te worden dat het voldoet aan een aantal eisen. De belangrijkste eis heeft betrekking op het zicht van de bestuurder. De carrosserie van de elektrische tractor mag het zicht van de bestuurder op de weg en op het werktuig namelijk niet beperken.

CONCLUSIE - 1

De belangrijkste keuzes omtrent concept 1, de elektrische tractor, die behandeld zijn in dit hoofdstuk, staan in deze paragraaf nog eens opgesomd. Vanuit deze keuzes kan de elektrische tractor samengesteld worden. Details van het uiteindelijke ontwerp worden in het hoofdstuk 'Detaillering - 1' toegelicht.

4.7.1 Basis opzet

De basis van concept 1 maakt gebruik van vier identieke wielen waarbij de cabine centraal tussen de assen is gepositioneerd. De massaverdeling over de assen bedraagt idealiter zo'n 60% op de vooras en 40% op de achteras.

4.7.2 Wielophanging

Als wielophanging is er gekozen voor een starre achteras in combinatie met een wentelas aan de voorkant. Multi Tool Trac B.V. heeft ervaring met het monteren en ontwikkelen van deze assen, waardoor de ontwikkelkosten van nieuwe assen en ophangingen laag kunnen blijven. Als veer-dempersysteem is de keuze gevallen op banden-, stoel- en cabinevering en demping.

4.7.3 Frame

Er wordt voor het frame gebruik gemaakt van een ladderframe. Dit type frame is eenvoudig te ontwikkelen en is daarmee het meest geschikt voor Multi Tool Trac B.V. Er zal bij de ontwikkeling van het frame tevens gekeken worden naar soortgelijke bestaande oplossingen.

4.7.4 Stuurinrichting

Het beperken van de draairadius heeft de voornaamste prioriteit bij het ontwikkelen van de stuurinrichting. Door gebruik te maken van vierwielbesturing is het tevens mogelijk om in hondengang te rijden. Er wordt voor een soortgelijk hydraulisch systeem gekozen zoals uitgelegd bij het hoofdstuk 'Multi Tool Trac'.

4.7.5 Range extender

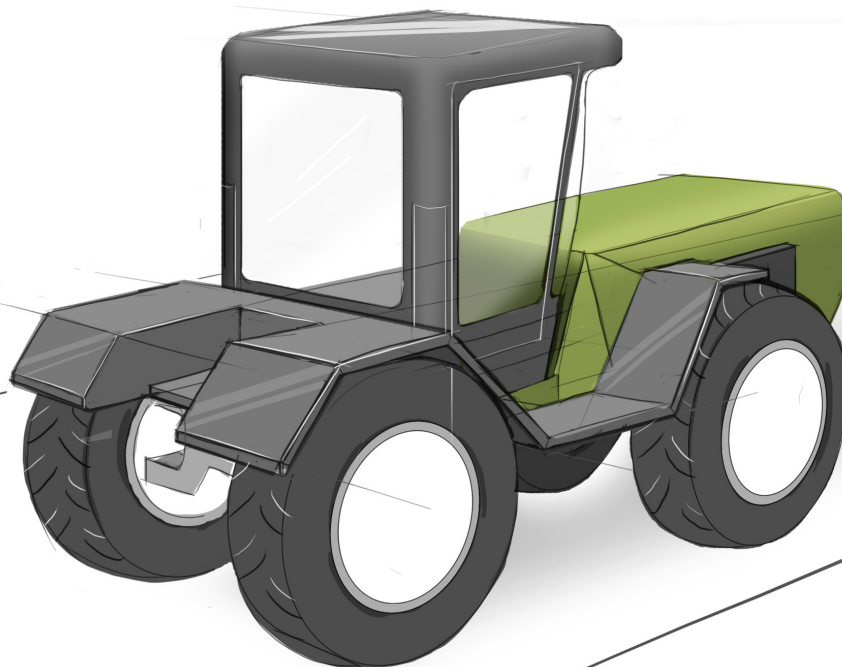
Als range extender wordt dezelfde dieselmotor met generator gebruikt waar de Multi Tool Trac ook gebruik van maakt. In de toekomst kan de grootte van de dieselmotor wellicht nog teruggeschaald worden om de efficiëntie van het landbouwvoertuig te vergroten.

4.7.6 Overige modules

Concept 1 krijgt een spoorbreedte van 1.90m, zodat de breedte van de tractor niet groter wordt dan 2.50m. Het hefvermogen aan de achterste hefinrichting wordt 5.5 ton en de frontheef heeft een maximaal vermogen van 3.5 ton. Verdere wijzigingen worden er niet gedaan.

4.7.7 Ontwerp

Met alle voorgaande keuzes in het achterhoofd is er een 3D tekening gemaakt van de opzet van de elektrische tractor. Deze tekening is te zien in figuur 4.19. Wat duidelijk naar voren komt is de laadvloer en de centraal geplaatste cabine. Deze cabine is tevens exact dezelfde als die van de Multi Tool Trac.



Figuur 4.19: Concepttekening 1

Hoofdstuk 5

DETAILLERING - 1

Binnen het hoofdstuk 'Detaillering - 1' zullen alle aanpassingen van concept 1 ten opzichte van de Multi Tool Trac doorgenomen worden. Per module zal er aangegeven worden welke aspecten veranderd zijn en welke rechtstreeks zijn overgenomen van de Multi Tool Trac. Aan de hand van tekeningen en CAD-modellen zullen de verschillende variaties behandeld worden. De verschillende modules zullen, als het nodig is, ook getoetst worden aan de gestelde eisen.

De verschillende deeloplossingen zullen samen leiden tot één eindconcept. Alle modules zullen binnen het eindconcept samen moeten werken. Het kan daarom voorkomen dat er niet altijd de meest optimale keuze gemaakt kan worden. Dit zal te zijner tijd vermeld worden.

Uiteindelijk zal bij het hoofdstuk 'Eindontwerp - 1' het eindconcept van dit project gepresenteerd worden.

FRAME - 1

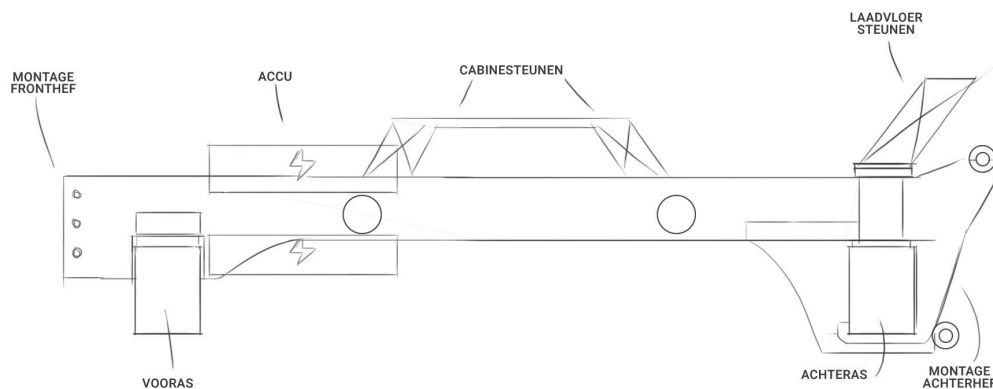
Bij de ontwikkeling van het frame voor concept 1 moet er met een aantal zaken rekening gehouden worden. Zo dient het frame bijvoorbeeld de stuuruitslag van de wielen niet te belemmeren, moet het frame ruimte bieden voor de pendelende beweging van de wentelas en dient het frame bevestigingspunten te bevatten voor een fronthef, achterhef en voorlader. Bij een nadere uitwerking van het frame kunnen leidingen, frequentieregelaars, motorsteunen en dergelijke geïntegreerd worden in het frame. Het bouwen van frames is normaal gesproken werk voor ingenieurbureaus. Er is binnen dit project dan ook het een en ander aan het frame versimpeld.

5.1.1 Opzet frame

Bij 'Analyse - 1' is er gekozen om gebruik te maken van een ladderframe. Een dergelijk frame kan op vele manieren worden uitgevoerd. Het traditionele ladderframe is vrij breed uitgevoerd. Dit is echter minder geschikt voor concept 1, omdat de elektrische tractor relatief veel ruimte nodig heeft voor de stuuruitslag van de wielen. Een breed uitgevoerd frame zou de grootte van de stuuruitslag kunnen belemmeren. Door het traditionele ladderframe te versmallen blijft er meer ruimte beschikbaar voor het sturen van de wielen. De draairadius wordt hiermee kleiner. Wanneer een ladderframe echter versmald wordt, begint het frame steeds meer op een ruggengraat frame te lijken. De opzet van het frame zal daarmee ook een combinatie worden van een ladderframe en een ruggengraat frame. Met verschillende dwarsbalken zullen zijwaartse krachten opvangen moeten worden. In figuur 5.1 is een schets van het frame te zien.

5.1.2 Inspiratiebronnen

De ontwikkeling van het frame voor de elektrische tractor is deels gebaseerd op bestaande tractorframes. De tractorfabrikanten John Deere en Claas ontwikkelen hun eigen frames. Zo is er gebruik gemaakt van de cilindrische dwarsbalken te zien in figuur 5.2. Tevens zijn de steunen voor de laadvloer, de groene balken in figuur 5.2, als basis gebruikt voor de steunen binnen

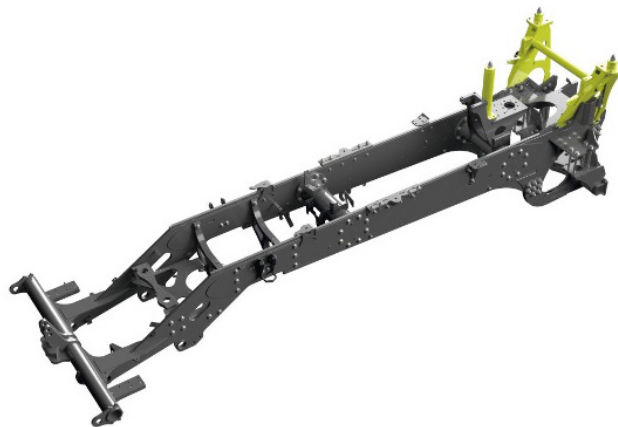


Figuur 5.1: Zijaanzicht schets frame elektrische tractor

concept 1. Er wordt als basis gebruik gemaakt van twee langs balken die bestaan uit twee vlakke stalen platen.

5.1.3 Uitwerking frame

Het vertalen van de 2D schetsen naar het 3D CAD-model heeft het frame van figuur 5.3 en 5.4 opgeleverd. Om een goed beeld te krijgen van het



Figuur 5.2: Claas tractorframe

frame zijn de fronthef en achterhef ook te zien. De montagepunten van de hefinrichtingen worden hiermee duidelijk. De accupakketten hebben een plek gekregen binnen het frame. Één van de pakketten ligt vast aan de voorzijde van het frame (tegen de vooras aan), terwijl het andere pakket schuifbaar is door het frame. Het schuiven van dit frame zal het massazwaartepunt van de tractor doen veranderen. In het hoofdstuk 'Eindontwerp - 1' is het effect van het verschuiven van het accupakket op het massazwaartepunt te zien. Het vaste accupakket is onderdeel van het frame en draagt bij aan het tegenwerken van de torsie in het frame. De behuizing van het accupakket zal daarmee externe krachten opnemen. Dit is enigszins vergelijkbaar met de geïntegreerde accu's in het platformframe van Tesla, zoals uitgelegd is in het hoofdstuk 'Ontwerp - 1'. Om het torsiemoment op te vangen is er op de zwakke plekken gedurende de ontwikkeling van het frame extra materiaal toegevoegd. In de SolidWorks simulaties zal duidelijk worden waar de zwakke plekken van het frame zich bevinden en waar wellicht in de toekomst overtollig materiaal verwijderd kan worden.

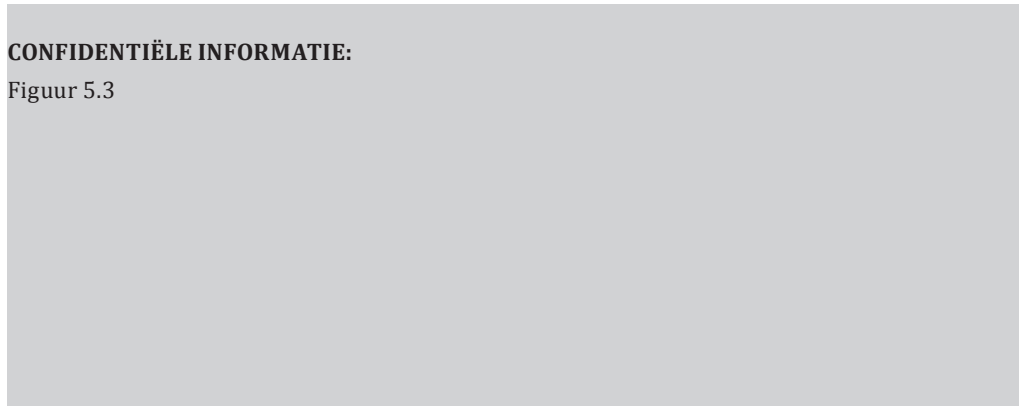
De hoogte van cabine ten opzichte van de wielen bepaalt mede hoe hoog het frame moet zijn. Aangezien de breedte van de cabine groter is dan de afstand tussen de rechter- en linkerwielen, is het noodzakelijk de cabine boven de wielen te plaatsen. De hoogte van het frame wordt hierdoor beïnvloed, omdat het frame de cabine dient te ondersteunen. Wanneer de cabine zich hoog boven het frame bevindt, moeten de steunen tevens extra lang worden. Dit gaat vaak ten koste van de sterkte van de steunen. Er is er dus voor gekozen om de bovenzijde van het frame daarom zo hoog mogelijk te houden. De voor- en achteras zullen daarom aan de onderzijde van

CONFIDENTIËLE INFORMATIE:

Figuur 5.3

CONFIDENTIËLE INFORMATIE:

Figuur 5.3



de frame worden bevestigd. Idealiter wordt de bovenzijde van het frame vlak gehouden, zodat de overige modules eenvoudig aan en op het frame bevestigd kunnen worden.

Bij de ontwikkeling van het frame worden tevens de algehele afmetingen van de elektrische tractor vastgesteld. De wielbasis en totale lengte zijn bij de ontwikkeling van het frame vastgesteld op respectievelijk 3.00m en 5.5m. De lengte is gemeten van het voorste punt van de fronthef tot aan het achterpunt van de achterhef. De totale massa van het frame bedraagt zo'n 740kg.

5.1.4 SolidWorks simulatie

Het CAD-model van het frame is via SolidWorks Simulation getest op een aantal externe krachten. Zo is er een simulatie uitgevoerd waarbij de fronthef belast wordt, is de algehele buiging onder invloed van het eigen gewicht gesimuleerd en is er ook getest hoe het frame reageert als de pendelas een grote kracht uitoefent in één van zijn eindposities. Het frame is gemaakt van constructiestaal (S460N/1.8901). Dit is hetzelfde materiaal als het frame van de Multi Tool Trac. Aangezien het CAD-model van de achterhef van een ingenieurbureau afkomstig is, is het binnen dit project niet haalbaar om een simulatie uit te voeren met betrekking tot de krachten op de achterhef. Op de montagepunten van de fronthef is in de SolidWorks simulatie echter een kracht van 100kN uitgevoerd. Aangezien de momentsarm van de fronthef groter is dan die van de achterhef is het niet waarschijnlijk dat de von Mises spanning en maximale verplaatsing bij de achterhef groter zijn dan die bij de simulatie van de fronthef. Er kan dus met de gemaakte simulaties een goed beeld van het frame gegeven worden.

Bij de simulatie van de belasting van de fronthef is er een kracht van 100kN gezet op het montagepunt van de fronthef. Deze kracht komt overeen met zo'n 10 000kg. Er is gekozen voor deze belasting, omdat de fronthef een hefkracht heeft van 4000kg. Door een grote marge te gebruiken wordt de sterkte van het frame gewaarborgd. Er wordt, door gebruik te maken van een belasting van 100kN in plaats van 40kN, tevens een beeld gegeven wat de maximale belasting van de fronthef met dit frame zou zijn.

Het frame is op de punten waar de voor- en achteras gemonteerd zijn ondersteunt. De maximale spanning, bij een belasting van 100kN op de fronthef, blijft onder de vloeisterkte. Het frame wordt onder de gekozen belasting dus niet blijvend vervormd.

De belasting van de wentelas op het frame is tevens gesimuleerd. Er is er voor gekozen om de ondersteuning van de vooras weg te halen, zodat het gehele frame volledig aan de torsie wordt blootgesteld. Er is bij deze simulatie ook gebruik gemaakt van een kracht van 100kN, omdat het frame een dergelijke piekbelasting ook moet kunnen doorstaan. Over een lengte van zo'n vier meter is de maximale verplaatsing niet erg groot. Aangezien er in de gebruikte kracht van 100kN al een grote marge zit verwerkt, kan er aangenomen worden dat het ontwikkelde frame voldoet aan de eisen omtrent torsie.

De derde simulatie betreft de buiging van het frame onder belasting van de eigen massa van de elektrische tractor. Er is hier gebruik gemaakt van een totale verdeelde belasting van 4.5kN. Dit is een geschatte waarde van de massa die op het frame steunt. De maximale spanning en verplaatsing bij deze simulatie zijn verwaarloosbaar klein. Alle uitkomsten van de simulaties zijn te vinden in 'Bijlage C'.

5.1.5 Conclusie en aanbevelingen

Het ontwikkelde frame voldoet aan de eisen van dit project. Dit frame kan echter niet één op één over genomen worden bij de productie van concept 1. Het frame moet daarom eerst nog nauwkeuriger doorgerekend worden. De drie simulaties kunnen tevens tegelijkertijd voor kunnen komen bij het gebruik van de tractor. Het is daarom ook aan te raden om een gecombineerde simulatie uit te voeren.

Er dient tevens een optimalisatie plaats te vinden om eventueel overtollige massa te verwijderen. Het aanpassen van het frame biedt mogelijkheid tot het integreren van leidingen, kabels en motorsteunen.

WIELOPHANGING - 1

In het hoofdstuk 'Ontwerp - 1' is er gekozen om gebruik te maken van een vaste starre achteras in combinatie met een wentel vooras. Er zijn binnen het hoofdstuk 'Ontwerp - 1' al wat voorbeelden gegeven van mogelijke wielophangingen in combinatie met de elektromotoren. Dit hoofdstuk gaat dieper in op uitvoering van de assen en de daarbij horende wielophanging. Aangezien de stuurinrichting erg samenhangt met het type wielophanging, wordt er binnen dit hoofdstuk tevens aandacht besteed aan de manier waarop de wielen gestuurd worden.

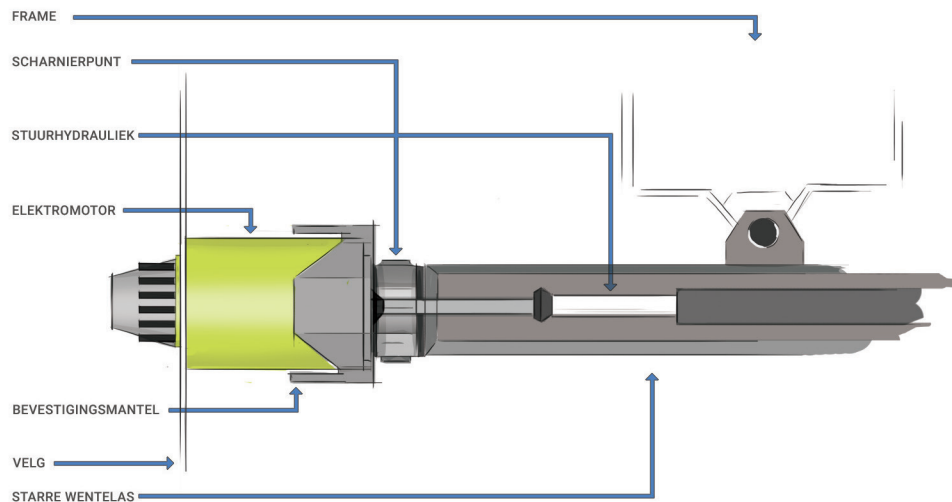
5.2.1 Multi Tool Trac versus eigen ontwerp

Het ontwikkelen van de wielophanging was een keuze tussen twee varianten. Zo was er de keuze op een wielophanging die gebaseerd was op de huidige ophanging van de Multi Tool Trac en de keuze die gebaseerd was op reguliere ophangingssystemen. De fuseearmen grijpen aan op de bevestigingsmantel rond de elektromotor. Met behulp van de stuurhydrauliek kan het wiel vervolgens gestuurd worden. Wanneer er echter gekeken wordt naar reguliere ophangingssystemen valt het op dat deze anders zijn uitgevoerd dan het ophangingssysteem van de Multi Tool Trac. De reguliere systemen maken als aandrijving gebruik van een cardanverbinding, terwijl de Multi Tool Trac en concept 1 uitgerust gaan worden met elektromotoren. Het integreren van de wielmotoren in de ophangingssystemen vergt echter meer ruimte. Wanneer de elektromotoren geïntegreerd worden in reguliere ophangingssystemen komt het er ongeveer uit te zien als in figuur 5.10. Er is hier te zien dat het noodzakelijk is dat de bevestigingsmantel aan de andere kant van de elektromotor gemonteerd wordt. In samenspraak met de fabrikant van de elektromotoren zou het verplaatsen van de bevestigingsmantel realiseerbaar moeten zijn. De stalen behuizing van de elektromotoren dient dan op een aantal

CONFIDENTIËLE INFORMATIE:

Figuur 5.9: Multi Tool Trac ophanging



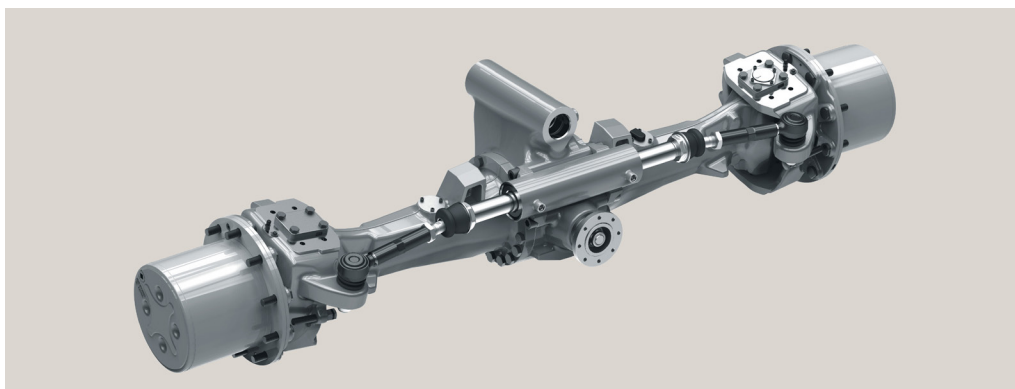


Figuur 5.10: Integratie elektromotoren in regulier ophangingsysteem

plaatsen aangepast te worden. Dit heeft echter geen invloed op het basis functioneren van de elektromotor. Via een scharnierverbinding, zoals te zien is in figuur 5.10, kan het wiel vervolgens gestuurd worden. Het sturen van de wielen wordt ook in dit geval gerealiseerd door hydraulische cilinders. Deze cilinders kunnen binnen dit ophangingsysteem kleiner uitgevoerd worden. De plaatsing van de stuurhydrauliek neemt in het reguliere ophangingsysteem tevens minder ruimte in beslag. Een voorbeeld hiervan is te zien in figuur 5.11. Het zwakke punt van dit ophangingsysteem is de connectie tussen de as en de elektromotor. De momentsarm loopt in beide systemen van de velg tot en met het punt waar de elektromotor aan de as bevestigd is. Krachten en momenten kunnen daarom beter over de as verdeeld worden. Daar komt bij dat de gebruikte fuseearmen in figuur 5.9 veel robuuster zijn uitgevoerd dan de scharnierverbinding in figuur 5.10. Het is daarom aan te raden om voor concept 1 te kiezen voor een wielophanging die gebaseerd is op die van de huidige Multi Tool Trac.

5.2.2 Uitwerking wielophanging

Na het kiezen van het type wielophanging dient deze nog uitgewerkt te worden. Aangezien concept 1 geen gebruik maakt van een variabele spoorbreedte, hoeven er ook geen kromme fuseearmen gebruikt te worden. De bestaande fuseearmen en assen dienen aangepast te worden zodat er één starre (wentel)as ontstaat. Het ombouwen van de bestaande Multi Tool Trac schuifassen naar één starre achteras en één wentelas heeft de assen uit de figuren 5.12 en



Figuur 5.11: Reguliere wentelas + stuurinrichting

5.13 opgeleverd. Zoals te zien is in deze figuren zijn de elektromotoren op dezelfde wijze opgehangen in de fuseearmen als bij de Multi Tool Trac. In figuur 5.14 zijn de beide assen in het frame te zien. De vooras staat in deze afbeelding in de uiterste stand van pendelen. Hiermee wordt het comfort en rijgedrag van de elektrische tractor bevorderd zoals uitgelegd in het hoofdstuk 'Ontwerp - 1'.

5.2.4 Conclusie en aanbevelingen

Om de ontwikkelde wielophanging in gebruik te nemen voor een eerste prototype is het aan te raden contact

op te nemen met de ingenieur dat de ontwikkeling van de wielophanging van de Multi Tool Trac op zich heeft genomen. Dit bureau zou vervolgens de bestaande ophanging op dezelfde manier aan kunnen passen als in dit hoofdstuk is gebeurd. Het doorrekenen van de assen en ophangingen zou in de toekomst ook door een dergelijk ingenieurbureau moeten gebeuren. De stuurinrichting van concept 1 wordt in het volgende hoofdstuk behandeld.

CONFIDENTIËLE INFORMATIE:

Figuur 5.12: Achteras

Figuur 5.13: Vooras

CONFIDENTIËLE INFORMATIE:

Figuur 5.14: Vooras

STUURINRICHTING - 1

Na het ontwikkelen van de wielophanging is het van belang dat de stuurinrichting gerealiseerd wordt. Door het gebruiken van de grote fuseearmen kan er geen standaard stuurinrichting toegepast worden op concept 1. Er worden in dit hoofdstuk twee mogelijke oplossingen uitgelegd en gepresenteerd.

5.3.1 Mogelijkheden

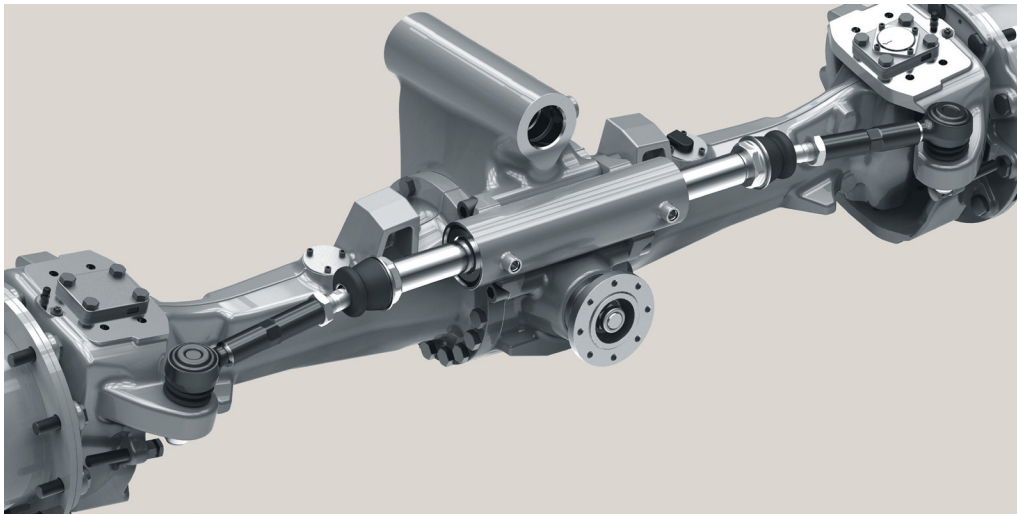
Het sturen van de wielen is bij de Multi Tool Trac opgelost met hydraulische cilinders. In figuur 5.15 is te zien hoe deze stuurinrichting eruit ziet. De ruimte tussen de fuseearm en de velg van de Multi Tool Trac is groot genoeg om deze kast te plaatsen. Bij concept 1 is er echter beduidend minder ruimte beschikbaar. De hydraulische stuurkast kan daarom niet één op één over worden genomen. In figuur 5.16 is een voorbeeld van de beschikbare ruimte tussen de velg en fuseearm van concept 1 te zien. Bij tractorbanden geldt dat wanneer er bredere banden gebruikt worden, de velgdiameter kleiner zal worden. Wanneer er op dezelfde manier gestuurd wordt als de Multi Tool Trac, zal de stuurkast met de bijbehorende cilinders kleiner uitgevoerd moeten worden. Er is echter zo weinig ruimte tussen de velg en de fuseearm beschikbaar dat er gekeken moet worden naar alternatieve oplossingen.

CONFIDENTIËLE INFORMATIE:

Figuur 5.15: Stuurinrichting Multi Tool Trac

Figuur 5.16: Ruimte voor stuurinrichting

Om de elektrische tractor te kunnen laten sturen is er daarom een nieuwe stuurinrichting ontworpen. Bij het ontwikkelen van deze stuurinrichting is er gekeken naar bestaande vormen van hydraulische stuurinrichtingen. In figuur 5.17 is een dergelijke hydraulische stuurinrichting te zien. In deze afbeelding is te zien dat er twee cilinderstangen gebruikt worden om de beide wielen te sturen. In figuur 5.18 is een stuurinrichting te zien die slechts gebruik maakt van één hydraulische cilinder. Met behulp van een starre stang worden beide wielen aan elkaar verbonden, waardoor er toch met één cilinder twee wielen kunnen worden gestuurd. Het lastige aspect bij het ontwikkelen van de wielophanging van de Multi Tool Trac en concept 1 is

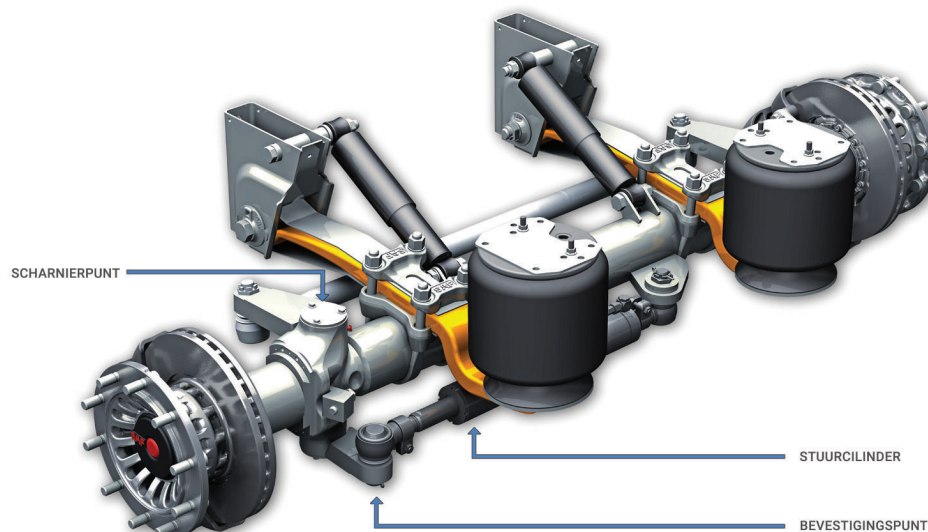


Figuur 5.17: Hydraulische stuurinrichting Claas tractor

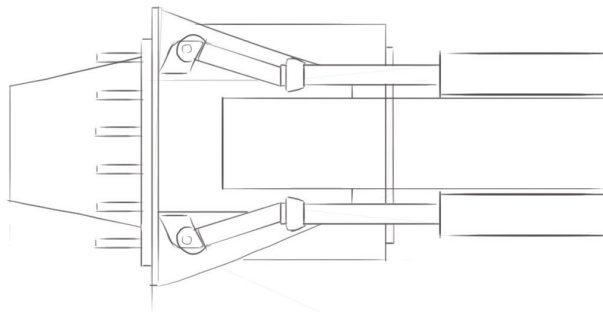
het uitzwenken van de elektromotoren. Wanneer het wiel van de elektrische tractor gestuurd wordt, zwenkt de elektromotor naar buiten. Er kan door dit uitzwenken geen stuurstang aan de zijkant van de motor gemonteerd worden. Aan de boven- of onderzijde van de elektromotor is dit echter wel mogelijk. Zoals in de figuren 5.17 en 5.18 te zien is, worden de hydraulische cilinders aan bevestigingspunten bij het wiel gemonteerd. In het geval van concept 1 kunnen deze bevestigingspunten erg goed op de bevestigingsmantel gelast worden. De hydraulische cilinders dienen dan wel op een andere plaats gemonteerd te worden. Voor concept 1 is er gekozen om de hydraulische cilinders aan de zijkant van de fuseearmen te monteren. In figuur 5.19 is een schets te zien van het ontwerp.

5.3.2 Uitwerking

Dit ontwerp maakt gebruik van hydraulische cilinders. Aangezien een hydraulische cilinder zowel kan duwen als trekken, zou een stuurinrichting ook met één cilinder per wiel gerealiseerd kunnen worden. Er is echter voor twee hydraulische cilinders gekozen. In figuur 5.21 staat de



Figuur 5.18: Stuurinrichting m.b.v. enkele cilinder



Figuur 5.19: Schets stuurinrichting

vooras met één van de daarbij horende elektromotoren afgebeeld. Aan de zijkanten van de fuseearm zijn de hydraulische stuurcilinders gemonteerd, die hun duw- en trekkrachten vervolgens via een stuurstang overbrengen op de bevestigingsmantel. Deze lineaire beweging moest door middel van een aantal scharnierpunten omgezet worden in een circulaire beweging van de bevestigingsmantel. Het minimum aantal scharnierpunten per stuurcilinder is twee. Qua onderhoud zijn zo min mogelijk scharnierpunten aan te raden, echter kan een lineaire beweging niet omgezet worden naar een circulaire beweging met minder dan twee scharnierpunten. Het totaal aantal scharnierpunten per wiel komt hiermee op vier. Het is voor het onderhoud van de tractor van belang dat de scharnierpunten met rubberen bussen en stofkappen worden uitgerust.

De stuurcilinders van de Multi Tool Trac zijn als uitgangspunt gebruikt bij het ontwikkelen van de stuurinrichting. Met name de lengte van deze cilinders konden problemen veroorzaken, omdat het pendelen van de vooras er voor zorgt dat er nóg minder ruimte beschikbaar was.

5.3.3 Compromis stuurhoek wielen

De wielen bereiken met behulp van de stuurinrichting van figuur 5.21 een stuuruitslag van 25 graden beide kanten op. Het wiel zou in theorie een nog grotere draaihoek kunnen bereiken. Er dient echter binnen dit project met nog een aantal andere factoren rekening gehouden te worden. Zo zoekt de gebruiker uiteindelijk een passend compromis tussen zo groot en breed mogelijke wielen, een zo groot mogelijke wielbasis en een zo klein mogelijke draairadius. Deze

CONFIDENTIËLE INFORMATIE:

Figuur 5.20: Stuurinrichting Multi Tool Trac

CONFIDENTIËLE INFORMATIE:

Figuur 5.21: Stuurinrichting concept 1

CONFIDENTIËLE INFORMATIE:

Figuur 5.22: Stuurinrichting Multi Tool Trac

eisen kunnen binnen de wettelijke eisen van het RDW niet allemaal gerealiseerd worden. Om toch tot een geschikt compromis te komen is er gekozen om de draairadius nog slechts net binnen de eisen van de boer te laten vallen. Met een draaihoek van 25 graden zou de elektrische tractor voldoen aan een draairadius van 5.40 meter. Binnen het hoofdstuk 'Eindontwerp - 1' staat de draairadius van de elektrische tractor verder toegelicht. De draairadius van 5.40 meter is zo'n 40 centimeter groter dan de eis die voor dit project gesteld is (te lezen in 'Eisen en wensen - 1'). Deze draairadius is echter nog steeds wel vergelijkbaar met de concurrenten in zijn klasse, zoals te lezen valt in het hoofdstuk 'Concurrentie - 1'. Doordat de wielbasis en de diameter van de sturende wielen groter zijn dan die van concurrerende tractoren, wordt er met vier sturende wielen een even grote draairadius bereikt als een tractor met vier sturende wielen.

5.3.4 Wielen en banden

Aangezien de stuurhoek van de wielen is vastgesteld kunnen alle overige aspecten, die een negatief effect hebben op de draairadius, zo groot mogelijk uitgevoerd worden. Zo kunnen de wielen en banden nu gekozen worden. Het is bij het kiezen van de wielen en banden van belang dat er rekening wordt gehouden met het draagvermogen en de bodemdruk van de band.

De banden van de elektrische tractor bepalen namelijk mede hoe groot de bodemdruk op het land is. Door gebruik te maken van de formule $P=F/A$ kan de bodemdruk berekend worden. Hierin is F de zwaartekracht van de elektrische tractor en A het contactoppervlak van de banden met de grond. Des te groter het contactoppervlak van de band, des te kleiner de bodemdruk op het land. Het contactoppervlak van een band hangt af van een aantal factoren. Zo zijn er ten eerste de breedte en diameter van de band die invloed hebben op het oppervlak van de band. Hoe groter de breedte en diameter, hoe groter het contactoppervlak van de band. De andere factor die van invloed is op het oppervlak van de band is de bandendruk. Een lagere bandendruk resulteert in een groter contactoppervlak van de band.

Er is gekozen voor radiaalbanden. Deze wielen en banden staan bekend om hun draagvermogen en om hun verlaging van de bodemdruk. In figuur 5.23 staat de bodemdruk van deze band schematisch weergegeven. Deze kenmerken voldoen aan de eisen zoals deze gesteld zijn in het hoofdstuk 'Eisen en wensen - 1'. Er is gekozen voor een band met een breedte van 600mm en velgdiameter van 38 inch (965.2mm). Dit resulteert in een totale diameter van band en velg

van 1745.2mm. Verdere specificaties van de band is te vinden in 'Bijlage B'.

5.3.5 Conclusie

De stuurinrichting van concept 1 zal in theorie toegepast kunnen worden op een prototype. Het is echter aan te raden om dit type besturing door te ontwikkelen tot een systeem dat betrouwbaar genoeg is om te monteren op een elektrische tractor. Een andere mogelijkheid is het verkleinen van de originele

stuurkast, zoals die gebruikt wordt op de Multi Tool Trac. Het is wellicht zelfs nog mogelijk om met de bandenfabrikant tot een op maat gemaakte velg-band combinatie te komen. Wanneer dit mogelijk is, zou er genoeg ruimte kunnen zijn om de originele stuurkast te gebruiken. Dit zal qua ontwikkelkosten erg gunstig zijn. Binnen dit project is er echter gekozen om een alternatief te ontwikkelen. Er is daarom in dit hoofdstuk een nieuwe oplossing voor de stuurinrichting aangedragen.



Figuur 5.23: Contactoppervlak

CARROSSERIE - 1

Hoewel het voor boeren wellicht van minder grote waarde is, is de vormgeving van tractoren wel degelijk van belang. Wanneer er met de elektrische tractor gereden wordt, moet het direct duidelijk zijn dat het een tractor van Multi Tool Trac B.V. betreft. De carrosserie biedt een hoop mogelijkheden om de uitstraling van de elektrische tractor vorm te geven. Onder carrosserie worden de motorkap, spatborden, laadvloer en de tanks onder de cabine verstaan.

5.4.1 Uitgangsbasis

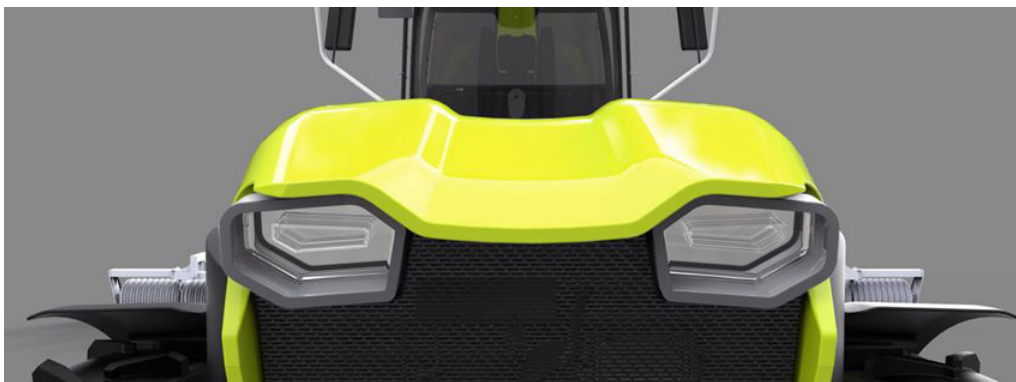
De renders van de Multi Tool Trac worden als uitgangsbasis voor concept 1 gebruikt. Het eindresultaat van dit project zal namelijk naast de huidige renders van de Multi Tool Trac gepresenteerd kunnen worden. Om het ontwerp van concept 1 aan te laten sluiten op de renders die op de website te zien zijn, wordt de vormgeving hierop gebaseerd.

5.4.2 Merkidenteit Multi Tool Trac B.V.

De motorkap, spatborden en dergelijke dienen een aantal kenmerken te bevatten. Wanneer er gekeken wordt naar het ontwerp van de Multi Tool Trac, te zien in onder andere figuur 5.24 valt er te zien dat er weinig scherpe hoeken gebruikt worden. Ondanks dat de Multi Tool Trac groter is dan andere tractoren, komt hij niet lomp over. De slanke middensectie draagt hier ook zeker aan bij. In figuur 5.25 is echter toch te zien dat de motorkap van de Multi Tool Trac een stoere neus heeft. De kenmerkende lampen in combinatie met de iets naar voren gebogen radiator zorgen ervoor dat de Multi Tool Trac toch een sprekend 'gezicht' krijgt. Ook bij de spatborden is er gekozen voor dubbelgekromde, afgeronde vlakken en hoeken. De Multi Tool Trac lijkt hiermee een hedendaagse tractor.

5.4.3 Uitwerking

Aangezien er gebruik gemaakt wordt van dezelfde cabine kunnen er al gelijkenissen getrokken worden tussen de Multi Tool Trac en concept 1. Deze kunnen echter nog versterkt worden door qua vormgeving de hiervoor genoemde kenmerken over te nemen. Een van de belangrijkste



Figuur 5.24: Vooraanzicht render motorkap Multi Tool Trac

aspecten van de vormgeving van een tractor is de kleur van de carrosserie.

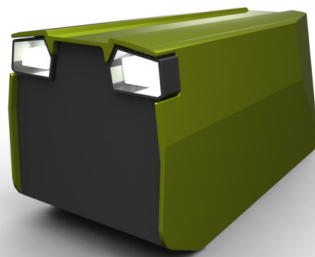
Het belangrijkste onderdeel binnen de vormgeving van de elektrische tractor is de motorkap. Het originele ontwerp voldoet niet geheel aan de eisen van concept 1. De motorkap dient plaats te bieden aan de radiator. De radiator moet in contact staan met de buitenlucht, zodat de warmte hieraan kan worden afgegeven. Het is gebruikelijk om de radiator aan de voorzijde van de tractor te plaatsen. De motorkap van de Multi Tool Trac is daarom ook deels om de radiator heen gebouwd.

Als eerst is er een simpele motorkap ontwikkeld die voldoet aan alle functionele eisen. Zo valt deze kap binnen de aangegeven afmetingen van de range extender en de stuuruitslag van de

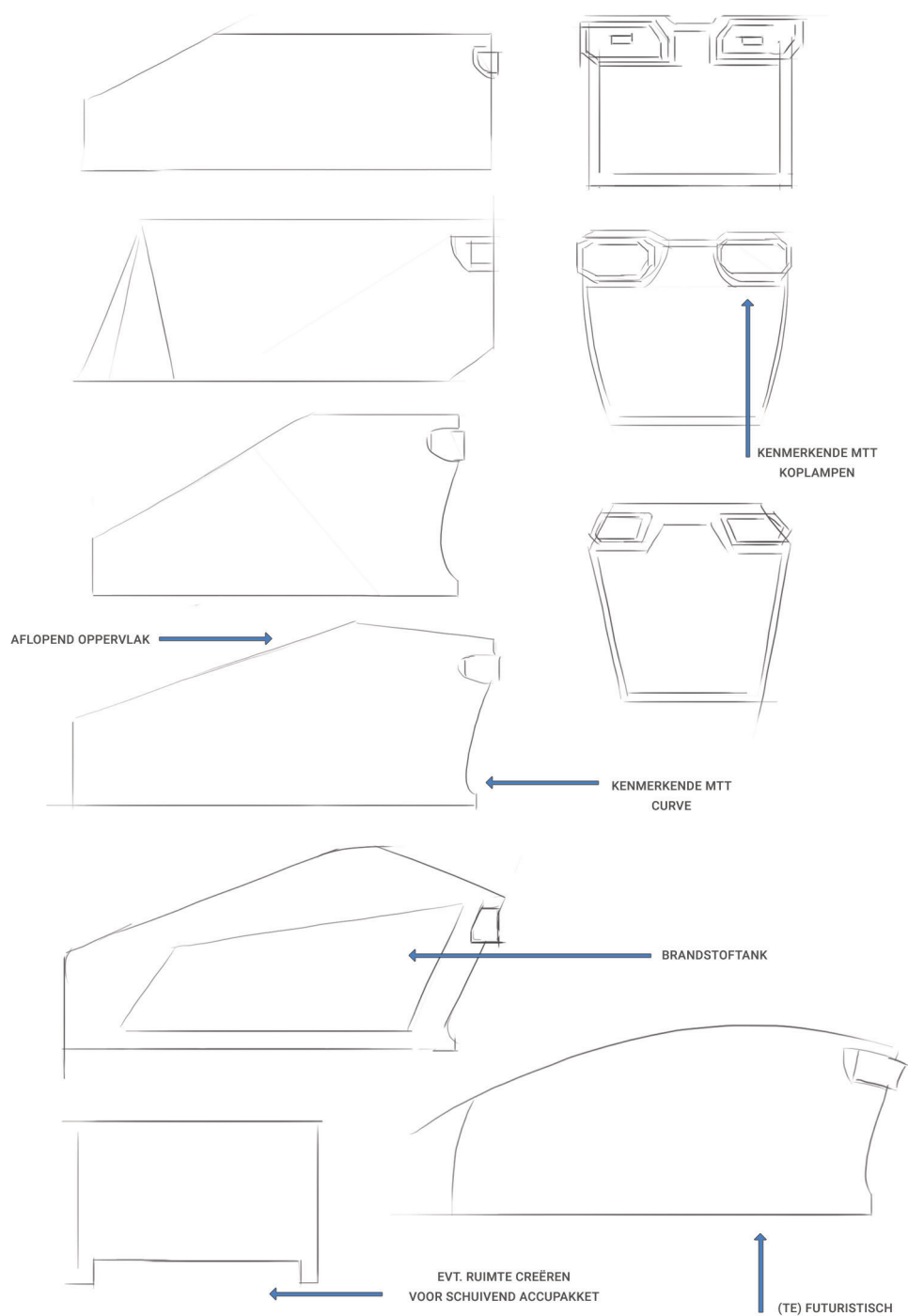


Figuur 5.25: Render Multi Tool Trac

wielen. De zijkanten van de motorkap lopen bewust recht af, omdat er optioneel een voorlader toegevoegd kan worden aan de elektrische tractor. Dit betekent dat de motorkap de bewegingen van de voorlader niet in de weg mag staan. Ook biedt de motorkap bescherming tegen de draaiende delen van de range extender. Er bestaan ook nog secundaire functionele eisen van een motorkap. Zo is het bijvoorbeeld niet gewenst dat er water op de kap blijft staan. In figuur 5.26 is een afbeelding van de eerste versie van de motorkap te zien. Deze eenvoudige motorkap is

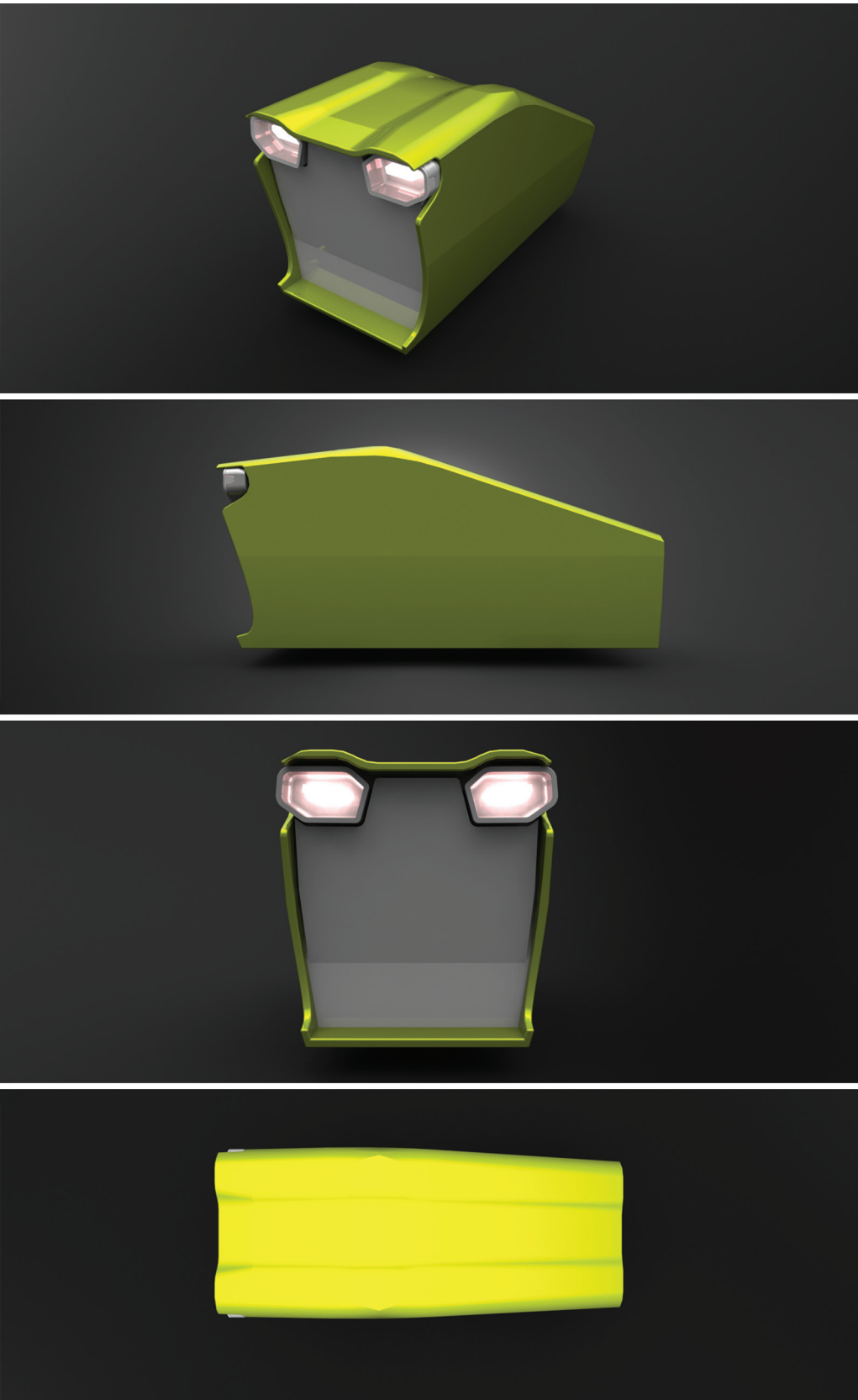


Figuur 5.26: Eerste versie motorkap



Figuur 5.27: Ontwerpschetsen motorkap

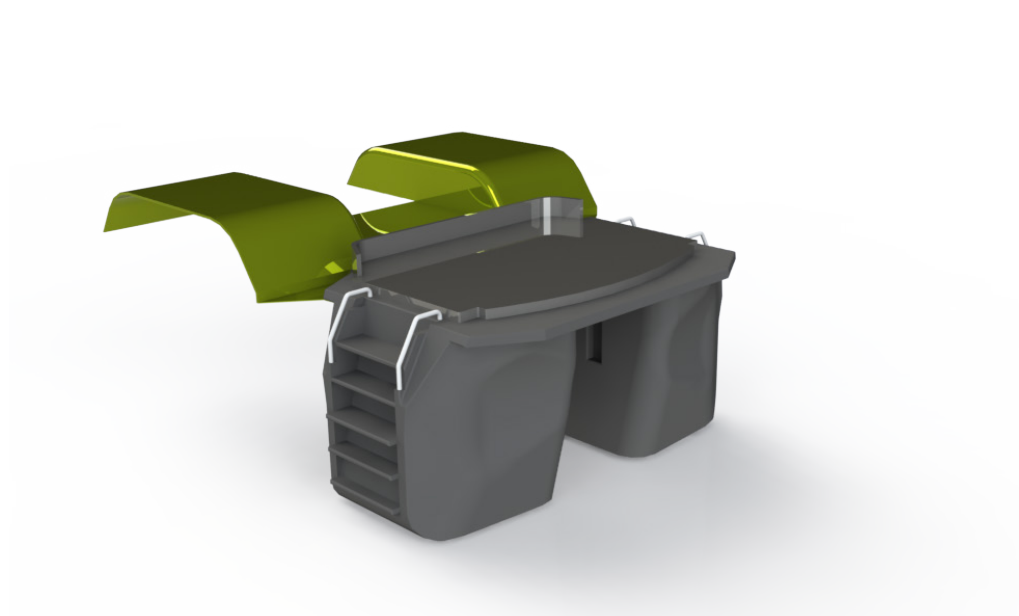
voornamelijk gebruikt om het CAD-model van de elektrische tractor op te bouwen. Een belangrijk aspect van het uiterlijk van de tractor zijn de koplampen. De Multi Tool Trac maakt gebruik van kenmerkende lampen, die het aanzicht van de werktuigdrager bepalen. Deze lampen zijn nog niet terug te zien in de eerste versie van de motorkap.



Figuur 5.28: Renders motorkap

Een impressie van de vormen van de motorkap is te zien in figuur 5.27. Op basis van deze schetsen en het originele ontwerp van de Multi Tool Trac is de uiteindelijke motorkap ontwikkeld. In figuur 5.28 is een collage van aanzichten te zien van het eindontwerp van de motorkap. Binnen deze collage zijn de gelijkenissen te zien tussen de motorkap van de Multi Tool Trac en die van concept 1. Zo zijn de kenmerkende koplampen overgenomen en is de globale vorm van de motorkap ook te herkennen. Ondanks dat de gehele motorkap smaller gemaakt moest worden, is de hoofdvorm van de motorkap hetzelfde gebleven. De range extender zou in theorie binnen de motorkap moeten passen. De ervaringen van het aansluiten en monteren van de range extender binnen de Multi Tool Trac zullen uitsluitsel moeten geven of de afmetingen in theorie overeenkomen met de praktijk. Wanneer dit niet het geval is, zouden er wellicht aanpassingen aan het ontwerp van de motorkap gedaan moeten worden. Afgezien van de motorkap spelen er ook nog andere onderdelen een rol binnen de vormgeving van de elektrische tractor. Zo dient er brandstof voor de range extender opgeslagen te worden, moet er een trap naar de cabine lopen en moet er een laadvloer gecreëerd worden. De eerste twee eisen kunnen gecombineerd worden binnen het platform waarop de cabine gemonteerd wordt. In figuur 5.29 is dit platform te zien. Dit platform is tot stand gekomen door de beschikbare ruimte tussen de voor- en achterwielen te vullen. De opslag van brandstof zal in één van de twee grijze compartimenten gebeuren. De inhoud van deze compartimenten kan tevens gebruikt worden als plaats om elektronica en hydrauliek aansluitingen te plaatsen. Deze compartimenten zijn gemakkelijk toegankelijk voor de gebruiker, waardoor het een geschikte plek is om onderhoud aan de tractor te verrichten. Hier kan de gehele aansturing van het elektrisch circuit bijvoorbeeld plaatsvinden. Het is bij het gebruiken van deze compartimenten echter wel van belang dat de massa aan beide kanten evenredig verdeeld wordt.

De spatborden van de achterwielen vormen samen de laadvloer van de elektrische tractor. Deze laadvloer kan gebruikt worden om goederen te vervoeren. In figuur 5.30 is een voorbeeld te zien van een tractor die de laadvloer gebruikt om de zaai-installatie te monteren.



Figuur 5.29: Platform cabine + laadvloer



Figuur 5.30: MB Trac met zaai-installatie op laadvloer

binnen het hoofdstuk 'Carrosserie' niet behandeld, omdat deze vrijwel hetzelfde zijn gelaten ten opzichte van de Multi Tool Trac.

5.4.4 Conclusie

Het uiterlijk van de elektrische tractor is binnen dit hoofdstuk verduidelijkt. In het hoofdstuk 'Eindontwerp - 1' zal de gehele elektrische tractor gepresenteerd worden. De interactie tussen de verschillende componenten van de carrosserie zal dan ook duidelijker worden. In dit hoofdstuk zullen bijvoorbeeld de spatborden aan de voorzijde ook te zien zijn. Deze zijn

OVERIGE MODULES - 1

Aan de overige modules zijn minder aanpassingen gedaan. De aanpassingen die wel gedaan zijn, worden binnen dit hoofdstuk behandeld. Dit zijn de modules 'Elektrische aandrijflijn', 'Hefinrichting & PTO', 'Cabine' en 'Range extender'. Binnen het hoofdstuk 'Eindontwerp - 1' worden de algemene afmetingen van de tractor gegeven.

5.5.1 Elektrische aandrijflijn

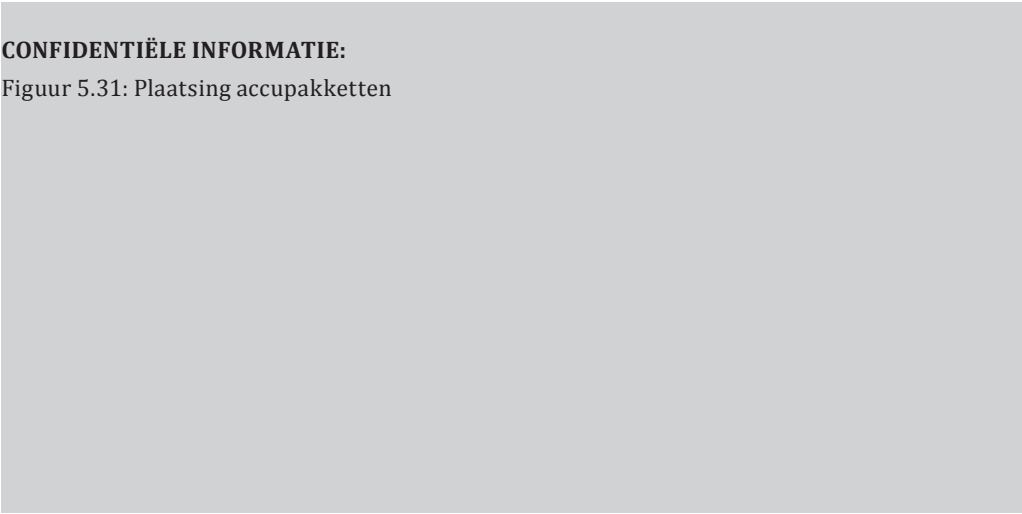
Er is aan de elektrische aandrijflijn niets veranderd. De elektromotoren met de daarbij horende frequentieregelaars en software zijn hetzelfde als bij de Multi Tool Trac. Het massazwaartepunt van de gehele tractor kan door het schuifbaar maken van dit accupakket veranderd worden. Over twee geleiders in het frame kan het accupakket met behulp van lagers van de voorzijde naar de achterzijde verschoven worden. In figuur 5.31 is een afbeelding te zien van het frame met de gemonteerde accupakketten. Het verschuiven van het accupakket door het frame zal door de hefinrichtingen gebeuren. Doordat het pakket binnen het frame schuift, zal de gebruiker van de elektrische tractor er lastig bij kunnen. Het is daarom van belang dat de tractor dit zelf op kan lossen.

5.5.3 Hefinrichting + PTO

Aan de hefinrichting aan de voor- en achterzijde is niet veel veranderd. Alleen de montage van de hefinrichtingen aan het frame vergt een aantal kleine modificaties. Zo is de montageplaat van de achterhef zowel aan het frame als aan de achteras gemonteerd. Deze montageplaat zal de krachten op de hefinrichting door moeten geven aan het frame en de achteras. Bij het implementeren van de aftakas aan de achterzijde van de tractor is er vanuit gegaan dat er geen riemoverbrenging, zoals bij de Multi Tool Trac, gebruikt wordt. De elektromotor wordt direct aan de aftakas geplaatst. In figuur 5.33 is de achterhef te zien.

CONFIDENTIËLE INFORMATIE:

Figuur 5.31: Plaatsing accupakketten



Het plaatsen van een optionele aftakas aan de voorzijde lijkt lastig realiseerbaar, omdat de beschikbare ruimte niet groot genoeg lijkt. Deze ruimte is voornamelijk krap, omdat het schuifbare accupakket veel ruimte inneemt. Wanneer het verplaatsbare accupakket vast in het frame geplaatst wordt, zal er meer ruimte beschikbaar zijn. Een groot nadeel van het schuifbare accupakket is namelijk dat er een hoop ruimte altijd onbenut gelaten moet worden. Als dit accupakket een permanente plek heeft, zal er ruimte overblijven voor de elektrische aandrijving van een aftakas aan de voorzijde van de tractor. Een nader onderzoek moet echter uitwijzen of dit daadwerkelijk het geval is. De beschikbare ruimte is tevens afhankelijk van de grootte en plaatsing van de range extender en binnen deze ruimte moet ook de benodigde hydrauliek voor de fronthef geplaatst worden. De fronthef is te zien in figuur 5.34. De aftakas aan de voorzijde van de tractor is niet verwerkt in het CAD-Model.

5.5.4 Range extender

De range extender wordt aan de voorzijde van de tractor geplaatst en draagt bij aan de massaverdeling over de assen. Bij het plaatsen van de dieselmotor en generator is het aan te raden om het geheel zo ver mogelijk aan de voorzijde van de vooras te plaatsen. Hierdoor komt de grootste last op de vooras te liggen. In het hoofdstuk 'Eindontwerp - 1' wordt de massaverdeling van de gehele tractor getoond.

5.5.5 Conclusie

Nu alle modules ontwikkeld zijn, kan het geheel samengevoegd worden. Alle aanbevelingen die in dit hoofdstuk gedaan zijn, zullen in het hoofdstuk 'Aanbevelingen - 1' nog eens op een rijtje worden gezet.



Figuur 5.32: Gemodificeerde cabine

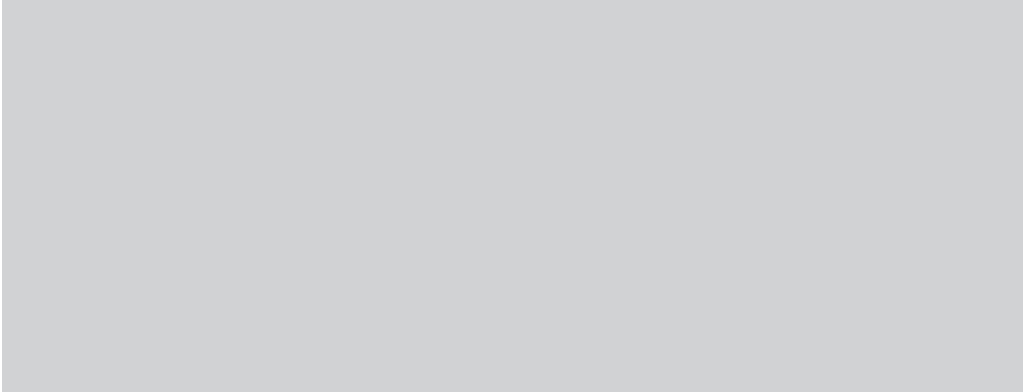
CONFIDENTIËLE INFORMATIE:

Figuur 5.33: Hefinrichting



CONFIDENTIËLE INFORMATIE:

Figuur 5.34: Hefininrichting



Hoofdstuk 6

EINDONTWERP - 1

Binnen dit hoofdstuk wordt het eindontwerp van concept 1 gepresenteerd. Hierin zal eerst de gehele tractor van alle kanten belicht worden, waarna vervolgens een aantal analyses gedaan worden. De uitkomsten van deze analyses zullen tevens gebruikt worden om het eindontwerp te toetsen aan het programma van eisen. Van het ontwikkelde CAD-model zijn renders gemaakt die gebruikt worden om de gehele tractor te presenteren.

Qua analyses zal er aandacht besteed worden aan de draaicirkel van de tractor, de zichtlijnen vanuit de cabine, de aslasten en het daarbij horende massazwaartepunt en de algehele afmetingen van het voertuig.

Tevens worden in een topologisch schema de plaatsing van alle onderdelen genoemd. Het wordt in dit schema duidelijk waar alle componenten in het concept terecht komen.



6.1.1 Renders concept 1

-

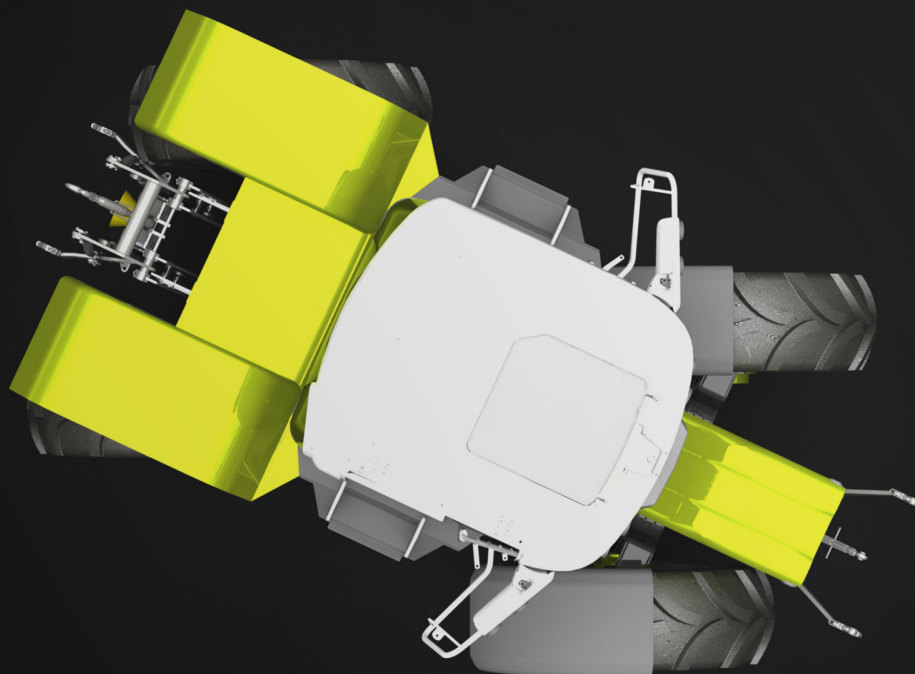
6.1.2 Algemene afmetingen

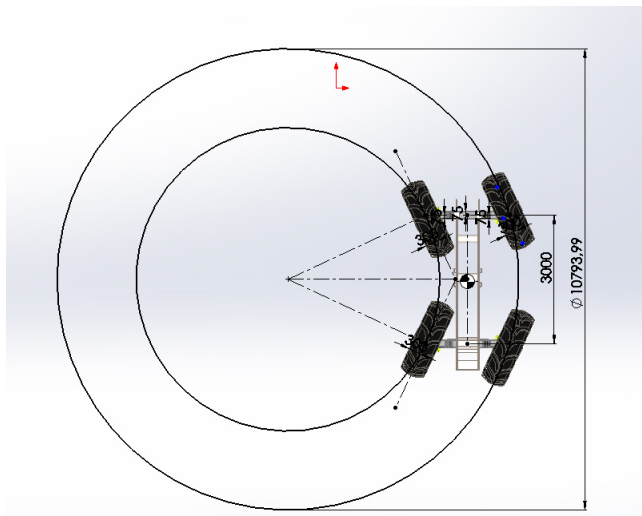
De afmetingen van de elektrische tractor moeten voldoen aan de wettelijke eisen van het RDW. Deze eisen, zoals genoemd in het hoofdstuk 'Eisen en wensen - 1', zijn een maximale breedte van 2.55m, een maximale hoogte van 4.00m en een maximale lengte van 12.00m. Bij het meten van de maximale breedte mogen de spiegels en bevestigingsdelen daarvan buiten beschouwing gelaten worden (RDW, 2014). Met name de eerste eis is binnen dit project een strenge gebleken, omdat de maximale breedte het eenvoudigst te overschrijden is. Wanneer één





van de bovenstaande eisen overschreden wordt, is de elektrische tractor niet bevoegd om op de openbare weg te rijden. Concept 1 heeft een totale breedte, gemeten van naaf tot naaf van 2.54m. De lengte van de elektrische tractor, gemeten van fronthef tot achterhef, bedraagt 5.5m, waarbij de wielbasis 3.00m is. De totale hoogte van concept 1 bedraagt 3.39m. De lengte en hoogte van deze elektrische tractor zijn groter dan die van de directe concurrenten. In het hoofdstuk 'Concurrenten - 1' is een overzicht van de vergelijkbare tractoren te zien. Er is hier te zien dat de elektrische tractor qua lengte zo'n meter langer is en qua totale hoogte zo'n halve meter hoger. De bodemspeling van de elektrische tractor bedraagt zo'n 0.52m.





Figuur 6.5: Minimale draaicirkel elektrische tractor

6.1.3 Draairadius

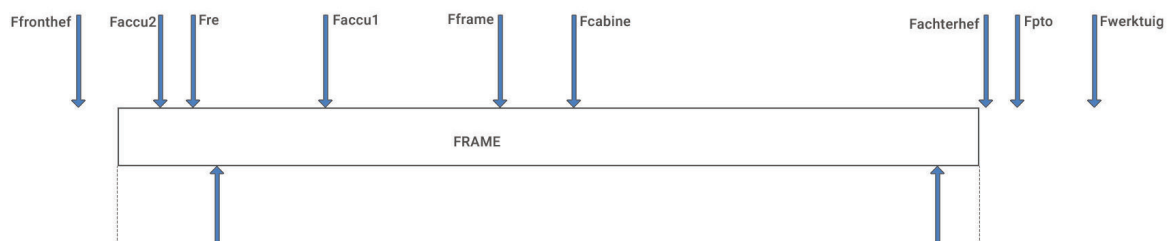
Aangezien de gehele tractor groter is dan zijn vergelijkbare concurrenten, is de grote uitdaging gedurende het proces geweest om de draairadius te laten voldoen aan de gestelde eisen. In hoofdstuk 'Detaillering - 1' is al uitgelegd dat er gekozen is voor een vaste draairadius waarna vervolgens alle parameters (breedte band, hoogte wiel etc.) daaraan aangepast konden worden. In figuur 6.5 is een schets te zien

van de minimale draairadius van

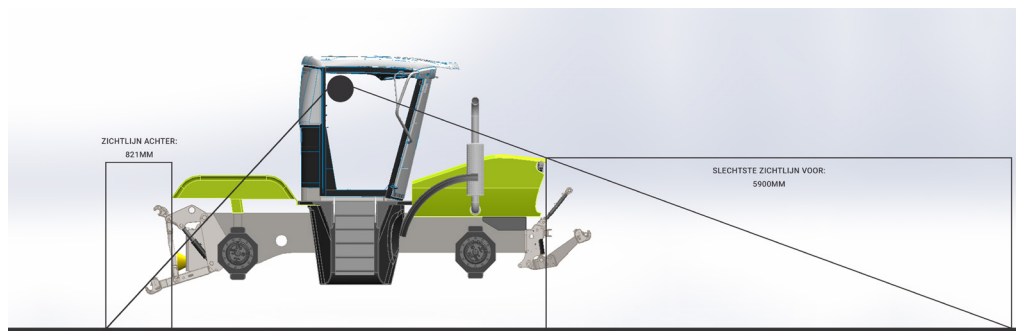
de elektrische tractor. Hierin is te zien dat de minimale draaicirkel 10.8m is. Dit resulteert in een minimale draairadius van 5.4m. Ondanks de grotere wielen, banden en totale lengte van concept 1, bereikt hij door middel van vierwielbesturing toch een vergelijkbare draairadius als de tractoren bij 'Concurrentie - 1'. De draairadius voldoet weliswaar niet aan de binnen dit project gestelde eis van 5.0m, maar de elektrische tractor kan met een draairadius van 5.4m wel concurreren met soortgelijke tractoren en dat terwijl concept 1 toch een stuk langer is.

6.1.4 Massa + aslast

Met de gegevens afkomstig uit het CAD-model kan de totale massa van concept 1 berekend worden. Deze totale massa bedraagt 5680kg en is opgebouwd uit aan de ene kant bekende gegevens van de Multi Tool Trac en aan de andere kant beredeneerde gegevens afkomstig uit de afzonderlijke CAD-modellen. De gegevens van het CAD-model zijn gebruikt om berekeningen uit te voeren met betrekking tot de aslasten. Idealiter zou een tractor met vier identieke wielen altijd 50% van de massa op de vooras en 50% van de massa op de achteras hebben rusten. Met een aangekoppeld werktuig in de achterhef wordt deze balans echter vaak verstoord, waardoor er te veel massa op de achteras komt te staan. De verdeling van de massa heeft vervolgens effect op de drukverdeling op het land. In extreme situaties kunnen de aslasten zo verschillen, dat de voorwielen van de grond komen. Door de elektrische tractor een standaard massaverdeling van 60% op de vooras en 40% op de achteras te geven, wordt het moment op de achterhef sterker tegengewerkt. In figuur 6.6 is een 'Vrij Lichaam Systeem' te zien van het frame met de



Figuur 6.6: Vrij Lichaam Systeem elektrische tractor

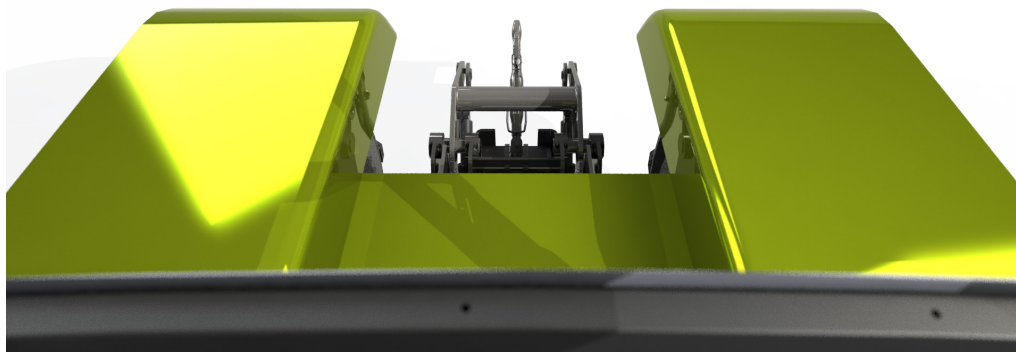


Figuur 6.7: Zichtlijnen voor en achter

daarbij horende krachten aangrijpend in het massamiddelpunt van ieder specifiek onderdeel. De massaverdeling over het frame wordt hiermee duidelijk. Vanuit dit VLS kunnen er tevens evenwichtsvergelijkingen opgesteld worden waaruit de uiteindelijke reactiekrachten op de vooras en achteras berekend worden. Deze reactiekrachten staan gelijk aan de aslast op de voor- en achteras. Er zijn drie berekeningen uitgevoerd aan de elektrische tractor. Zo is de aslast bepaald op het moment dat het schuivende accupakket zich aan de voorzijde van het frame bevindt, op het moment dat het schuivende accupakket zich aan de achterzijde bevindt en op het moment dat er een massa van 5000kg in de achterhef hangt. In 'Bijlage D' zijn alle vergelijkingen, afmetingen en krachten te zien.

Wanneer het accupakket zich aan de voorzijde van het frame bevindt, is de aslast op de vooras 61.7% en op de achteras 38.3%. Dit komt overeen met de gestelde eisen voor een onbelaste tractor. Wanneer het accupakket zich aan de achterzijde van het frame bevindt, bedraagt de aslast op de vooras 54% en op de achteras 46%. Als er onbelast gereden wordt, is het dus aan te raden het accupakket naar de achterzijde van het frame te schuiven.

Als er in een extreem geval een massa van 5000kg in de achterhef hangt, zal de reactiekracht op de achteras vele malen groter worden dan op de vooras. Bij het rekenen met een belasting in de achterhef, moet er in de vergelijkingen in 'Bijlage D' de parameters F_{werktuig} en x_{werktuig} meegenomen worden. Er is hier te zien dat de voorwielen op het punt staan los te komen van de grond. In een dergelijk geval zal een boer extra massa in de fronthef moeten hangen om de massa



Figuur 6.9: Zicht naar achteren vanuit cabine

evenredig te verdelen en om tractie te houden. Als de standaard massaverdeling van de tractor echter 50-50 was, dan zouden de voorwielen van de tractor al omhoog zijn gekomen. Het is dus de verdienste van de standaard massaverdeling van 60-40 dat dit nog niet het geval is. Aangezien het hefvermogen aan de achterhef 5500kg is, moet er bij een maximale belasting dus nog wel extra contragewicht toegevoegd worden.

6.1.5 Zichtlijnen

De bestuurder van de elektrische tractor vindt het van groot belang dat er genoeg zicht is vanuit de cabine. Zo dient er ten eerste, omwille van de veiligheid, voldoende zicht aan de voor- en zijkant van de tractor te zijn. Dit wordt echter niet door het RDW gespecificeerd, dus dit kan ook lastig getoetst worden. Het RDW vermeldt voor het zichtveld naar achteren verschillende eisen omtrent het gebruik van spiegels. Hier wordt echter binnen dit project niet op in gegaan. Er wordt vanuit gegaan dat de spiegels van de cabine voldoende zicht bieden naar achteren. In figuur 6.7 is een schematische afbeelding te zien van de zichtlijnen naar voor en achteren.

Wat voor een boer echter nog meer van belang is, is het zicht op de achterhef. De positie van de cabine en het type cabine dragen niet bij aan het zicht op de achterhef. De cabine is daarom, zoals te zien is in het hoofdstuk 'Detaillering - 1', aangepast door een extra ruit toe te voegen. In de toekomst zou dit wellicht verbeterd kunnen worden door de elektrische tractor uit te rusten met bijvoorbeeld een camerasysteem. In figuur 6.9 is het zicht door de achterrauit te zien vanuit de cabine. Wanneer er vanuit de cabine naar achteren gekeken wordt, is de laadvloer te zien. Het middelste deel van de laadvloer is ingekort, zodat de bestuurder beter zicht heeft op de hefinrichting.

6.1.6 Topologie belangrijkste onderdelen

Het CAD-model bevat niet alle componenten van de elektrische tractor, omdat dit niet binnen dit project paste. Zo zijn hydrauliekpompen, frequentieregelaars et cetera niet opgenomen in het CAD-model. In het CAD-model is echter wel ruimte gereserveerd voor het gros van deze onderdelen. In figuur 6.10 is een schematisch overzicht te zien van de plaatsing van deze onderdelen. Vrijwel alle ruimte die beschikbaar is in het frame wordt gebruikt om elektra of hydrauliek te plaatsen. Er is binnen concept 1 geen mogelijkheid meer om een aftakas bij de frontheft te plaatsen. Aangezien er voor een aftakas een extra elektromotor nodig is, vergt dit ruimte binnen het frame, die bij deze opstelling helaas niet beschikbaar is.

CONFIDENTIËLE INFORMATIE:

Figuur 6.10: Topologie onderdelen



AANBEVELINGEN - 1

6.1.1 Zicht naar achteren

Het zicht naar achteren en dan met name op de achterhef is van groot belang voor de gebruiker van een reguliere tractor. Het is daarom aan te raden dat er wordt gezocht naar een permanente oplossing voor dit probleem. Een draaiende cabine, zoals vermeld in 'Hoofdstuk - 4', zou hiervoor een oplossing kunnen zijn. Binnen de bosbouwsector wordt er veel aandacht besteed aan het zicht van de gebruiker. Het gebruik van camerasystemen zou een goedkopere en eenvoudigere oplossing zijn. Dit zou wellicht ook aan de voorzijde van de elektrische tractor gebruikt kunnen worden.

6.1.2 Modulaire opbouw

Bij het ontwikkelen van een elektrische tractor voor een klant is het van belang dat de klant weet wat de mogelijkheden zijn. Er is voor concept 1 gekozen om de draairadius bijvoorbeeld te stellen op 5.4m zodat de wielen zo groot mogelijk konden zijn. Wanneer een boer aangeeft dat hij een hogere prioriteit aan de draairadius geeft, moet het mogelijk zijn om smallere banden te bestellen zodat de draairadius kleiner wordt. Deze mogelijkheden moeten duidelijk gemaakt worden aan de klant, zodat het sterke punt van Multi Tool Trac B.V., de modulaire opbouw, ten volste benut kan worden.

6.1.3 Verplaatsen van nuttig gewicht

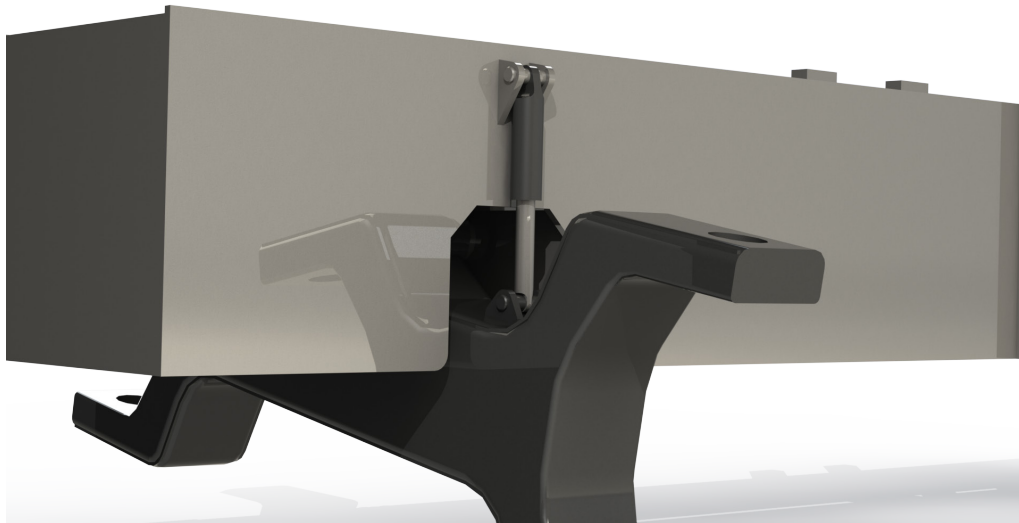
Het verplaatsen van nuttig gewicht binnen concept 1 zou in de toekomst uitgebreid kunnen worden. Zo kunnen er wellicht losse accupakketten op de markt worden gebracht die in de front- of achterhef gehangen kunnen worden. Het toevoegen van contragewicht heeft dan ook nog een toegevoegde waarde wat betreft de efficiëntie van de tractor. Deze feature zou in de toekomst de elektrische tractor van Multi Tool Trac B.V. kunnen onderscheiden van de concurrentie.

6.1.4 Comfort

Het comfort van zowel de Multi Tool Trac als concept 1 kan nog sterk verbeterd worden. Op dit aspect lopen de concurrenten momenteel nog ver voor op Multi Tool Trac B.V. Zo is het aan te raden om het veer-dempersysteem van de cabine te ontwikkelen en toe te passen op deze modellen. Het toepassen van een demper op de pendelas is tevens aan te raden. De uitvoering van dit dempersysteem zou in de praktijk niet moeilijk hoeven zijn. In figuur 6.1 is een voorbeeld te zien van een uitwerking van een dergelijk dempersysteem.

6.1.5 Overige aanbevelingen

Naast de hiervoor genoemde aanbevelingen dient er bij het ontwikkelen van de elektrische tractor ook gedacht te worden aan bijvoorbeeld een bandenspanning regelsysteem. Om de efficiëntie van een tractor te vergroten en de bodemdruk op het land te verlagen kan er een



Figuur 6.1: Dempersysteem pendelas
bandenspanning systeem geïntegreerd worden. De gebruiker kan met behulp van een dergelijk systeem tijdens het rijden de bandenspanning regelen. Zo kan er op het land gekozen worden voor een lage bandenspanning, waardoor de bodemdruk lager wordt en er meer tractie beschikbaar is. Wanneer de tractor weer op de weg rijdt, is het omwille van de efficiëntie aan te raden om de bandenspanning weer te verhogen.

CONCEPT 2

Dit is het voorblad van het ontwerpproces van concept 2, de kleinere en lichtere versie van de Multi Tool Trac. Alle analyses, beslissingen en keuzes binnen dit deelverslag hebben betrekking op de ontwikkeling van concept 2.

Binnen dit deelverslag wordt een onderscheid gemaakt tussen de analysefase, de ontwerpfase en de detailleringfase. In de ontwerpfase zullen eerst grove ontwerpkeuzes worden gemaakt. De detailleringfase zal vervolgens de ontwerpkeuzes op een gedetailleerder niveau toelichten. Het eindresultaat van deze fases is te zien in het hoofdstuk 'Eindontwerp - 2'. Dit deelverslag wordt afgesloten met aanbevelingen ten opzichte van het ontworpen product.

Aangezien dit concept dichterbij het originele ontwerp van de Multi Tool Trac zal komen te staan, is de doorlopen ontwerpfase korter dan die van concept 1. Bovendien zijn er in het ontwerpproces van concept 1 een aantal aspecten onderzocht en toegelicht, die binnen het proces van concept 2 niet opnieuw vermeld hoeven worden.

Hoofdstuk 7

ANALYSE - 2

Binnen het hoofdstuk 'Analyse - 2' zullen de doelgroep en concurrentie van concept 2 geanalyseerd worden. Deze analyses zullen gebruikt worden om een programma van eisen op te stellen voor concept 2. Deze eisen en wensen zullen gedurende het hele ontwerpproces terugkeren zodat het eindontwerp aan de juiste verwachtingen voldoet. Deze analyse is tegelijkertijd uitgevoerd met 'Analyse - 1'.

De doelgroepanalyse van concept 2 bestaat voornamelijk uit de kenmerken van de akkerbouwers en hun werkzaamheden. Er wordt hierbij extra ingegaan op de voor- en nadelen van de onbereden beddenteelt. De Multi Tool Trac is met name voor deze onbereden beddenteelt ontwikkeld. Het is dus van belang dat er bekend is wat er speelt binnen de onbereden beddenteelt.

De concurrentieanalyse behandelt alle al bestaande oplossingen binnen de onbereden beddenteelt. Hieruit wordt er een beeld gecreëerd waar concept 2 aan zou moeten voldoen. Tevens wordt er geïllustreerd waarom de Multi Tool Trac ontwikkeld is.

Wanneer de kenmerken van de doelgroep en de concurrentie geanalyseerd zijn, kan er een programma van eisen opgesteld worden. Dit eisenpakket wordt meegenomen naar het hoofdstuk 'Ontwerp - 2'.

DOELGROEP - 2

De beoogde gebruiker van de Multi Tool Trac begeeft zich in de biologische akkerbouwsector en focust zich daarbinnen op de onbereden beddenteelt. De biologische boeren worden gekenmerkt doordat ze vooruitstrevend zijn, doordat ze zorgzaam voor het boerenland zijn en dat ze streven naar een gezond gewas. De CO₂-uitstoot staat over het algemeen bij deze boeren ook hoog in het vaandel. Afgelopen jaren is er veel interesse gewekt voor het monitoren en terugbrengen van de CO₂-uitstoot op een boerenbedrijf. Door gebruik te maken van zonnepanelen en het bewust omgaan met hun energieverbruik proberen sommige boeren zelfs klimaat neutraal te produceren.

7.1.1 Twee vormen van akkerbouw

De akkerbouwers kunnen ruwweg in twee verschillende groepen worden ingedeeld. Zo bestaat er 'Random Traffic Farming' en 'Controlled Traffic Farming'. Het verschil tussen deze twee groepen wordt gemaakt door de manier waarop er op het land gereden wordt. Het gebruik van zware tractoren op akkerland zorgt ervoor dat de grond verdicht. Deze verdichting is nadelig voor de gewassen die in deze grond moeten groeien, omdat er niet genoeg water en lucht bij de gewassen kan. Als oplossing is er gekozen om het gewicht van de tractoren zoveel mogelijk te verdelen (RTF). Door gebruik te maken van grote banden wordt er een zo groot mogelijk contactoppervlak gecreëerd, waardoor de druk op de bodem zo laag mogelijk blijft. De massa van de tractor wordt dus, door middel van veel en grote banden, zo goed mogelijk verdeeld over de gehele akker, waardoor er minder verdichting van de grond optreedt (CTF Europe, 2013). Een andere mogelijkheid om de verdichting van de akker te minimaliseren is het gebruik van 'Controlled Traffic Farming'. Binnen deze vorm van akkerbouw wordt er zo min mogelijk over de akker gereden om zo de verdichting te voorkomen. Er wordt bij CTF gebruik gemaakt van beddenteelt en daarom wordt CTF ook wel onbereden beddenteelt genoemd. De akkerbouwer zorgt er bij deze vorm van akkerbouw voor dat hij alle gewassen in een bed geteeld heeft, waar hij met zijn machines, door paden, langs- en overheen kan rijden. Deze rijpaden zijn met behulp van GPS-technologie op twee centimeter nauwkeurig te berijden en deze stroken grond hebben de breedte van één tractorband. Op deze manier verdicht de boer alleen de grond waar geen gewassen staan, zodat hij de grond waar wel gewassen staan kan sparen. Door ieder jaar over hetzelfde pad te rijden blijven de bedden uit gezonde grond bestaan, wat resulteert in een constantere en hogere kwaliteit van het gewas (CTF Europe, 2013). De Multi Tool Trac is ook zeer geschikt om boeren te ondersteunen bij hun onbereden beddenteelt.

7.1.2 Werktuigdrager

Een werktuigdrager lijkt het meest geschikt voor akkerbouwers, omdat er meerdere werktuigen tegelijkertijd bediend kunnen worden. Een werktuigdrager is een modificatie van de conventionele tractor waar werktuigen zowel voor, achter en tussen de assen opgehangen kunnen worden. Dit wordt gerealiseerd door een frame die ruimte creëert tussen de voor- en



Figuur 7.1: Werktuigdrager + werktuigen aan de voorste en middelste hefinrichting

achteras. Heden ten dage wordt de werktuigdrager niet meer geproduceerd. In figuur 7.1 is een werktuigdrager te zien die zowel een werktuig voor de vooras als tussen de voor- en achteras gemonteerd heeft.

Het oppervlak van de rijpaden, die gebruikt worden binnen het 'Controlled Traffic Farming', dient zo klein mogelijk te zijn, zodat er zo min mogelijk grond verloren gaat. De akkerbouwer heeft dus behoefte aan een tractor die zo min mogelijk schade aanricht aan de grond. Wanneer de afstand tussen de rijpaden vergroot wordt, zal er meer gezonde grond overblijven. De spoorbreedte van de werktuigdrager zal dus, voor het rijden op de akker, zo groot mogelijk moeten zijn. Akkerbouwers hebben om deze reden hun tractoren verbreed door hun voor- en achteras van hun tractor te verlengen. Dit is echter een dure en omslachtige oplossing om efficiënt met landbouwgrond om te gaan.

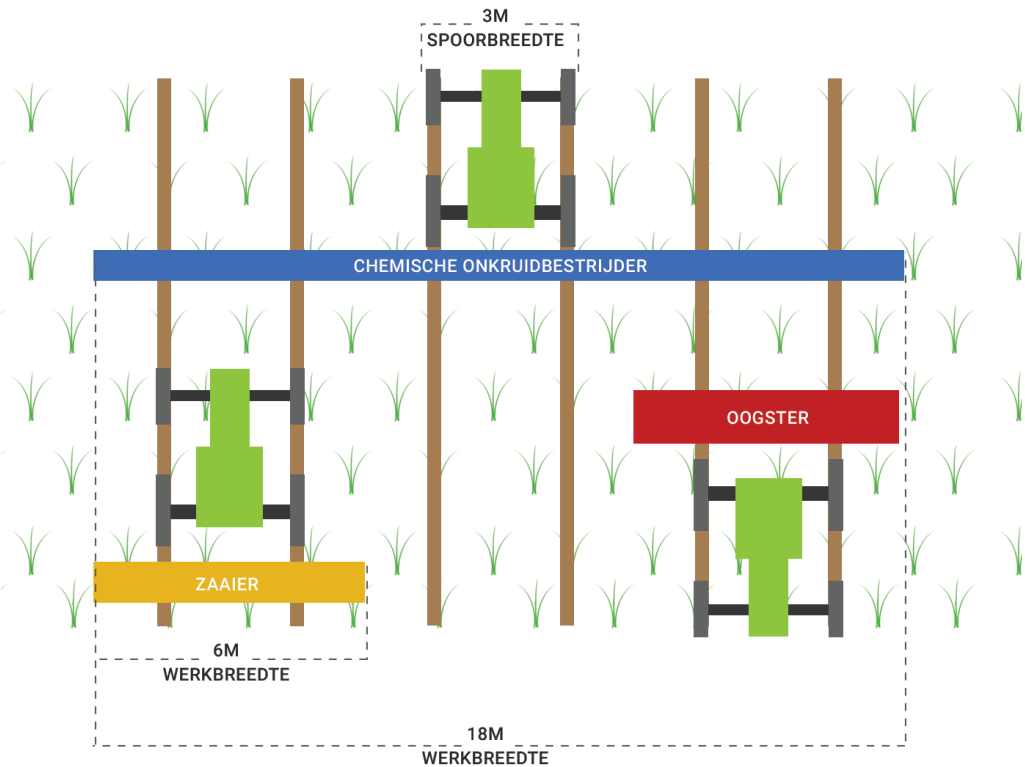
7.1.3 Voordelen onbereden beddenteelt

De voordelen van onbereden beddenteelt bestaan voornamelijk uit het feit dat de grond gezond gehouden wordt en dat de machines efficiënter benut worden. Volgens een onderzoek uitgevoerd door Wageningen UR in samenwerking met het Louis Bolk Instituut (2009) kan er een meeropbrengst van 10% verwacht worden wanneer een biologische landbouwer overstapt op teelt met behulp van permanente onbereden beddenteelt. Dit betekent dat iedere machine zijn werk uitvoert vanuit de rijpaden. Seizoensgebonden biologische beddenteelt, oogst en grondbewerking vindt nog wel plaats buiten de rijpaden, heeft ook diverse voordelen ten opzichte van RTF. Het niet berijden van het teeltbed zorgt ervoor dat er een homogene grond ontstaat waar de verschillen in vlakligging, verkrumming en waterhuishouding gering zijn. Doordat er een homogeen teeltbed ontstaat is het mogelijk om nauwkeuriger te zaaien wat resulteert in een uniforme opkomst van gewassen. De hogere opbrengst van seizoensgebonden biologische beddenteelt is nog in onderzoek gekwantificeerd. Van der Klooster et al (2010)

schreef dat de keuze voor onbereden beddenteelt, naast een potentiële opbrengstverhoging, ook nog andere voordelen heeft. Zo kunnen machines efficiënter benut worden doordat er meer werkbare dagen ontstaan. Mechanische onkruidbestrijding verloopt beter waardoor er op termijn een lagere onkruiddruk zal zijn. Wanneer er gekozen wordt voor een ondersteunend GPS-systeem zal er arbeidsbesparing en –verlichting optreden. Dit alles zal tevens resulteren in een lager energieverbruik.

7.1.4 Nadelen onbereden beddenteelt

De overstap van ‘Random Traffic Farming’ naar ‘Controlled Traffic Farming’ vergt een investering in het materiaal, omdat iedere tractor aangepast dient te worden aan het rijden in de rijpaden. Er zijn modules op de markt waarmee de boer zijn tractor kan verbreden. De assen worden dan vaak eenvoudigweg met een stuk staal verlengd. Er wordt bij deze verbredingssets echter altijd vermeld dat de integriteit van de constructie verminderd kan worden. Dit zal op den duur gevolgen kunnen hebben voor de staat van de tractor. Een verbreedde tractor zal tevens problemen kunnen ondervinden bij het rijden op de weg. Bij het rijden van het erf naar de akker geldt in Nederland een maximale breedte voor landbouwvoertuigen van 3.00m (RDW, 2014). Hierbij geldt ook de maximale snelheid van 30km/h. Als een landbouwvoertuig in Nederland binnen de breedte van 2.55m blijft, mag hij dus ook voor andere doeleinden gebruikt worden. Er geldt dan ook geen maximale snelheid voor het landbouwvoertuig en er hoeft geen ontheffing aangevraagd te worden. In de rest van Europa geldt een maximale breedte voor landbouwvoertuigen van 2.55m. Nederland is dus de enige uitzondering binnen Europa met betrekking tot de maximale breedte van landbouwvoertuigen.



Figuur 7.2: Onbereden beddenteelt

Wanneer er dus eenmaal een werkbreedte gekozen is, kan deze lastig weer veranderd worden. De werktuigen die gebruikt worden zullen overigens ook een werkbreedte moeten hebben die aansluit bij de gekozen breedte van de rijpaden. Een veelvoud van deze breedte is vaak ook geschikt om meerdere paden te bestrijken. Buiten een investering in materieel, moet de bedrijfsvoering ook aangepast worden. Dit is echter voor dit onderzoek minder van belang. Zoals bij de voordelen van onbereden beddenteelt al is vermeld, wordt het oogsten vaak nog buiten de rijpaden om gedaan. Hierdoor worden de bedden toch aangetast en wordt een deel van de voordelen van onbereden beddenteelt teniet gedaan. Het oogsten van zware rooivruchten, zoals peen, rode biet, ui en witlof verloopt nog steeds buiten de rijpaden. Tot op heden is er voor deze gewassen nog geen mechanisatie ontwikkeld die het oogsten van uit de rijpaden mogelijk maakt.

7.1.5 Bepalen werkbreedte

Bij het kiezen van de werkbreedte, de grootte van het bed of de afstand tussen de rijpaden, van een onbereden beddenteelt wordt een afweging gemaakt tussen de investering en de opbrengsten. In veel gevallen wordt er een middenweg gezocht waarbij het bestaande materieel een grote rol speelt. In figuur 7.2 is een schematische opstelling van onbereden beddenteelt te zien. Hierin wordt duidelijk dat verschillende werktuigen en machine gecombineerd moeten worden om de werk- en spoorbreedte te bepalen. Idealiter zou er vanuit de gewassen geredeneerd moeten worden. Wat is de zaai-afstand van het gewenste gewas en wat zou daarmee een handige werkbreedte zijn? Wat zou de baten ten goede komen? Vervolgens worden de daarbij horende tractoren en werktuigen ingekocht/aangepast. Bij de huidige vorm van onbereden beddenteelt wordt er voornamelijk vanuit financieel oogpunt (kosten) bepaald welke werkbreedte gehanteerd wordt. De investering wordt zo klein mogelijk gehouden door bestaande werktuigen en tractoren te modificeren.

Een geschikte werkbreedte komt voort uit het gewas en de werktuigen die nodig zijn om dit gewas te bewerken. Vaak wordt er voor een veelvoud van 75 centimeter gekozen, omdat dit de maat is tussen twee aardappelruggen. Machines en werktuigen hebben om deze reden vaak al een breedte welke een veelvoud is van deze maat. Deze maat is dus voortgekomen uit de aardappelteelt.

7.1.6 Concept 2

Het huidige model van Multi Tool Trac B.V. speelt in op de wensen van de akkerbouwers door een werktuigdrager te ontwikkelen die gebruik maakt van een variabele spoorbreedte. Op deze manier kan er met GPS-ondersteuning door de rijpaden gereden worden, waarna de spoorbreedte weer verkleind wordt en de werktuigdrager weer geschikt is om over de openbare weg te rijden. De Multi Tool Trac is echter voor een aantal akkerbouwers te groot en te zwaar voor het land dat bewerkt moet worden. De wens van deze akkerbouwers is daarom om een werktuigdrager, gebaseerd op het huidige model van Multi Tool Trac B.V., te gebruiken die vrijwel alle mogelijkheden heeft van het huidige model, maar die minder groot en zwaar is zodat hij geschikt is voor werk op een kleinere schaal. De eisen die hierbij horen worden bij 'Eisen en wensen 2' vermeld.

CONCURRENTIE - 2

Bij het ontwikkelen van concept 2, een kleinere en lichtere variant van de Multi Tool Trac, is het van belang dat de markt waarin het product zich gaat bevinden onderzocht is. Alle mogelijke oplossingen binnen de onbereden beddenteelt worden daarom in dit hoofdstuk behandeld.

7.2.1 Oude werktuigdrager

Zoals eerder in figuur 7.1 al te zien was, wordt bij de huidige beddenteelt soms nog gebruik gemaakt van oude werktuigdragers. Deze werktuigdragers zijn in de zestiger jaren gebouwd en worden in deze tijd nog hergebruikt. De leeftijd van deze werktuigdragers maakt het werken ermee voor een boer uiterst onzeker, omdat het materieel hem ieder momemt in de steek kan laten. Aangezien dergelijke werktuigdragers niet meer gefabriceerd worden is behoefte ontstaan aan een hedendaagse oplossing. Uit deze vraag is de Multi Tool Trac ontstaan.

7.2.2 Aanpassen conventionele tractor

De meeste boerenbedrijven, die de onbereden beddenteelt bedrijven, maken gebruik van een aangepaste conventionele tractor. Zoals bij 'Doelgroep - 2' al is vermeld vergt het omzetten van een RTF-bedrijf naar een CTF-bedrijf een behoorlijke financiële investering. Met name hierom wordt er in eerste instantie uitgegaan van de bestaande tractoren en werktuigen. Het aanpassen van bestaande tractoren kan op twee manieren. De eenvoudigste, goedkoopste en meest toegepaste manier is door gebruik te maken van naaf spacers. Door stalen bussen tussen de wiel en as te plaatsen kan de spoorbreedte van de tractor eenvoudig aangepast worden. Dit heeft echter wel consequenties voor de sterkte van de constructie van de tractor. In figuur 7.3 is een verbreedde tractor te zien. Hier is direct te zien waarom de tractor als geheel minder stijf is. Er wordt, door middel van de stalen bus, een grotere momentsarm gecreëerd waardoor de as een zwakke plek van de tractor wordt. De brede tractor kan tevens problemen opleveren wanneer ermee op de weg gereden wordt, omdat deze vaak breder is geworden dan wettelijk is toegestaan. Andere nadelen zijn onnauwkeurige GPS-aansturing en het feit dat de hefinrichting vooraan, vanwege de extra belasting, niet meer gebruikt kan worden. Aangezien de besturing anders verloopt, zijn defecte besturingsonderdelen ook veel voorkomend. De tweede manier om



Figuur 7.3: Verbreedde tractor met stalen spacers

een conventionele tractor aan te passen aan het rijden in rijpaden is het verlengen van de assen. Hierbij wordt er, in tegenstelling tot de eerste manier, geen stalen bus tussen de wiel en de as gemonteerd, maar wordt de as doorgesneden, verlengd en weer aan elkaar gelast.

Hierdoor zal de besturing nauwelijks veranderen en zal de as van de tractor geen zwaktes vertonen. Deze methode is een stuk duurder dan de eerste methode, maar het biedt een hoop extra voordelen. In figuur 7.4 is een dergelijke tractor te zien.

7.2.3 'Wide Span Tractor'

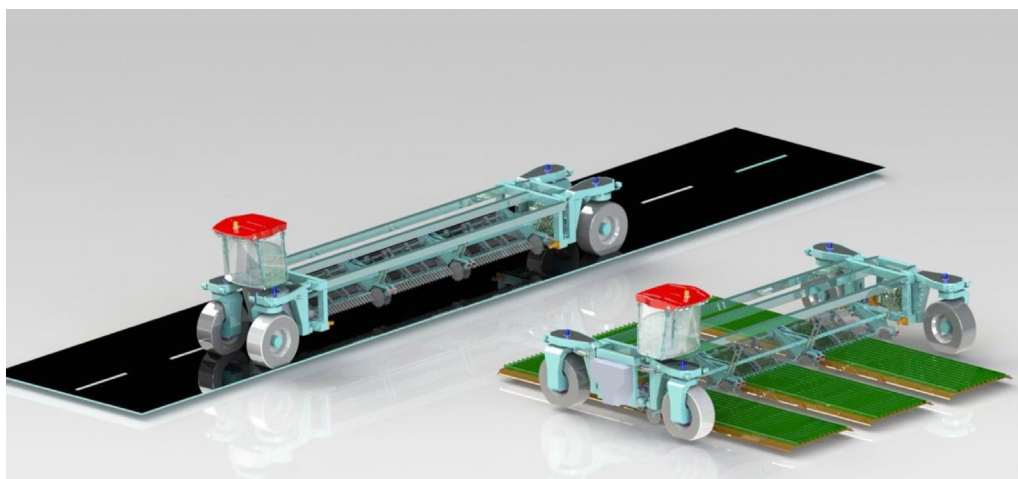
Wetenschappers aan de Universiteit van Aarhus hebben, met een andere insteek dan Multi Tool Trac B.V., ook een werktuigdrager ontwikkeld. Deze werktuigdrager, door de wetenschappers een 'Wide Span Tractor' genoemd, wordt gekenmerkt



Figuur 7.4: Verbreedde tractor met verlengde assen

door een erg grote spoorbreedte op het land en een erg kleine spoorbreedte op de weg. Wanneer deze werktuigdrager het land op rijdt, draaien alle vier wielen 90 graden. Hiermee draait ook de rijrichting 90 graden. In figuur 7.5 is te zien hoe de werktuigdrager verandert wanneer hij van weg naar land gaat. Op het land maakt de werktuigdrager gebruik van een spoorbreedte van 9.6m, terwijl deze op de weg slechts 2,5m bedraagt. Hiermee kan het aantal rijpaden gereduceerd worden waardoor de gewasopbrengst per hectare groeit (Pedersen, 2013). Het nadeel van een dergelijke werktuigdrager is dat het rijgedrag op de weg een stuk minder wordt. De spoorbreedte van 9.6m resulteert, na het draaien van de wielen, in een wielbasis van 9.6m.

Een dergelijk grote wielbasis betekent een totaal ander rijgedrag dan een conventionele tractor. Dit zal dus niet voor iedere boer een geschikte oplossing zijn. Tot op heden zijn er nog geen 'Wide Span Tractors' in productie gegaan.



Figuur 7.5: Wide Span Tractor

EISEN EN WENSEN - 2

Het programma van eisen bevat kwantitatieve eisen en wensen die zijn voortgevloeid uit het kwalitatieve onderzoek wat gedaan is met potentiële klanten en gebruikers. Hierbij zijn de huidige mogelijkheden en capaciteiten van het bedrijf Multi Tool Trac B.V. in ogenschouw genomen.

7.3.1 Algemeen

De belangrijkste eisen bij het ontwikkelen van het kleine broertje van de Multi Tool Trac zijn de massa en de afmetingen van de werktuigdrager. De totale massa van concept 2 moet om en nabij de ## ton. Dit komt enigszins overeen met de massa van een grote conventionele tractor.

De afmetingen van concept 2 zullen ook verschillen ten opzichte van de Multi Tool Trac. De lengte en hoogte van de Multi Tool Trac zijn respectievelijk 7450mm en 3800mm. Deze maten zijn voor sommige boeren te groot, waardoor de vraag naar een kleinere werktuigdrager is ontstaan. De hoogte van de Multi Tool Trac blijft met 3800mm slechts net binnen de wettelijke eis van vier meter. Hier wordt echter binnen concept 2 niets aan veranderd. Dit zal namelijk een aanpassing van frame en cabineplatform vergen wat binnen dit project niet haalbaar is.

Concept 2 zal in vergelijking met de Multi Tool Trac wel ingekort worden. Met een lengte van bijna 7.5 meter kan het lastig manoeuvreren zijn op het terrein van sommige boeren. Het reduceren van de lengte van de werktuigdrager zal tevens bijdragen aan het terugdringen van de massa. Er is gekozen voor een maximale lengte van 5.5 meter. Hierdoor zal het wellicht niet meer mogelijk zijn om werktuigen tussen de voor- en achteras te hangen.

7.3.2 Intramodulair niet-aanpasbare modules

Elektrische aandrijflijn

Om de ontwikkelkosten laag te houden is het aan te raden om de zelfde elektrische aandrijflijn te gebruiken als de Multi Tool Trac. Hiermee wordt de kennis binnen Multi Tool Trac B.V. ten volste benut, waardoor de ontwikkeling van concept 2 sneller kan verlopen.

Verstelbare spoorbreedte

De verstelbare spoorbreedte is een 'unique selling point' van de Multi Tool Trac die ook weer terug zou kunnen komen in concept 2. Er moet echter overwogen worden of het loont om hetzelfde automatische systeem toe te passen op concept 2. Andere opties zoals een vaste as of een handmatig verstelbare spoorbreedte behoren ook tot de mogelijkheden. Deze mogelijkheden zijn heel eenvoudig toe te passen, maar kunnen de prijs en complexiteit toch klein houden.

Range extender

De range extender wordt op dezelfde wijze gemonteerd als bij de Multi Tool Trac. Het testen van de Multi Tool Trac kan in de toekomst meer duidelijkheid geven over de benodigde grootte van

de dieselmotor. Tot die tijd wordt er vanuit gegaan dat de range extender van concept 2 gebruik maakt van dezelfde 6-cilinder dieselmotor als de Multi Tool Trac.

Hefinrichting & PTO

De hefinrichtingen van de Multi Tool Trac worden overgenomen bij concept 2. Om aan de gestelde massareductie te voldoen is het wellicht noodzakelijk om de ruimte tussen de assen te verkleinen, waardoor de hefinrichting tussen de assen komt te vervallen. De hefinrichting en PTO aan de voor- en achterkant van de werktuigdrager zijn wel vereisten.

Cabine

De cabine die wordt toegepast op de Multi Tool Trac kan ook worden gebruikt bij het ontwikkelen van concept 2. De cabine voldoet aan alle eisen voor de Multi Tool Trac en voldoet daarmee ook aan de eisen van concept 2. De ontwikkelkosten kunnen tevens laag gehouden worden doordat het aansluiten van de elektronica niet opnieuw uitgevonden hoeven worden. Een andere cabine kan pas geschikter zijn voor concept 2 als de voordelen van deze cabine opwegen tegen de extra ontwikkelkosten.

7.3.3 Intramodulair aanpasbare modules

Wielophanging

De wielophanging van concept 2 zal identiek zijn aan de wielophanging zoals hij gebruikt is bij de Multi Tool Trac. Wanneer er echter een vaste spoorbreedte gekozen wordt, kan het van belang zijn om de kromme fuseearmen te herzien. De hartlijnen van de wielen zullen dan al in elkaars verlengde liggen.

Frame

Het frame van concept 2 zal zoveel mogelijk gelijk gehouden worden aan dat van de Multi Tool Trac, aangezien het frame dezelfde functies moet vervullen als het huidige prototype. Het frame dient echter wel ingekort worden om aan de voorgaande eis van de maximale lengte te voldoen.

Stuurinrichting

De vierwielbesturing van de Multi Tool Trac wordt overgenomen en de maximale stuurhoek van de wielen dient zo mogelijk 45 graden te zijn. De maximale draairadius van concept 2 bedraagt 6.0 meter.

Carrosserie

Om de merkidentiteit van Multi Tool Trac B.V. te vergroten is het van belang dat de carrosserie van concept 2 aansluit bij die van de Multi Tool Trac. Aangezien de carrosserie van de Multi Tool Trac nog niet uitontwikkeld is, wordt de CAD-render als uitgangsbasis gebruikt. De carrosserie zal gelijk gehouden kunnen worden, omdat de algehele opzet van de werktuigdrager hetzelfde blijft.

HARDE EISEN	
Spoorbreedte (m)	variabel
Massa leeg (kg)	≤ 7500
Massa toelaatbaar (kg)	≥ 10000
Lengte (m)	≤ 5.5
Hoogte (m)	≤ 4
Breedte (m)	n.v.t.
Bodemspeling (m)	≥ 0.5
PTO voor	ja
PTO midden	optioneel
PTO achter	ja
Draairadius (m)	≤ 6.0

Hoofdstuk 8

ONTWERP - 2

Het hoofdstuk 'Ontwerp - 2' bevat de grootste ontwerpkeuzes binnen het ontwerptraject van concept 2. Deze keuzes zijn gebaseerd op de informatie die verkregen is in het hoofdstuk 'Analyse - 2' en het hoofdstuk 'Multi Tool Trac'.

Dit hoofdstuk wordt begonnen met de basis opzet van concept 2. Hierin wordt de globale indeling van de kleine, lichtere versie van de Multi Tool Trac doorgenomen. Vervolgens worden de keuzes omtrent alle modules toegelicht. Binnen het hoofdstuk 'Detaillering - 2' zal er vervolgens aandacht worden besteed aan de uitwerking en details van de verschillende modules.

MODULES - 2

8.1.1 Basis opzet

Uit het programma van eisen is voortgekomen dat concept 2 een maximale lengte moet hebben van 5.50m. Als er gebruik gemaakt wordt van dezelfde banden als de Multi Tool Trac (diameter 2m), zal de maximale wielbasis 3.5m zijn. Binnen deze wielbasis zou het voor kunnen komen dat er niet genoeg ruimte meer is om bepaalde werktuigen op te hangen. De middelste hefinrichting zou dus kunnen komen te vervallen. Het kunnen gebruiken van de middelste hefinrichting ligt voornamelijk aan het werktuig dat de boer wenst te gebruiken. Om echter te voldoen aan de eisen omtrent de massareductie is het noodzakelijk om het frame van concept 2 in te korten, waardoor er minder ruimte tussen de assen beschikbaar is. De ruimte die er overblijft zal wellicht voor sommige werktuigen nog geschikt kunnen zijn.

Er is gekozen om dezelfde wielen en banden te gebruiken als de Multi Tool Trac. Dit zijn de AC-85 radiaalbanden. Deze wielen hebben een breedte van 380mm en een velgdiameter van 50 inch (1270mm). Dit resulteert in een totale diameter van velg en band van 1954mm. De verdeling van de aslasten van concept 2 zijn zo mogelijk gelijk verdeeld over de voor- en achteras (50%-50%). De noodzaak van een gelijke massaverdeling is echter stukken minder groot, omdat concept 2 uitsluitend in rijpaden gebruikt zal worden. Dit zal dus niet als eis meegenomen worden bij de ontwikkeling van concept 2.

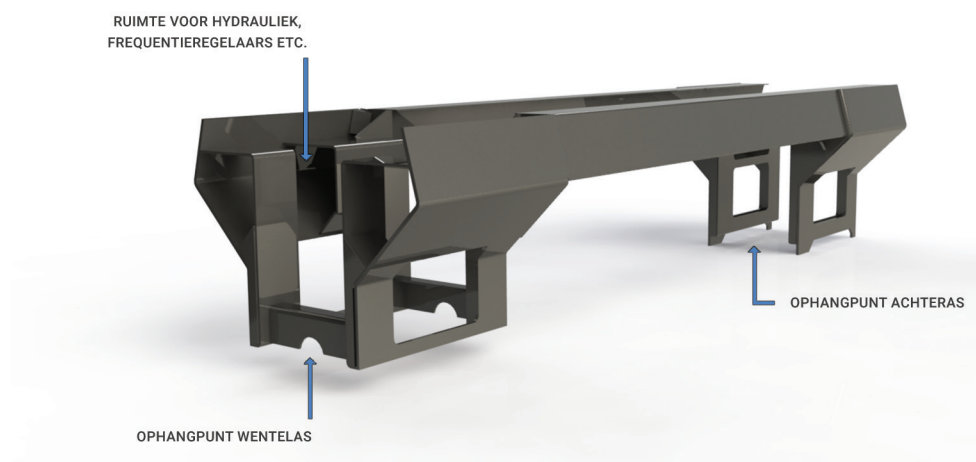
8.1.2 Spoorbreedte + wielophanging

Het toevoegen van een verstelbare spoorbreedte levert veel extra massa op. Doordat ieder wiel zijn eigen as heeft en deze assen vervolgens in een stalen geleider geplaatst worden is de totale massa van de achter- en vooras van de Multi Tool Trac aanzienlijk groter dan een reguliere starre as. Bij het reduceren van de totale massa van concept 2, is het daarom van belang dat er verschillende opties voor de spoorbreedte overwogen worden. Een vaste spoorbreedte zou gebruik kunnen maken van een starre as. Een dergelijke as is aanzienlijk lichter dan de huidige module voor de variabele spoorbreedte. Dit zal de massareductie dus ten goede komen. Een andere oplossing is om de automatische spoorbreedteverstelling te vervangen door een handmatig verstelbare spoorbreedte. De boer kan dan zelf in zijn werkplaats de spoorbreedte verstellen. Deze vorm van spoorbreedteverstelling zal iets lichter zijn dan de automatische variant die de Multi Tool Trac gebruikt, maar het zal de totale massa niet dermate verminderen dat er al aan de geëiste massareductie voldaan wordt. Een handmatig verstelbare spoorbreedte zal alsnog gebruik moeten maken van een dergelijke stalen geleider, waardoor de totale massa relatief hoog blijft.

Een vaste spoorbreedte zal gebruikt worden door boeren die vrijwel nooit met hun werktuigdrager op de openbare weg komen. Voor deze boeren is het belang van een smalle werktuigdrager kleiner, omdat ze niet aan de gestelde eisen van het RDW hoeven te voldoen. Een

handmatig verstelbare spoorbreedte zal gebruikt worden door boeren die slechts een bepaalde periode in het jaar behoefte hebben aan een smallere werktuigdrager. Deze boeren zullen hun spoorbreedte zo'n twee keer per jaar verstellen. Een automatische spoorbreedteverstelling wordt gebruikt door boeren die geregeld tussen erf en akker moeten rijden. Een werktuigdrager met een breedte die tussen de 2.55m en 3.00m ligt mag ook op de openbare weg rijden mits de bestuurder een ontheffing heeft. Er wordt hierbij uitgegaan van de gemiddelde Europese regelgeving. De Nederlandse regelgeving wijkt af van deze Europese wetgeving. Als de gebruiker van concept 2 slechts een aantal keer per jaar over de openbare weg hoeft te rijden, kan het een oplossing zijn om voor een vaste spoorbreedte in combinatie met een ontheffing te kiezen. Op deze manier wordt de massa toch aanzienlijk gereduceerd, terwijl de boer zijn werktuigdrager nog steeds van erf naar akker mag rijden. Een vaste spoorbreedte lijkt daarom het meest geschikt voor concept 2. De werktuigdrager van concept 2 kan uiteraard geleverd worden in verschillende vaste spoorbreedtes. De Multi Tool Trac zal in de toekomst namelijk ook op maat worden geleverd aan de klant. Dit zal dus ook mogelijk zijn bij concept 2.

De wielophanging van concept 2 lijkt erg sterk op die van de Multi Tool Trac. Er zal echter geen gebruik gemaakt worden van de schuifassen en de daarbij horende stalen geleiders, aangezien de spoorbreedte niet verschoven hoeft te worden. Deze keuze zorgt er dus voor dat er een



Figuur 8.1: Frame Multi Tool Trac

vaste achteras in combinatie met een wentelas aan de voorzijde wordt gebruikt. Dit geheel zal gebaseerd zijn op de bestaande wielophanging van de Multi Tool Trac, maar deze nieuwe assen zullen aanzienlijk lichter zijn.

8.1.3 Frame

Het frame van concept 2 zal gebaseerd zijn op het frame van de Multi Tool Trac. In figuur 8.1 is het frame, zoals het gebruikt is in de Multi Tool Trac, te zien. De enige modificaties die gedaan zullen worden zijn het verkorten van het frame en het aanpassen van de wielophangingspunten. De vernieuwde assen zullen namelijk niet zonder aanpassing van het frame gemonteerd worden aan het frame. In het hoofdstuk 'Detaillering - 2' zal de exacte aanpassing doorgenomen worden.

8.1.4 Stuurinrichting

De manier van sturen van concept 2 zou aangepast kunnen worden ten opzichte van de Multi Tool Trac. Aangezien concept 2 geen gebruik maakt van een variabele spoorbreedte, zou het sturen van de wielen ook gerealiseerd kunnen worden met een starre stuurverbinding. Dit zal echter weer extra ontwikkelkosten met zich mee brengen. Wanneer concept 2 telkens met een verschillende spoorbreedtes geproduceerd wordt, is het aan te raden om de stuurinrichting constant te houden. De zwevende stuurkast voldoet bij iedere willekeurige spoorbreedte aan de eisen. Voor dit project wordt er dus gebruik gemaakt van dezelfde stuurinrichting als de Multi Tool Trac.

8.1.5 Elektrische aandrijflijn

De elektrische aandrijving van concept 2 zal identiek zijn aan die van de Multi Tool Trac. De software die de elektromotoren en frequentieregelaars aanstuurt zal wel aangepast moeten worden, aangezien de wielbasis en spoorbreedte kunnen verschillen ten opzichte van de Multi Tool Trac. Hierdoor zullen de vier wielen op een andere manier aangestuurd moeten worden. De softwarewijzigingen worden niet behandeld binnen dit project.

8.1.6 Range extender

De range extender van de Multi Tool Trac kan in zijn geheel overgenomen worden bij het samenstellen van concept 2. Het testen van de Multi Tool Trac zal meer informatie bieden omtrent de output van het accupakket (verbruik van de Multi Tool Trac) en de input van de range extender. Wanneer deze informatie beschikbaar is, kan er wellicht een andere dieselmotor gebruikt worden. Dit is op het moment van schrijven echter nog niet te zeggen. Er wordt daarom gebruik gemaakt van dezelfde combinatie van dieselmotor en generator als de Multi Tool Trac.

8.1.7 Hefinrichting + PTO

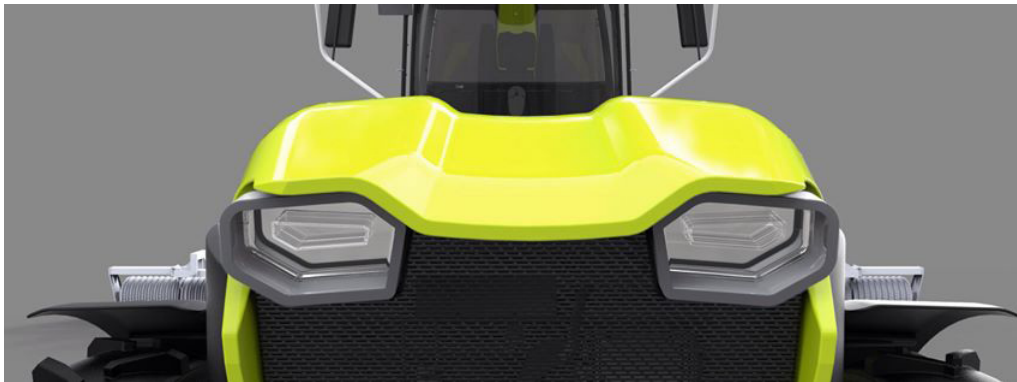
Concept 2 zal standaard uitgerust zijn met een hefinrichting en aftakas aan de voor- en achterzijde van de werktuigdrager. Optioneel kan de werktuigdrager ook beschikken over een hefinrichting en aftakas tussen de assen. Dit zal niet bij iedere variant van concept 2 mogelijk zijn, omdat de grootte van de wielbasis bepaalt hoeveel ruimte er voor een werktuig tussen de assen overblijft. De boer zal zelf moeten beslissen waar zijn voorkeur naar uitgaat. Dit wordt ofwel een lang frame met de mogelijkheid om werktuigen in de middenhef te hangen, of een kort frame met de beperking van slechts twee hefinrichtingen.

8.1.8 Cabine

De cabine wordt tevens gebruikt op de werktuigdrager van concept 2. Het aansluiten van het besturingspaneel op de elektromotoren vergt een grote financiële investering. De huidige cabine voldoet tot op heden ook nog aan iedere eis van de Multi Tool Trac, waardoor het een verstandige keuze is om voor concept 2 dezelfde cabine te gebruiken. De extra ontwikkelkosten kunnen hiermee achterwege gelaten worden. Het is tevens een optie om de cabine verrijdbaar te maken over het frame. Met name bij een grote wielbasis, zal een verplaatsbare cabine aan te raden zijn.

8.1.9 Carrosserie

De carrosserie van de Multi Tool Trac bestaat voornamelijk uit de kap die de dieselmotor afschermt. Hier wordt geen verder onderzoek naar gedaan, omdat dit voor de Multi Tool Trac ook

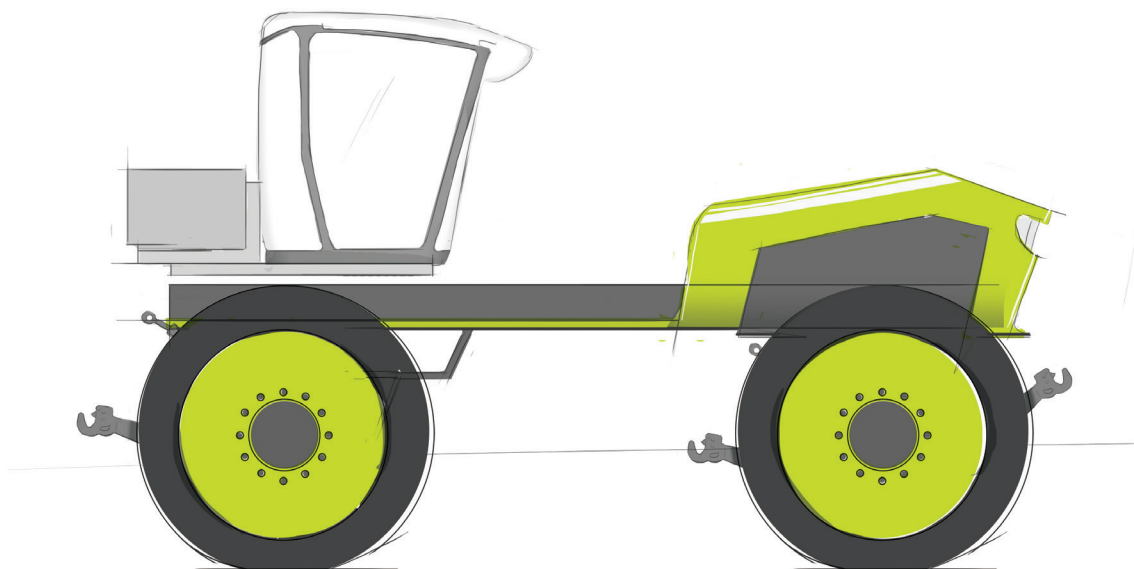


Figuur 8.2: Vooraanzicht CAD-render carrosserie Multi Tool Trac

nog niet uitontwikkeld is. Aangezien concept 2 gebruik maakt van dezelfde range extender, zou een doorontwikkelde carrosserie in de toekomst ook eenvoudig op concept 2 toegepast worden. In figuur 8.2 is een afbeelding te zien van het CAD-model van de Multi Tool Trac. De carrosserie van concept 2 zal vrijwel identiek zijn aan die van de Multi Tool Trac.

8.1.10 Conclusie

Concept 2 zal met deze veranderingen ten opzichte van de Multi Tool Trac een versimpelde en kleinere werktuigdrager worden. Door deze veranderingen toe te passen zal de totale massa ook kleiner worden. Het 'Unique Selling Point' van concept 2 zal de modulaire opbouw worden. Aangezien het frame en de spoorbreedte relatief eenvoudig op maat te maken zijn, kan iedere boer een eigen werktuigdrager met zijn ideale afmetingen bestellen. Door concept 2, te zien in figuur 8.3, toe te voegen aan het productaanbod van Multi Tool Trac B.V., zullen er nieuwe boeren geïnteresseerd raken voor een werktuigdrager van Multi Tool Trac B.V.



Figuur 8.3: Ontwerpschets concept 2

Hoofdstuk 9

DETAILLERING - 2

Binnen het hoofdstuk 'Detaillering - 2' zullen alle aanpassingen van concept 2 ten opzichte van de Multi Tool Trac doorgenomen worden. Per module zal er aangegeven worden welke aspecten veranderd zijn en welke rechtstreeks worden overgenomen van de Multi Tool Trac. Aan de hand van tekeningen en CAD-modellen zullen de verschillende variaties behandeld worden.

Zoals in het vorige hoofdstuk al werd toegelicht, zal het 'Unique Selling Point' van concept 2 de modulaire opbouw zijn. Dit zal ook in dit hoofdstuk een centrale rol spelen bij het ontwikkelen van de modules.

Uiteindelijk zal bij het hoofdstuk 'Eindontwerp - 2' het eindconcept van dit deelverslag gepresenteerd worden.

WIELOPHANGING - 2

In het hoofdstuk 'Ontwerp - 2' is gekozen om niet langer gebruik te maken van de automatische spoorbreedteverstelling. Deze functie zorgt er voor dat veel extra massa toegevoegd wordt aan de werktuigdrager, waardoor de totale massa van concept 2 te groot wordt. In dit hoofdstuk wordt de wielophanging zonder de verstelbare spoorbreedte nader toegelicht.

9.1.1 Uitwerking

De originele schuifassen van de Multi Tool Trac zijn te zien in figuur 9.1 Het modificeren van deze assen bestond allereerst uit het verwijderen van de stalen geleider waarin de twee schuifassen zich bevinden. Vervolgens konden hydraulische cilinders verwijderd worden, waarna de twee losse schuifassen aan elkaar gemodelleerd konden worden. De fuseearmen zijn, net als bij concept 1, recht gemodelleerd, omdat er niet langer gebruik gemaakt wordt van een variabele spoorbreedte. De gehele as is hierdoor een stuk lichter uitgevoerd. Aangezien concept 2 in meerdere varianten geleverd kan worden, is het belangrijk dat de voor- en achteras ook eenvoudig in verschillende varianten met verschillende lengtes geleverd kunnen worden. In figuur 9.2 is een afbeelding van de nieuwe voor- en achteras te zien. De assen die hier te zien zijn, zijn assen met een spoorbreedte van 3,1m.

CONFIDENTIËLE INFORMATIE:

Figuur 9.1: Originele assen

9.1.2 Solidworks simulatie

In figuur 9.3 is een afbeelding te zien van de spanningen in de vooras onder een belasting van ###kN op iedere fuseearm. De vooras wordt slechts ondersteund door een as die door het oog van de vooras gaat.

CONFIDENTIËLE INFORMATIE:

Figuur 9.2: Assen concept 2

CONFIDENTIËLE INFORMATIE:

Figuur 9.3: Simulatie vooras

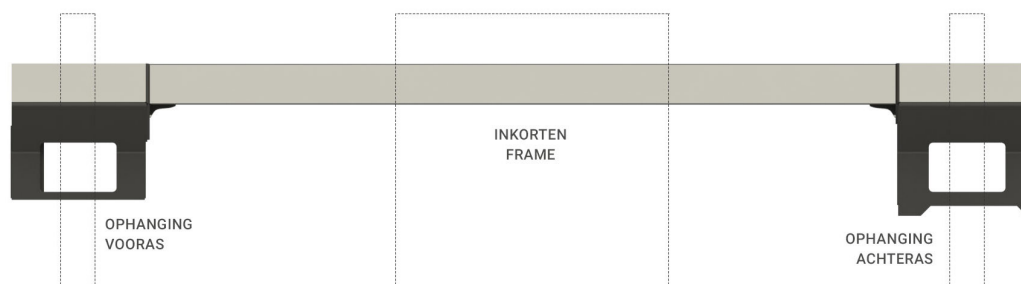


FRAME - 2

Het frame van de Multi Tool Trac dient aangepast te worden, zodat de voor- en achteras in het frame gemonteerd kunnen worden. Tevens moet het frame ingekort worden, zodat hij aan de eisen voldoet.

9.2.1 Inkorten van frame

Als uitgangsbasis is het originele frame van de Multi Tool Trac gebruikt. Door een stuk uit het middendeel te verwijderen kan er in de totale lengte van concept 2 worden gevarieerd. In figuur 9.4 is een afbeelding van het originele frame te zien waarin is aangegeven waar het frame ingekort wordt. De ophangingspunten voor de voor- en achteras kunnen tevens ingekort worden, omdat het frame geen plaats meer hoeft te bieden aan de grote stalen geleiders voor de schuifassen. Het frame van concept 2 bepaalt mede de totale lengte en wielbasis van het voertuig. De kortste variant van concept 2 zal een wielbasis hebben van 3500mm wat resulteert in een totale lengte van zo'n 5.5m. De langste variant zal een wielbasis hebben van 4500mm. De totale lengte bedraagt dan zo'n 6.5m. De kortste variant valt binnen de eisen zoals deze gesteld zijn in onder 'Eisen en wensen - 2'.



Figuur 9.4: Aanpassingen origineel Multi Tool Trac frame

9.2.2 Massabesparing

Als het frame wordt ingekort, zal het een totale massa hebben van ###kg. Dit is zo'n ###kg lichter dan het originele Multi Tool Trac frame. Dit bespaart weliswaar niet al te veel op de totale massa, maar het komt uiteraard altijd wel ten goede van de totale massareductie. Er wordt binnen de paragraaf 'Massabesparing' uitgegaan van de versie met de kleinste wielbasis en spoorbreedte.

Voordat het frame in gebruik genomen kan worden, is het aan te raden het geheel door te laten rekenen door een ingenieursbureau. Dit bureau kan het frame wellicht ook nog optimaliseren. Wanneer het frame ingekort wordt, zullen de momentsarmen ook kleiner worden. De materiaaldikte kan hierdoor wellicht over het geheel een millimeter dunner genomen worden. Er kan op deze manier relatief eenvoudig veel massa bespaard worden, omdat het doorrekenen van

het nieuwe frame toch al noodzakelijk is.

CONFIDENTIËLE INFORMATIE:

Figuur 9.5: Uitwerking frame concept 2



Hoofdstuk 10

EINDONTWERP - 2

Binnen dit hoofdstuk wordt het eindontwerp van concept 2 gepresenteerd. Hierin zal eerst de gehele tractor van alle kanten belicht worden, waarna vervolgens een aantal analyses gedaan worden. De uitkomsten van deze analyses zullen tevens gebruikt worden om het eindontwerp te toetsen aan het programma van eisen. Qua analyses zal er aandacht besteed worden aan de draaicirkel van de tractor en de algehele afmetingen van het voertuig.

Van het ontwikkelde CAD-model zijn renders gemaakt die gebruikt worden om de gehele tractor te presenteren. Met behulp van deze renders worden ook drie verschillende uitvoeringen van het kleine broertje van de Multi Tool Trac gepresenteerd. Hiermee wordt er duidelijk gemaakt dat concept 2 modulair aanpasbaar is en dat iedere klant zijn eigen elektrische werktuigdrager samen kan stellen.

10.1.1 Renders concept 2

Vanuit het ontwikkelde CAD-model is een aantal renders gemaakt. Deze renders laten zien met welke modules er gevarieerd kan worden en op welke manier de boer zijn eigen elektrische werktuigdrager samen kan stellen. In figuur 10.1 is uitvoering 1 te zien. Deze uitvoering maakt gebruik van een wielbasis van 4.5m en een spoorbreedte van 3.162m (maximale breedte = 3.00m). Er is bij uitvoering 1 ook een middelste hefinrichting toegevoegd. In figuur 10.2 is een tweede uitvoering te zien. Dit is de kleinste en lichtste variant van concept 2. Met een wielbasis van 3.5m is er geen ruimte meer voor een middelste hefinrichting. Deze is daarom ook weggelaten. Er is voor de tweede uitvoering gekozen voor een spoorbreedte van 2.162m (maximale breedte = 2.55m.). Bij de derde uitvoering is er gekozen om de cabine verplaatsbaar te maken. Er is in figuur 10.4 daarom een situatie te zien waarbij de cabine aan de voor- en achterzijde van het frame is gepositioneerd. Voor de uitvoeringen met een grote wielbasis is het aan te raden om een verplaatsbare cabine te gebruiken, omdat het zicht aan de voorzijde van de werktuigdrager anders erg beperkt is.

10.1.2 Algemene afmetingen + massa

De kleinste uitvoering van concept 2 zal een totale lengte hebben van zo'n 5.7m en een hoogte van 3.9m. Aangezien de wielbasis van concept 2 op maat gemaakt kan worden, zal ook de maximale lengte kunnen veranderen. Dit heeft tevens invloed op de draairadius van



Figuur 10.1: Uitvoering 1 - Grote wielbasis, grote spoorbreedte

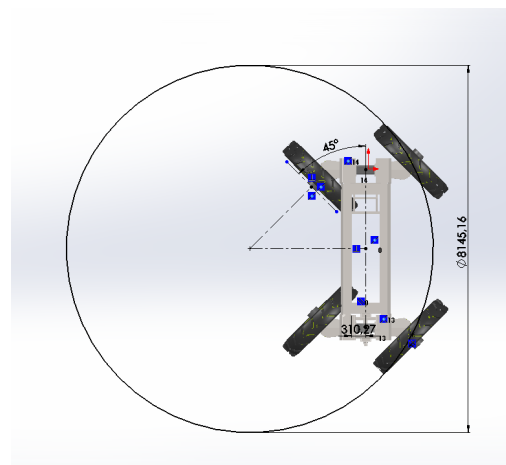
de werktuigdrager. In de volgende paragraaf wordt de minimale draairadius van concept 2 behandeld.

10.1.3 Draairadius

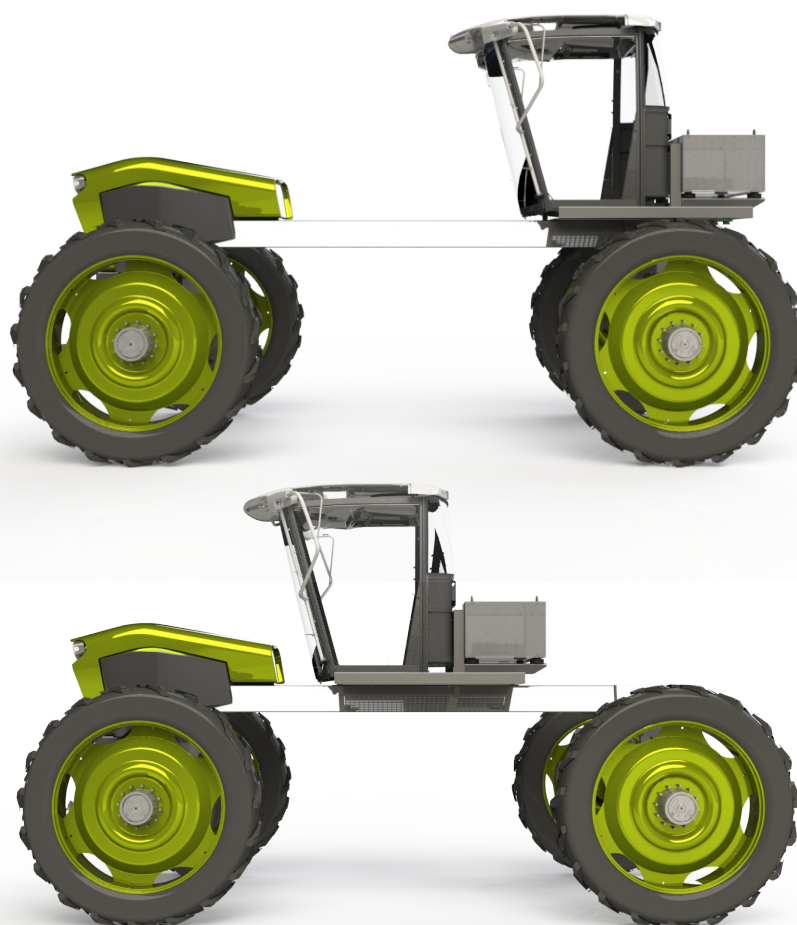
Met vier sturende wielen, die alle vier een maximale stuurhoek hebben van 45 graden, bedraagt de minimale draaicirkel 8.15m. Dit resulteert in een minimale draairadius, te zien in figuur 10.3, van 4.07m. De geëiste minimale draairadius was 6m, maar door de geringe wielbasis valt de minimale draairadius bijna twee meter kleiner uit. In het gebruik op het land zal een dergelijke kleine draairadius erg veel voordeel bieden. Als er gedraaid moet worden op de kopakker, heeft een reguliere tractor meer ruimte nodig. Dit is allemaal ruimte die niet gebruikt kan worden om gewassen op te verbouwen. Een kleine draairadius resulteert dus rechtstreeks in een groter oppervlakte van de akker. Gezien de importantie van de draairadius is het bij het samenstellen van concept 2 noodzakelijk dat er duidelijk gecommuniceerd wordt wat de uiteindelijke minimale draairadius zal worden bij het aanpassen van een bepaalde module.



Figuur 10.2: Uitvoering 2 - Kleine wielbasis, kleine spoorbreedte. Zonder middenhef



Figuur 10.3: Minimale draaicirkel



Figuur 10.4: Uitvoering 3 - Grote wielbasis, grote spoorbreedte en verplaatsbare cabine

CONCLUSIES 1 & 2

In dit hoofdstuk zal teruggeblikt worden op het doorlopen ontwerpproces en de daarbij horende eindproducten. Er zullen conclusies getrokken worden met betrekking tot de deelvragen en de daarbij horende oplossingen in de vorm van de eindproducten. De opdracht die centraal stond binnen dit ontwerpproces was:

“Ontwerp zo mogelijk twee concepten die gebaseerd zijn op het huidige model van de Multi Tool Trac, die voldoen aan de eisen en wensen van de geïnteresseerde boeren en die binnen de mogelijkheden van Multi Tool Trac B.V. passen.”

Aan deze ontwerpopdracht is te zien dat het binnen dit proces om twee verschillende deelopdrachten gaat. Zo was er binnen Multi Tool Trac B.V. de vraag naar een conventionele tractor die gebruik maakte van de elektrische aandrijving van de Multi Tool Trac (concept 1) en er was de vraag naar een kleinere en lichtere variant van de Multi Tool Trac (concept 2). Aangezien het hier om twee verschillende opdrachten gaat, worden er ook twee afzonderlijke conclusies getrokken.

Conclusie concept 1

Uit de antwoorden die gegeven zijn in het hoofdstuk ‘Analyse - 1’ kon geconcludeerd worden dat boeren prioriteit geven aan een aantal aspecten van hun tractor. Zo zijn de draairadius en de totale massa in combinatie met de verdeling daarvan de belangrijkste aspecten van een tractor binnen dit project. Uiteraard is het vermogen aan de wielen en aan de aftakas wellicht nog wel van groter belang, maar deze eisen vielen binnen de modules die niet aangepast zouden worden. Er is bij het ontwerpen van concept 1 aangenomen dat het vermogen van de elektromotoren ruim voldoende was. De elektrische aandrijflijn, zoals hij nu gebruikt wordt in de Multi Tool Trac, moest namelijk zonder aanpassingen binnen concept 1 toegepast kunnen worden. De wettelijke Europese eisen omtrent wegverkeer waren uiteraard ook één van de harde eisen waaraan concept 1 aan zou moeten voldoen.

De elektrische tractor die ontwikkeld is voor concept 1, voldoet aan bijna alle eisen zoals deze gesteld zijn in het hoofdstuk ‘Eisen en wensen - 1’. De elektrische aandrijflijn is zonder aanpassingen geïntegreerd in het nieuwe concept en ook de totale massa blijft onder de gestelde eis. De draairadius resulteert echter, door de conflicterende eisen, in een waarde die iets boven de gestelde eis van 5.0m ligt. Concept 1 kan met een draairadius van 5.4m echter nog wel concurreren met de tractoren die in hetzelfde segment zitten. De elektrische tractor van concept 1 zal met name op het gebied van grondverdichting beter functioneren dan zijn concurrenten. Doordat concept 1 gebruik maakt van een groter contactoppervlak (vier grote, brede wielen in plaats van twee) en doordat concept 1 de mogelijkheid heeft om in hondengang te rijden. Dit onderscheidt concept 1 van zijn concurrenten.

Het eindresultaat van concept 1 bestaat uit een CAD-model en een aantal fotorealistische renders. De ontwikkelde renders van concept 1 zijn van ongeveer dezelfde kwaliteit als de renders waarmee de Multi Tool Trac wordt gepresenteerd op de website van Multi Tool Trac B.V. Dit betekent dat de renders van concept 1 niet misstaan op de website, presentaties of beursstands. De afbeeldingen van concept 1 kunnen de geïnteresseerden van Multi Tool Trac B.V. laten zien dat het bedrijf met de toekomst bezig is en zich niet puur en alleen op de elektrische werktuigdrager stort.

Conclusie concept 2

Uit de antwoorden die gegeven zijn in het hoofdstuk 'Analyse - 2' is gebleken dat de boeren die actief zijn in de onbereden beddenteelt behoefte hebben aan een hedendaagse werktuigdrager. Deze werktuigdrager wordt op dit moment in de vorm van de Multi Tool Trac ontwikkeld. Niet iedere boer heeft echter behoefte aan zo'n grote werktuigdrager. Op deze manier ontstond de behoefte aan een kleinere en lichtere variant van de Multi Tool Trac. Een dergelijke kleine variant zal ook geschikt kunnen zijn voor boeren met een minder groot budget. De massa en afmetingen waren binnen de ontwikkeling van concept 2 de eisen met de hoogste prioriteit.

Het kleine broertje van de Multi Tool Trac is door gebruik te maken van een vaste spoorbreedte een stuk lichter geworden. Dit heeft uiteraard tot gevolg dat concept 2 zijn spoorbreedte niet meer on-the-go kan aanpassen. Door de lengte van concept 2, ten opzichte van de Multi Tool Trac, aan te passen wordt er winst geboekt bij de beide belangrijke eisen. Het eindresultaat van concept 2 voldoet nog niet geheel aan de gestelde eis van een massareductie.

Het eindresultaat van concept 2 bestaat uit een collage van renders waarin te zien is welke mogelijkheden er met de modulaire opbouw te realiseren zijn. Hieraan kan een potentiële klant snel zien welke opties het bedrijf Multi Tool Trac B.V. zoal biedt. Aangezien er niet veel ingrijpende aanpassingen zijn gedaan ten opzichte van de Multi Tool Trac zou concept 2 binnen afzienbare tijd op de markt kunnen komen. Met het oog op de toekomst is het aan te raden om de gehele modulaire opbouw van concept 2 uit te breiden door bijvoorbeeld ook te variëren met het soort range extender.

REFERENTIES

- Aftakas. (2014) in Wikipedia. Verkregen op 09 oktober 2014 van <http://nl.wikipedia.org/wiki/Aftakas>
- Besselink I.J.M., Oorschot van P.F., Meinders E., Nijmeijer H. (2010). Design of an efficient, low weight battery electric vehicle based on a VW Lupo 3L. Verkregen van The 25th World Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium & Exhibition.
- Blaauw, P. de. (1998) Biologisch boeren geen zaak van louter idealisten meer. Verkregen op 13 november 2014 van <http://www.trouw.nl/tr/nl/5009/Archief/archief/article/detail/2463401/1998/04/18/Biologisch-boeren-geen-zaak-van-louter-idealisten-meer.dhtml>
- Boerderij (2005). Zuinige trekker interessanter. Verkregen op 17 november 2014 via http://www.boerderij.nl/PageFiles/1922/003_boerderij-download-BOE001106D01.pdf
- Boessenkool. (2014), Wat doen we – In topvorm voor techniek van formaat. Verkregen op 08 december 2014 via <http://boessenkool.com/Algemeen/Wat-doen-we>
- Camber. (2014) in Wikipedia. Verkregen op 26 november 2014 van [http://nl.wikipedia.org/wiki/Camber_\(hoek\)](http://nl.wikipedia.org/wiki/Camber_(hoek))
- Caster angle. (2014) in Wikipedia. Verkregen op 26 november 2014 van http://en.wikipedia.org/wiki/Caster_angle
- Centraal Bureau voor de Statistiek (2014). Pompprijzen motorbrandstoffen; locatie tankstation, brand stofsoort. Verkregen op 17 november 2014 via <http://statline.cbs.nl/Statweb/publication/?DM=SLNL&PA=81567NED&D1=0&D2=1&D3=12,25,38,51,64,77,90,103&VW=T>
- Coil Spring. (2014) in Wikipedia. Verkregen op 26 november 2014 van http://en.wikipedia.org/wiki/Coil_spring
- CTF Europe (2013). What is CTF? Verkregen op 13 november 2014 via <http://www.ctfeurope.co.uk/WhatIs/What-Is-CTF.aspx>
- De Factorij. (z.j.) 41,5% voordeel op bandenspanning wisselsysteem. Verkregen op 28 november 2014 van <http://www.defactorij.com/index.php/nl/bandenspanning-wisselsysteem>
- Driepuntsophanging. (2014) in Wikipedia. Verkregen op 09 oktober 2014 van <http://nl.wikipedia.org/wiki/Driepuntsophanging>
- FAO European Cooperative Research Network. (2002). Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture. Verkregen op 23 december 2014 van <http://www.ramiran.net/DOC/C6.pdf>
- Farmers Guardian (2007). Confused over power settings standards?. Verkregen op 12 november 2014 via <http://www.farmersguardian.com/confused-over-power-settings-standards?/7446.article>
- Geräteträger (2014) in Wikipedia. Verkregen op 09 oktober 2014 van <http://de.wikipedia.org/wiki/Ger%C3%A4tet%C3%A4ger>
- Grondig. (2014), Achtergrond - “Er is om ons gevraagd”. Verkregen op 08 december 2014 via <http://edepot.wur.nl/313391>
- Klooster, A. van der; Wekken, J.W. van der; Haagsma, W.K. (2010) Perspectieven Rijpaden Bedrijfseconomische consequenties. Verkregen op 14 november 2014 via <https://www.wageningenur.nl/de/Publicatie-details.htm?publicationId=publication-way-333937363931>
- Landbouwwerktuig. (2014) in Wikipedia. Verkregen op 09 oktober 2014 van <http://nl.wikipedia.org/wiki/Landbouwwerktuig>

- Leaf Spring. (2014) in Wikipedia. Verkregen op 26 november 2014 van http://en.wikipedia.org/wiki/Leaf_spring
- Macmillan, R.H. (2002). Tractor Performance on Soft Soil – Theoretical. In: The Mechanics of Tractor – Implements Performance. (pp. 63-68). Agricultural Engineering International Development Technologies Centre University of Melbourne.
- Mason, S. (z.j.). The Effects of Rotational Inertia on Automotive Acceleration. Verkregen op 24 november 2014 van <http://stephenmason.com/cars/rotationalinertia.html>
- MIT Electric Vehicle Team. (2008). A Guide to Understanding Battery Specifications. Verkregen op 20 november 2014 van http://web.mit.edu/evt/summary_battery_specifications.pdf
- Monitor Duurzaam Voedsel (2014). Totale bestedingen en bestedingen verdeeld over de keurmerken. Verkregen op 17 november 2014 via <http://www.monitorduurzaamvoedsel.nl/TotaalResultaat.aspx>
- Pedersen, H. (2013). A Wide Span tractor designed for CTF solution for vegetables and other crops. Verkregen op 10 december 2014 via <http://actfa.net/conferences/ctf2013/CTF2013%20papers%20pdfs/Pedersen,%20Hans.pdf>
- RDW (2014). Regeling voertuigen. Artikel 5.8.6. Verkregen van http://wetten.overheid.nl/BWBR0025798/geldigheidsdatum_14-11-2014#
- RDW (2014). Regeling voertuigen. Bijlage VIII. Verkregen van http://wetten.overheid.nl/BWBR0025798/BijlageVIII/geldigheidsdatum_14-11-2014
- Reza N. Jazar. (2014). Steering Dynamics. In: Vehicle Dynamics – Theory and application. (pp. 387-495). New York: Springer New York.
- Sarami, S. (2009). Development and Evaluation of a Semi-active Suspension System for Full Suspension Tractors. Verkregen op 27 november 2014 via www.opus4.kobv.de/opus4-tuberlin/files/2402/sarami_shahriar.pdf
- Shock Absorber. (2014) in Wikipedia. Verkregen op 26 november 2014 van http://en.wikipedia.org/wiki/Shock_absorber
- Tesla Motors. (2014) MOTOR – Ongeveer de grootte van een watermeloen, maar met veel meer sap. Verkregen op 27 november 2014 van http://www.teslamotors.com/nl_NL/roadster/technology/motor
- Toespoor, (2014) in Wikipedia. Verkregen op 26 november 2014 van <http://nl.wikipedia.org/wiki/Toespoor>
- Twist Beam Rear Suspension. (2014) in Wikipedia. Verkregen op 26 november 2014 van http://en.wikipedia.org/wiki/Twist-beam_rear_suspension
- Vehicle Frame. (2014) in Wikipedia. Verkregen op 25 november 2014 van http://en.wikipedia.org/wiki/Vehicle_frame#Construction
- Wageningen UR; Louis Bolk Instituut (2009). bioKennis bericht: Akkerbouw en Vollegrondsgroente – Vaste rijpaden bieden veel voordeel. Verkregen op 14 november 2014 via <http://edepot.wur.nl/13936>
- Wielophanging. (2014) in Wikipedia. Verkregen op 25 november 2014 van <http://nl.wikipedia.org/wiki/Wielophanging#Tweewielers>
- Wissels Techniek. (2014). Wissels Techniek – Constructiewerk en machinebouw. Verkregen op 08 december 2014 via <http://www.wisselstechniek.com/index.php/Nederlands/Innovatie>

Afbeeldingen

Figuur 2.1: http://www.reddit.com/r/MachinePorn/comments/22eoj4/forage_harvester_claas_jaguar_900_agritechnica/

Figuur 2.2: http://deloonwerker.be/bouw-eerste-elektrische-multi-tool-tracs/multi-tool-trac-img_7418/

Figuur 2.9: <https://www.facebook.com/MultiToolTrac/photos/pb.216532598487542.-2207520000.1422451056./452074074933392/?type=3&theater>

Figuur 3.1: <http://www.guam.claas.com/products/rundballenpressen/variant385-360/bedienung/medium-terminal-II>

Figuur 3.2: <http://app.claas.com/products/2015/en/tr/atos-350.php>

Figuur 3.3: <http://www.tansania.claas.com/fascination-claas/media/download-center?subNavDcDoctype=getQueryListDcPictures&misc=3952&productType=3922&products=26342>

Figuur 4.7 & 4.8: Sarami, S. (2009). Development and Evaluation of a Semi-active Suspension System for Full Suspension Tractors. Verkregen op 27 november 2014 via www.opus4.kobv.de/opus4-tuberlin/files/2402/sarami_shahriar.pdf

Figuur 4.10: <http://www.gminsidenews.com/forums/f29/naias-under-skin-toyotas-tundra-43401/>

Figuur 4.11: <http://www.initialdave.com/cars/tech/chassisbasics01.htm>

Figuur 4.12: <http://www.medicinebowmotors.com/parts/model-a-hi-boy-frames/1928-29-hi-boy-perimeter-frame>

Figuur 4.13: <http://techdrive.co/2014/08/teslas-open-source-initiative-glimpse-manufacturing-models-future/>

Figuur 4.14: <http://www.germancarforum.com/threads/bmw-f10-5er-vs-mercedes-benz-w212-e-klasse-body-rigidity.40393/>

Figuur 4.16: <http://www.nauticexpo.com/prod/steyr-motors/boat-engines-in-board-diesel-100-200-hp-22128-299282.html>

Figuur 4.17: http://www.gopixpic.com/1024/recogia-de-madera-autocargador-john-deere/http:%7C%7Cimages*ihb*de%7Cp-17870000-17868008-1%7CRecogia-de-madera---Autocargador--Autocargador*JPG/

Figuur 5.2: <http://www.claas.co.uk/products/tractors/xerion5000-4000-hrc/ballasting/frames>

Figuur 5.11 & 5.17: http://www.zf.com/corporate/de/press/media_service/press_kits/2013_agritechnica_2013/agritechnica.html

Figuur 5.18: <http://ww1.safholland.de/sites/germany/de/aboutus/press/pressreleases/seiten/default.aspx?newsitem=n217>

Figuur 5.23: Mitas, (2014). Agricultural Tyres – technical databook 13th edition. Verkregen op 05 december 2014 via http://www.mitas-tyres.com/underwood/download/files/mitas_agri_databook_en_13th.pdf

Figuur 5.30: http://www.gopixpic.com/1024/mi-intercooler-de-aluminio-doble-capacidad-para-renault-5-gt-turbo-/http:%7C%7Cwww*mercadoracing*org%7Cimagenes-anuncios%7C38%7C263427%7Cintercooler-doble-capacidad-gt-turbo*jpg/

Figuur 7.1: <http://i.ytimg.com/vi/Z0olYZnFeUQ/maxresdefault.jpg>

Figuur 7.3: http://ctfeurope.com/2011/kjeldahl_en/

Figuur 7.4: <http://static1.squarespace.com/static/545ff340e4b0f587f5cc4590/546048a1e4b04efe62809b2c/54727015e4b0187c82fa7471/1421200010741/DSCF1499.jpg?format=1500w>

Figuur 7.5: Pedersen, H. (2013). A Wide Span tractor designed for CTF solution for vegetables and other crops. Verkregen op 10 december 2014 via <http://actfa.net/conferences/ctf2013/CTF2013%20papers%20pdfs/Pedersen,%20Hans.pdf>

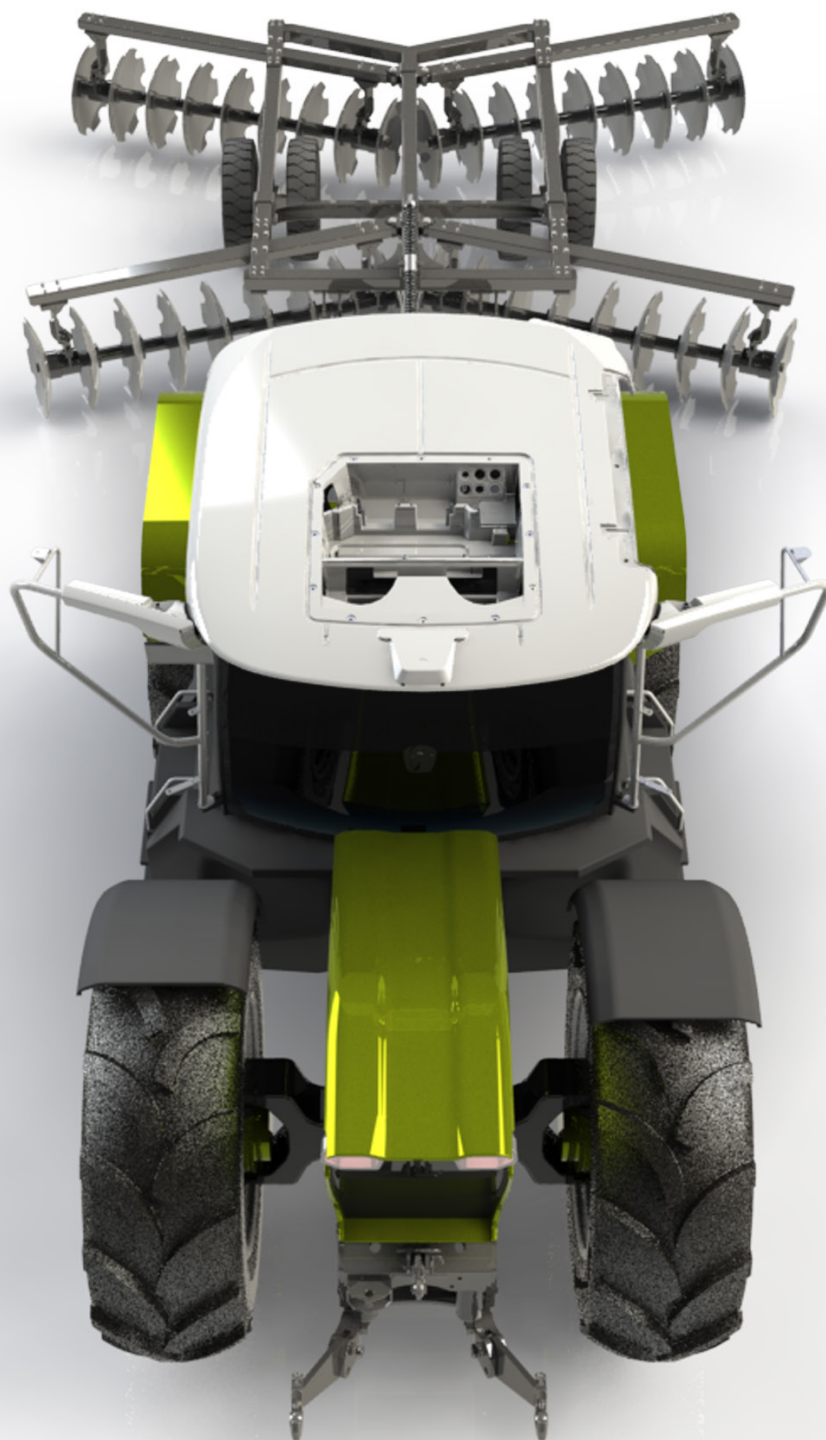
BIJLAGE F - 1

Renders concept 1 - Achteraanzicht + maximale stand pendelas



BIJLAGE F - 1

Render concept 1 + cultivator



BIJLAGE G - 2

Renders concept 2 - Middenhef + fronthef

