

MULTI TOOL TRAC

—“WERKTUIGDRAGER VOOR DE TUINBOUW”—

Multi Tool *Carrier*



STEVEN OONK- BACHELOR EINDOPDRACHT- INDUSTRIEEL ONTWERPEN

UNIVERSITEIT TWENTE.

Titelpagina

“Herontwerp Multi Tool Trac geschikt voor de tuinbouw”

Bachelor Eindopdracht/Universiteit Twente

Auteur:

J.C.S. Oonk

s1375245

Coordinator Multi Tool Trac:

P.W.M. van Ham MSc.

Bachelor Coördinator:

A. P. van den Beukel MSc.

Project Coördinatie:

Examinator: Ing. T.G.M. Krone

Tweede Examinator: Prof. Dr. Ir. M.C. Van der Voort

Opdrachtgever:

Multi Tool Trac B.V.

Turfkade 13

7602 PA Almelo

Universiteit:

University of Twente

Faculteit Construerende Technische Wetenschappen (CTW)

Opleiding Industrieel Ontwerpen

Postbus 217, 7500 AE Enschede

Datum bachelor tentamen: 02-07-2015

Datum publicatie: 07-07-2015

Oplage: 3

Aantal pagina's excl. bijlagen: 93

Aantal bijlagen: 3

Inhoudsopgave

SAMENVATTING	5
SUMMARY	6
HOOFDSTUK 1: INLEIDING.....	7
1.1 OPDRACHT	7
1.2 DOEL	7
1.3 AANPAK	7
HOOFDSTUK 2: ANALYSE.....	8
2.1 MULTI TOOL TRAC B.V.....	8
2.2 DE MULTI TOOL TRAC	11
2.3 DE NEDERLANDSE TUINBOUW	18
2.4 DE DOELGROEP	24
2.5 CONCURRENTIEANALYSE	28
HOOFDSTUK 3: HERONTWERP	38
3.1 MASSA	38
3.2 FRAME.....	40
3.3 WIELOPHANGING.....	44
3.4 VERING & DEMPING	46
3.5 STUURINRICHTING.....	49
3.6 HEFINRICHTING	52
3.7 AANDRIJVING.....	53
3.8 BESTURING	58
3.9 CONFIGURATIE COMPONENTEN.....	63
3.10 CARROSSERIE.....	66
HOOFDSTUK 4: DETAILLERING.....	68
4.1 FRAME	68
4.2 WIELOPHANGING.....	74
4.3 STUURINRICHTING	79
4.4 WIELEN	80
4.5 CABINE.....	81
4.6 CARROSSERIE	82

HOOFDSTUK 5: CONCLUSIES & AANBEVELINGEN	84
5.1 EINDONTWERP	84
5.2 SPECIFICATIES	85
5.3 AANBEVELINGEN	88
5.4 CONCLUSIE.....	89
REFERENTIES.....	92
BIJLAGEN.....	94
BIJLAGE A: PLANNING	94
BIJLAGE B: COMPONENT DECOMPOSITIE	95
BIJLAGE C: VRAGENLIJST	96

Samenvatting

Multi Tool Trac B.V. is een samenwerkingsverband tussen drie bedrijven. Samen ontwikkelen zij een nieuwe elektrische werktuigdrager genaamd Multi Tool Trac. De werktuigdrager is gespecialiseerd in de onbereden beddenteelt, een efficiëntere vorm van akkerbouw. De unieke features, zoals variabele spoorbreedte en de onafhankelijke besturing onderscheiden de MTT van de concurrenten. Met de variabele spoorbreedte 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. Daarnaast is de onafhankelijke besturing een unieke eigenschap die de wendbaarheid van de werktuigdrager vergroot.

Multi Tool Trac B.V. heeft behoefte aan variaties op het bestaande prototype en nieuwe ideeën zijn voor de opdrachtgever altijd welkom. Multi Tool Trac B.V. heeft interesse in andere markten en wil deze graag exploreren, hieruit is de opdrachtsformulering gerold:

"Maak op basis van vragen van de doelgroep een herontwerp van de Multi Tool Trac geschikt voor de tuinbouw."

In de analysefase zijn de Multi Tool Trac, de doelgroep en de mogelijke concurrenten uitgebreid geanalyseerd zijn. De conclusie voor de huidige MTT is, dat het een te grote, te zware en te dure machine voor de tuinbouw is. Hieruit volgt dat het ontwerp kleiner, lichter en goedkoper moet worden om aan de eisen van de doelgroep te voldoen. Uit de analyse van de doelgroep blijkt in combinatie met de interviews wat voor eisen belangrijk zijn. Zo zijn bijvoorbeeld wendbaarheid, modulariteit, geluidsproductie en kosten belangrijke aandachtspunten in het ontwerp. De concurrerende werktuigdragers en compacte tractoren vormen de basis voor de specificaties van het herontwerp. Uit de analysefase volgt het programma van eisen dat de belangrijkste eisen van alle stakeholders (opdrachtgever, tuinder en overheid) bevat.

In de analysefase is de Multi Tool Trac opgedeeld in modules. Met behulp van deze modules wordt de werktuigdrager in de herontwerpfase uitgewerkt. De modules moeten herontworpen, aangepast, of verwijderd worden in het nieuwe ontwerp. In de detailleringfase worden deze keuzes uitgewerkt tot een eindontwerp en samengevoegd om uiteindelijk de **Multi Tool Carrier** te vormen. Het eindconcept wordt weergegeven door middel van renders.

De Multi Tool Carrier wordt gekenmerkt door grote portaalhoogte. Dit is ontstaan door de unieke eigenschap van de werktuigdrager om om zijn eigen as te kunnen draaien, waardoor de wendbaarheid enorm toeneemt. Ook het hoge vermogen en koppel zorgen ervoor dat de werktuigdrager altijd voldoende trekkracht heeft. De vormgeving en het kleurgebruik laten de Multi Tool Carrier bij de familie van de Multi Tool Trac passen. Daarnaast is de Multi Tool Carrier bedoeld als een modulair ontwerp met klantspecifieke onderdelen, een bijzondere feature.

Het ontwikkelde concept kan met behulp van het programma van eisen getoetst worden. Hieruit kan geconcludeerd worden dat het concept, afgezien van de massa en de inbouwruimte, voldoet aan de gestelde eisen. De massa van de werktuigdrager wordt enorm verhoogd door het "toevoegen" van de elektrische aandrijflijn. Ook zijn er in de toekomst nog veel optimalisatiemogelijkheden om het gewicht omlaag te brengen. De inbouwruimte kan in een volgend concept gemakkelijk vergroot worden, omdat de draaistraal ruim aan de eisen voldoet.

Summary

Multi Tool Trac B.V. is a partnership between three companies. Together they develop a brand new and unique electric tool carrier called the Multi Tool Trac. The tool carrier is specialised in Controlled Traffic Farming, a more efficient form of agriculture. The unique features such as adaptable track width and independable steering distinguish the MTT from its competitors. With the on-the-fly adjustable track width, the user is able to drive with a wider track width on land, whereafter he can adjust to a smaller track width on his way home. Besides these functions the independable steering is a unique feature to improve maneuverability of the tool carrier.

Multi Tool Trac B.V. wants to have different variations based on the prototype. New ideas are also welcomed by the client. This is the motivation for Multi Too Trac to start this project. There has been made a decission to redesign the Multi Tool Trac suitable for horticulture. The task formulation is as follows:

"Make a redesign of the Multi Tool Trac suitable for horticulture based on the demands from the user."

In the analysis; The Multi Tool Trac, target group and possible competitors have been extensively analyzed. The conclusion for the current MTT is, that it's too large, too heavy and too expensive for horticulture usage. This means the redesign needs to be smaller, lighter and cheaper to fulfill the demands of the user. The analysis of the target group in combination with the interviews reveals the most important requirements. Agility, modularity, noise production and costs are important factors in the design process. The competing tool carriers and compact tractors form the base for the performance estimation. The program of requirements follows from the analysis; it includes the most important requirements by different stakeholders (client, target group, government).

In the analysis the Multi Tool Trac is divided in different modules. These modules are studied in the redesign phase. Each module needs to be redesigned, adjusted or deleted in the redesign. In the detailing phase, the choices are elaborated and added together to form an end design. This brings the **Multi Tool Carrier** that will be shown in this paper with renders.

The Multi Tool Carrier is characterized by the large portal height. This originated from a unique feature the tool carrier offers, namely the possibility to turn around his own axle to greatly increase maneuverability. Lots of power and high torque ensure the tool carrier always has enough pulling power. The design and use of colors make the Multi Tool Carrier fit to the Multi Tool Trac family. The Multi Tool Carrier is meant to offer a special feature, namely a modular design with customer specific parts, chosen within certain limits. This makes the product attractive to customers.

The concept can be reviewed using the program of requirements. Here it can be concluded that the Multi Tool Carrier, apart from the mass and installation place, meets the requirements. The mass of the tool carrier is raised by "adding" the electric driveline, which competitor tool carriers don't have. In future projects there are lots of optimisation possibilities to reduce weight. The installation place can be easily enlarged, because the turning radius is well within the requirements.

Hoofdstuk 1: Inleiding

1.1 Opdracht

Maak op basis van vragen van de doelgroep een herontwerp van de Multi Tool Trac geschikt voor de tuinbouw.

1.2 Doel

Multi Tool Trac B.V. wil graag een andere markt aanspreken door het ontwikkelen van een kleinere versie van de Multi Tool Trac. Het is belangrijk om de interesse van de *afzetmarkt* te wekken met innovatieve en nieuwe ideeën in het concept. Doel van de opdracht is om met een innovatief en duurzaam conceptontwerp te komen van de huidige Multi Tool Trac geschikt voor de tuinbouw bedrijven, hierbij is het belangrijk dat de *kernwaarden* van Multi Tool Trac duidelijk naar voren komen. Het concept moet uiteindelijk voldoende uitgewerkt zijn om interesse te kunnen wekken bij de potentiële markt en ze een visie te geven voor de landbouwvoertuigen van de toekomst. Dit kan gerealiseerd worden door een praktijkgericht onderzoek te doen. Het resultaat bestaat uit een digitaal uitgewerkt 3D model, waar een duidelijke presentatie, waarom dit product geschikt is, naar de *afzetmarkt* en de opdrachtgever vereist is. Dit zal worden uitgevoerd in een tijdsbestek van 3 maanden.

1.3 Aanpak

De gehele planning is in [Bijlage A](#) te vinden. In de eerste fase van het project zal de nadruk vooral liggen op de analyse. Door de Multi Tool Trac te analyseren en de geschikte en minder geschikte aspecten van de tractor uit te lichten wordt het in de herontwerp fase duidelijk wat er aan het huidige concept veranderd moet worden om hem geschikt te maken voor de nieuwe afzetmarkt. Ook de concurrentie en de doelgroep van tuinbouwers worden nader geanalyseerd om ook hier eisen en wensen voor op te kunnen stellen. Door in de analyse heel breed te gaan wordt er met veel stakeholders rekening gehouden. Uit de analyse zal een programma van eisen volgen. (fig. 1)

Met dit programma van eisen wordt de volgende fase ingezet, het herontwerp van de werktuigdrager. Er zullen veel nieuwe ideeën en concepten gegenereerd worden die geschikt zijn voor de tuinbouw. Uit deze concepten zal uiteindelijk één concept gekozen worden.

De volgende fase is detaillering, hier wordt weer volledig geconvergeerd. Het gekozen concept zal verder uitgewerkt worden en gepresenteerd worden naar de klant. Uiteindelijk volgt een conclusie en aanbevelingen van het uitgewerkte concept.

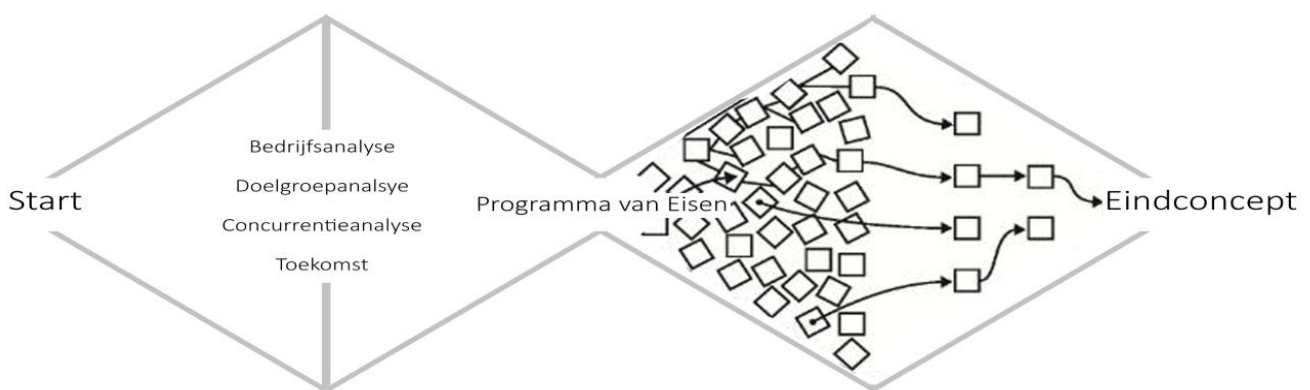


Fig. 1: Ontwerpstrategie

Hoofdstuk 2: Analyse

2.1 Multi Tool Trac B.V.

De organisatie

Het verhaal achter hun unieke tractor, te zien in afbeelding 1 is als volgt: Directeur Paul van Ham (Van Ham Organisatie en Advies B.V.) werd een aantal jaar geleden benaderd door een aantal akkerbouwers met de vraag of hij een oplossing kon maken voor de verouderde landbouwmachines die zij gebruikten voor de onbereden



Afb. 1: De Multi Tool Trac

beddenteelt. Dit leek Van Ham een mooie uitdaging en hij begon meteen met het zoeken naar even enthousiaste partners. Dit werden dhr. Osse van Machinefabriek Boessenkool B.V. en dhr. Wissels van Wissels Techniek B.V. De drie partners bundelen hun krachten om Multi Tool Trac B.V. op te starten. Samen zijn zij de uitdaging aangegaan om de Multi Tool Trac te ontwikkelen, een custom build tractor voor boeren die het beste uit hun grond willen halen.

Van Ham Organisatie en Advies B.V

De initiator van het Multi Tool Trac project is Paul van Ham. Zijn bedrijf geeft advies op het gebied van innovatie en samenwerking, in onder andere de landbouw. Door zijn werkzaamheden in de landbouwsector is hij ook in contact gekomen met de boeren die het probleem hebben van de verouderde machines. Paul van Ham is de drijvende kracht voor het ontwerp van de Multi Tool Multi Tool Trac, het contact met de markt en de verkoop.

Machinefabriek Boessenkool B.V.

Machinefabriek Boessenkool in Almelo ontwerpt en produceert onderdelen voor machinebouw, complete machines en apparaten en verzorgt machinereparatie, renovatie of opwaardering van bestaande machines. De fabriek is in het bijzonder gespecialiseerd in werkstukken van groot formaat, is extreem nauwkeurig in maatvoering (tot op honderdsten van een mm) en produceert meestal in kleinere oplagen. Het bedrijf biedt de ontwikkelingsruimte voor de Multi Tool Trac. De tractor wordt hier geassembleerd en getest, alvorens het product naar de klant toe kan. (Boessenkool, 2015)

Wissels Techniek B.V.

Wissels Techniek uit Hengelo heeft veel ervaring op het gebied van landbouw mechanisatie en richt zich op de ontwikkeling, techniek, constructie hydrauliek en service van allerlei machines. Wissels is een ideale partner voor het bouwen van machines door hun vele ervaring en gerichte specialisatie op de hiervoor genoemde gebieden. (Wissels Techniek, 2015).

Het product

De Multi Tool Trac (afb. 2) is een uniek concept, met vier elektrisch aangedreven, onafhankelijk te besturen wielen en on-the-fly aanpasbare spoorbreedte. De tractor is de eerste elektrische tractor die niet alleen het werk van de boer lichter en duurzamer maakt, maar ook zijn bodem beter maakt. Dankzij de super nauwkeurige GPS-RTK besturing kan de tractor altijd over dezelfde sporen rijden waardoor onbereden beddenteelt nog efficiënter wordt. Zo blijft de rest van het land in de goede conditie voor optimale plantengroei. Aan het unieke lange frame kunnen alle werktuigen in het zicht van de bestuurder worden opgehangen. Nek- en rugklachten door het vele achteruitkijken zijn verleden tijd.

De Multi Tool Trac biedt veeleisende akkerbouwers alle mogelijkheden om hun mechanisatie eindelijk op maat te krijgen. De Multi Tool Trac is ideaal om akkers te bewerken op vaste rijpaden (zogenaamde onbereden beddenteelt, of controlled traffic farming) met deze vaste rijpaden is een groot gedeelte van het land, vaak meer dan 80%, onbereden. Dit brengt vele voordelen met zich mee. Zo is deze onbereden beddenteelt goed voor de grond en de gewassen, helpt het de omgeving (duurzamer) en reduceert het de productiekosten. (CTF Europe. (2013))

Multi Tool Trac past zich in de trend van de zelfvoorzienend van boeren aan. Dit betekent dat de boeren ook zelf voor hun energie kunnen zorgen, door zonnecellen, windmolens of bio-fuel. De elektromotoren werken op stroom van de accu. De stroom wordt door middel van zonnepanelen opgewekt en via een laadstation naar de accu getransporteerd. Vervolgens kan deze groene stroom gebruikt worden om de tractor aan te drijven. De dieselmotor kan op zelf verbouwde lijnzaad werken. De lijnzaad kan verwerkt worden tot een biodiesel, dat vervolgens gebruikt kan worden als brandstof voor de motor. Deze duurzame manier van rijden belast het milieu minder dan bij het gebruik van fossiele brandstoffen. Lijnzaadrijders dragen minder bij aan vergroten van het broeikaseffect en mogelijk klimaatverandering. (Ikink, H. (2005, januari))

Voordelen Multi Tool Trac:

- Gebruik van duurzame energie.
- Kleine draaicirkel en optimale trekkracht in alle omstandigheden doordat elk wiel apart wordt aangedreven en stuurbaar is.
- Rijdt dankzij GPS-Besturing altijd over dezelfde sporen, zodat de rest van het land niet beschadigd raakt.
- Efficiënt breed op het land, wendbaar smal op de weg.



Afb. 2: De Multi Tool Trac met drie werktuigen

De visie

De MTT is ontworpen met een visie van de ontwikkelaars en deze visie willen zij door hun hele productlijn doorvoeren. Een analyse van de visie en de unique selling points van het bedrijf is noodzakelijk om in het ontwerp ook rekening te kunnen houden met de visie. Zo sluit het product straks aan bij het bedrijf.

Visie: een duurzame, winstgevende en aangename toekomst in de agrarische sector

Unique Selling Points (Heikoop, A. (2013))

- Efficiënt gebruik van de bodem: geen bodemverdichting, met alle voordelen van dien. Grondbewerking voor de boer minder zwaar maken.
- Een lager energieverbruik door een alternatieve krachtbron (elektromotor/waterstof/etc.)
- Unieke onafhankelijke vierwielaandrijving en besturing.
- Ergonomie: De plaatsing van de werktuigen is dusdanig, dat men weinig achterom hoeft kijken, maar er toch altijd zicht op het proces is.
- Efficiëntie voor de boer en het proces: Het gebruik van meerdere werktuigen tegelijkertijd. Het werk van de boeren wordt verlicht en de efficiëntie gaat omhoog.
- Veiligheid: Voorzien van automatische systemen om in geval van nood de machine af te schakelen.
- Minimale geluidsproductie tijdens gebruik.

De vier S'en (afb. 3) (Heikoop, A. 2013)

- Smart → intelligent, automatisering, innovatie
- Sustainable → groen, elektrisch/hybride, milieuvriendelijk
- Secure → stoer, robuust, betrouwbaar
- Safe → veiligheid op het erf en land



Afb. 3: De vier S'en van Multi Tool Trac B.V.

2.2 De Multi Tool Trac

In dit hoofdstuk zal de Multi Tool Trac besproken worden. Dit is nodig om de werking van de Multi Tool Trac duidelijk te hebben. Het eerste prototype van de Multi Tool Trac zal als basis dienen voor de analyse. Allereerst is de MTT verdeeld in verschillende modules (Frame, Besturing, Aandrijving, Carrosserie, Hefinrichting en Range Extender). Vervolgens bestaan deze modules uit verschillende componenten die in dit hoofdstuk nader uitgelegd zullen worden. (fig. 2 & afb. 4) In [Bijlage B](#) zijn de componenten weergegeven op locatie in de tractor. De functie, werkingsprincipes en mogelijkheden van de componenten moeten allereerst duidelijk zijn voordat de componenten gebruikt kunnen worden in de volgende fase. De Multi Tool Trac zal als basis dienen voor het herontwerp van de MTT. Van hieruit kan er voor elk component een beslissing worden gemaakt of deze zo overgenomen kan worden, herontworpen moet worden of helemaal niet nodig is voor de tuinbouw. Multi Tool Trac heeft als eis in de opdracht namelijk gesteld dat zij een modulaire opbouw van de tractor willen hebben. Dit betekent dat de verschillende modules naar klant specifieke wensen (binnen een bepaalde marge) aangepast worden en vervolgens geassembleerd kunnen worden. Modules zoals de aandrijving, het frame en de hefinrichting kunnen zo gekozen worden dat zij optimaal zijn voor de klant.

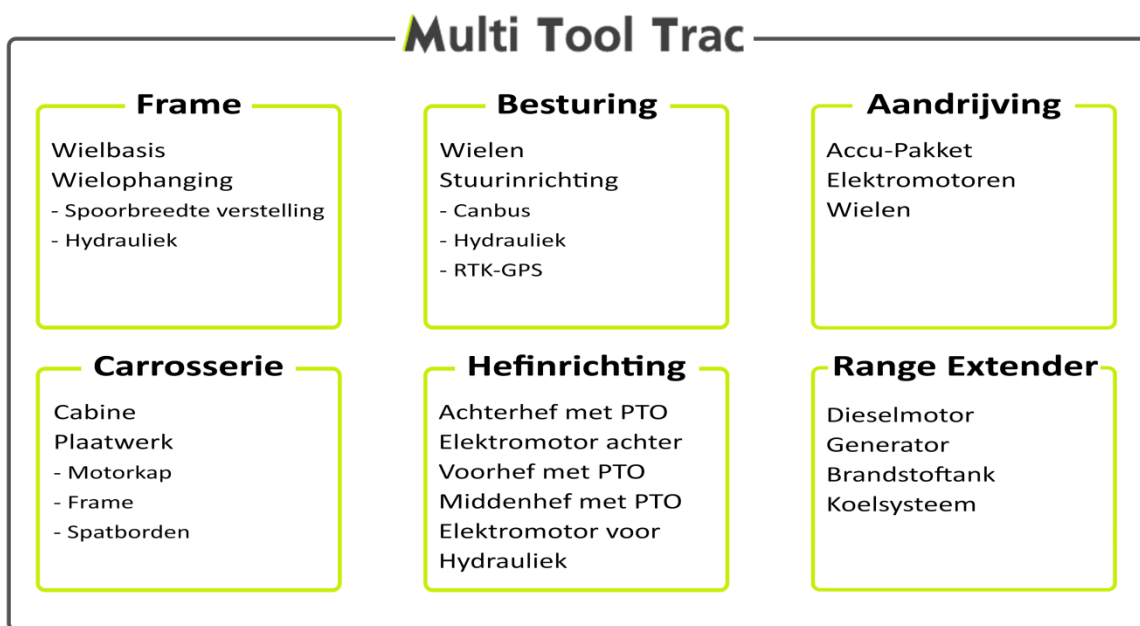


Fig. 2: De modules en componenten van de Multi Tool Trac



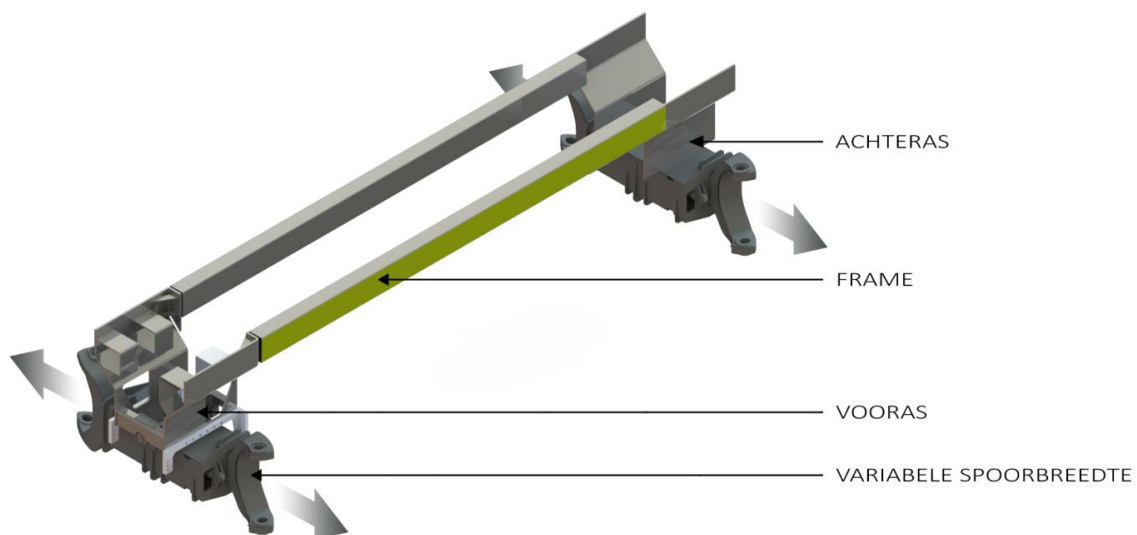
Afb. 4: Modules van de Multi Tool Trac

Technische uitwerking

Frame

Het chassis van de MTT (afb. 5) bestaat uit een dik stalen frame waaraan alle onderdelen worden bevestigd en die ondersteuning biedt aan de constructie. Dit custom-build frame is één van de componenten die Multi Tool Trac zelf fabriceert. Custom build betekent in dit geval dat de wielbasis en spoorbreedte van de MTT naar de wensen van de klant aangepast kunnen worden. Het maximale laadvermogen van de MTT is 5 ton. Ook is het frame van de MTT verend. Dit betekent dat het frame de wisselende belastingen tijdens het rijden op kan slaan.

Wielbasis: De wielbasis is naar wens van de klant aan te passen. De lengte hangt af van de werktuigen die de klant onder de MTT wil gaan koppelen. Het koppelen van de werktuigen in het midden van de tractor is dan ook voornamelijk de reden dat de MTT zo lang is. De lengte hangt ook af van de geëiste manoeuvreerbaarheid van de tractor. Het huidige prototype van de MTT heeft een wielbasis van 5,50 meter en heeft hierdoor een minimale draaistraal van 6 meter.



Afb. 5: Het frame van de Multi Tool Trac

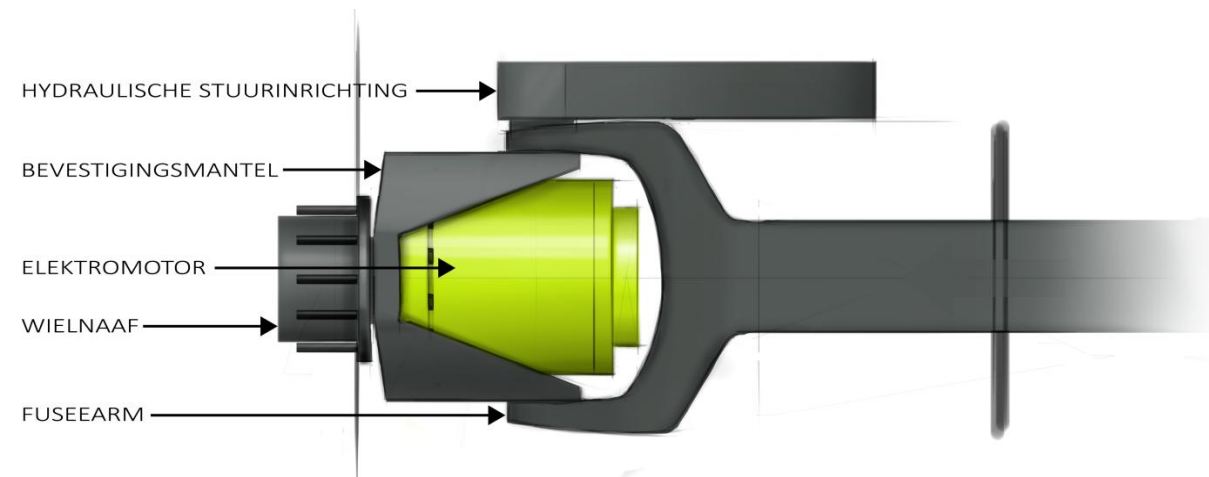
Wielophanging: De spoorbreedte van de MTT heeft verschillende opties. Een vaste spoorbreedte van 2,25 meter tot 4 meter, of een on-the-fly verstelbare spoorbreedte tussen 2,25 – 3,25 meter. Het vergroten van de spoorbreedte zorgt ervoor dat er minder rijpaden nodig zijn. Hoe groter de werkbreedte van de werktuigdrager, hoe minder rijpaden er gebruikt hoeven te worden en hoe meer gewassen de boer kan verbouwen. De spoorbreedte is te verstellen, zodat deze ideaal is voor de boer. Op de weg moet de tractor een kleine spoorbreedte hebben om aan de Nederlandse wet te voldoen. De assen kunnen door het frame schuiven om de spoorbreedte aan te passen. De gebruiker kan de spoorbreedte verstellen door beide voor- en achterwielen naar buiten te laten sturen. Al rijdend zal de spoorbreedte vergroot of verkleint worden. Wanneer de spoorbreedte weer verkleint dient te worden, zullen de voor- en achterwielen naar binnen gestuurd moeten worden. Al rijdend zal de spoorbreedte dan veranderen. De benodigde kracht wordt via vier hydraulische cilinders geleverd. De vooras van de MTT kan pendelen. Dit betekent dat de wielen bij oneffenheden in de weg, omhoog of omlaag kunnen bewegen om de stabiliteit te vergroten. Er wordt in het huidige model geen rekening gehouden met veren en dempers. Verwacht wordt dat de banden en het frame

de vering en demping kunnen opvangen.

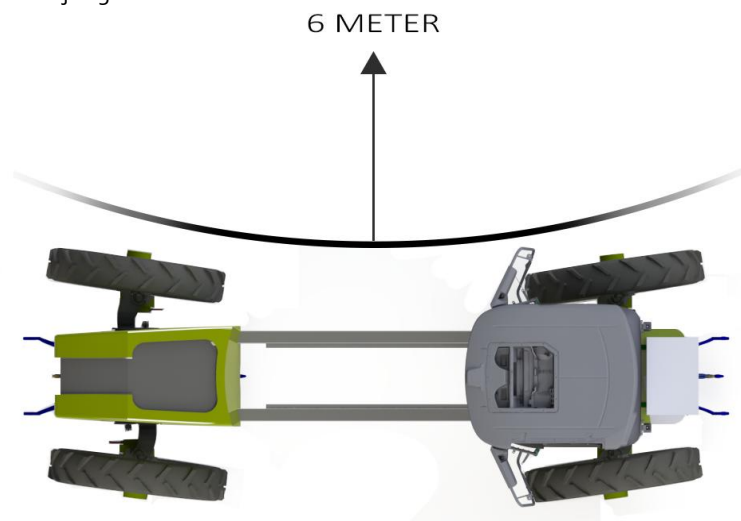
Ook is er additionele demping van de cabine en de stoel om het comfort van de bestuurder te vergroten. Als eis voor het herontwerp wordt gesteld dat alle vier de wielen te allen tijden de grond moeten raken.

Besturing

Stuurinrichting: De besturing van de MTT is volledig elektronisch via CAN-bus, een netwerk van onafhankelijke controllers. CAN-bus zorgt voor een hoge mate van controle en veiligheid. Deze CAN-bus is voorbereid op master-slave en auto-steering. Met de master-slave technologie worden meerdere controllers (de slaves) aangestuurd door een centrale controller (de master). De MTT wordt bestuurd vanuit de cabine. Wanneer de bestuurder het stuur draait wordt via de CAN-bus, de hydraulische stuurinrichting aangestuurd om daarna de wielen te kunnen draaien. De hydraulische stuurinrichting is op de fuseearmen (afb. 6) gemonteerd, aangezien de spoorbreedte variabel is, moest de stuurinrichting wel flexibel blijven. Nu kan er zowel bij een grote als bij een kleine spoorbreedte gestuurd worden. Alle vier de wielen kunnen onafhankelijk van elkaar gestuurd worden, waardoor de draaicirkel voor een grote machine nog redelijk beperkt kan worden gehouden. MTT heeft enorm veel moeite gestoken in de onafhankelijke besturing en deze uniek en kenmerkende feature wil men terugzien in het herontwerp door het grote voordeel dat de draaicirkel sterk gereduceerd kan worden. (afb. 7) De auto steering van de CAN-bus werkt samen met de GPS om de tractor op exact het goede spoor te laten rijden. Ook voor het herontwerp is het belangrijk dat deze vaste sporen kan rijden om het land efficiënter te benutten.



Afb. 6: Stuurinrichting met aandrijving



Afb. 7: Draaistraal Multi Tool Trac

Met behulp van de nauwkeurige RTK-GPS besturing rijdt de MTT altijd over dezelfde banen. Zo blijft de rest van het land onaangetast voor de groei van gewassen. Door de RTK (Real Time Kinematic) satelliet navigatie wordt de nauwkeurigheid van de positie enorm verbeterd door correcties in de signalen uit te voeren. Een contact loze stuurhoeksensor zorgt voor een storingsvrije en nauwkeurige hoekmeting. Een speciaal ontwikkelde 3D elektronische waterpas meet de bewegingen van het voertuig dankzij gyroscopen en sensoren. De verschillende onderdelen communiceren via het beproefde en flexibele CAN-bus systeem, hierdoor is de GPS eenvoudig uit te breiden met een werktuigbesturing.

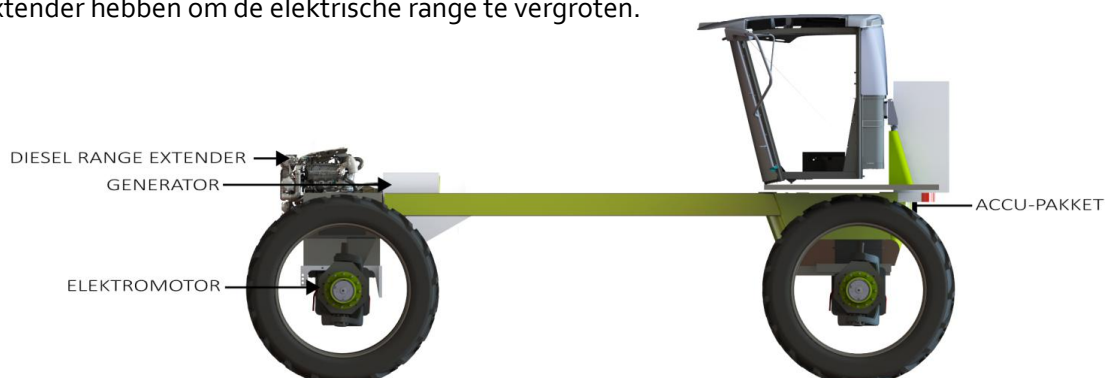
Aandrijving (afb. 8)

Elektromotor: De MTT heeft vier elektromotoren die op de MTT gemonteerd worden. Binnen de naaf wordt de roterende beweging via een planetaire overbrenging overgebracht op het wiel. Ieder wiel wordt onafhankelijk aangedreven door een elektromotor. Dit heeft als voordeel dat het probleem met de verstelbare spoorbreedte wordt opgelost. De MTT rijdt op het land volledig elektrisch en met de elektrische 4-wiel aandrijving is maximale trekkracht onder alle omstandigheden met een joystick soepel en haarfijn te regelen. Door gebruik te maken van elektromotoren is het koppel bijna maximaal bij snelheid nul. 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 soortgelijke interne verbrandingsmotor (Tesla Motors, 2014). De grote elektromotoren produceren ook warmte, daarom is het belangrijk om de motoren goed te koelen voor optimale performance. De MTT maakt gebruik van radiatoren om de elektromotoren te koelen. De elektromotoren van de MTT zijn leverbaar met verschillende vermogens. Het huidige prototype heeft de volgende specificaties: *4x22 kW nominaal en 4x44 kW maximaal*.

Accu-pakket: De functie van de accu is om alle elektrische componenten van stroom voorzien. De accu is één pakket dat onder of achter de cabine wordt geplaatst. Het pakket is in verschillende specificaties beschikbaar. De huidige MTT beschikt over een 30 kWh accu.

Range Extender Dieselmotor

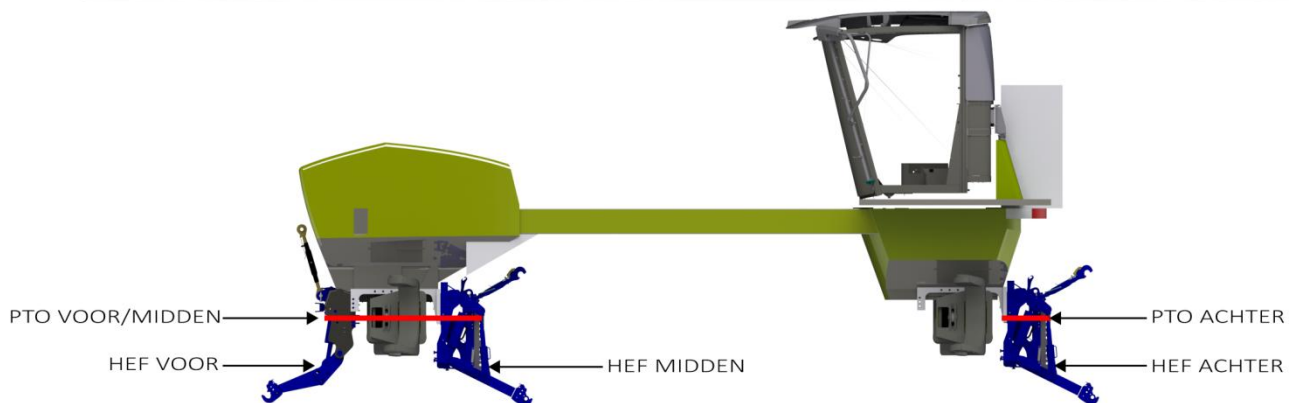
De MTT heeft een diesel range extender motor. De functie van de motor op de MTT is zijn volledige elektrische range te vergroten. De dieselmotor drijft een generator aan die vervolgens de accu of elektromotor van stroom voorziet. Zo kan de boer op het land door blijven werken, zonder zich zorgen te hoeven maken over de accu die er nog beschikbaar is. Wanneer de dieselmotor loopt, is hier net als bij de elektromotoren koeling belangrijk, daarom wordt de dieselmotor ook gekoeld met behulp van radiatoren. Op de MTT zijn dieselmotoren leverbaar met verschillende vermogens, het vermogen van de 6-cilinder motor is 140 kW. Het herontwerp zal net als de MTT een diesel range extender hebben om de elektrische range te vergroten.



Afb. 8: Configuratie van de aandrijving

Hefinrichting

De MTT heeft de mogelijkheid van vijf volwaardige posities om werktuigen en gereedschappen te monteren, waaronder drie hefinrichtingen en aftakassen (aan de voorkant, in het midden en aan de achterkant). Door het unieke lange frame kunnen alle werktuigen in het zicht van de bestuurder worden gehangen. De aftakassen worden aangedreven door aparte elektromotoren die verbonden zijn aan de PTO. De elektromotor voorin drijft de aftakas aan de voorkant en in het midden aan, de achterste aftakas wordt door een andere elektromotor aangedreven. In afb. 9 zijn de hefinrichtingen in het blauw aangegeven. De aftakassen zijn in het rood aangegeven.



Afb. 9: Locatie van de hefinrichting en aftakas

Carrosserie

Plaatwerk: De carrosserie van de Multi Tool Trac (afb.10) heeft als primaire doel het afschermen van de dieselmotor, generator en het accupakket. Deze carrosserie zal ook plaats bieden aan de verlichting op de voor- en achterzijde van de MTT, 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. De secundaire functie van de carrosserie is het vormen van een identiteit en merkbeeld.



Afb. 10: Vormgeving van de carrosserie

Cabine: De cabine wordt op het frame gemonteerd en is traploos verstelbaar over de gehele lengte van het frame. Met behulp van twee elektromotoren en twee tandwielen wordt de cabine via een veranding in het frame naar voor en achter geschoven. Dit levert enkele belangrijke voordelen op voor MTT, zoals het vergroten van het zicht voor de bestuurder. De maximale afmetingen van de cabine zijn 2 meter (lengte) x 1,8 meter (breedte) x 1,8 meter (hoogte).



Afb. 11: De cabine van de Multi Tool Trac

Vormgeving

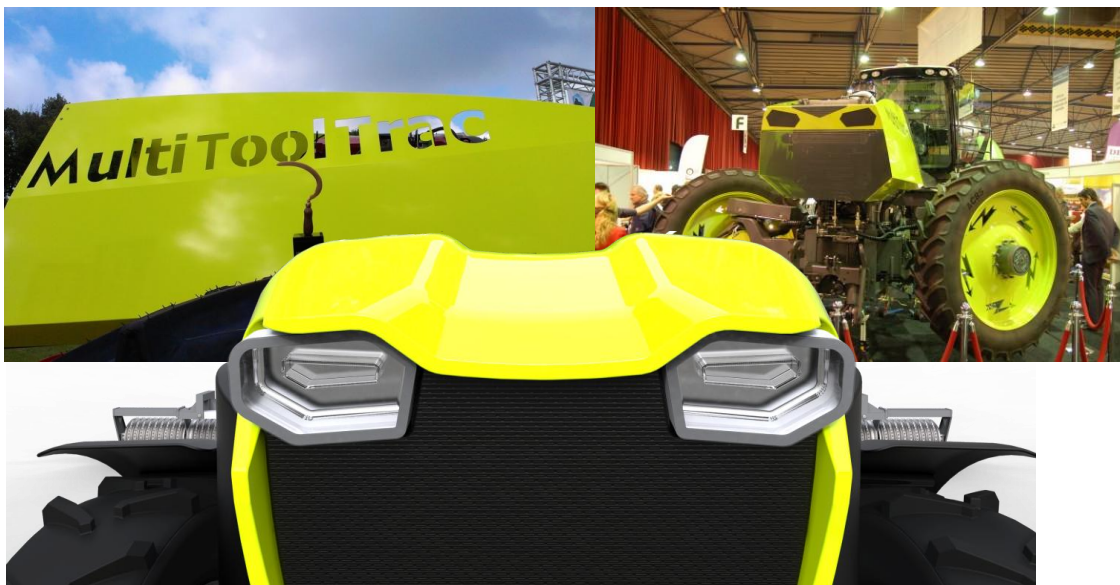
Bij MTT wordt het motto form follows function gehanteerd. Eerst moet het product werken voordat de vormgeving aan bod komt. Op dit moment (april 2015) is het product nog vol in de ontwikkeling en moet het eerste model nog het land op gaan. Er zijn veel inkoopproducten, dus over de vormgeving van deze componenten hoeft en wordt nauwelijks nagedacht. De prijs en functionaliteit van de onderdelen is veel belangrijker. De onderdelen waar nog ontwerpmogelijkheden liggen zijn de kap rond de dieselmotor, de spatborden en een deel van het frame (afb. 12). Het huidige prototype heeft een koetswerk van plaatstaal rond de dieselmotor. Deze verschilt wel van het plaatwerk op de render (afb. 13). Scherpe hoeken en een gemeen ogende voorkant zijn typerend voor het prototype. In de render is daarentegen een hele andere kant van de MTT te zien, door de afgeronde randen komt het geheel een stuk vriendelijker over. Verder wordt de MTT, ondanks dat het een groot voertuig is, behoorlijk smal gehouden door het beperken van plaatstaal gebruik en het open leggen van de techniek (de elektromotoren mogen ook wel gezien worden). De MTT krijgt een eigen gezicht, stoer, maar toch ook vriendelijk.



Afb. 12: Vormgevingsmogelijkheden Multi Tool Trac

Het niet specificeren van de vorm van de carrosserie kan voor de klant voordelen opleveren. De klant kan nu specificeren hoe zijn tractor eruit moet zien, dit brengt een extra dimensie in het custom build idee van MTT. Met plaatstaal is het nog relatief gemakkelijk verschillende onderdelen te maken voor het koetswerk. Een nadeel is dat plaatstaal zwaar en relatief duur is. Kunststof kappen zijn licht en kunnen in grotere oplages voordeel opleveren. Veel dubbel gekromde oppervlakken zullen dus moeilijk te realiseren zijn in het uiteindelijke ontwerp.

MTT zoekt een eigen gezicht. Zij stellen als eis dat de vormkenmerken van de neus van de Multi Tool Trac overgenomen moeten worden in het herontwerp. De naar voren gebogen neus met de strakke afgerond hoeken zijn kenmerkend voor het ontwerp. Ook de kenmerkende lampen vormen het gezicht van de MTT. Belangrijk is dat deze lampen ook te herkennen zijn in het herontwerp. De rest van de onderdelen hebben meer ontwerpvrijheid, maar moeten wel aan een aantal aspecten voldoen.



Afb. 13: Verschillen vormgeving motorkap

Kleurgebruik

In het ontwerp, en op de website zijn drie verschillende kleuren te vinden die vaak terugkomen. De lichtgroene kleur; deze kleur staat voor natuur, veilig, vertrouwd. (Westeneng, T. (2015)) Dit zijn kenmerken waarmee MTT graag geassocieerd wil worden. De natuur staat voor de milieuvriendelijkheid en duurzaamheid, dat aansluit bij het groene werk van de boeren. Veilig en vertrouwd zijn twee kenmerken die je wilt uitstralen naar de klant. Groen is hier een perfecte kleur voor. Daarnaast zorgt groen ook voor een bepaald fris en stralend karakter, dat past bij het innovatieve karakter van MTT.

Het grijs is een hele neutrale kleur die goed matched bij de lichtgroene tint en daarbij de groene tint ook versterkt. Wanneer er een herontwerp of ander concept binnen de familie van de MTT wordt ontworpen is het belangrijk om hier met het kleurgebruik rekening mee te houden, herkenning voor de consument is namelijk erg belangrijk. Zo creëer je naamsbekendheid en worden je producten onthouden.

2.3 De Nederlandse Tuinbouw

In dit hoofdstuk zal de tuinbouwsector geanalyseerd worden. Het is belangrijk om te weten uit wat voor deelgebieden de tuinbouw bestaat, om vervolgens een keuze te maken voor een geschikt deelgebied. Door de keuze kan er specifiekier ontworpen worden voor de doelgroep.

Tuinbouw (Horticulture) is het op commerciële basis op intensieve wijze telen van groenten, fruit, bloemen, planten, bomen, bollen of zaden. Iemand die beroepsmatig bezig is met tuinbouw wordt een tuinder genoemd. In de doelgroep wordt gekozen voor vollegrondstuinbouw, de reden is dat in deze sector nog veelvuldig gebruik wordt gemaakt van tractoren. In tegenstelling tot de glastuinbouw, waar het gebruik van tractoren niet mogelijk is of onmogelijk gemaakt wordt door de kassen. In Nederland waren er in 2014; 9799 vollegrondstuinbouwbedrijven. (CBS 2015)

Bij veel gewassen wordt een zogenaamde beddenteelt toegepast. De bedden zijn van elkaar gescheiden door een smalle strook grond ter breedte van een band. De breedte van het bed hangt af van de spoorbreedte van de machines, maar is standaard 150 cm. Op deze manier kan er met machines over de bedden gereden worden.

Tijdens de teelt wordt het onkruid mechanisch, chemisch of met de hand (wieden) bestreden. Mechanisch wordt het onkruid bestreden met een schoffelmachine of een schoffelgarnituur achter een tractor.

Tuinbouw Sectoren

De vollegrondstuinbouw (outdoor horticulture) bestaat uit een aantal verschillende deelgebieden:

Opengrondsgroentebedrijven (fig. 3):

De vollegronds groenteteelt is het telen van groente voor menselijk consumptie in de vollegrond. Vollegrondsgroentebedrijven zijn in toenemende mate sterk gespecialiseerd op een enkele teelt van een grote beschikbare diversiteit aan gewassen. (komkommers, kolen, wortels, enz.)

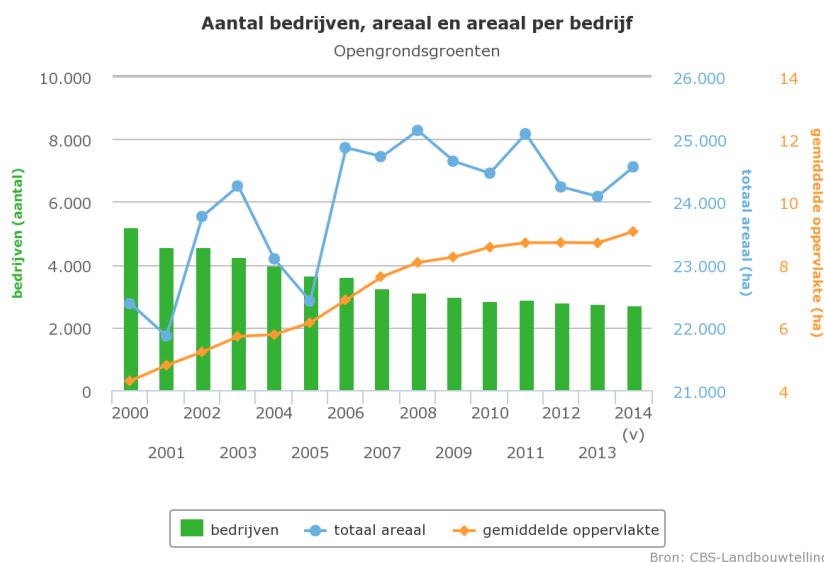


Fig. 5: Areaal Opengrondsgroentebedrijven

Het areaal verse vollegrondsgroenten is in de periode 2000-2006 gestegen van 22.000 tot 25.000 ha en varieert sindsdien tussen 24.000 en 25.000 ha. Het aantal bedrijven met vollegrondsgroenten is van 2000 tot 2014 vrijwel gehalveerd van 5.200 naar 2.700 bedrijven. Hierdoor is de gemiddelde oppervlakte per bedrijf met vollegrondsgroenten ruimschoots verdubbeld, namelijk van 4 naar 9 ha. (Agrimatie.nl)

Bloembollenbedrijven:

Bloementeelt is de tak van tuinbouw die zich bezighoudt met het telen van bolgewassen. Mondiaal gezien zijn er vele soorten bloemen die gekweekt kunnen worden. Meestal is er onderscheid te maken tussen twee verschillende bollen; als voedingsmiddel (ui, knoflook, enz.) en als sier (hyacint, narcis, enz.). (Bollenteelt 2015)

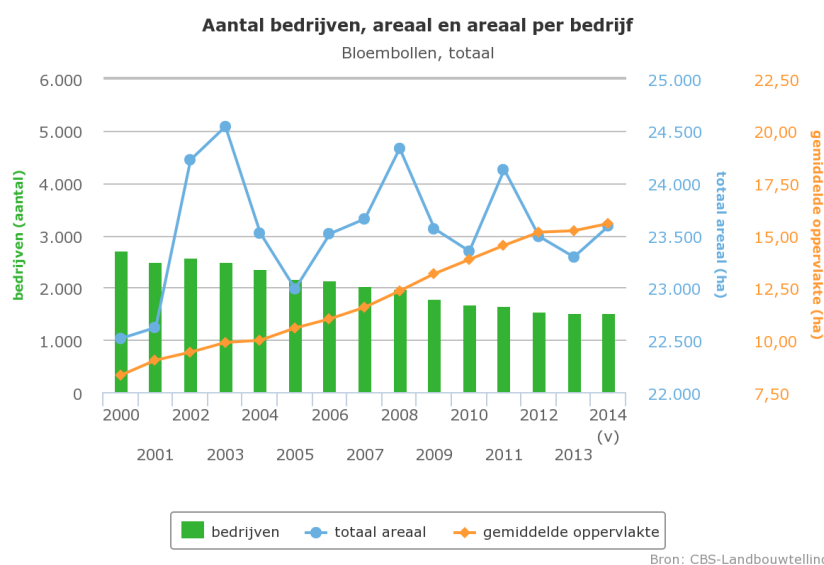


Fig. 6: Areaal Bloembollenbedrijven

Het areaal bloembollen is in 2014 vrijwel onveranderd gebleven op 23.500 ha. In de periode vanaf 2000 is dit areaal überhaupt nauwelijks veranderd. Het aantal bedrijven met bloembollen is in dat tijdvak wel bijna gehalveerd van ongeveer 2.700 naar 1.500 bedrijven. Als gevolg daarvan is de gemiddelde oppervlakte per bedrijf vrijwel verdubbeld van 8 naar 16 ha. (Agrimatie.nl)

Fruitteeltbedrijven:

Fruitteelt is de tak van tuinbouw die zich bezighoudt met het telen van fruit. Mondiaal gezien zijn er vele soorten fruit; onder andere appels, peren, druiven, sinaasappels, bananen. (Fruitteelt 2015)

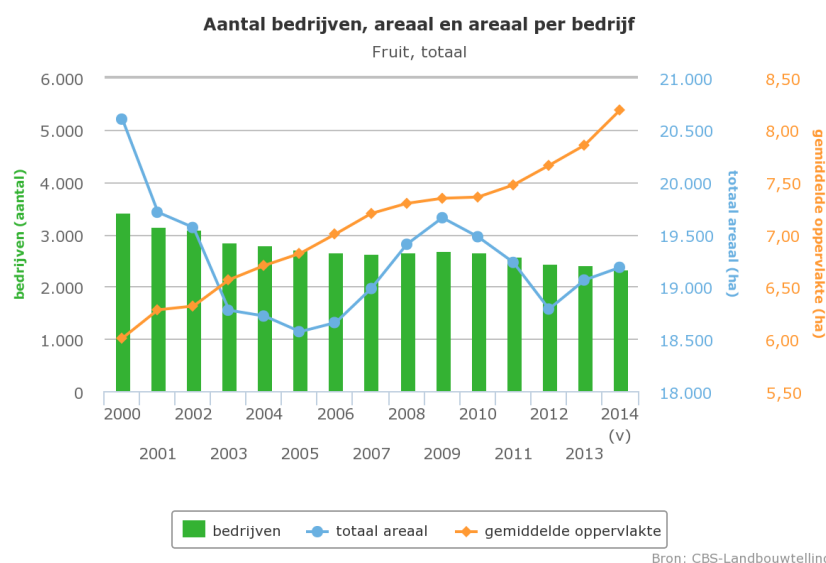


Fig. 7: Areaal Fruittelers

Het fruitareaal groeide in 2014 licht tot 19.200 ha. Met 8.600 ha is peer de meest geteelde vrucht. Het aantal bedrijven dat fruit teelde, daalde in 2014 met bijna 3,5%. Door het stijgende areaal en het dalende aantal bedrijven, nam de gemiddelde bedrijfsomvang toe tot 8 ha. (Agrimatie.nl)

Boomkwekerijen

Boomteelt is de tak van tuinbouw die zich bezighoudt met het telen van houtige gewassen en planten voor tuinen en groenvoorzieningen. De telers, of boomkwekers telen een grote verscheidenheid aan gewassen. (Boomteelt 2015)

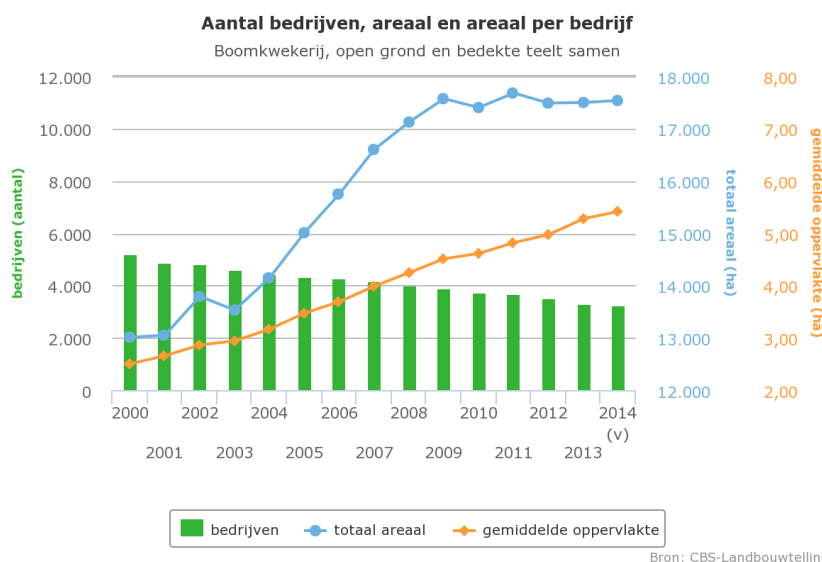


Fig. 8: Areaal Boomkwekerijen

Het areaal is in 2014 nauwelijks veranderd. Het areaal steeg gemiddeld met 0,2% ten opzichte van 2013. Dit gold ook voor het areaal van gespecialiseerde boomkwekerijbedrijven. Het areaal van de boomkwekerij is sinds het jaar 2000 met ruim een derde toegenomen; +37%. Het gemiddeld areaal per bedrijf steeg in 2014 met bijna 3% tot 5,4 hectare per bedrijf (Agrimatie.nl)

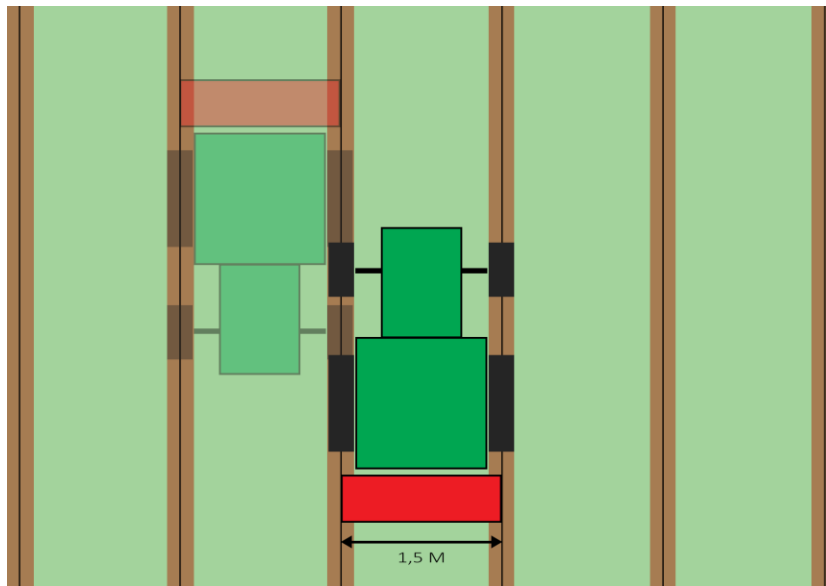
Onbereden beddenteelt in de tuinbouw

Zoals gezegd is de Multi Tool Trac ideaal om akkers te bewerken op vaste rijpaden (zogenaamde onbereden beddenteelt (OBT), of controlled traffic farming (CTF) met deze vaste rijpaden is een groot gedeelte van het land, vaak meer dan 80% onbereden. Dit brengt vele voordelen met zich mee. Zo is deze onbereden beddenteelt goed voor de grond en de gewassen, helpt het de omgeving (duurzamer) en reduceert het de productiekosten. Ondanks de grote voordelen, is er een groot nadeel voor de tuinders: de techniek van de OBT is nauwelijks ontwikkeld en menig tuinder heeft geen behoefte aan zelfbouw, daarnaast is de aanschaf erg duur voor deze markt. Toch begint OBT in de tuinbouw meer interesse te wekken. Dit komt omdat de gebruikte technieken zoals GPS-rtk, steeds goedkoper worden en het blijkt uit onderzoek dat de OBT zich in de loop van de tijd uitbetaald. (BioKennis Bericht. 2012)

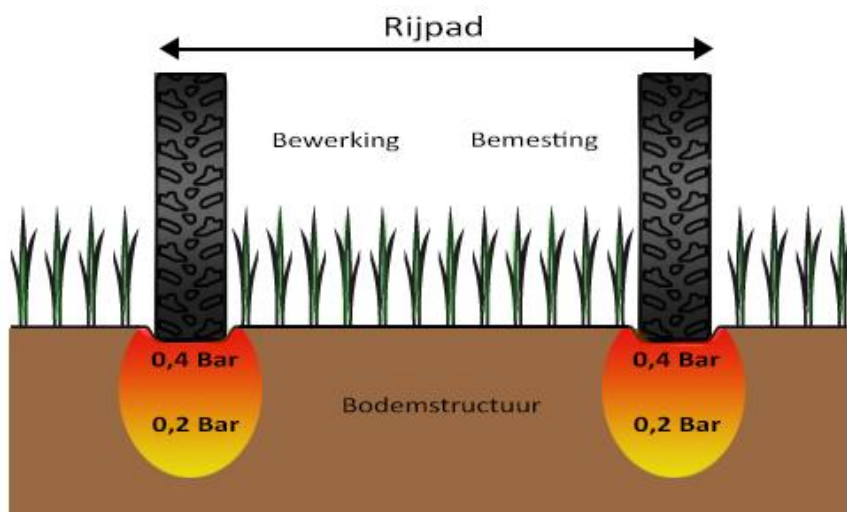
Na het planten of zaaien is het vaak nog nodig om 3 à 8 keer door het gewas te rijden voor de mechanische onkruidbestrijding. Als de rijen recht zijn en strak op elkaar zitten, is de onkruidbestrijding beter uitvoerbaar en goedkoper. Planten of zaaien met RTK-GPS maakt dit mogelijk en vergemakkelijkt het uitvoeren van OBT. Onbereden beddenteelt brengt veel voordelen met zich mee, zo blijkt uit onderzoek: een betere bodemstructuur, soms forse opbrengstverhogingen, meer werkbare dagen, minder onkruid en meer beschikbare mineralen.

Daarnaast geeft de praktijkervaring nog andere voordelen aan: het zaai- of plantbed is egalier, de kwaliteit van zaaien en planten kan omhoog, waardoor de gewassen gelijkmatiger groeien. (BioKennis Bericht. (2009))

Voor vaste rijpaden zijn niet altijd grote aanpassingen noodzakelijk. Een goede standaard is belangrijk. Deze wordt bepaald door de vaste spoorbreedte van de trekker. De werktuigen en teeltsystemen worden vervolgens allemaal op deze standaard aangepast. De spoorbreedte van de tractoren kan variëren van 1,5 m tot breder dan 3 m. Brede rijpaden geven extra kosten voor het verbreden van de trekker, maar zijn ook voordelig omdat vrijwel alle gewassen relatief goedkoop op 3 meter te mechaniseren zijn. In de tuinbouw wordt vaak gebruikt gemaakt van kleinere spoorbreedtes tussen de 1,5 en 2 meter (afb. 14). (BioKennis Bericht. (2009)) De breedte van de sporen is ook erg belangrijk. Twee bepalende factoren zijn de bodemdruk (afb. 15) en de beschikbare ruimte tussen gewassen. De rijpaden zijn het liefst zo smal als mogelijk, maar vanwege bodemdruk begrenst. Het bepalen van de breedte van de band is erg afhankelijk van het gewas, maar Biokennis Bericht (2009) meldt dat een breedte van 320 mm echt een maximum is voor de banden om de meeste gewassen die op 1,5 m staan niet te beschadigen. Het herontwerp van de MTT moet ook worden voorbereid op RTK-GPS, de onbereden beddenteelt vereist precisie, die vaak alleen met GPS behaald kan worden.



Afb. 14: Rijpaden Tuinbouw



Afb. 15: Bodemdruk Onbereden Beddenteelt

Waarom voldoet de Multi Tool Trac niet aan de eisen voor tuinbouw?

De MTT is niet geschikt voor de tuinbouw, omdat de tractor te groot is. De grootte van de tractor hangt heel erg af van hoe het land eruit ziet. Om alleen gras te maaien op een klein, vlak grasveld is een zitmaaier al voldoende. Wanneer er geploegd, gezaaid, of andere meer intensieve werkzaamheden moeten worden uitgevoerd is een krachtigere machine nodig. De MTT richt zich op de hele zware werkzaamheden op een heel groot stuk land. Hierdoor is er voor gekozen de wielbasis en de spoorbreedte heel groot te maken. Ondanks dat de spoorbreedte van de MTT te verstellen is, is de spoorbreedte veel te breed om door deze kleine ruimte te manoeuvreren. Ook de grotere wielbasis draagt niet bij aan de manoeuvreerbaarheid, de draaicirkel wordt alleen maar groter. Dit is in de tuinbouw zeker niet wenselijk, aangezien aan de kop van het land een hele scherpe draai moet plaatsvinden om het land zo efficiënt mogelijk te gebruiken. In afb. 16 is een vergelijking gegeven tussen de MTT en een compacte tractor die geschikt is voor de tuinbouw. Het is duidelijk te zien dat deze tractor ongeveer 50% kleiner is dan de MTT, wat de wendbaarheid vergroot.

Doordat de machine groot is, wordt hij bijna automatisch ook heel zwaar. Een zware machine is niet geschikt voor het land, omdat er eerder verdichting optreedt, iets dat met onbereden beddenteelt minder uit maakt, maar nog steeds veel invloed heeft. Daarnaast heeft het grote gewicht ook invloed op het vermogen van de tractor. Dit vermogen is voor de tuinbouw veel te hoog en zal tot een machine met teveel vermogen leiden. De werktuigen die in de branche van de tuinbouw worden gebruikt zijn veel kleiner dan de werktuigen waar de MTT zich op richt. Een grote machine voor de kleine werktuigen in de tuinbouw is overbodig. Zo komt ook de vraag omhoog of een hefinrichting op drie plekken niet teveel is voor de tuinders, door de drie hefinrichtingen wordt de tractor ook weer groter.

De MTT is een heavy-duty machine. Dit betekent dat de complexiteit, het onderhoud en de aanschafprijs vaak hoger zijn. Voornamelijk de aanschafprijs is voor deze markt belangrijk. De MTT is ten opzichte van zijn concurrenten natuurlijk duurder. Daarnaast beheren de tuinders relatief kleine bedrijven ten opzichte van de afzetmarkt van de MTT. De omzet van de tuinbouwbedrijven is vaak een heel stuk lager dan de grote akkerbouw, de vraag is dus ook of de aanschaf van de enorme MTT op dit kleine gebied wel rendabel is.



Afb. 16: Multi Tool Trac vs. Compact Tractors

Conclusie Afzetmarkt

Uit de voorgaande analyse wordt het duidelijk hoe de tuinbouwindustrie in elkaar zit en waarom er op bepaalde aspecten gefocust wordt. De vollegrondstuinbouw is interessant, aangezien hier nog minder automatisering plaatsvindt. Tractoren en zeker duurzame tractoren, die het bedrijf misschien een stap verder kunnen brengen, zijn in deze markt meer in trek. Elektrische boerderijvoertuigen wekken ook steeds meer de interesse van de agrarische industrie volgens een recent artikel in Resource Magazine, een officiële publicatie van de *American Society of Agricultural and Biological Engineers*. Daarnaast wordt ook de onbereden beddenteelt steeds populairder door de verhoogde efficiëntie. Geavanceerde tuinbouwtractoren met RTK-GPS zijn er nog niet veel, en ook het inbouwen van deze techniek is niet altijd gemakkelijk. Doordat de efficiëntie voor de tuinders enorm toeneemt wordt in dit verslag ook gefocust op de tuinders die gebruik maken van onbereden beddenteelt.

Onbereden beddenteelt wordt voornamelijk gebruikt in de vollegrondsgroententuinbouw. Hier wordt in dit project dan ook op gericht. De fruittelers en bollenkwekerijen werken op een heel andere manier en met hele andere materialen aan hun landbouwproduct, omdat de verschillen in werkzaamheden zo groot zijn in deze sectoren wordt er voor één sector gekozen.

Ook wordt na de analyse van de markt duidelijk waarom de Multi Tool Trac niet voldoet aan de eisen van de tuinbouw. De werktuigdrager is veel te groot om in de tuinbouwsector te kunnen gebruiken. Dit betekent dat de Multi Tool Trac terug geschaald moet worden naar de eisen van de tuinbouw. Deze eisen zullen in de volgende hoofdstukken behandeld worden.

2.4 De doelgroep

Na de keuze van de het deelgebied in de tuinbouwsector kan er meer gericht worden op de doelgroep. Dit is gedaan door een vragenlijst op te stellen en deze voor te leggen aan de doelgroep. Zo wordt het duidelijk hoe de bedrijven eruit zien, wat voor werkzaamheden er worden uitgevoerd en waarmee deze werkzaamheden worden uitgevoerd.

Kenmerken

De doelgroep/afzetmarkt is kort te beschrijven als een groep tuinders/boeren werkzaam in de vollegrondstuinbouw (afb. 17), waarbij zij gebruik maken van het eerder genoemde onbereden beddenteelt. Er worden fruit, groenten, bollen en bomen op een relatief grote schaal ten opzichte van andere tuinders verbouwd. Het areaal van deze doelgroep verschilt van circa 2 ha tot 10 ha, met uitschieters in de bloembollenkwekerij, waar percelen van circa. 16 ha voorkomen. De focus ligt in deze opdracht op de vollegrondsgroententeelt. Een sector waar het meest gebruik wordt gemaakt van onbereden beddenteelt (Biokennis). Deze groep bestaat in Nederland uit 2713 bedrijven (CBS 2015) die wellicht interessant kunnen zijn voor Multi Tool Trac. De markt van de compacte tractoren is helaas wel erg stug in Nederland. De verkopen van compacts bedroeg vorig jaar in het totaal 76. (Fedecom 2015) Hierbij kan er ook nog van uit worden gegaan dat een gedeelte van de landbouw en smalspoortractoren ook is aangeschaft door deze groep. Nu is Nederland geen kernmarkt voor Europa. Duitsland, Frankrijk, Verenigd Koninkrijk en Italië zijn de kernmarkten voor Europa en vormen een interessante afzetmarkt.

De doelgroep maakt gebruik van zeer multifunctionele compacte tractoren of werktuigdragers. De tractoren zijn klein, omdat de stukken land in vergelijking met de akkerbouw veel kleiner zijn. Door de onbereden beddenteelt is een spoorbreedte van 1,5 m vaak een standaard, maar ook spoorbreedtes tot 3 meter zijn mogelijk. De tuinbouw is een heel intensieve sector met veel werkzaamheden. Boeren zijn vaak wel 6 uur per dag werkzaam op het land.

In dit project zal de focus op de kleine werktuigdragers liggen. De opdrachtgever heeft als eis aangegeven, dat er voor de oplossing in de richting werktuigdragers gekeken moet worden. Dit past beter bij de Multi Tool Trac "Familie". Ook heeft Multi Tool Trac B.V. veel ervaring in het bouwen van een werktuigdrager. In de concurrentie analyse zal verder worden ingegaan op de werktuigdragers en ook worden de compacte tractoren gebruikt als referentie. Om meer informatie en feedback van de doelgroep te krijgen is een vragenlijst opgesteld (te zien in [Bijlage C](#)). Met behulp van de antwoorden op deze vragen wordt het programma van eisen opgesteld.



Afb. 17: Tuinders aan het werk

De vaste eisen zoals afmetingen, gewicht en vermogen waren bij de ondervraagde boeren lastig vast te stellen. Er zaten namelijk ook boeren tussen die nauwelijks of geen gebruik maken van tractoren. Belangrijker waren de aandachtspunten die zij belangrijk vonden en de minpunten van hun eigen voertuigen. De belangrijkste punten die zij noemden waren; de tractor moet stil en milieuvriendelijk zijn om communicatie op het land te bevorderen en brandstof te besparen. Ook werd de cabine niet als nodig gezien. Veel boeren werken niet op het land met heel slecht weer. Het gewicht speelt ook een belangrijke rol. De doelgroep is op zoek naar lichte en duurzame tractoren. De wendbaarheid werd, door de compacte akkers, ook als erg belangrijk beschouwd. Ook noemden zij de belangrijkste werkzaamheden binnen hun bedrijf. Deze zijn opgenomen in de volgende paragraaf. Door een analyse te doen naar de werktuigen die gebruikt worden tijdens deze werkzaamheden kan een schatting worden gemaakt van het hefvermogen.

Werkzaamheden

In de vollegrondstuinbouw vinden vele werkzaamheden plaats. Zo moet het land voorbereidt worden op het zaaien. Daarna moet het land gezaaid worden en zal de verzorging plaatsvinden door het bevochtigen en voeden van de planten. Pesticiden moeten ook bestreden worden. Na een periode van groei zal de oogst plaatsvinden. Al deze werkzaamheden zorgen ervoor dat de doelgroep een multifunctionele tractor gebruikt. Hierbij moet ook vermeld worden dat de tractor compact moet zijn om aan te sluiten bij de kleinere tuinbouwbedrijven. Voor al deze werkzaamheden zijn ook werktuigen nodig. De tractor wordt gebruikt om werktuigen zonder eigen aandrijving te duwen, trekken of slepen. 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. Het werktuig kan vervolgens hydraulisch in hoogte worden versteld. De aandrijving van werktuigen geschiedt door middel van de aftakas. Door middel van een cardanverbinding kan er vermogen overgebracht worden van tractor naar het werktuig. 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. Dit is slechts een klein deel van de mogelijkheden die deze tractor kan bieden. In de tabel hieronder is een opsomming gegeven van de verschillende bewerkingen en de verschillende mogelijke werktuigen die door de ondervraagde boeren genoemd werden.

Bewerkingen (Duijndam-Machines, 2015):

- **Grondbewerking (afb. 18);** voordat een tuinder kan beginnen is het belangrijk om de grond eerst voor te bewerken. De primaire grondbewerkers leveren het zwaarste werk op door de diepe werkdiepte. Verschillende werktuigen die door de doelgroep gebruikt worden zijn:
 - I. Schoffelmachines
 - II. Freesmachines
 - III. Wiedeg/Schijfeg
 - IV. Cultivator
- **Zaaien;** het zaaien is het door de mens in de grond brengen van zaden. Dit kan mechanisch of met de hand gebeuren.
 - I. Zaaimachines

- **Planten;** het planten is het door de mens in de grond brengen van planten of bloemen om deze te laten groeien. Dit kan mechanisch of met de hand gebeuren.
 - I. Plantmachines
- **Gewasbescherming;** is het nemen van maatregelen om de normale ontwikkeling van een gewas te waarborgen. Hierbij gaat het vaak om het bestrijden van niet gewenste plantengroei en plantenziekten.
 - I. Wiedeg/Schijfeg
 - II. Schoffel
 - III. Cultivator
- **Oogsten;** is het binnenhalen van landbouwproducten, die gezaaid of geplant zijn. Ook het plukken van vruchten behoort tot het oogsten.
- **Wassen;** is het spoelen van de oogst om ziektekiemen, bestrijdingsmiddelen en vuil van het landbouwproduct te verwijderen.
- **Sorteren;** het sorteren van het landbouwproduct op bijvoorbeeld: kleur, formaat of gewicht.
- **Verpakken;** is het landbouwproduct voorbereiden op transport en verkoop door het inpakken van de gesorteerde landbouwproducten in dozen, bakjes, folie, etc.
- **Transport;** het transporteren van het landbouwproduct van de locatie A naar locatie B op het bedrijf



Afb. 18: Grondbewerkingswerktuigen, links cultivator, rechts schijveneg

Er is een opsomming gemaakt van de verschillende werktuigen die genoemd werden door de ondervraagde boeren. Door de analyse kan er een schatting worden gemaakt van het benodigde vermogen voor de machines, het hefvermogen van de tractor en het type PTO.

Allereerst het hefvermogen. Alle onderzochte werktuigen wegen minder dan 1000 kg en worden voor het grootste gedeelte aan de achterhef gekoppeld. Een achterhef met een hefvermogen van minimaal 1000 kg zal ook het moment van de meeste gekoppelde werktuigen op kunnen vangen. Bij de middenhef kan het moment misschien verkleint worden. Wel moeten dezelfde werktuigen ook aan de middenhef gekoppeld kunnen worden, daarom moet ook de middenhef een hefvermogen van ca. 1000 kg hebben. De fronthef wordt vaak gebruikt voor lichtere werktuigen en heeft daarom minder hefvermogen nodig.

Het grootste gedeelte van de werktuigen worden aangedreven door een PTO met 540 rpm. Dit is standaard te leveren in het herontwerp. Er zijn ook werktuigen die snellere toerentallen nodig hebben, de klanten kunnen deze optie aangeven.

Conclusie Doelgroep

De machine zal voornamelijk gebouwd worden om licht schoffelpwerk te gaan doen. Dit betekent dat de werktuigdrager grondbewerking als voornaamste functie heeft. Nu is grondbewerking ook de functie waar het meeste vermogen/trekkracht voor nodig is. Aan de hand van de werkzaamheden en werktuigen die de werktuigdrager gebruikt kan er een schatting van het benodigde vermogen en trekkracht gemaakt worden.

Uit de interviews met Multi Tool Trac en de tuinders zijn key drivers opgesteld. De key drivers zijn de punten waaraan de stakeholders het meeste waarde hechten. In het ontwerpproces is het belangrijk om deze key drivers mee te nemen. Dit wordt gedaan door verschillende ontwerp mogelijkheden te toetsen op punten zoals modulariteit en kosten. Het doel is om met deze key drivers een ontwerp te krijgen dat nog beter aansluit bij de doelgroep.

Key Drivers

1. **Modulariteit;** *de gekozen componenten moet geschikt zijn voor modulaire opbouw. Dit betekent makkelijke schaling en inbouw binnen vastgestelde grenzen.*
2. **Geluidsproductie;** *het geluidsoverlast van de tractor moet beperkt worden om communicatie te bevorderen en gezondheid te verbeteren.*
3. **Brandstofverbruik;** *het brandstofverbruik is één van de grootste kostenposten van de boeren. Energiezuinige motoren, elektronische aandrijving en een laag gewicht zijn nodig om het brandstofverbruik te verminderen.*
4. **Kosten;** *de tuinders kunnen niet veel geld investeren in een nieuwe tractor. Door de kosten laag te houden blijft het product interessant voor de doelgroep.*
5. **Wendbaarheid;** *De kleine ruimte die de tractor heeft bij de tuinbouwbedrijven zorgt ervoor dat de wendbaarheid veel aandacht moet krijgen.*

2.5 Concurrentieanalyse

In deze analyse wordt rekening gehouden met verschillende soorten tractoren en werktuigdragers die geschikt zijn voor de tuinbouw in de afzetmarkt. De concurrentie vormt de basis voor de specificaties van het herontwerp van de Multi Tool Trac. MTT wil zich met het herontwerp vooral gaan focussen op de kleine werktuigdragers. Deze kleine multifunctionele machines, zijn zeer geschikt voor de vele intensieve arbeid die geleverd moet worden in de tuinbouw. Multi Tool Trac heeft een aantal fabrikanten van werktuigdragers, met wie zij zich graag zouden willen vergelijken of mee willen "concurreren". Fabrikanten van werktuigdragers die voor MTT interessant zijn, zijn: Mazotti, Bärtschi-Fobro en Rath Maschinen (afb. 19). Enkele modellen zullen in deze analyse uitgebreid aan bod komen.



Afb. 19: Links: Mazotti, Midden: Bärtschi-Fobro, Rechts: Rath Maschinen

Werktuigdragers zijn uiterst nuttige machines, maar ze worden zeker niet overal gebruikt. Veel tuinders maken ook gebruik van de zogenoemde compacte tractoren (afb. 20). Deze kleinere en lichtere tractoren zijn uiterst nuttig voor de werkzaamheden die tuinders uit moeten voeren. Er zijn vele fabrikanten van compacte tractoren. In deze analyse zullen enkele van de grootste fabrikanten uitgelicht worden.

Uit cijfers van de verkopen in Europa in 2013 blijkt dat in zes van de achttien onderzochte landen John Deere dan wel New Holland het grootste marktaandeel had. John Deere en New Holland verdelen de meeste tweede plaatsen. Fendt behaalde in Duitsland de tweede plaats terwijl Massey Ferguson in Noorwegen de nummer twee was. CNHI (Case IH, New Holland, Steyr) is als concern op de vijf grootste markten net iets groter dan Deere & Company. Agco volgt met de merken Massey Ferguson, Fendt en Valtra het bedrijf uit Illinois op de voet. (Boerderij.nl. (2013)) Kleinere ondernemingen zijn het Italiaans-Duitse Same Deutz Fahr, Claas, Kubota en de Italiaanse onderneming Argo, bekend van Landini en McCormick. De merken die in deze analyse aan bod komen zijn; John Deere, New Holland, Deutz-Fahr en Fendt. Uit deze cijfers zijn de verkopen van alle tractoren die het merk aanbied meegenomen. De markt van de compacte tractoren heeft nog enkele andere belangrijke spelers zoals; Kubota en Shibaura.



Afb. 20: Links: New Holland, Midden: Kubota, Rechts: John Deere

De focus in deze analyse zal op enkele belangrijke specificaties van de concurrentie liggen.

In een geheime bijlage zijn de verschillende tractorfabrikanten weergegeven met deze belangrijke specificaties. Van de verschillende tractorfabrikanten zijn compacte tractoren uitgezocht. Deze compacte tractoren met hun specificaties zijn in de tabellen opgenomen. In de tekst worden andere belangrijke aspecten van het ontwerp aangestipt die niet in de tabellen weergegeven kunnen worden, en ook de conclusie van de specificaties in de tabellen wordt per onderdeel uitgelicht. Uiteindelijk geeft deze analyse een beeld van de specificaties die het herontwerp van de MTT moet hebben.

1. Motor

Het vermogen of de motor van de tractor is het misschien wel één van de belangrijkste aspecten voor de boer. Met dit vermogen moet de tractor zich voortbewegen, en ook de werktuigen aandrijven. Het echte vermogen van de tractor wordt dus pas zichtbaar op het moment dat er werktuigen aangedreven moeten worden via de aftakas en/of dat er zware lasten getrokken moeten worden. De boer kan dan het vermogen verdelen over de wielen en de aftakas. Meer vermogen naar de aftakas (het is belangrijk deze op toeren te houden), betekent minder vermogen op de wielen en dus een lagere rijsnelheid. De vermogens die de fabrikant aangeeft op hun website of brochures zijn 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, maar genoeg vermogen is een vereiste. Naast het vermogen is ook het koppel van de tractoren erg belangrijk. Niet alleen om de tractor met zware werktuigen in beweging te krijgen, maar ook daadwerkelijk de werktuigen aan te drijven.

De aandrijving van alle onderzochte tractoren is een 3 of 4-cilinder dieselmotor. Hybride of volledig elektrische tractoren zijn eigenlijk niet te vinden in deze markt. De dieselmotoren hebben specifieke eigenschappen die geschikt zijn voor de arbeid die een tractor uitvoert. De brandstofprijzen voor de boeren zijn sinds de afschaffing van rode diesel enorm gestegen. De brandstofprijs maakt circa. 50% uit van de total cost of ownership. (Boerderij.nl 2012) Het wordt dus door de hoge kosten steeds minder aantrekkelijk om een tractor met dieselmotor aan te schaffen. Uit de analyse blijkt dat fuel efficiency een steeds belangrijker onderdeel wordt voor de boeren en de tractorfabrikanten.

De geluidsproductie van dieselmotoren is ook erg belangrijk. Er zijn al vele onderzoeken geweest die uitwijzen dat tractoren die teveel lawaai maken schadelijk kunnen zijn voor het gehoor van de bestuurder. Door dagelijks een aantal uur gebruik te maken van de tractor is gehoorschade al zo opgelopen. Daarnaast blijkt uit de doelgroepanalyse dat de bestuurders wensen dat hun geluidsproductie gereduceerd wordt. Dit om communicatie te bevorderen en gehoorbeschadiging te voorkomen. Een limiet van 86 dB wordt hierbij gesteld als maximale geluidsproductie van de tractor, in welke situatie dan ook. <https://osha.europa.eu/en/sector/agriculture/noise>

De concurrentie biedt een grote variëteit aan motoren. De kleinste fabrikanten zoals Kubota en Shibaura leveren motoren vanaf 16 kW tot ongeveer 30 kW. New Holland levert met zijn kleine modellen, nog relatief grote tractoren voor deze markt, een vermogen van 48 – 78 kW. De tractoren van New Holland zijn vergeleken met Fendt wat lichter. Fendt en Deutz produceren een serie zware tractoren met relatief veel vermogen, specifiek gericht op de fruitteelt. John Deere en ook Deutz produceren een grote variatie aan compacte tractoren met veel verschillende vermogens. De vermogens liggen tussen de (17,8 – 55 kW).

De concurrerende werktuigdragers hebben een vermogen van 33 kW of 44 kW, deze getallen komen ook bij de compacte tractoren meerdere malen voor. Een duidelijk stijgende lijn in vermogen wanneer het gewicht en de afmetingen toenemen is zichtbaar. Deze trend is geplot in de grafiek hieronder. Hier zijn de kg/kW-verhoudingen van de verschillende tractoren weergegeven. Daaruit volgt ook een gemiddelde kg/kW-verhouding van 44,5 kg/kW. Dit getal is een indicatie voor het benodigde vermogen bij een bepaald gewicht.

De tractoren zijn allen uitgerust met een elektronische motorregeleenheid, waarmee de bestuurder de motorsnelheid kan instellen en opslaan; de elektronische regeleenheid zorgt er vervolgens voor dat de waarde in elke situatie constant blijft, ook wanneer de belasting varieert, zodat de prestaties altijd hetzelfde blijven.

Een gemiddeld vermogen van 44,5 kW komt uit de analyse van verschillende tractoren (fig. 9). De werktuigdragers zijn leidend voor de eisen van het herontwerp. Hieruit kan de conclusie getrokken worden dat een range van 35 tot 45 kW voor deze doelgroep voldoende moet zijn. De grotere en veel zwaardere tractoren zijn vaak de modellen met veel vermogen (> 50 kW). De kleine tractoren die meer in de afzetmarkt passen hebben allen een vermogen die in de buurt van deze range valt. Er wordt in tegenstelling tot de concurrenten gekozen voor elektromotoren. Dit is gedaan, omdat zij kenmerkend zijn voor het duurzame/milieuvriendelijke karakter van de tractor. MTT heeft veel moeite gestopt in de basis van de elektrische aandrijving en besturing met CAN-bus, dit is dan ook de reden dat er voor onafhankelijke bestuurbare elektromotoren wordt gekozen in het herontwerp. Wel moeten de motoren samen een vergelijkbaar vermogen kunnen leveren.

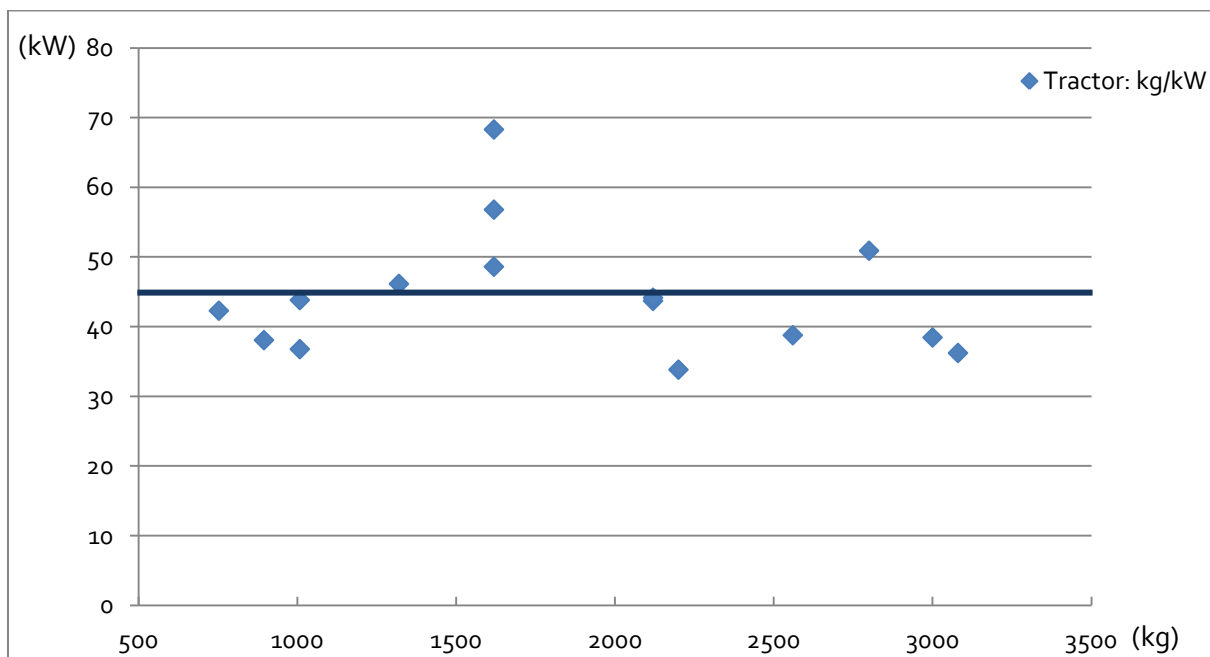


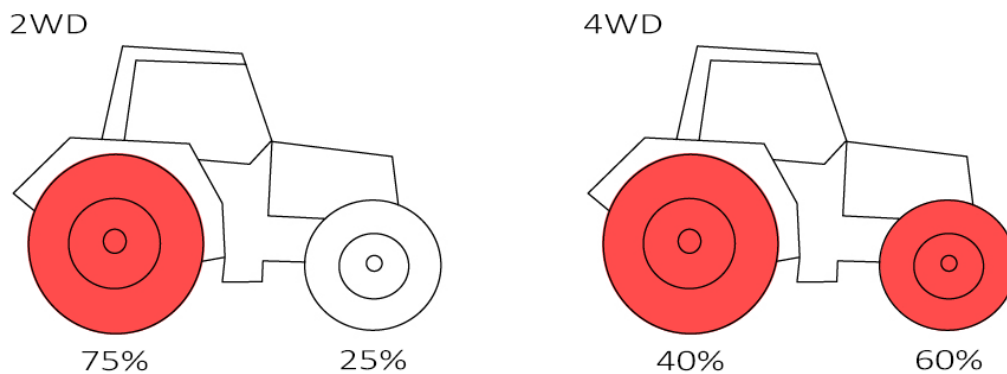
Fig. 9: Gemiddelde kg/kW-verhouding concurrenten.

Het koppel van de meeste tractoren ligt in deze analyse ronde de 300 Nm. $\pm$ 20 Nm. bij circa 1700 toeren per minuut. Dit is het koppel van de motor zelf. Er gaat nog een deel verloren, voordat het daadwerkelijke koppel op de wielen wordt overgebracht. De elektromotoren zijn veel efficiënter (Internal Combustion Engine 2015) en zullen met een gezamenlijk vermogen van 300 Nm. voldoende koppel hebben om de tractor en de werktuigen in beweging te brengen.

2. Massa

De massa vormt een belangrijk onderdeel voor de tractor. Het gewicht heeft grote invloed op verdichting van de grond, de veiligheid, stabiliteit en levensduur van de aandrijving en de banden van de tractor. Over het algemeen geldt; hoe meer massa hoe beter de tractie, maar de massa mag niet te hoog worden aangezien de motor dan teveel vermogen moet leveren om de tractor voor te drijven. Het leveren van meer vermogen gaat gepaard met onnodig brandstofverbruik. Ook de aandrijving krijgt het zwaarder te verduren met een zware tractor. Een tractor te licht maken heeft veel effect op het slippen van de wielen. Wanneer de wielen slippen gaat er ook onnodig veel brandstof verloren. Een ander aandachtspunt waarom de massa niet te hoog mag worden is verdichting van de bodem. De verdrukking van de grond moet beperkt worden om de groei van gewassen te bevorderen.

De assen van de tractoren moeten genoeg gewicht dragen om te kunnen sturen en stabiliteit te geven. De 4WD tractoren zouden meer ballast op de vooras moeten hebben. Een gewenste gewichtsverdeling van 60% (voor) en 40% (achter) is hiervoor aangeraden (afb. 21). (Grisso, R. & Helsel, Z. R. (2012, april))



Afb. 21: Gewichtsverdeling 2WD en 4WD

Het gewicht van de concurrenten verschilt, net als het motorvermogen, heel erg. De hele compacte tractoren van Kubota, Shibaura en John Deere wegen zelfs minder dan 1000 kg. Ook is er een hele groep tractoren van deze drie merken die tussen de 1000 en 1500 kg wegen. Deze compacte tractoren zijn vaak voorzien van een cabine die het gewicht aanzienlijk zwaarder maakt. De iets grotere tractoren van bijvoorbeeld New Holland of Fendt wegen tussen de 2000 en 3000 kg. In bijna alle gevallen zit bij deze grotere tractoren het grote gewicht van de cabine er bij in (ca. 300 kg).

Het gewicht van de werktuigdragers varieert van 2000 – 2500 kg. Dit komt ongeveer overeen met de iets grotere compacte tractoren van New Holland en Fendt die in de analyse onderzocht zijn. De werktuigdragers zijn ook hier weer bepalend voor het gewicht van de tractor. De analyse geeft aan dat het gewicht boven de 2000 kg zal liggen en dat het maximum rond de 2500 kg zal liggen. Het gewicht geeft in het herontwerp een schatting voor het benodigde vermogen en het totale hefvermogen van de tractoren. Belangrijk is om de tractor niet te licht te maken. De zware werkzaamheden kunnen vaak niet door een hele lichte tractor gedaan worden. Als eis wordt daarom gesteld dat de werktuigdrager maximaal 2800 kg mag wegen.

3. Afmetingen

Voor de compacte utility tractors is formaat erg belangrijk. De tractor moet de werktuigen kunnen dragen, maar toch compact blijven om zijn wendbaarheid te vergroten. Belangrijke afmetingen zijn de lengte, breedte en hoogte en de bodemspeling (afb. 22). De lengte van de tractor is belangrijk voor de plaatsing van het aantal werktuigen en de wendbaarheid van de tractor. Hoe langer de tractor wordt hoe meer ruimte er ontstaat om werktuig in het midden onder de tractor te plaatsen. Het toenemen van de lengte van de tractor heeft wel een nadelige invloed op de wendbaarheid. De breedte heeft te maken met de spoorbreedtes die smal moet zijn om tussen de gewassen door te kunnen rijden. Zeker voor de onbereden beddenteelt is een vaste spoorbreedte vereist. Smalle tractoren zijn daarbij vaak ook minder stabiel dan tractoren met een grotere spoorbreedte. In zeer ruw terrein kan dit problemen opleveren. De hoogte van de tractoren bepaald de stabiliteit en het zicht van de tuinders op de grond en naar de werktuigen. De bodemspeling is belangrijk voor de plaatsing en ophanging van de werktuigen. Ook willen sommige boeren met de tractor over de gewassen heen kunnen rijden zonder ze te beschadigen.

Het grootste gedeelte van de onderzochte tractoren heeft een lengte tussen de 3 en 4 meter. Dit zijn de grotere compactere tractoren. De hele kleine modellen van Kubota en Shibaura zijn kleiner dan 3 meter. De lengtes van de werktuigdragers komen overeen met de grotere compacte tractoren van Fendt en New Holland. Alleen hebben de werktuigdragers de ruimte in het midden om nog een extra werktuig te hangen. De breedte van de onderzochte tractoren is heel specifiek afgestemd op de werkzaamheden. Zo zijn enkele modellen van Deutz en Fendt erg smal (ca. 1,2 m) gemaakt om tussen de wijnranken en fruitbomen door te rijden. Een gangbare maat voor de spoorbreedte van compacte tractoren ligt rond de 1,5 m. De spoorbreedte van de werktuigdragers is variabel. De boeren kunnen de breedte van het voertuig naar eigen wens aanpassen tussen de 1,5 en 2 meter. De hoogte van de tractoren is erg afhankelijk van het gebruik van een cabine. De uiteindelijk hoogte van de meeste tractoren komt op circa 2 meter. De wielbasis is afhankelijk van twee factoren, de draaistraal en de grootte van de werktuigdrager. De wielbasis moet lang genoeg zijn om ruimte voor de werktuigdrager te creëren, maar mag niet te lang worden om de draaistraal te beperken. Een wielbasis van minimaal 2,5 meter wordt als basis genomen om genoeg ruimte te maken voor de werktuigen. De bodemvrijheid van de meeste tractoren ligt rond de 0,4 meter, dit moet hoog genoeg zijn om over ruw terrein en enkele lage gewassen te rijden. De werktuigdragers hebben in het midden vaak een hele grote bodemvrijheid om ruimte te maken voor een werktuig, hier wordt een minimale maat van 1,4 meter gekozen. De afmetingen van de MTT liggen binnen bepaalde grenzen waarin de klant een geschikte maat kan kiezen voor het frame en de modules gemakkelijk aan dit frame gekoppeld kunnen worden.



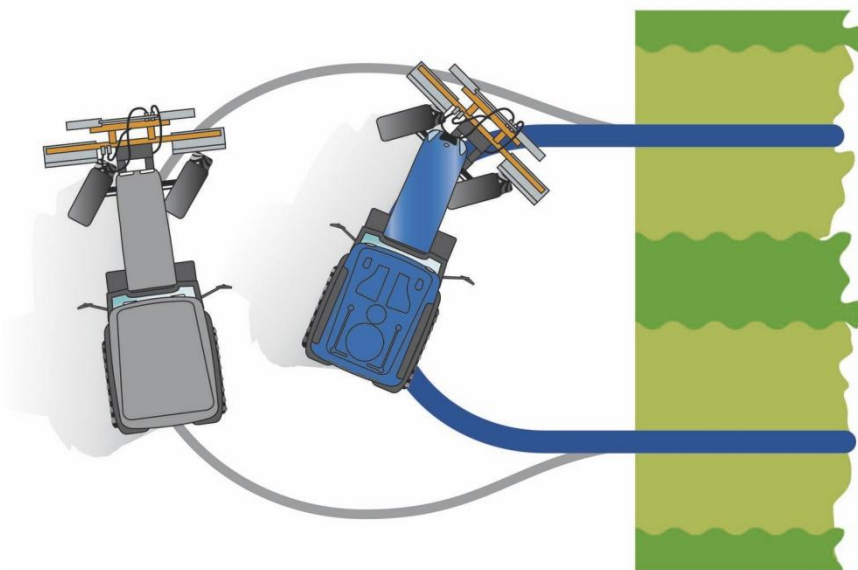
Afb. 22: Vergeleken afmetingen

4. Besturing

De meeste tractoren maken gebruik van 4WD. Alle vier de wielen worden door de motor tegelijkertijd aangedreven. Dit omdat de grip op de drassige akkers sterk toeneemt door alle vier de wielen aan te drijven. Ook is er meer oppervlak om je vermogen af te kunnen geven. Om het vermogen optimaal kwijt te kunnen maken de meeste tractorfabrikanten gebruik van een differentieel. Een differentieel kan de rotatiesnelheid van de wielen aanpassen om ze op de juiste snelheid te laten draaien en slip te voorkomen. Wanneer elk wiel afzonderlijk wordt aangedreven is een differentieel niet nodig. Hieruit volgt dan ook de eis dat het herontwerp afzonderlijk aangedreven wielen moet hebben. De MTT is ook ontwikkeld met deze techniek, en ervaring is er al.

De meeste tractoren in dit segment sturen met de voorwielen, een enkele tractor stuurt met alle vier de wielen. Door met vier wielen te sturen wordt de wendbaarheid vergroot en de draaicirkel verkleint. Dit levert een voordeel op, zodat er efficiënter (sneller) verbouwd kan worden. De concurrenten en de tuinders geven beide aan dat de grootte van de draaistraal erg belangrijk is. Als eis wordt daarom ook gesteld dat de draaistraal niet meer dan 3 meter mag bedragen, gezien de draaistraal van de concurrenten. Dit wordt bereikt door een andere unieke feature die MTT wil aanbieden aan de klanten, namelijk de onafhankelijke besturing van de vier wielen.

Ook in deze analyse wordt het duidelijk dat bijna alle tractoren gebruik maken van 4WD. Een enkele fabrikant maakt nog gebruik van tweewiel aangedreven tractoren, maar levert optioneel een 4WD systeem. Een nadeel van het 4WD systeem is, dat het zo zwaar is. Er zijn boeren die een lichtere tractor nodig hebben voor hun werkzaamheden. Ook bijna alle fabrikanten maken gebruik van hydrostatische stuurbekrachtiging om het manoeuvreren van de tractor te vergemakkelijken. Men kan soepeler en stabiel met de tractor manoeuvreren of het rijpad behouden. Een bijzondere manier van sturen is het SuperSteer van New Holland (afb. 23), de tractoren kunnen hun wielen in een extreme hoek zetten met een kleine draaicirkel als gevolg. De tractor spendeert zo meer tijd aan het werk en minder aan het draaien. Ook andere fabrikanten werken aan een scherpe stuurhoek om de draaicirkel zo klein mogelijk te houden. Onafhankelijk besturing van alle vier de wielen komt niet voor bij de concurrenten.

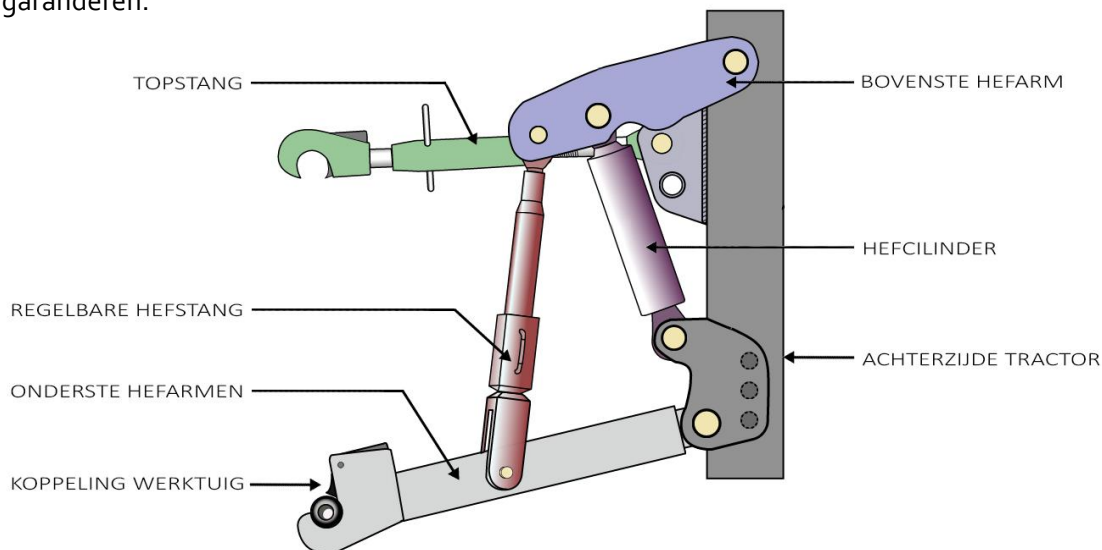


Afb. 23: New Holland Supersteer

5. Hefvermogen en koppelen werktuigen

Drie-punts-hefinrichting

Een driepuntsophanging is een onderdeel van een moderne tractor om snel werktuigen aan te koppelen. Deze ophanging voor werktuigen kan zich zowel aan de voor-, achterzijde alsmede in het midden van de tractor bevinden. Het hefsysteem bestaat uit twee hydraulisch bediende hefarmen en een (in de lengte verstelbare) topstang om werktuigen op te lichten en weer te laten zakken. De draagarmen vormen parallellogrammen die ervoor zorgen dat het werktuig min of meer recht achter de tractor hangt. Zijdelings heeft het werktuig nog wel enige bewegingsvrijheid. Deze wordt indien gewenst op een andere manier begrensd met extra staven of kettingen. (Driepuntsophanging 2015) Met de driepuntsophanging worden de werktuigen opgetild, de hefkracht is hierbij van belang. De kracht moet groot genoeg zijn om de werktuigen te kunnen optillen. Ook de locatie van de hefinrichting is belangrijk. De hefinrichting kan zich aan de voor, midden of achterzijde bevinden afhankelijk van de werkzaamheden die de boer moet uitvoeren. Een hefinrichting in het midden kan als voordeel hebben dat er geen of een veel kleiner moment gegenereerd wordt. Dit resulteert in een lichtere constructie. De grootte van het hefvermogen vraagt meer materiaal en een grotere hydraulische kracht om de werktuigen op te tillen en te laten werken. Het voordeel is dat er grote werktuigen, die veel arbeid kunnen uitvoeren, aan gekoppeld kunnen worden. Het verschilt per tractor de hefinrichtingen zich bevinden. De werktuigdragers hebben daarentegen bijna altijd drie hefinrichtingen. Ook is de plaatsing van de driepuntsophanging erg belangrijk voor de stabiliteit van de tractor. Wanneer de hefinrichting onder het zwaartepunt geplaatst wordt, is de tractor veel stabiel. Hetzelfde geldt voor de afstand van de hefinrichting tot de as. De momenten kunnen erg groot worden, waardoor de tractor onstabiel wordt en uit balans kan raken. De naar beneden en naar achter gerichte krachten moeten beneden en dicht bij het zwaartepunt liggen om stabiliteit te garanderen.



Afb. 24: De hefinrichting

In afbeelding 24 is een hefinrichting met alle onderdelen te zien. De bovenste hefarm, zorgt ervoor dat de onderste hefarm (waaraan het werktuig wordt bevestigd) op en neer gaat. De topstang (of het derde punt) kan vrij scharnieren en is in de lengte regelbaar om de hoek tussen het werktuig en de grond aan te passen. De hefcilinders bewegen de bovenste hefarmen en daarmee ook de onderste hefarmen op en neer.

De hefstang verbindt de bovenste en onderste hefarmen met elkaar ook deze is regelbaar in lengte.

De onderste hefarmen, die aan de onderkant van de achter brug bevestigd zijn, maar kunnen zelf niet actief bewegen, ook niet met tandwielen. Deze bewegen door de actie van de bovenste hefarmen, die door de hefstangen wordt overgebracht, te volgen

De drie-punts-hefinrichting zit standaard achterop elke tractor. Een hefinrichting aan de voorzijde van de tractor is bij veel fabrikanten een optie. De werktuigdragers hebben standaard een hefinrichting in het midden en aan de achterzijde, een optie waarbij er drie hefinrichtingen op de machine zitten is er ook. Het hefvermogen van de hefinrichtingen is ook erg belangrijk. Het gewicht van de tractoren gedeeld door het hefvermogen is opgenomen in de tabel hieronder (fig. 10). Door een indicatie te hebben van de massa zal ook het hefvermogen bepaald kunnen worden. Uit deze stijgende lijn blijkt dat tractoren met de hef bijna hun eigen gewicht kunnen tillen. Voor het streefgewicht van maximaal 2800 kg geldt dan ook een hefvermogen van 2800 kg. Aangezien werktuigdragers door de drie hefinrichtingen, en voornamelijk door de hefinrichting in het midden, meer kunnen tillen. Wordt er op basis van de analyse van de werktuigdragers een schatting gemaakt. Een achterhef van min. 1000 kg, een middenhef van min. 900 kg en een voorhef van min. 800 kg. Daarnaast dienen alle geschikte werktuigen vanuit de cabine bestuurd te kunnen worden.

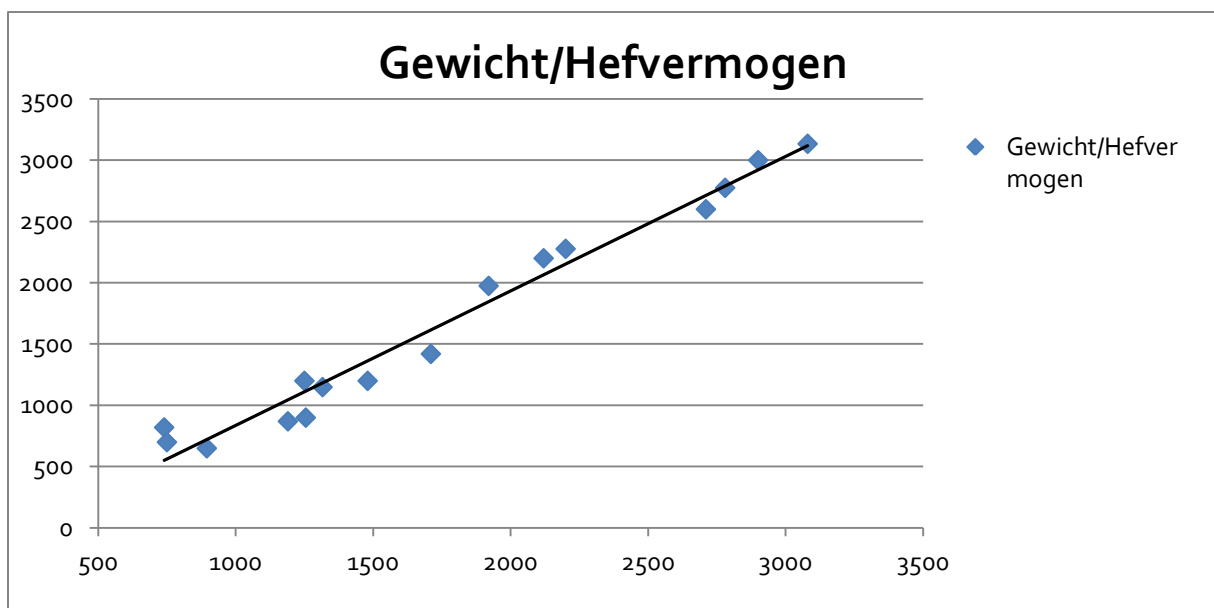
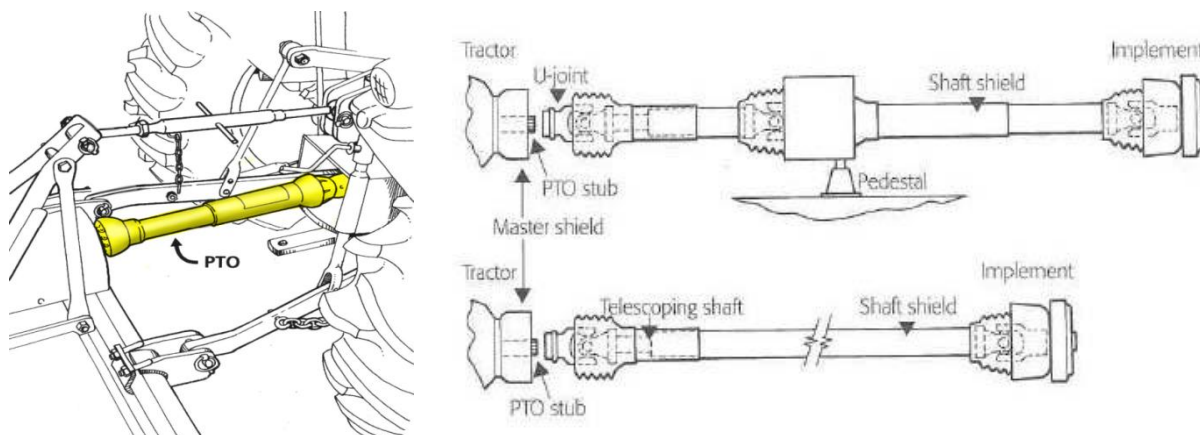


Fig. 10: Gewicht vs. Hefvermogen concurrenten

Aftakas (Power Take-Off (PTO))

De Power take-off (PTO) of krachtafnemer is een voorziening op de versnellingsbak of reductiebak van vooral vrachtauto's en tractoren. Het doel is het aandrijven van werktuigen die aan het voertuig gekoppeld zijn. Het voertuig kan eventueel uitsluitend als aandrijving van het werktuig dienen, zonder dat het zich verplaatst). Voordat de PTO was uitgevonden werden werktuigen meestal door middel van drijfriemen aangedreven. De PTO bevindt zich bij de meeste moderne trekkers in het midden van de driepuntsophanging voor werktuigen (afb. 25)



Afb. 25: De aftakas

De meeste werktuigen die een aftakas nodig hebben zijn ontworpen op een toerental van 540 omwentelingen per minuut ook wel tpm genoemd. Er zijn ook trekkers te verkrijgen met een (extra) aftakas met 750 en/of 1000 tpm. Dit toerental wordt gemeten bij het motortoerental met het maximaal vermogen (meest rond 2000 tpm). De 750 tpm aftakas wordt gebruikt om een machine ontworpen voor 540 tpm aan te drijven bij een lager motortoerental dan bij het maximale vermogen van de werktuigdrager. Dit bespaart brandstof en is dus economischer. (Power Take-Off 2015)

De locatie en rotatiesnelheid van de aftakassen is belangrijk, als men ook weet welke werktuigen er gekoppeld moeten worden. De plaatsing drie-punts-hefinrichting hangt af van de plek waar de werktuigen gekoppeld moeten worden, vervolgens kan bepaald worden waar de aftakassen geplaatst moeten worden (afb. 26). Veel fabrikanten maken gebruik van een achterste aftakas. De voorste en middelste aftakassen zijn vaak optioneel, mits deze geleverd kunnen worden. Er wordt gekozen voor een standaard aftakasaandrijving, waarbij er variatie in het toerental mogelijk is (540, 540E en 1000 rpm) om verschillende werktuigen te kunnen koppelen.



Afb. 26: De hefinrichting met PTO

6. Innovaties per fabrikant

Alle tractorfabrikanten moeten innoveren:

New Holland:

- De 'Supersteer™'-voorassen met Auto 4WD-management en krachtige fronthef zijn uniek voor New Holland. Met een opmerkelijke stuurhoek van 76° biedt de tractor met 'SuperSteer™'-vooras een draaistraal van 2,9 m.
- Automatische 4WD-Systeem schakelt de aandrijving naar de voorwielen door wanneer de achterwielslip groter is dan 5% en op hellingen van meer dan 10 graden. Voor stabiliteit en veiligheid wordt de 4WD ook ingeschakeld wanneer beide rempedalen samen worden ingedrukt. Het voor- en achterdifferentieel worden door middel van een op het dashboard gemonteerde schakelaar in- en uitgeschakeld
- Lift-O-Matic™ Plus-Systeem, het mechanisch-hydraulische controlesysteem maakt het mogelijk om de achterste hefinrichting omhoog of omlaag te brengen wanneer er op de kopakker wordt gedraaid, om daarbij tegelijkertijd de positie en trekkrachtinstellingen te behouden.

John Deere:

- Makkelijke aan en afkoppeling van werktuigen met de Hitch Assist, de werktuigen kunnen sneller en veiliger gekoppeld worden dan de conventionele drie-punts-hefinrichtingen.

Fendt:

- Het geheim van de goede klimcapaciteiten van de kleine Fendt modellen ligt in de verplaatsbare massa en het tractie punt dat voor de achteras ligt. Wanneer de tractor meer tractie nodig heeft, wordt er gewicht naar de vooras geplaatst. Hierdoor neemt de tractie toe en de slip af.
- Wanneer Traction Management System geactiveerd is, regelt de tractor zijn snelheid en versnelling elektronisch. De bestuurder moet alleen de gewenste snelheid instellen, daarna regelt de tractor alles. De motorsnelheid wordt op vlakke grond beperkt. Op hellingen wordt de motorsnelheid bijvoorbeeld verhoogd. Als de vraag naar tractie afneemt, neemt ook het brandstofverbruik af. Dit zorgt voor een heel efficiënt gebruik van de tractor.

Hoofdstuk 3: Herontwerp

3.1 Massa

In de concurrentieanalyse werd vermeldt dat massa een belangrijk onderdeel vormt voor de tractor. Zo heeft het gewicht grote invloed op de verdichting van de grond, de veiligheid, stabiliteit en levensduur van de aandrijving en de banden van de tractor. Het herontwerp van de Multi Tool Trac zal een stuk lichter worden dan de Multi Tool Trac. Dit heeft effect op de gewichtsverdeling en de daarbij ontstane factoren zoals verdichting, slip en stabiliteit. Er zal in dit hoofdstuk gekeken worden naar de slip, dat invloed heeft op de keuze van de motoren later in het verslag. En ook de massaverdeling is van belang voor de configuratie van de componenten dat aan het eind van dit hoofdstuk aan bod zal komen.

Slip

De massa moet zorgvuldig gekozen worden om de juiste hoeveelheid slip te hebben. Een te lichte tractor zorgt voor teveel slip, en dus meer brandstofverbruik en slijtage. Een te zware tractor vermindert de slip, maar zorgt ook voor meer brandstofverbruik en een hogere verdichting. De slip van tractorbanden moet tussen de 8 en 15% liggen om een hoge tractie efficiëntie te behalen. Deze waarde is een optimale compromis van de verschillende negatieve invloeden van slip. (fig. 11) De slip van een tractor is niet te berekenen. Tests met verschillende werktuigen op het land moeten uitwijzen of er eventueel nog massa toegevoegd of weggehaald moet worden, er andere banden op moeten komen, of de luchtdruk in de banden aangepast moet worden. De massaverdeling in de volgende paragraaf is wel van belang voor de slip en hier kan in het conceptontwerp wel rekening mee worden gehouden. (Grisso, R. & Helsel, Z. R. (2012, maart))

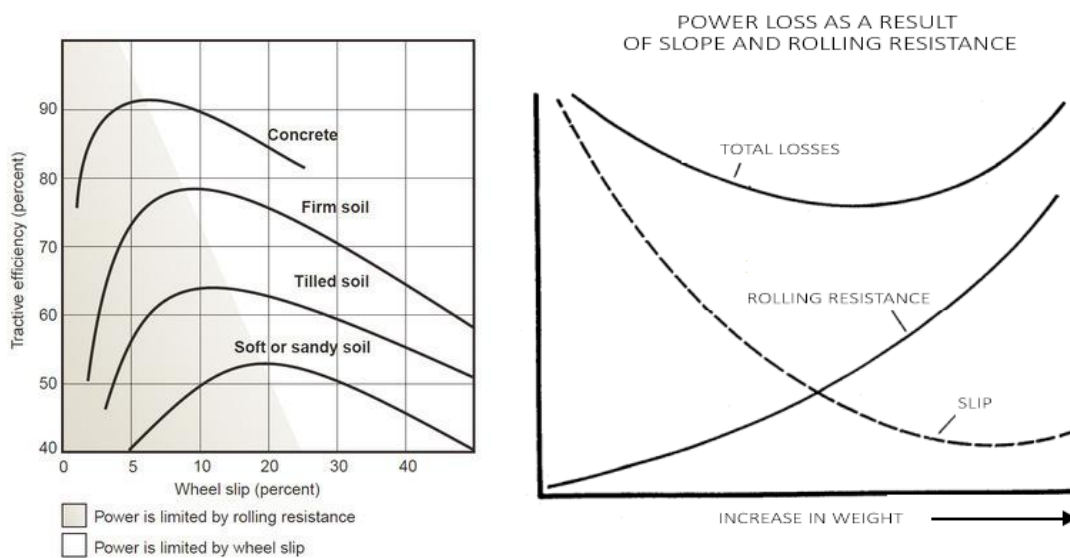


Fig. 11: Efficiëntie trekkracht wielen

Massaverdeling

Om de juiste tractie te hebben is een optimale gewichtsverdeling nodig. Uit de concurrentieanalyse blijkt dat de 4WD tractoren meer ballast op de vooras moeten hebben. Een gewichtsverdeling van 60% (voor) en 40% (achter) is hiervoor aangeraden. Echte 4WD voertuigen zouden evenredig verdeelde gewichtsverdeling moeten hebben. Maar door de verplaatsing van het gewicht door weerstand van de grond en de werktuigen is er meer gewicht op de vooras nodig. Huidige tractoren maken van gebruik van ballastgewichten om een juiste gewichtsverdeling te hebben.

In het herontwerp wordt er gestreefd naar een massaverdeling van 60%/40%. Dit moet allereerst gerealiseerd worden met de aanwezige componenten zoals de diesel range extender en het accupakket. Een belangrijke opmerking is dat deze componenten als contragewicht kunnen dienen. Het is misschien zelfs mogelijk om de locatie van het accupakket te veranderen om de gewichtsverdeling te verbeteren.

In fig. 12 en 13 is de basisopzet van de tractor weergegeven met twee verschillende gewichtsverdelingen. Deze afbeeldingen tonen aan dat een 60/40-verdeling gunstiger is voor een werktuigdrager dan de 50/50-verdeling. De longitudinale stabiliteit van een tractor wordt bepaald door het zwaartepunt dat boven het steunvlak (groen) zit. Wanneer er werktuigen aan de achterzijde worden gekoppeld ontstaat er een extra moment om de achteras. Een moment rechtsonder de achteras kan ervoor zorgen dat het zwaartepunt F_G buiten het steunvlak komt. Door een 60/40-verdeling wordt het moment om de achteras opgeheven door de F_G en ontstaat er een stabielere constructie. De gewichten aan de vooras zullen waarschijnlijk te klein zijn om een moment linksom de vooras te creëren, waardoor de werktuigdrager zal kantelen. Het werktuig aan de middenhef zal zijn zwaartepunt boven het steunvlak hebben, waardoor koppeling aan de middenhef bijna altijd stabiel zijn. Om het moment van de achterhef op te vangen laat dit voorbeeld duidelijk zien dat een 60/40 gewichtsverdeling gunstiger is voor de werktuigdrager.

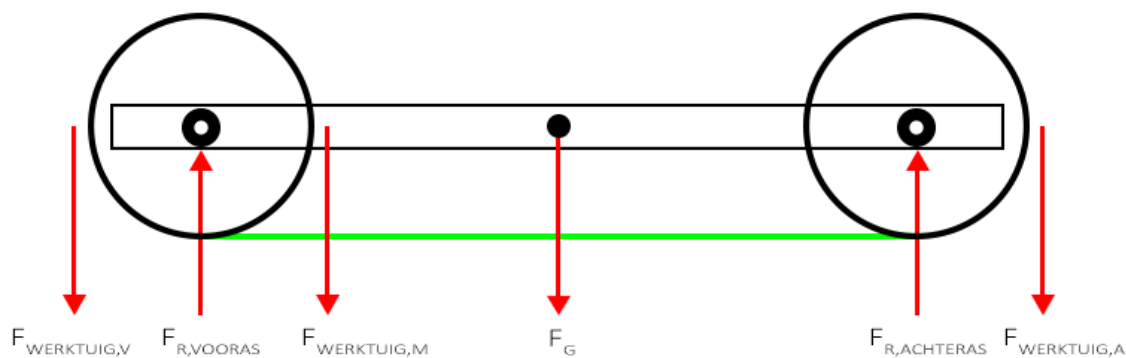


Fig. 12: VLS 50/50-gewichtsverdeling

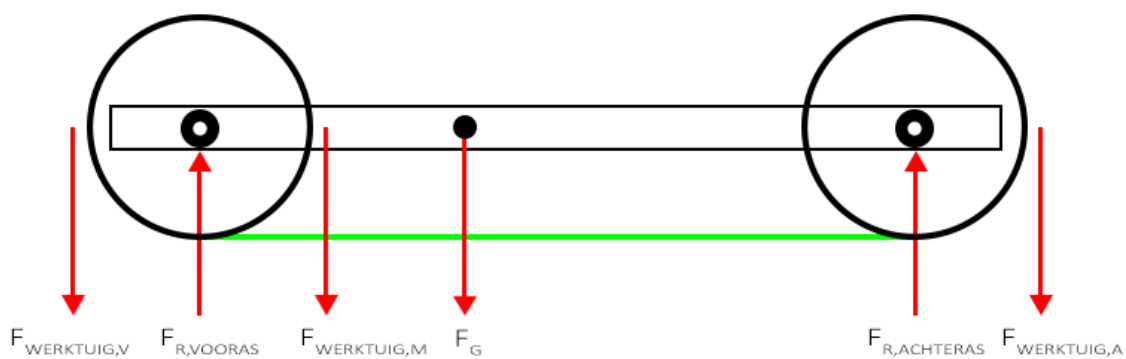


Fig. 13: VLS 60/40-gewichtsverdeling

Conclusie Massa

Het berekenen van de hoeveelheid slip van de werktuigdrager is theoretisch bijna onmogelijk. Er kan in de berekening van het koppel van de motor wel rekening worden gehouden met de aangeraden 12% slip van de wielen. Ook wordt er in het herontwerp gestreefd naar een 60/40-gewichtsverdeling om de stabiliteit van de werktuigdrager te verbeteren. Dit wordt gedaan door de componenten op de werktuigdrager te plaatsen, zodat de gewenste gewichtsverdeling behaald wordt.

3.2 Frame

In dit hoofdstuk zal een keuze worden gemaakt voor een frame dat het meest geschikt zal zijn voor de werktuigdrager. Dit wordt gedaan door verschillende frames met elkaar te vergelijken en de frames te ranken met de key drivers. Het chassis van een werktuigdrager is een belangrijk component in de constructie. De twee functies van het frame zijn het ondersteunen van de componenten die aan het frame bevestigd worden en stijfheid geven aan de constructie. Het chassis moet ondersteuning bieden aan verschillende componenten: hefinrichting aan de voor/midden en achterzijde, de voorste en achterste wielophanging, en de aandrijving met accu en diesel-range extender. Daarbij moet het frame wel voldoende stijf zijn om de hoge belastingen op te kunnen vangen. Torsie, buiging (trek/druk) en afschuiving hebben veel invloed op de vervorming van de constructie. Een hoge stijfheid is niet per definitie vereist. Het frame mag onder invloed van de krachten van de werktuigen binnen bepaalde grenzen deformeren, aangezien de nauwkeurigheid niet tot op de millimeter aankomt. Het frame moet daarnaast licht geconstrueerd worden om aan de eis van het maximale gewicht van 2800 kg te voldoen. Het laatste belangrijk punt is het custom-build frame, waarbij de klanten hun specifieke wensen op het frame los kunnen laten. In dit geval betekent dat, dat de wielbasis en spoorbreedte naar de wensen van de klant aangepast kunnen worden binnen de vastgestelde grenzen. Dit is van 1,5 – 2 meter voor de spoorbreedte en tussen de 3 en 4 meter voor de totale lengte van de werktuigdrager.

Typen Frames

Ladder Frame (afb. 27):

Een simpele en één van de oudste constructies. Het chassis bestaat uit twee dikkere balken die in de lengte liggen. Daartussen liggen enkele dwarsbalken die de lengtebalken met elkaar verbinden. Het frame kan buiging goed opvangen. Dit kan handig zijn wanneer er zware werktuigen gekoppeld worden. Een nadeel is dat de torsiestijfheid minder is. Daarnaast is een ladder frame wel een hele goedkope en gemakkelijk te fabriceren oplossing in vergelijking met andere frames. (Adams, H.



Afb. 27: Ruggengraat Frame (links) en Ladderframe (rechts)

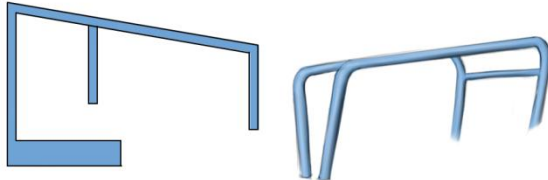
Ruggengraat Frame (afb. 27):

Zoals de naam al zegt vormt dit frame een ruggengraat. Het frame bestaat uit één rechthoekige balk die de voor- en achteras met elkaar verbindt. Het voordeel van een ruggengraat frame is dat deze binnen bepaalde grenzen gemakkelijk te verkorten of te verlengen is. Daarnaast is het frame ook geschikt om torsie op te vangen, dit is uitermate handig op ruw terrein. Een ruggengraat frame creëert ten opzichte van een ladderframe meer ruimte voor componenten. Dit frame is daarnaast moeilijker te fabriceren dan een ladder frame en dit betekent dat het frame ook duurder is dan een ladder frame. (Adams, H. (2000))

X-Frame:

Het X-Frame is een niet veel voorkomend frame, maar door zijn compacte bouw, toch interessant voor de werktuigdrager. De balken in lengterichting lijken elkaar te kruisen in het midden van de constructie. De constructie is vooral bedacht om de hoogte van voertuigen te verlagen. Nu is dit voor een werktuigdrager niet relevant. Het frame kan wel een inspiratiebron zijn voor het chassis van de werktuigdrager door een combinatie van een ladder en ruggengraat frame.

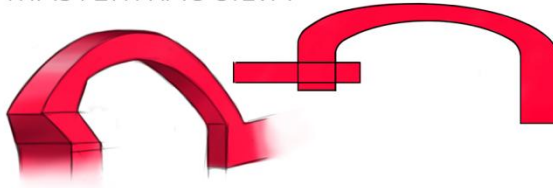
BÄRTSCHI FOBRO



MAZOTTI MULTI



MASTERTRAC SILVA



Afb. 28: Constructie frames werktuigdrager

Frames van de werktuigdragers:

In afbeelding 28 zijn de drie voorbeeldwerktuigdragers weergegeven. De frames van de werktuigdragers zijn allemaal soortgelijk opgebouwd. Aan de achterkant bevindt zich een deel van het frame (platform) dat ruimte biedt voor een zitplaats, de motor, hefinrichting, wielophanging en enkele andere kleine componenten. Vanuit het plateau gaat er een stevige balk omhoog om ruimte te creëren voor het werktuig in het midden. Het frame loopt vervolgens met een lange balk naar de voorzijde van de werktuigdrager. Aan de voorzijde zijn de wielophanging en de twee hefinrichtingen aan het dikke frame verbonden. De Mazotti en Mastertrac maken gebruik van een soort van ruggengraat frame met één dikke rechthoekige balk. Deze balk is uit het midden van de werktuigdrager geplaatst om ruimte te maken voor een zitplaats. Een asymmetrisch frame heeft als nadeel dat het de belasting minder goed kan opvangen dan een symmetrisch frame. Een C-Frame kan onder invloed van de trekkracht van de werktuigen gemakkelijk vervormen, voornamelijk aan de voorzijde. De Mastertrac heeft een gebogen frame, dit frame is een stuk complexer en zal daardoor ook een stuk duurder zijn. De gebogen constructie kan daarentegen de trekkrachten van de constructies beter geleiden, waardoor de spanningsconcentraties kleiner zullen zijn. Ook het ontwerp van het frame spreekt mensen meer aan. De Fobro heeft een ladder type frame met twee smalle buizen over de lengte en enkele dwarsbalken om het geheel stijver te maken. Door gebruik te maken van dunne buizenconstructie ontstaat er een licht, en toch stijve constructie. Daarnaast zorgen de twee bevestigingspunten voor een hogeren stijfheid van de constructie.

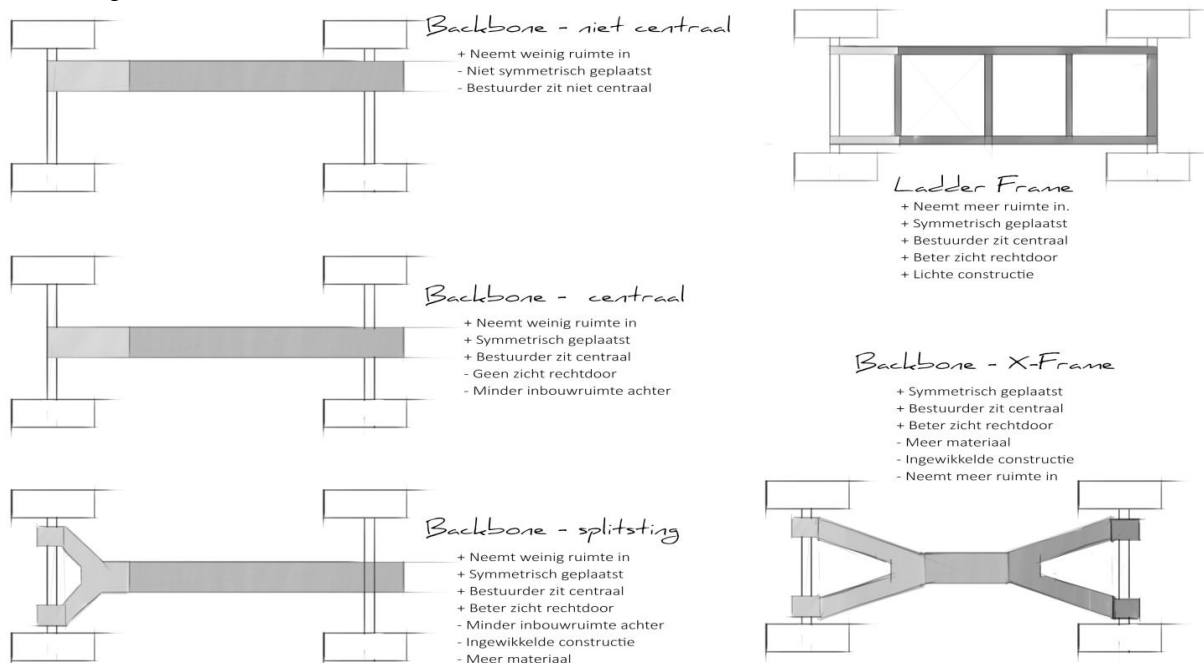
Keuze Frame

In afbeelding 29 hieronder zijn enkele schetsen gemaakt van het frame. Er zijn voor- en nadelen van verschillende typen frames, met verschillende configuraties weergegeven. Het ladderframe lijkt de meest geschikte optie voor de werktuigdrager. Het frame is redelijk goed aan te passen aan de wensen van de klanten door het verkorten of verlengen van het frame. Dit maakt hem geschikt om de werktuigdrager sneller aan de wens van de klant te laten voldoen. Daarnaast belemmert de ladderconstructie het zicht minder dan een enkele framebuis door het midden of aan de zijkant. Een optie is om de ruggengraat vooraan te splitsen en ruimte in het midden te creëren. Dit brengt wel nadelen mee, zoals een meer complexe en zwaardere constructie. Wel kan door het splitsen van het frame de torsiestijfheid vergroot worden door het moment aan de ene kant van het wiel op te vangen met de constructie. Een ladderframe heeft al een betere torsiestijfheid door de plaatsing van de twee lengtebalken aan de uiteinden van de assen. Een symmetrische plaatsing van het frame is wel belangrijk om de belastingen op de constructie te verminderen. Een ander belangrijk punt zijn de kosten. Door de keuze van een ladderframe kunnen standaard buisprofielen gebruikt worden, waardoor de constructie goedkoper wordt. In fig. 14 is een scoringstabel te zien met alle type frames.

Adams, H. (2000). *Chassis Engineering*. New York: The Berkley Publishing Group.

Type Frame	Opvangen Belasting		Complexiteit	Modulariteit	Kosten	Totaal
	Goed = 5		Makkelijk = 5	Goed = 5	Laag = 5	
	Weging = 2		Weging = 1	Weging = 3	Weging = 3	
	Buiging	Torsie				
Ladder Frame	4	4	3	3	4	40
Symmetrisch Ruggengraat Frame	4	3	3	4	3	38
A-symmetrisch Ruggengraat Frame	3	2	4	4	3	35
Ruggengraat X-Frame	4	4	2	4	2	36

Fig. 14: Scoringstabel Frame



Afb. 29: Frames voor de werktuigdrager

Vormgeving Frame

Het frame van de werktuigdrager is één van de mogelijkheden om de unieke vormkenmerken van Multi Tool Trac terug te laten komen. Het gebruik van de carrosseriedelen, wordt beperkt door de constructie, maar zijn wel nodig om de diesel range extender en de accu-pakketten te beschermen. Met het frame kunnen de vormkenmerken van Multi Tool Trac gemakkelijk verwerkt worden in het ontwerp (zoals te zien in de schetsen van afb. 30). Er zijn een paar mogelijk opties voor de vormgeving van het frame. Bij de eerste optie zal het frame omhoog oplopen om ruimte te bieden voor de werktuigen. Vervolgens zal het frame aflopen (net zoals bij de ontwerpen van de motorkap van de MTT) en naast de bestuurder aan het subframe gekoppeld te worden. Dit betekent wel dat het verwerken van de overkapping voor de bestuurder moeilijker is. Door de lage constructie moet er een extra frame komen waaraan de overkapping voor de bestuurder bevestigd wordt. Een lager frame betekent wel dat de momenten op de constructie iets kleiner worden. Een hoger frame heeft als voordeel dat de er veel ruimte onder het frame is. De overkapping kan ook makkelijker in het frame verwerkt worden. Doordat de bestuurder volledig onder het frame zit zal het zicht hier beter zijn dan de lagere variant. De keuze valt om deze redenen op een hoger geplaatst frame.



Afb. 30: Vormgevingsschetsen Frame

Conclusie Frame

De keuze valt op een ladderframe, dit omdat het frame naast de voordelen van de hoge stijfheid, ook erg licht ontworpen kan worden. Gewicht speelt een belangrijke rol in het herontwerp van de werktuigdrager en een licht en stijf frame is hiervoor geschikt. Het frame zal de kenmerkende vormen van de motorkap van de Multi Tool Trac hebben om de werktuigdrager een familiegezicht mee te geven.

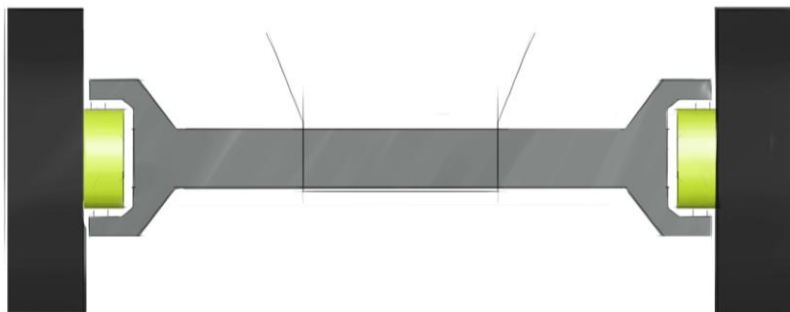
3.3 Wielophanging

Bij het herontwerp van de wielophanging zijn twee dingen van belang: allereerst de eis dat alle vier de wielen de grond moeten raken en punt twee is het rijcomfort van de bestuurder. Er zijn verschillende typen assen beschikbaar voor het herontwerp. De MTT maakt nu gebruik van een starre achteras en een pendelende vooras. Andere combinaties en mogelijkheden zullen in de volgende paragraaf onderzocht worden om te kijken wat het meest geschikt is voor het herontwerp. Een belangrijke aanpassing die uit het onderzoek van de doelgroep is gekomen, is dat de verstelbaarheid van de spoorbreedte als niet nodig wordt bevonden. Wanneer de boeren op een vaste spoorbreedte kunnen werken kunnen zij hun taken goed uitvoeren. Dit betekent wel dat de assen binnen bepaalde limieten (1,5 – 2 meter) wel in lengte aanpasbaar moeten kunnen zijn. De verschillende wielophangingen worden getoetst en in de conclusie de meest geschikte wielophanging gekozen worden.

Typen Wielophanging

Starre as (afb. 31)

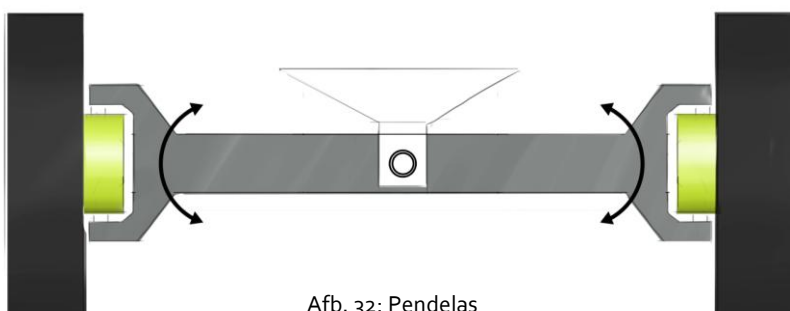
De starre as is één enkele as die beide wielen direct met elkaar verbindt. De wielen kunnen vaak onafhankelijk van elkaar draaien, maar niet van elkaar veren. Starre assen zijn over het algemeen een sterkere constructie vandaar de toepassing bij vrachtwagens, bestelbusjes, terreinauto's, sommige (oudere) personenauto's en aanhangers. Dit is dan ook de reden dat er voor een starre achteras wordt gekozen bij tractoren. De achteras van veel tractoren is vaak star om de zware lasten van de werktuigen op te kunnen vangen. De starre assen worden eigenlijk nooit geveerd. Dit heeft te maken met de zware belasting van de werktuigen, die de veren op moeten vangen. Hierdoor heeft het veren van de constructie weinig nut meer.



Afb. 31: Starre As

Pendelas (afb. 32)

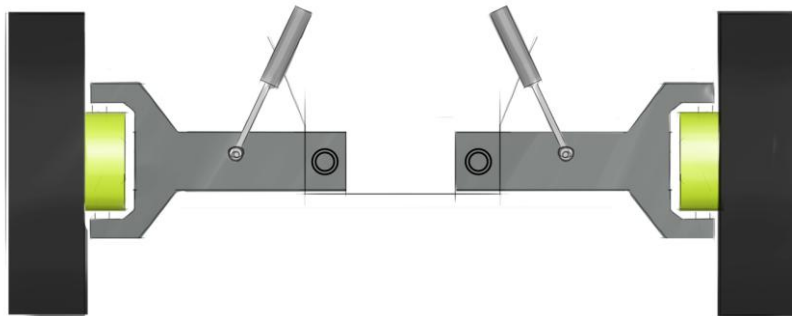
De Pendelas is net als de starre as één enkele as die beide wielen direct met elkaar verbindt. Het verschil met de starre as is, dat deze as kan pendelen om een hulpas in het midden van het frame. De wielen kunnen niet onafhankelijk van elkaar bewegen. Bij de Pendelas wordt er vaak wel geveerd om het pendelen van de as te controleren.



Afb. 32: Pendelas

Onafhankelijke wielophanging (afb. 33)

Bij de onafhankelijke ophanging hebben de wielen ieder hun eigen ophanging en kunnen geheel onafhankelijk van het wiel aan de andere kant in- en uit veren. Het is een duurdere constructie dan de bovenstaande wielophangingen maar geeft een betere wegligging en meer comfort. De onafhankelijke wielophanging bevindt zich vaak aan de voorzijde van een voertuig. De ophanging wordt vaak geveerd om het comfort te vergroten.



Afb. 33: Onafhankelijk Wielophanging

Keuze wielophanging

Met een enkele pendelas en een starre achteras kan de constructie simpel worden gehouden. Daarnaast zal de stabiliteit van de werktuigdrager toenemen ten opzichte van twee starre assen. Twee pendelende assen zorgen daarentegen voor onstabiliteit. Door de twee pendelassen kan het frame gaan wentelen, in plaats van de wielophanging. Om stabiliteit te garanderen is één starre as noodzakelijk. De geheel onafhankelijke verende as zorgt voor het grootste comfort, maar brengt ook constructieproblemen en hogere kosten met zich mee. In fig. 15 zijn de verschillende typen wielophanging met de key drivers weergegeven.

Type Wielophanging	Rijgedrag	Comfort	Complexiteit	Modulariteit	Kosten	Totaal
	Goed = 5	Goed = 5	Makkelijk = 5	Goed = 5	Laag = 5	
	Weging = 2	Weging = 1	Weging = 2	Weging = 3	Weging = 3	
Starre As	1	1	5	5	5	43
Pendelende As	3	2	5	5	4	45
Pendelende As met vering	4	3	4	3	3	37
Onafhankelijke As met vering	5	5	2	3	2	34

Fig. 15: Scoringstabel Wielophanging

Conclusie wielophanging

De keuze valt op de pendelende vooras en een starre achteras. Deze combinatie moet voor voldoende comfort en een goed rijgedrag zorgen, zonder dat de ophanging heel complex en duur wordt. Daarnaast zijn de assen van de MTT voor dit herontwerp gemakkelijk terug te schalen naar het juiste formaat en is modulariteit en aanpasbaarheid in het ontwerp gemakkelijk. De onafhankelijke as met vering zal te complex en daardoor ook te duur worden voor het herontwerp.

3.4 Vering & Damping

Conventionele tractoren maken vaak geen gebruik van vering en damping. Doordat het rijcomfort en de dynamische eigenschappen van de tractor door de vering en damping sterk verbeterd kan worden, zijn steeds meer tractoren uitgerust met dit type ophanging. Er wordt daarom in dit hoofdstuk gekeken of een dergelijk type ophanging noodzakelijk is, en of hierbij de kosten niet te hoog worden. Het rijcomfort van de bestuurder is belangrijk tijdens het ontwikkelen van het concept. De boeren maken per dag wel 8 uur gebruik van hun tractor. Op de oneffen ondergrond moet de tractor goed geveerd zijn om ook de volledige dag werkbaar te zijn voor de boer. Een stijver geveerde tractor zorgt voor meer stabiliteit en grip, een slapper geveerde en gedempte constructie zorgt juist voor meer comfort. Er dient een belangrijke afweging tussen comfort en het behoudt van rijeigenschappen gemaakt te worden. Hierbij moeten de kosten en de modulariteit in het achterhoofd gehouden worden, om ook aan deze eisen te voldoen.

Een geschikte ophanging voor de elektrische werktuigdrager zal niet rechtstreeks overgenomen kunnen worden. 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 zodanig aangepast te worden dat de veeruitslag en de draaihoek zo groot mogelijk blijven.

Tractoren maken vaak gebruik van drie soorten vering op de wielophanging: geen vering, alleen vering op de voorste as en vering op de voorste en achterste as. Daarnaast kan het frame, de stoel en de banden ook nog vering bieden aan het voertuig. Deze typen ophangingen worden als de basis gezien voor het rijcomfort. De vibraties die geëxciteerd worden door de ondergrond zijn het meest van invloed op het rijcomfort van de bestuurder. Het frequentiegebied van deze trillingen zit beneden de 25 Hz. De ophanging moet deze trillingen op kunnen vangen. (Gillespie, 1992) Het ideale scenario zou zijn om alle typen vering en damping op het herontwerp toe te passen, maar de kosten zullen hierdoor hoog oplopen. Er wordt om deze reden in de conclusie een afweging gemaakt tussen de verschillende wielophangingen en tot slot zal er een keuze gemaakt worden.

Typen Vering (Sarami, S. (2009))

Vering door de stoel

Door vering in de stoel is het comfort van de bestuurder gemakkelijk te verbeteren. De stoelvering dempt de versnellingen in de verticale richting, zonder invloed uit te oefenen op het rijgedrag. De stoelvering dient voornamelijk om de trillingen die optreden tijdens de werkzaamheden op het land op te vangen en het rijcomfort zo te verbeteren. De bestuurder werkt vaak lang en wordt hierbij lang blootgesteld aan vibraties. Dit kan schadelijk zijn voor de bestuurder en moet voorkomen worden. De stoelvering is simpel, goedkoop en robuust en zijn daarom uitermate geschikt.

Vering door het frame

De meeste conventionele tractoren hebben een frame met een gietijzeren kern dat 100% stijf is. De Multi Tool Track maakt gebruik van een verend frame, door de holle buizen in de lengte. Door het frame kunnen de trillingen die geëxciteerd worden door gebruik opgevangen worden.

Vering van de wielophanging

Voorasvering

De voorasvering is voornamelijk ontworpen om het contact van de voorwielen met de ondergrond te verbeteren. Dit leidt tot een enorme verbetering in tractie en stuurmogelijkheden. De invloed van de voorasvering is, in tegenstelling tot de rijeigenschappen, niet merkbaar in het rijcomfort. In fig. 16 is de invloed van de voorasvering op de verticale acceleratie te zien. In deze grafiek is het verschil tussen een conventionele tractor (met grotere achterbanden) en een systeemtractor (vier gelijke banden) weergegeven met het verschil in zitpositie. Te zien is dat de verticale acceleratie aanzienlijk wordt verbeterd aan de voorzijde en in het midden van de tractor. Aan de achterzijde is er nauwelijks invloed op de verticale acceleratie. Dit komt omdat de bestuurder bijna boven de achteras zit.

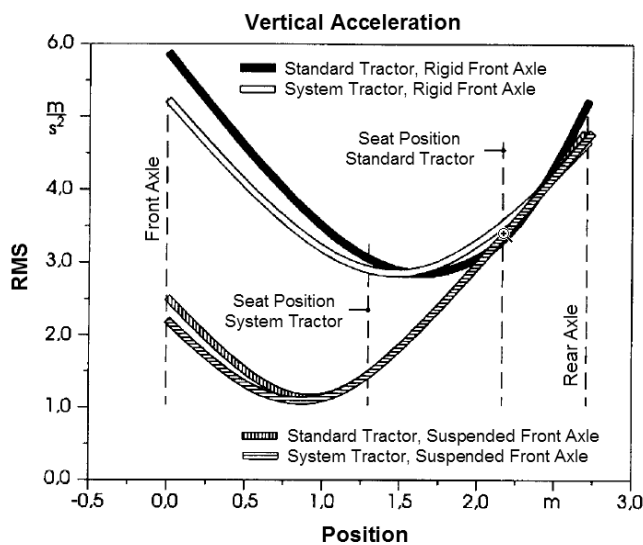


Fig. 16: Invloed Voorasvering op comfort

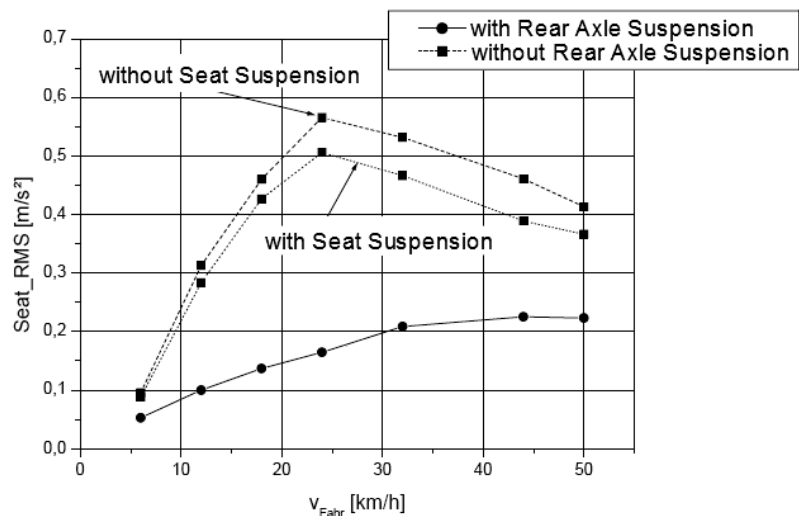


Fig. 17: Invloed achterasvering op comfort

Voor- en achterasvering

Zoals is te zien in de vorige paragraaf heeft voorasvering al een grote invloed op het rijgedrag en een kleine invloed op het rijcomfort. Om het rijcomfort en het rijgedrag nog meer te verbeteren kan ook de achteras geveerd worden. De vooras (fig. 16) heeft als nadeel de negatieve invloed op het trillen van een ongeveerde achteras waardoor het contact van de achterste banden met de grond vermindert. Een volledig geveerde ophanging vangt trillingen in bijna alle richtingen op. De rijeigenschappen en het comfort worden aanzienlijk verbeterd. Een nadeel van dit type ophanging is de complexiteit. Zeker bij conventionele tractoren dient er veel aangepast te worden aan het ontwerp om ruimte te maken voor de achterasvering. Bij een elektrische werktuigdrager met onafhankelijke besturing en aandrijving ontstaat er misschien wel meer ruimte om dit type ophanging toe te passen. In fig. 17 is de invloed van de achterasvering op de verticale versnelling weergegeven. Te zien is dat de achterasvering een grote invloed heeft op de verticale versnelling, en dus het rijcomfort, ten opzichte van de stoelvering nog meer verbergt.

Vering van de band

De band het eerste verende element dat contact heeft met de ondergrond. Dit is ook de reden dat banden een belangrijke rol spelen in het bepalen van het dynamische gedrag van de tractor, zeker voor tractoren die geen andere veer/demper-systemen hebben. Het is erg moeilijk om het dynamisch gedrag van de tractor alleen met de banden te regelen. De eigenschappen van de band hangen af van de druk en de snelheid. Een te hoge druk in de band zorgt voor een te stijve ophanging met weinig rijcomfort, en een te lage druk zorgt voor slechte rijeigenschappen. Het is daarom niet aangeraden om alleen de banden als ophanging te gebruiken.

Keuze vering & demping

In de voorgaande studie naar de verschillende veer/demper-systemen die voor een tractor gebruikt kunnen worden. Van de soorten ophangingen is een tabel (...) gemaakt met de verschillende mogelijkheden en zwaktes van een bepaald systeem. Het veren door middel van de stoel en banden zijn simpele en goedkope manieren om het rijgedrag en comfort te verbeteren. De invloed op het comfort en rijgedrag is niet heel hoog, maar door de lage kosten aantrekkelijk om toe te passen. Het veren van de assen kan overwogen worden, maar het is de vraag of de verbetering in comfort en rijgedrag genoeg bijdraagt. De ophanging is complex en daardoor ook duur. Wanneer er voor vering van de assen wordt gekozen, is de voorasvering de eerste keus. Dit is de goedkopere en minder complexe oplossing van de twee.

Type Vering	Rijgedrag	Comfort	Complexiteit	Modulariteit	Kosten	Totaal
	Goed = 5	Goed = 5	Makkelijk = 5	Goed = 5	Laag = 5	
	Weging = 2	Weging = 1	Weging = 2	Weging = 3	Weging = 3	
Stoel	1	2	5	5	5	44
Frame	4	3	5	5	4	48
Vooras	5	2	4	3	3	38
Voor- en achteras	5	5	2	2	1	28
Band	3	2	5	5	5	48

Fig. 18: Scoringstabel Vering & Demping

Conclusie vering & demping

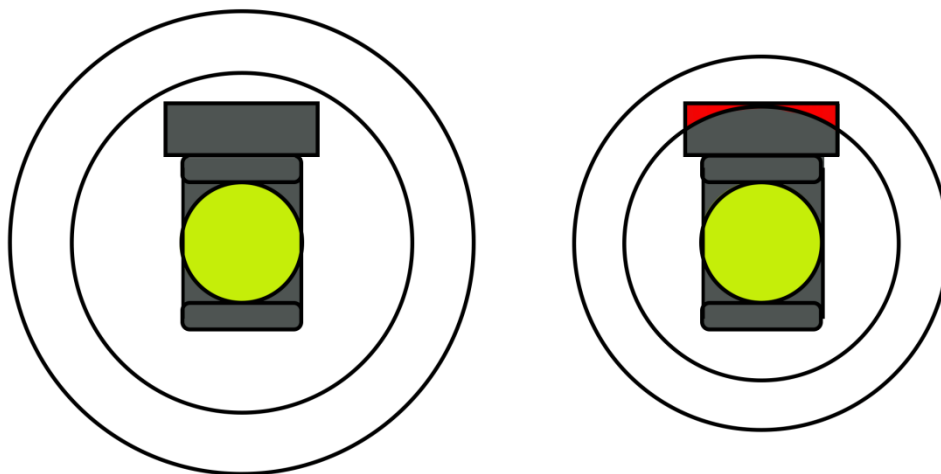
Het eerste systeem dat toegepast gaat worden is de stoelvering. Een relatief goedkope en robuuste constructie. Dit vormt samen met de vering van de banden de basis voor de verende ophanging. Bij de banden wordt, om de rijeigenschappen te verbeteren, aangeraden om brede en hoge banden te nemen voor ongeveerde assen. Er zit een limiet aan de breedte gesteld door de doelgroep. Deze ook relatief gemakkelijke en goedkope oplossingen kunnen aanzienlijk bijdragen aan het comfort en weggedrag. Het frame zou verend gemaakt kunnen worden, dit is afhankelijk van de afmetingen en het materiaal. Kleinere werktuigdragers zullen waarschijnlijk een stijver frame hebben en zullen daardoor ook minder comfortabel zijn. De assen zullen niet geveerd worden door de toenemende complexiteit en de daarbij behorende toename van de kosten.

3.5 Stuurinrichting

De onafhankelijke vierwielbesturing van de werktuigdrager vormt een uniek concept dat volgens overgenomen wordt van de bestaande Multi Tool Trac. De vraag ontstaat hierbij of deze onafhankelijke besturing vereist is, aangezien het herontwerp geen gebruik maakt van spoorbreedteverstelling. Dit is de reden dat de MTT uitgerust is met onafhankelijke besturing.

Dit type besturing zorgt voor een grotere wendbaarheid op de akkers. De hydraulische stuurinrichting wordt elektronisch geregeld wanneer de bestuurder aan het stuur draait. Het elektronisch regelen van de besturing levert vele voordelen op. Zo wordt er veel ruimte bespaard door het ontbreken van een stuurkolom, en kan het gedrag van de werktuigdrager veel makkelijker gefinetuned worden zonder wat aan de mechaniek van de stuurinrichting aan te passen. (Sherman, D. (2012)) Een nadeel van vierwielbesturing is dat de werktuigdrager op hogere snelheden instabiel wordt tijdens het sturen. Daarom wordt de eis gesteld dat, wanneer de werktuigdrager een snelheid boven de 10 km/h haalt hij overgaat op de tweewielbesturing van de voorste wielen.

Het herontwerp zal gebruik maken van kleinere wielen, waardoor de hydraulische stuurinrichting waarschijnlijk niet meer tussen de velg en de fusee-arm gaat passen. (afb. 34) Een andere oplossing voor de stuurinrichting is dan nodig. Door het lagere gewicht en de kleinere wielen is er waarschijnlijk een kleinere hydraulische stuurinrichting nodig.. Een aanpassing aan de mechaniek is nodig om het herontwerp te kunnen laten sturen.

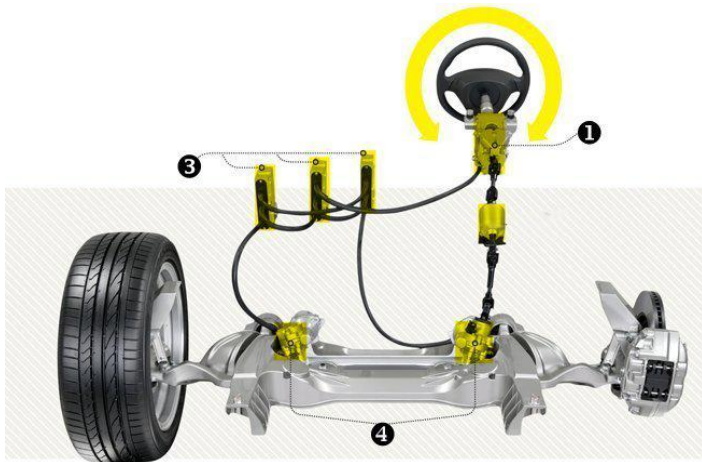


Afb. 34: Probleem stuurinrichting

Typen Stuurinrichting

Mechanisch

Er zijn verschillende soorten en combinaties van stuurinrichtingen mogelijk. De meest gebruikte manier is de tweewielbesturing van de voorwielen (vaak met sturbekrachtiging). Er zijn drie veelgebruikte stuurinrichtingen: rack and pinion, recirculating ball en besturing met behulp van een wormwiel. Alle mechanismen doen hetzelfde, namelijk het omzetten van een roterende beweging van het stuur in een roterende beweging van de wielen. Dit mechanisme is in afb. 35 weergegeven in het geel. De keuze voor de oplossing ligt bij de simpele constructie en de goedkopere oplossing.



Afb. 36: Steer-by-Wire



Afb. 35: Mechanische stuurinrichting

Elektronisch

Een andere steeds meer opkomend stuurmechanisme is het steer-by-wire (afb. 36). De mechanische componenten worden vervangen door elektronische regelaars en actuatoren (1 & 3). Het sturen van de wielen zal door middel van elektromotoren (4) gebeuren. De stuurinput van de bestuurder wordt door de controllers gemeten (1). Zij sturen vervolgens de elektromotoren aan. Dit concept wordt veel gebruikt bij heftrucks en sommige tractoren. Door het ontbreken van een stuurkolom is het makkelijker om de wielen aan de voor en achterzijde onafhankelijk van elkaar te laten sturen.

Vierwielbesturing

Er zijn enkele vierwielgestuurde constructies te vinden. Hierbij sturen de achterwielen net zoveel als, of gedeeltelijk met de voorwielen mee. De onafhankelijke besturing is nog redelijk uniek en moet specifiek ontworpen worden voor het werktuig. De onafhankelijke besturing is gemakkelijkst te realiseren met hydrauliek. De hydraulische cilinders kunnen gemakkelijk onafhankelijk aan een wiel gekoppeld worden. Dit kan bij de hiervoor genoemde manier van tweewielbesturing niet. Hier zijn altijd twee wielen met elkaar gekoppeld en is vierwielbesturing en voornamelijk onafhankelijke vierwielbesturing erg moeilijk te realiseren. Een andere optie is de elektromotor, deze moet door het hoge gewicht van de tractor en de grote weerstand van de grond veel vermogen kunnen leveren om de wielen te laten draaien. Een hydraulische oplossing lijkt voor de besturing de beste keuze.

GPS-Navigatie

Om aan de eis van de vaste rijpaden te voldoen is GPS navigatie nodig om de vereiste nauwkeurigheid te behalen. (afb. 37) Het systeem zal op het land de werktuigdrager binnen de vaste banen laten rijden door de wielen aan te sturen. Dit gebeurt met een hoge nauwkeurigheid van circa 0-2 cm. Hierdoor zullen er vaste rijpaden ontstaan, met de voorgaand genoemde voordelen van de onbereden beddenteelt. Naast het elektronisch aansturen van de hydrauliek, is er ook een goedkopere GPS oplossing, waarbij de bestuurder zelf corrigeert. De nauwkeurigheid van deze systemen is een stuk lager en de vraag is of dit voor de smalle rijbanen voldoende is.



Afb. 37: Navigatiescherm RTK-GPS

Keuze Stuurinrichting

Er is een keuze tussen twee verschillende besturingen, de mechanische of elektronische stuurinrichting. Het grote voordeel van steer-by-wire is het ontbreken van de stuurkolom en het makkelijker finetunen van de besturing. De mechanische stuurinrichting neemt veel ruimte in beslag. Ook is het ontwikkelen van onafhankelijke besturing van alle vier de wielen gemakkelijker te realiseren met steer-by-wire. Bij de tweewielgestuurde mechanieken die beschreven zijn, is het ontwikkelen van onafhankelijke besturing veel complexer. Een groot voordeel van de mechanische stuurinrichting zijn de lage complexiteit en kosten. In de tabel hieronder zijn de verschillende mechanismen getoetst met de key-drivers.

Type besturing	Onafhankelijk Besturing	Complexiteit	Modulariteit	Kosten	Totaal
	Goed = 5	Makkelijk = 5	Goed = 5	Laag = 5	
	Weging = 3	Weging = 2	Weging = 3	Weging = 3	
Mechanisch ¹	1	5	2	5	34
Steer-by-wire ²	5	3	5	2	42

1. Rack and pinion, recirculating ball en besturing met behulp van een wormwiel
2. Elektronisch gestuurde hydraulische of elektrische stuurinrichting

Fig. 19: Scoringstabel Stuurinrichting

Conclusie Stuurinrichting

De keuze valt op de hydraulische stuurinrichting. Het grote voordeel is dat de realiseerbaarheid van de onafhankelijke besturing en de modulariteit erg goed zijn in het ontwerp. Er is wel een mechanische wijziging van de stuurinrichting is vereist om het herontwerp te kunnen laten sturen. Door de kleinere velgen is er geen ruimte meer voor de stuurinrichting. Dit betekent dat de hydrauliek op een andere locatie moet komen om de wielen te laten draaien. De werktuigdrager is ook uitgerust met RTK-GPS om vaste paden te kunnen rijden. De wielen worden elektronisch aangestuurd met behulp van de GPS-positie.

3.6 Hefinrichting

De hefinrichting bestaat uit een driepuntshefinrichting en een PTO aan de voorzijde, in het midden en aan de achterzijde. De hefinrichting in het midden en aan de achterkant zijn standaard aanwezig op de werktuigdrager. De voorhefinrichting is optioneel. Het hefvermogen van de MTT is veel te hoog voor het herontwerp, hierdoor wordt de hefinrichting ook erg groot. Dit is dan ook de reden dat er een nieuwe hefinrichting gezocht/ontworpen moet worden.

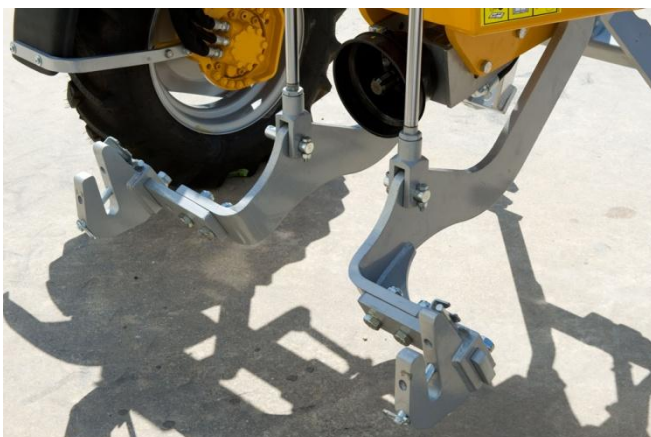
De specificaties van de hefinrichtingen zijn hieronder opgesomd:

- | | | |
|----|--|-------------------|
| a. | Hefinrichting achter de achteras: standaard, hefcapaciteit = | minimaal 1000 kg. |
| b. | Hefinrichting achter de vooras: standaard, hefcapaciteit = | minimaal 900 kg. |
| c. | Hefinrichting voor de vooras: optioneel, hefcapaciteit = | minimaal 800 kg. |
| d. | Het toerental van de aftakas achter de achteras bedraagt: | 540, 540E, 1000. |
| e. | Het toerental van de aftakas voor de achteras bedraagt: | 540, 540E, 1000. |
| f. | Het toerental van de aftakas voor de vooras bedraagt: | 540, 540E, 1000. |

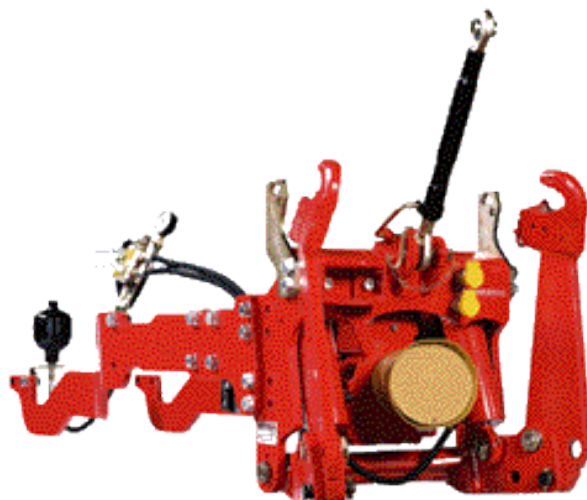
De fronthefinrichting is Categorie I (klein formaat) fronthef met een hefvermogen van 8 kN (815 kg). (afb. 38) De achter- en middenhef zal een Categorie I of II hefinrichting zijn afhankelijk van de wensen van de klant. De categorieën duiden op het formaat van de hefinrichtingen. Dit gaat voornamelijk om de ruimte tussen de onderste hefarmen. In de tabel hieronder zijn de afmeting van categorie 0 – 2 weergegeven. Er zijn nog hogere categorieën, maar deze zijn niet geschikt voor het herontwerp dat kleinere werktuigen zal dragen. De beide hefinrichtingen zullen gefabriceerd worden door Multi Tool Trac. Zij kunnen een hefinrichting bouwen met het juiste hefvermogen en de daarbij behorende afmetingen. Het ontwerp zal op de hefinrichting van de concurrenten lijken (afb. 39.). In de detailleringfase zal er nader worden ingegaan op de beide hefinrichtingen.

Categorie	Grootte Pin Hef		Ruimte tussen onderste koppeling	Tractor Vermogen
	Bovenste Koppeling	Onderste Koppeling		
0	17 mm	17 mm	500 mm	<15 kW (<20 pk)
1	19 mm	22.4 mm	718 mm	15-35 kW (20-45 pk)
2	25.5 mm	28.7 mm	870 mm	30-75 kW (40-100 pk)

Fig. 20: Afmetingen Hefinrichting (Tractordata 2014)



Afb. 39: Mazotti Hefinrichting



Afb. 38: Fronthef

3.7 Aandrijving

Elektromotor

Voor de elektromotor zijn twee eigenschappen belangrijk, namelijk het geleverde vermogen en het koppel dat geleverd kan worden. Het koppel bij de wielen is voor de werktuigdrager van belang. Dit koppel bepaald uiteindelijk de trekkracht van de werktuigdrager. Om bij het koppel van het wiel te komen, moet het koppel van de elektromotor met behulp van een eindvertraging worden overgebracht. Het is belangrijk om te kijken naar de rolweerstand en de weerstand die door de getrokken werktuigen wordt gegenereerd om hier het koppel van de motor en het type eindvertraging op aan te passen.

In fig. 21 zijn de krachtverdelingen op het wiel weergegeven. De belangrijkste krachten voor het koppel zijn de weerstandskracht (F_W) en de trekkracht (F_T). Op constante snelheid zijn F_T en F_W aan elkaar gelijk. Dit betekent dat het benodigde koppel aan het wiel berekend kan worden door $F_W \times R$ (radius van het wiel). De weerstand F_W bestaat uit de weerstand van het werktuig, en de rolweerstand door het contact van de banden.

Weerstand beweging = Rolweerstand + Weerstand werktuig = $F_W + F_R$

- $F_{\text{Werktuig}} = \text{Weerstand werktuig}$
- $F_{\text{Rol}} = \text{Rolweerstand: } 2800 * 9,81 * 0,1 = 2747 \text{ N}$
 $\mu = 0,1$ (geploegd land). (Macmillan, R.H)
- $F_T = \text{Netto tractie}$

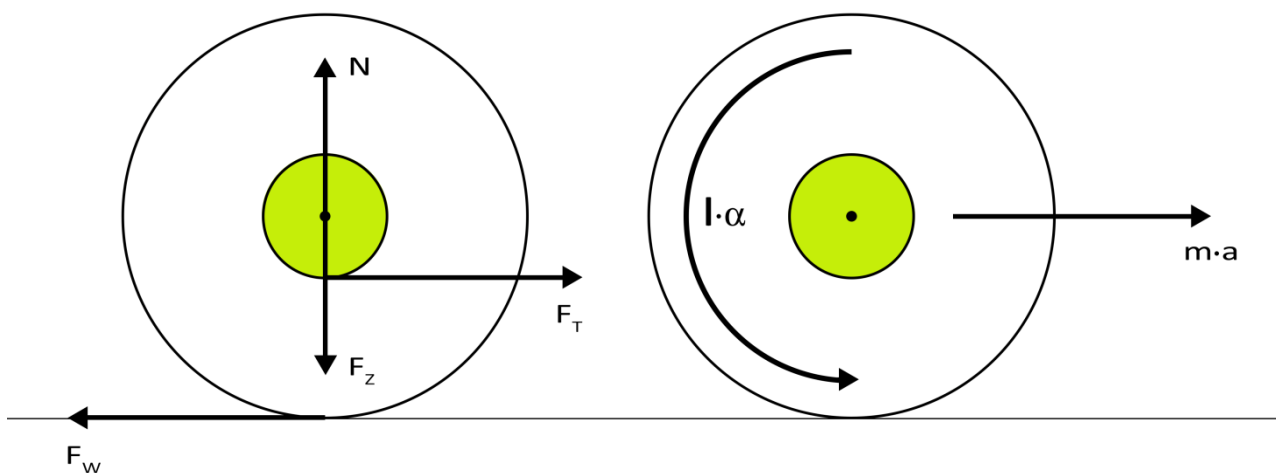


Fig. 21: VLS trekkracht motor

Wanneer de totale weerstand bekend is, is de benodigde trekkracht ook bekend. De trekkracht kan vermenigvuldigd worden met de arm naar het midden van de motor. Hiermee is het koppel van de motor na eindvertraging bepaald met 100% efficiëntie en 0% slip. Hierna worden de efficiëntiefactoren van de motor in de berekening gezet om een betere afschatting te maken van het vermogen.

Om tot een berekening te komen is er ook een werktuig nodig. De werktuigdrager wordt voornamelijk ontworpen om te schoffelen. Eén van de zwaardere werktuigen is de ploeg. Dit is een primaire grondbewerker, dat betekent dat dit de diepere en zwaardere bewerkingen zijn. Dit is ook af te leiden uit de tabel, waarbij het ploegen veruit de meeste kracht kost. Het ploegen /schoffelen is

een belangrijke bewerking voor het land, het is daarom belangrijk dat de werktuigdrager wel kan werken met dit type werktuig.

Afgaande op het zwaarste werktuig in de specificaties heeft de werktuigdrager een motor nodig met een koppel van 2609 Nm. Hier is de efficiëntie van de motor (door warmteverlies) en de slip ook meegenomen om een reëlere schatting te kunnen maken van het benodigde koppel. De motor levert een bepaald koppel dat via de eindvertraging overgebracht wordt op het wiel. Deze eindvertraging is ook van belang voor het bepalen van de elektromotor. Door de eindvertraging wordt er een overbrengingsverhouding ingebracht die het koppel van de elektromotor zal verhogen. De eindvertraging van de Multi Tool Trac komt van Bonfiglioli, en ook de eindvertraging van het herontwerp zal hier gekozen worden. Het vermogen van de motoren dat in de concurrentieanalyse is afgeschat lijkt ook in deze berekening voldoende te zijn.

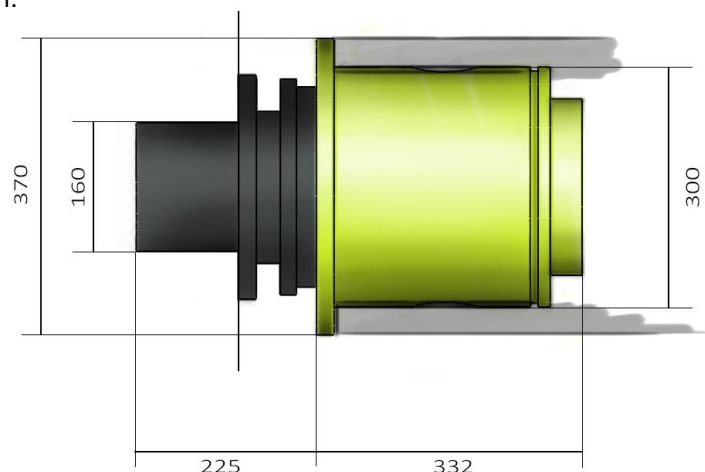
Qua planetaire kast (afb. 40) kan een keuze gemaakt worden uit een eindvertraging met het juiste maximale koppel en draaggewicht. Een voorbeeld van een geschikte oplossing voor het herontwerp van de Multi Tool Trac.



Afb. 40: Eindvertraging

De Multi Tool Trac maakt gebruik van aluminium draaistroommotoren met waterkoeling. De motoren zijn ontworpen voor waterkoeling. De waterkoeling heeft als voordeel dat de motor een stuk compacter gemaakt kan worden. Ook in het herontwerp zal er gebruik worden gemaakt van oliekoeling, omdat de ruimte tussen velg en subframe beperkt is. Een 11 kW – 72 Nm aluminium elektromotor is geschikt voor het herontwerp.

Om het geschikte koppel te verkrijgen is een eindvertraging nodig van bijvoorbeeld 1:40, dit betekent dat het maximale koppel op 2872 Nm per motor komt. Dit is ruim voldoende om de beschreven werkzaamheden uit te kunnen voeren. Het is in deze fase moeilijk om een schatting te maken van de afmetingen van de elektromotor. De elektromotor van de MTT is als referentie gebruikt voor de dimensies van elektromotor van het herontwerp (afb. 41). De schatting van de afmetingen van de elektromotor van het herontwerp komen dicht in de buurt van de MTT, dit betekent dat er een ruime schatting is genomen in het formaat van de motoren. Op deze manier wordt er een zekerheid in het ontwerp gestopt, waarbij het vrijwel uitgesloten is dat de nieuwe motor niet zal passen.



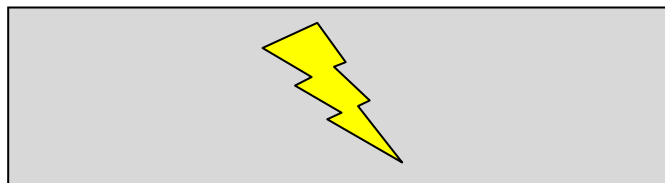
Afb. 41: Afmetingen elektromotor en eindvertraging

Accu-Pakket

Het is voor de werktuigdrager belangrijk om een accu-pakket te hebben, die voldoende vermogen kan leveren om alle componenten van stroom te voorzien.

Het probleem is dat de volledig elektrische range beperkt is en het gewicht van het accu-pakket groot is. In het herontwerp moet de capaciteit van het accupakket kleiner worden. In het herontwerp wordt uitgegaan van een maximum van 5 cassettes om het gewicht te beperken en de accucapaciteit in verhouding met de MTT groter te laten zijn. Met 5 cassettes zal het accu-pakket een vermogen van 15,4 kWh hebben. Hiermee kan het herontwerp 21 minuten volledig elektrisch rijden op vol vermogen en 42 minuten op de helft van het vermogen.

Om 8 uur volledig elektrisch te kunnen, met een gemiddeld vermogen van 8 kW per motor is er een accu nodig met een capaciteit van 256 kWh.



Afb. 42: Cassette

Diesel Range Extender

De MTT heeft een dieselmotor met een vermogen van 140 kW die de generator aandrijft. Deze 140 kW aan vermogen is te veel voor het herontwerp. Dit betekent niet dat de motor niet geschikt is voor het herontwerp, maar in verhouding heeft de motor erg veel vermogen. Meer vermogen betekent een grotere motor en dus meer gewicht en inbouwruimte. Dit moet in het herontwerp wel beperkt worden. Een kleinere motor met minder vermogen zal nog steeds voldoende capaciteit hebben om de accu op te kunnen laden. Belangrijk is hierbij dat de dieselmotor met generator meer stroom op kan wekken dan verbruikt wordt.

Een ander scenario dat op dit moment nog niet realiseerbaar is, is een volledig elektrische tractor. De huidige MTT heeft een kleine elektrische range, met een zwaar accu-pakket. Het herontwerp heeft een gewichtslimiet van 2800 kg, om de gehele werkdag volledig elektrisch te kunnen rijden zijn er erg veel cassettes nodig die het gewicht omhoog brengen, waardoor de eis van 2800 kg niet haalbaar is. De keuze valt daarom op een kleinere 3- of 4-cilinder diesel range extender met minder vermogen en een lager verbruik dan de motor van de Multi Tool Trac.

De keuze van de dieselmotor is sterk afhankelijk van de hoeveelheid vermogen dat ontladen kan worden uit het accupakket. Wanneer het maximale ontladvermogen van de accu bekend is kan er een keuze worden gemaakt voor een dieselmotor die iets meer vermogen levert dan het ontladvermogen. Door het motorvermogen net iets groter te maken dan het ontladvermogen wordt de motor zo compact mogelijk gehouden.

Er wordt gekozen voor een 4-cilinder motor (fig. 22). De motor heeft een vermogen van 81 kW, dit is voldoende vermogen om de accu op te kunnen laden. Mocht het in het ontwerpproces toch blijken dat de dieselmotor niet genoeg vermogen levert, kan er de keuze worden gemaakt voor een soortgelijke motor, maar sterkere variant van 95 kW.

Type Motor	Dieselmotor
Cilinders	4
Motorinhoud (cm ³)	2,1
Verbrandingssysteem	Directe diesel injectie
Maximaal vermogen (kW)/ bij (rpm)	81/3800
Maximaal koppel (Nm)/bij (rpm)	250/2050
Verbruik (g/kWh)	208
Gewicht (kg)	180
Afmetingen (m)	0,606(l) x 0,598(b) x 0,768(h)



Fig. 22: Specificaties Dieselmotor

Generator

Om het accu-pakket van stroom te voorzien, zet de generator de mechanische energie, die wordt opgewekt door de verbrandingsmotor, om in elektrische energie. De Multi Tool Trac maakt gebruik van een 140 kW generator. Deze generator is niet geschikt voor het herontwerp, omdat het formaat en daarbij het gewicht veel te groot zullen worden. De kleinere werktuigdrager zal ook kleinere elektromotoren nodig hebben die minder vermogen vragen. Een grote generator zal hierdoor overbodig zijn. Een kleinere generator met een vermogen van 80 kW zal geschikter zijn voor het kleinere herontwerp. Het voordeel van deze generator is dat de elektronica aanwezig is op de generator. De combinatie van een generator en een dieselmotor wordt ook in de MTT gebruikt. De 80 kW generator past daarnaast qua vermogen ook goed op de 80 kW dieselmotor. De manier van assemblage en testen van de onderdelen is voor Multi Tool Trac makkelijker over te zetten vanaf de MTT naar de kleine werktuigdrager, en dit is dan ook de reden voor de keuze van dit type generator.



Afb. 43: Dieselmotor en generator, afmetingen: 985 mm (lengte) x 598 mm (breedte) x 768 mm (hoogte)

Conclusie Aandrijving

Het herontwerp zal worden aangedreven door 4 afzonderlijk aangedreven elektromotoren met een vermogen van 11 kW en een koppel van 72 Nm. De elektromotor zal gekoppeld worden aan een eindvertraging van 1:40 om het benodigde koppel op de wielen te verkrijgen. De elektromotoren worden van stroom voorzien door een 15,4 kWh accu-pakket, hiermee kan het herontwerp in theorie 21 minuten volledig elektrisch rijden op vol vermogen. Bij lagere snelheden is minder vermogen nodig, waardoor de elektrische range groter wordt. Om de elektromotoren en accu van stroom te voorzien is er een 80 kW dieselmotor van gekoppeld aan een 80 kW generator van. De gekoppelde onderdelen zullen niet tot in detail uitgewerkt worden, zoals in afb. 43 te zien is. Dit model geeft de globale afmetingen van de generator en dieselmotor weer, om in het ontwerp hier omheen te kunnen bouwen. In het ontwerp is er voor een redelijk krachtige generator en dieselmotor gekozen. Het geleverde vermogen is genoeg, maar mocht het blijken dat dit vermogen veel teveel is, dan kan er nog gekeken worden naar kleinere motoren.

3.8 Besturing

De bestuurdersstoel is een belangrijke plek voor de bestuurder. Vanuit deze plek wordt de tractor bestuurd en is er zicht op de werkzaamheden die uitgevoerd worden. Een belangrijke eis van de boeren was het ontbreken van de cabine om gewicht te besparen en communicatie te bevorderen. In een inkoopcabine zitten standaard de meeste functies die de bestuurder uit moet voeren tijdens het gebruik van de tractor. Door het ontbreken van de cabine dient er een nieuw herontwerp gemaakt te worden van de bestuurdersplek. Belangrijk is het hierbij om alle functies van de cabine opgesomd te hebben om deze ook in herontwerp te kunnen implementeren.

Functies in de cabine:

- Geveerde zitplaats bieden
- Goed zicht bieden
- Bescherming voor de bestuurder

Belangrijkste componenten (afb. 44):

- Stuur
- Gas (met de hand of voet)
- Rem/Parkeerrem
- Startknop/sleutel
- Informatiescherm
 - Brandstofmeter
 - Toerenteller
 - Motorkoeling
 - Error Indicator
 - Oliedruk
 - Parkeerrem indicator
 - Generator/Oplaadsysteem
 - Urenmeter
 - Rijsnelheid
- Bedieningspaneel informatiescherm
 - Lichten bedienen
 - Hefinrichting bedienen
 - PTO bedienen
 - Selective Control Valve

In dit ontwerpproces is het door de beperkte tijd niet mogelijk een volledige inrichting van de stuurplek te maken. Daarom worden de componenten zoals de stoel, het stuur, informatiescherm en bedieningspaneel met joystick voor een gedeelte ontworpen. De configuratie en locatie van de componenten is hierbij belangrijk. De joystick en de knoppen moeten gemakkelijk te bedienen zijn, zonder de informatie op het scherm te blokkeren. Het stuur moet in lengte en hoogte verstelbaar zijn om een comfortabele zit voor de bestuurder te garanderen. De stoel moet de juiste positie hebben ten opzichte van de componenten zoals, het stuur en het scherm, om comfort en goed zicht mogelijk te maken. Goed zicht naar buiten en op de bewerking is erg belangrijk. Dit wordt in het volgende hoofdstuk besproken.

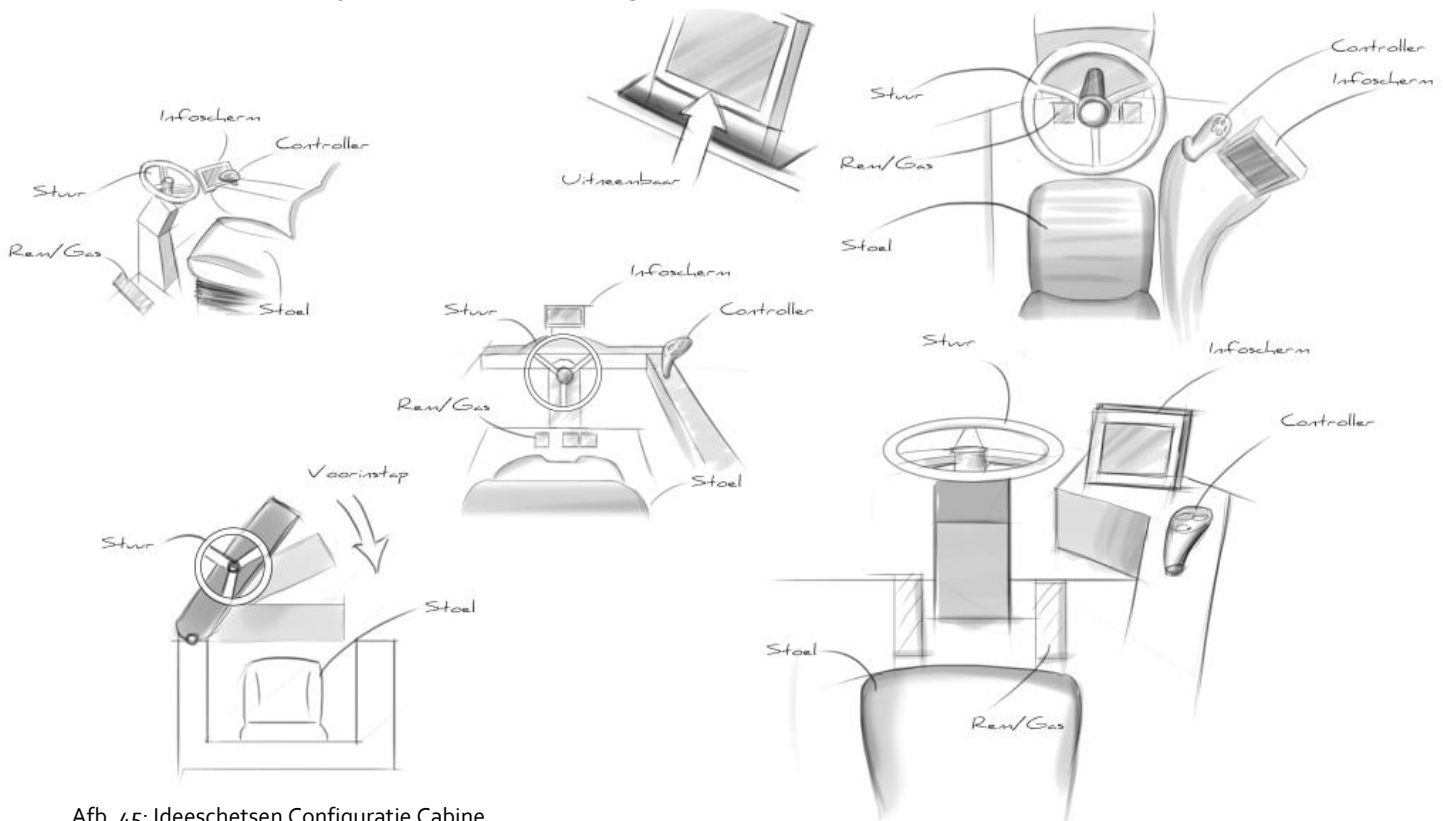


- INFORMATIESCHERM
- JOYSTICK
- INSTRUMENTARIUM
- BEDIENINGSPANEEL
- STUURWIEL
- REM-/GASPEDAAL

Afb. 44: Belangrijke onderdelen cabine

Vormgeving Zitplaats

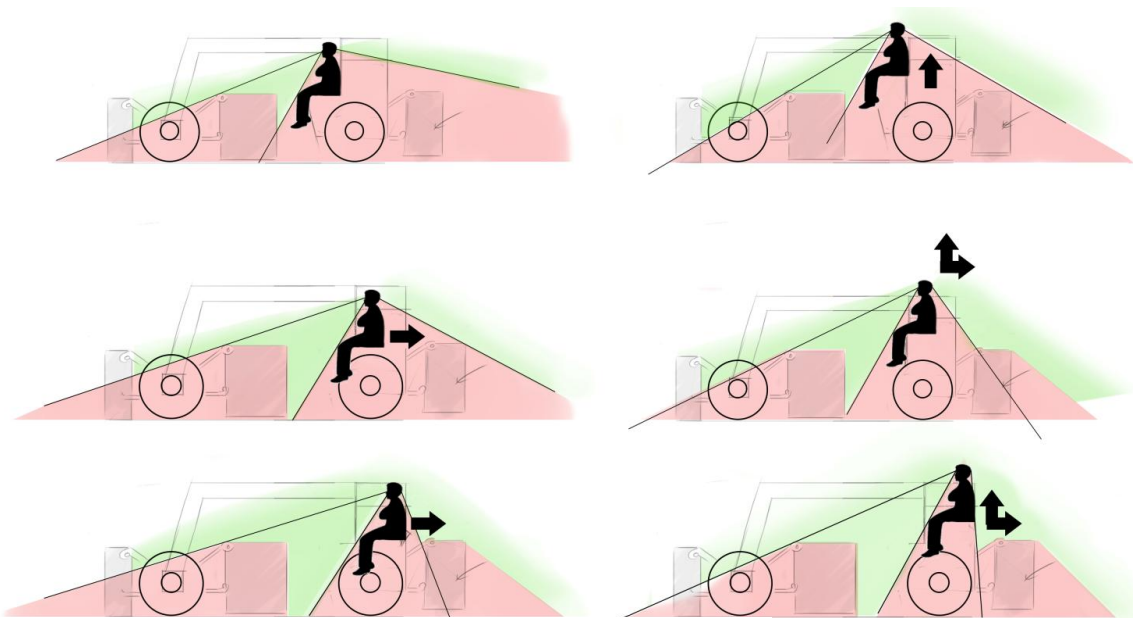
In de schetsen op de afbeelding 45 hieronder is de zitplaats van de bestuurder geschetst, met de bijbehorende componenten zoals een geveerde stoel, stuur, gas/rem, informatiescherm, joystick en bedieningspaneel. De schetsen geven een idee voor het ontwerp van de zitruimte van de werktuigdrager. Het dashboard van de werktuigdrager zal scharnierend zien om de bestuurder in- en uit te kunnen laten stappen. Aan de rechterzijde van de bestuurder bevinden zich het informatiescherm, de joystick en het bedieningspaneel



Afb. 45: Ideeschetsen Configuratie Cabine

Zitpositie

Het grote voordeel van werktuigdragers is de middenhef. Door de zitpositie zo te kiezen dat de bestuurder goed zicht heeft op het middelste werktuig ontstaat er een groot voordeel. De boer hoeft nu niet telkens achterom te kijken, met als gevolg minder fysieke klachten. Maar er kan nog steeds een werktuig aan de achterste hefinrichting worden gekoppeld. Een goed zicht op de achterste hefinrichting en het werktuig is dus nog steeds vereist. In de schetsen van afb. 46 zijn enkele voorbeelden gegeven, waarin de effecten van de zitpositie duidelijk worden. Belangrijk, maar ook logisch, is het zicht dat toeneemt wanneer de bestuurder verder richting te achteras wordt gezet. Het zicht op het middelste werktuig en de grond is erg belangrijk en daarom zal er zo veel mogelijk ruimte tussen het werktuig en de bestuurder moeten zitten. De bestuurder kan door ver naar achter te zitten ook de achterste hefinrichting makkelijker zien. Door de bestuurder hoger boven de grond te zetten ontstaat een beter zicht op de achterhef. De bestuurder mag niet te hoog zitten om het perspectief niet teveel te veranderen. Door een lage zit kan er nauwkeuriger gereden worden. Ook de makkelijke instap bij een lage zit weegt mee als belangrijk voordeel.



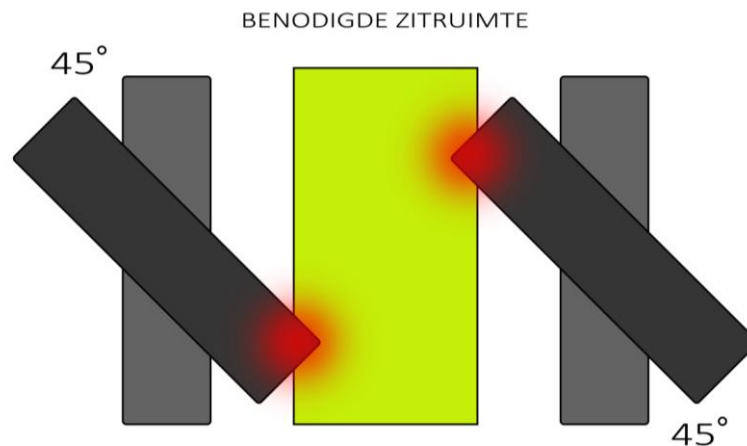
Afb. 46: Zichtlijnen met veranderende positie

De bestuurder kan niet, net als bij de concurrenten, tussen de twee wielen in zitten. Door de scherpe stuurhoek van de achterwielen is er geen plaats meer voor de bestuurder (afb. 47). Het is ook niet mogelijk om de stuurhoek te verkleinen. Bij de grootst mogelijke wielbasis (3100 mm) is de minimale vereiste stuurhoek 32 graden, wanneer de tussenruimte berekend wordt komt dit op 677 mm. Dit is een te smalle ruimte om de bestuurder in te plaatsen. Wanneer de wielbasis op 2500 mm wordt gezet is er een minimale vereiste stuurhoek van 25 graden. De tussenruimte die dan ontstaat is 774 mm. (Berekend met smalle banden van 270 mm breed) Dit moet voor de bestuurdersplek genoeg ruimte zijn. Het nadeel is dat er weinig ruimte voor de andere onderdelen ontstaat. Daarnaast wordt er veel ingeleverd op de draairadius.

De bestuurder kan ook nog aan de linker of rechterzijde van de werktuigdrager geplaatst worden. Door de plek van de bestuurder in het midden te plaatsen ontstaat er aan de linker- en rechterzijde weinig ruimte voor het plaatsen van de motor of accucomponenten. Door de bestuurder aan één van de zijkanten te zetten ontstaat er naast de bestuurder ruimte voor andere componenten.

Keuze zitpositie

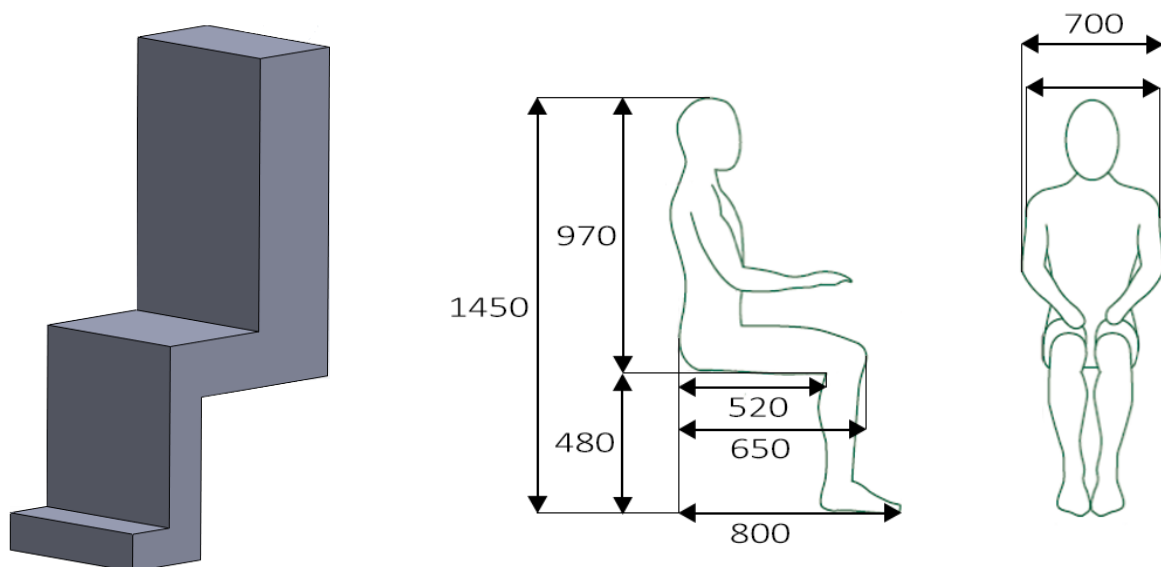
De keuze valt daarom op een zitplaats net voor de vooras, boven de wielen. Er ontstaat hierdoor ruimte voor de extreme stuurhoeken om de manoeuvreerbaarheid te vergroten. Er ontstaat ook meer plek voor de andere componenten die geplaatst moeten worden. Daarnaast neemt het zicht voor- en achteruit toe. Het nadeel is dat de bestuurder hoog komt te zitten, waardoor er een opstap moet komen voor de bestuurder. De bestuurder komt daarnaast aan de linkerzijde van de werktuigdrager te zitten om aan de rechterzijde ruimte te creëren voor overige componenten.



Afb. 47: Probleem scherpe stuurhoek

Afmeting Bestuurder

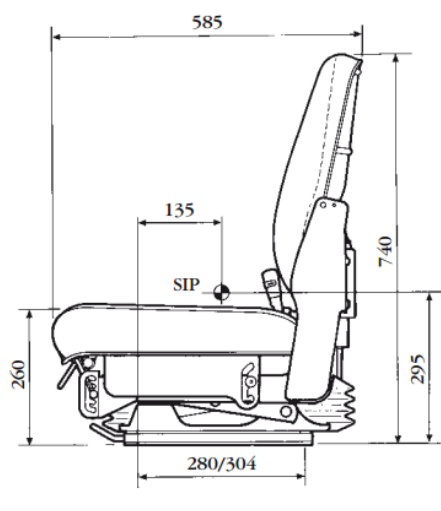
In Human factors and safety van Goering, G. et al. 2003, worden de afmetingen van een zittend persoon in een voertuig beschreven. Deze afmetingen vormen de basis voor de zitplaats van de bestuurder. In de configuratie kan er rekening worden gehouden met een persoon op de werktuigdrager. De persoon is met de afgebeelde afmetingen gemodelleerd (afb. 48) en wordt in de configuratie gebruikt om de afmetingen van het frame te bepalen en het ontwerp van de motorkap te maken. Ook het zicht van de bestuurder is in het ontwerp te simuleren door een camera op de positie van de ogen te plaatsen.



Afb. 48: Afmetingen en CAD-Model persoon

Keuze stoel

De stoel is een KAB 301 stoel met mechanische vering om het comfort van de bestuurder te verbeteren. In het herontwerp zullen er verschillende mogelijke stoelen in het ontwerp mogelijk zijn. De keuze voor de stoel ligt dan bij de klant. Dit ontwerp dient als invulling voor het 3D-CAD model om de ruimte rond de bestuurder te kunnen configureren. (afb. 49) De vering van de stoel werd als vereist genoemd in het ontwerp en heeft een positieve invloed op het comfort van de bestuurder.



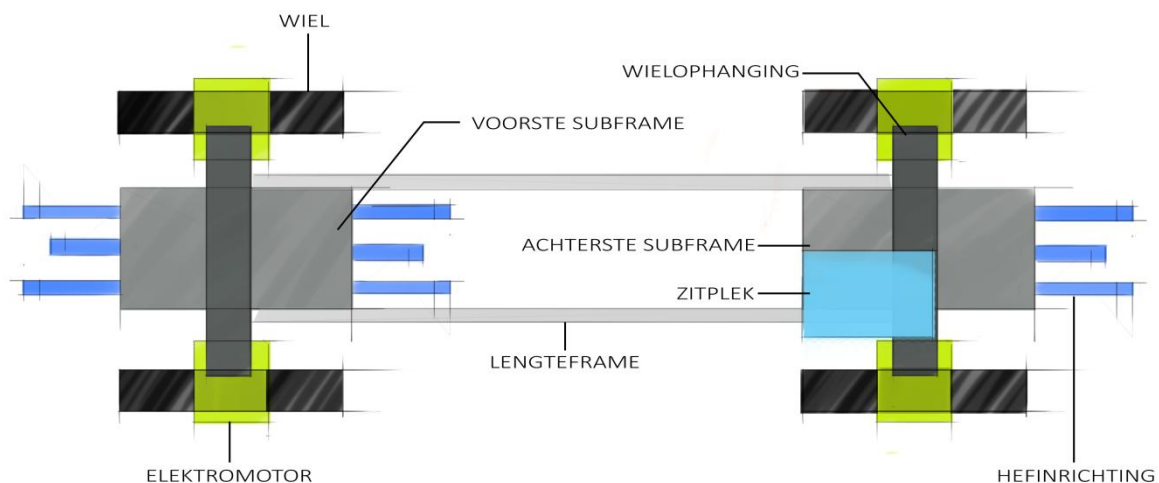
Afb. 49: Afmetingen en CAD-Model stoel

Conclusie Besturing

De bestuurder komt boven de wielen, net voor de vooras te zitten. Dit om ruimte te creëren voor de extreme stuurhoeken die gehaald moeten worden. Daarnaast biedt een hoge zit ook nog voordelen ten opzichte van het zicht naar voren en op het middelste- en achterste werktuig. De bestuurder heeft in het ontwerp afmetingen gekregen om hier de carrosserie omheen te kunnen ontwerpen. Om het comfort van de bestuurder tijdens gebruik te vergroten wordt er een geveerde stoel op het ontwerp geplaatst. De stoel biedt plaats voor de bestuurder. Vanuit deze plek zal het voertuig bestuurd worden met de verschillende functies die rond de bestuurder aanwezig zijn. Zo kan de bestuurder sturen met het stuurwiel en de gas/rem met pedalen bedienen. Aan de rechterzijde van de bestuurder bevinden zich het bedieningspaneel met het informatiescherm en de joystick.

3.9 Configuratie Componenten

De plaatsing van de componenten is er belangrijk voor de werking en de gewichtsverdeling van de werktuigdrager. De huidige MTT heeft een basisconfiguratie die voor een groot gedeelte overgenomen kan worden. Enkele componenten die op dezelfde plek zitten in de configuratie zijn; de vier wielen met de motoren en eindvertraging gekoppeld aan de wielen. Ook de stuurinrichting zal er per wiel hetzelfde uitzien. Het herontwerp van de werktuigdrager zal een voorste en achterste subframe hebben met daartussen een lengteframe die beide subframes met elkaar verbindt. De voorste en achterste hefinrichting zitten net als bij de MTT op een vaste positie. De middenhef kan daarentegen aan het voor, achterste of lengte frame gekoppeld worden. Hier wordt in de volgende paragraaf onderzoek naar gedaan. De andere componenten van de aandrijving, zoals de diesel range extender en het accupakket kunnen op verschillende locaties aan het voorste of achterste subframe gemonteerd worden. Ook hier zal in dit hoofdstuk aandacht aan worden geschonken. De zitplaats bevindt zich aan de achterzijde van de werktuigdrager op het subframe. Daarnaast moet het frame ook nog ruimte bieden aan de verschillende elektronische en hydraulische componenten die op de werktuigdrager moeten zitten. Dit hoofdstuk zal de configuratie van de componenten van de werktuigdrager, stap voor stap uitwerken. In afbeelding 50 is de basisopzet van de werktuigdrager weergegeven:



Afb. 50: Basisconfiguratie Werktuigdrager

Hefinrichting

De middelste driepuntheffinrichting kan op drie verschillende locaties tussen de subframes geplaatst worden (afb. 51). Iedere locatie heeft zijn eigen voor en nadelen die in de tabel hieronder zijn opgesomd. De locaties zijn: aan het voorste subframe, in het midden van het lengteframe of aan het achterste subframe.

Plaats Hefinrichting	Invloed op		Complexiteit	Modulariteit	Kosten	Totaal
	Gewichts- verdeling	Moment				
	Positief = 5	Laag = 5				
	Weging = 2					
Voorste subframe	5	3	4	4	5	46
Midden lengteframe	4	5	2	4	2	40
Achterste subframe	2	3	2	4	3	35

Fig. 24: Scoringstabel Plaats Hefinrichting

Uit de tabel blijkt duidelijk dat een middenhef aan het voorste subframe de meeste voordelen oplevert. De oplossing is minder complex dan de twee andere opties. De reden hiervoor is dat de bestuurder aan de achterzijde zit en er een lage zitpositie nodig is. Het inbouwen van de heffinrichting aan het achterste frame wordt hierdoor een stuk complexer. De middenhef moet volledig opnieuw ontworpen worden, dit brengt complexiteit en ook kosten met zich mee. Aan het voorste subframe is voldoende ruimte om een heffinrichting te plaatsen. Daarnaast is gewichtsverdeling ook belangrijk. Door de middenhef verder naar voren te plaatsen is een gewichtsverdeling van 60/40 makkelijker te halen.

Configuratie Aandrijving

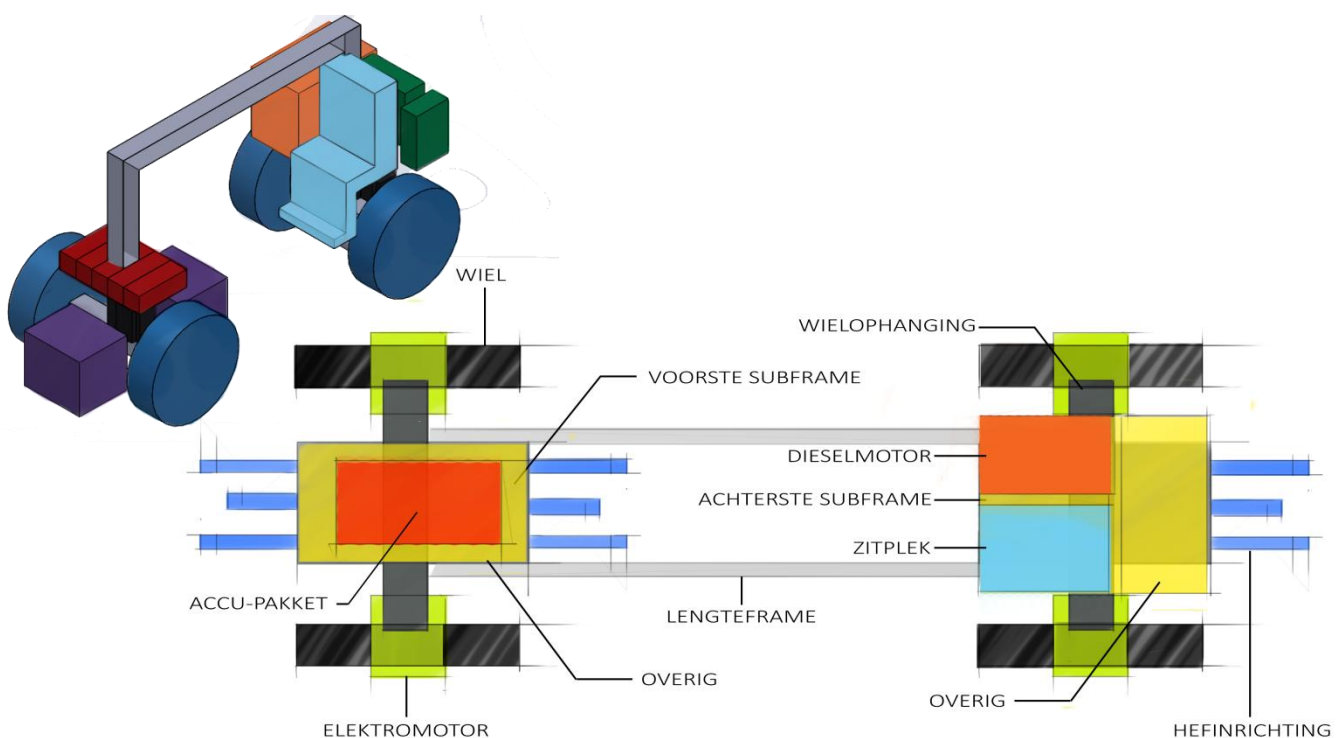
De plaatsing van de diesel range extender en het accupakket heeft veel vrijheid. Het accupakket heeft voornamelijk veel plaatsingsvrijheid zoals in afb. 50 te zien is. Het volledige accupakket kan aan de voor- of achterzijde geplaatst worden, maar er is ook een mogelijkheid om het gewicht van de accu's te verdelen over de gehele constructie. Zelfs verplaatsing van de accu's als contragewicht zou mogelijk moeten zijn voor het ontwerp. De diesel range extender met generator heeft wat minder vrijheid. Dit component kan alleen als één groot blok op de constructie geplaatst worden. De Multi Tool Trac heeft de grote dieselmotor aan de voorzijde van de tractor. De concurrerende werktuigdragers hebben een, dwars of in de lengte geplaatste motor aan de achterzijde bij de bestuurdersstoel. Dit zal bij het herontwerp ook het geval zijn. Er ontstaat aan de achterzijde plek voor de diesel range extender door de zitplaats van de bestuurder omhoog te brengen. De diesel range extender zal naast de bestuurder geplaatst worden. Er zal zo meer ruimte bespaard worden voor andere componenten, zoals de hydraulica, elektronica en brandstoftank aan de achterzijde. Het nadeel is dat de dieselmotor direct naast de bestuurder zit en het lawaai storend kan zijn voor de bestuurder. Een andere mogelijkheid is er om de diesel range extender aan de voorzijde te plaatsen. De dieselmotor zou dan tussen de wielen geplaatst moeten worden om het zicht van de bestuurder niet te belemmeren. Dit is door de grote stuurhoek alleen niet mogelijk. Wanneer de breedte van de motor plus de inbouwruimte wordt geschat op 700 mm zullen de wielen een stuurhoek van 30,5 graden kunnen maken. Met deze hoek wordt de eis van een draaistraal van 3 meter niet gehaald. De

motor kan verder omhoog worden geplaatst, maar het zicht naar voor neemt dusdanig af dat dit gevaar kan opleveren.

Het accupakket van de Multi Tool Trac is één groot blok. Nu is de accucapaciteit van de MTT te groot voor het herontwerp, hierdoor zal er een kleiner accupakket op de werktuigdrager gemonteerd worden. Hierbij zal nog steeds het probleem ontstaan dat de het plaatsen van het accupakket erg moeilijk gaat. Dit is dan ook de reden dat het accupakket opgedeeld gaat worden. Dit gebeurt in de automotive branche tegenwoordig met bijna elk model. Er kan makkelijker gevarieerd worden met het zwaartepunt en plaatsing van de componenten. De accupakketten zullen aan de voorzijde van de werktuigdrager geplaatst worden. Daarnaast zal er in het herontwerp ook nog de mogelijkheid zijn om het accupakket te verschuiven. Het accupakket kan nu als contragewicht dienen om de optimale gewichtsverdeling te verkrijgen.

Conclusie Configuratie

In de afbeelding 51 hieronder is de configuratie van de achterzijde nog een keer weergegeven. De zitplaats en de dieselmotor bevinden zich net voor de achteras naast elkaar. Achter de dieselmotor en de zitplaats is er nog ruimte voor enkele hydraulische en elektronische componenten. Ook de benzinetank wordt aan de achterzijde geplaatst.

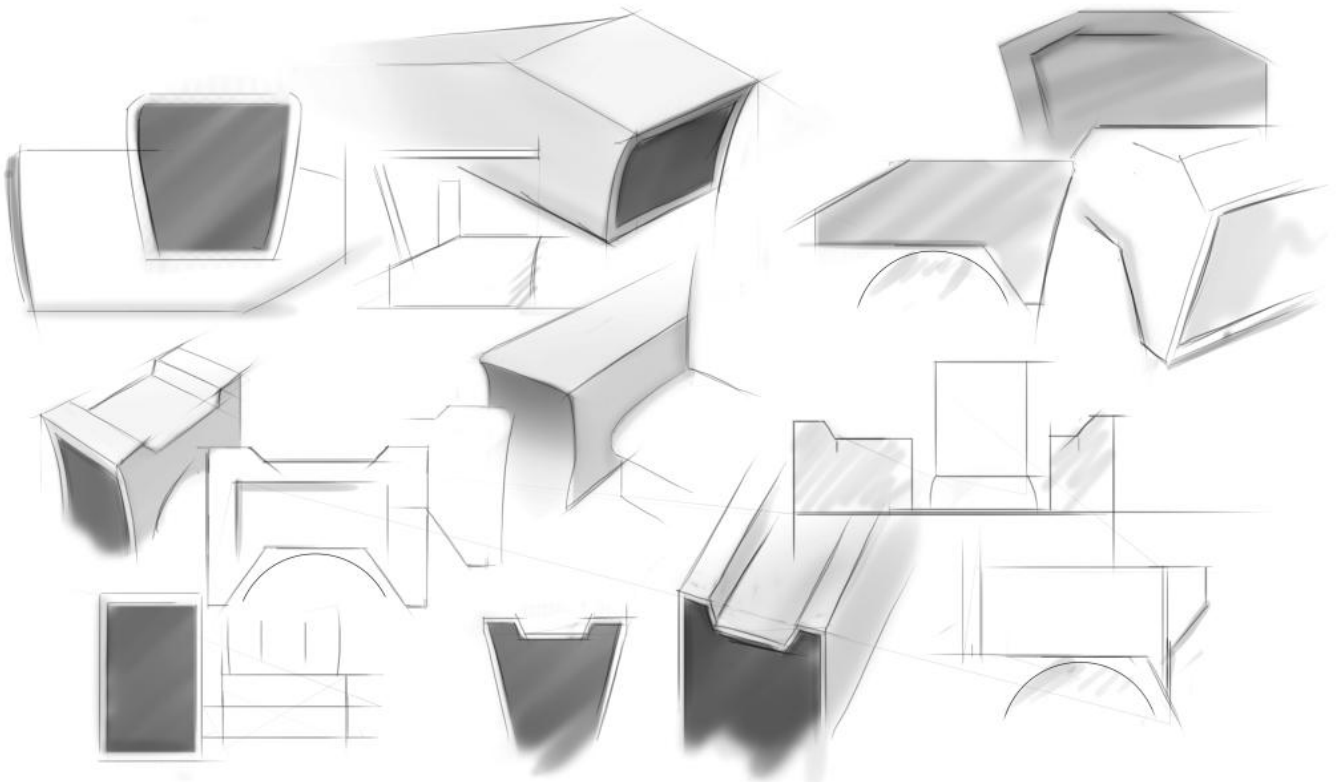


Afb. 51: Eindconfiguratie

3.10 Carrosserie

Vormgeving Motorkap – Dieselmotor/Generator

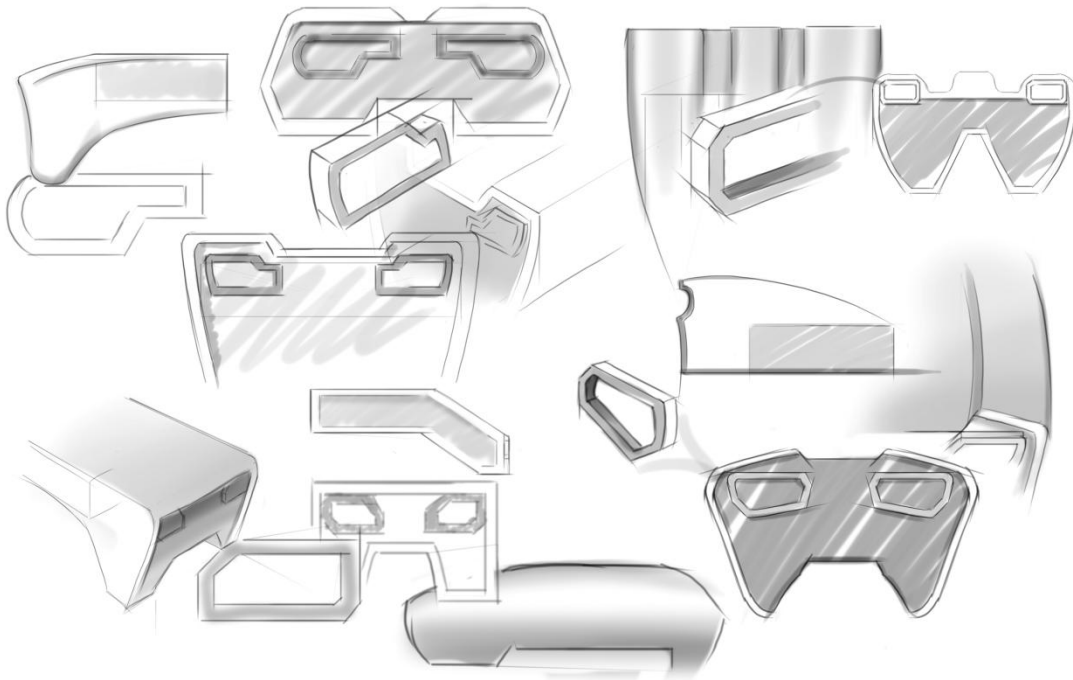
De vormgeving van de motorkap is sprekend voor Multi Tool Trac, de besproken vormkenmerken dienen terug te komen in het herontwerp. De motorkap bevindt zich aan de achterzijde en moet plaats bieden aan de diesel range extender, generator en koeling. Daarnaast zal de motorkap ook als onderdeel van de cabine dienen. De vormgeving van de zitplaats vormt een verlengde van de motorkap. De carrosserie zal om de bestuurder geplaatst worden en verschillende functionaliteiten herbergen. Om instapruimte te creëren voor de gebruik moet het dashboard om kunnen klappen. De bestuurder kan vervolgens aan de voorzijde instappen. In afbeelding 52 zijn enkele vormschetsen weergegeven.



Afb. 52: Vormgeving Motorkap

Vormgeving Motorkap – Accupakket

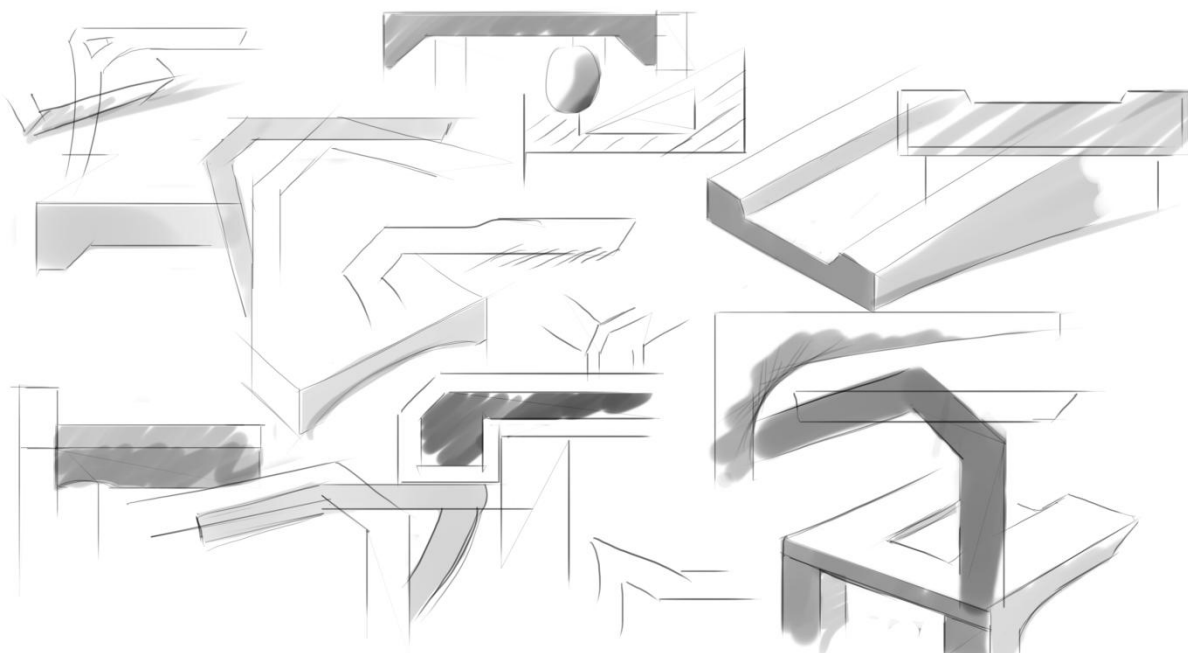
De motorkap van het accupakket heeft al functie om het accupakket te beschermen tegen corrosie en vocht. Daarnaast zullen er ook nog enkele andere componenten onder de motorkap geplaatst worden. Deze motorkap herbergt ook de koplampen van de werktuigdrager. De koplampen zullen in de motorkap geïntegreerd worden. In afbeelding 53 zijn enkele ideeschetsen weergegeven.



Afb. 53: Vormgeving Accupakket

Vormgeving Dak

Naast het beschermen van de bestuurder en de besturing tegen weersinvloeden zoals regen en zon, heeft het dak samen met het frame ook een functie als ROPS (Roll-Over Protection System). Dit betekent dat het dak stevigheid moet krijgen om de gebruiker te beschermen tegen een eventuele rol. Het dak zal geïntegreerd worden met het frame om protectie te bieden. In de afbeelding hieronder zijn enkele vormschetsen te zien om de vormgeving van het dak te bepalen.



Afb. 54: Vormgeving Dak

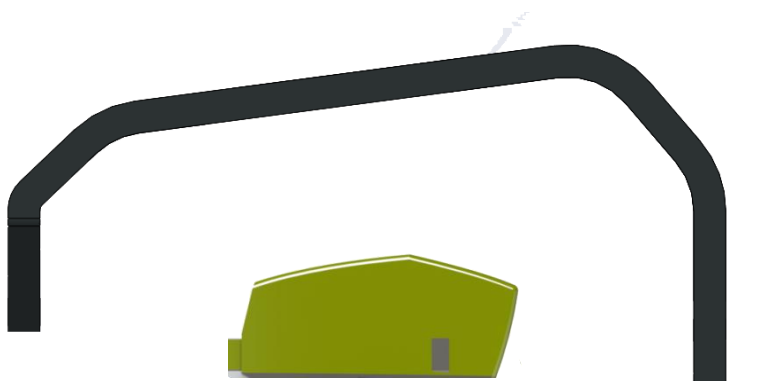
Hoofdstuk 4: Detaillering

4.1 Frame

Het frame van het herontwerp bestaat uit drie delen, het hoofdframe dat het voorste- en achterste subframe met elkaar verbindt. Het frame wordt volledig geconstrueerd uit plaatstaal (AISI 3043 staal (fig. 23)) en profielen om een lichte, maar toch stijve constructie te krijgen. Er is in het ontwerp rekening gehouden met de vormkenmerken van de Multi Tool Trac, met de kenmerkende neus, en ook de stuur- en wenteluitslag zijn erg belangrijk geweest voor de vormgeving van het frame. Deze aspecten limiteren de breedte en hoogte van de frames. De lengte van de frames wordt voornamelijk gelimiteerd door de vereiste wielbasis en de inbouwruimte voor de werktuigen. De afmetingen van het profiel zullen door middel van een simulatie worden vastgesteld.

Hoofdframe

Het hoofdframe is ontworpen met de kenmerkende vormen van de neus van de Multi Tool Trac (afb. 55). Het frame loopt eerst omhoog, om zicht voor de bestuurder en ruimte voor de werktuigen te creëren. Tussen de assen loopt het frame naar beneden om de kenmerkende vorm van de motorkap van de Multi Tool Trac na te bootsen. Het aflopende frame eindigt op een hoogte net boven het hoofd van de bestuurder. Hier ontstaat er ruimte om een afdak te ontwerpen voor de bestuurder. Het frame gaat vervolgens recht naar beneden om naar verbonden te worden aan het achterste subframe. Het hoofdframe heeft als functie om de beide subframes met elkaar te verbinden, en uiteindelijk een starre en stevige constructie te vormen.



Afb. 55: Hoofdframe met de vormkenmerken

Simulatie

In deze simulatie wordt er gekeken naar de maximale vervorming en spanning in het frame. Het doel is om het volume te minimaliseren en daarmee het gewicht en de prijs van het frame omlaag te brengen. De simulatie wordt uitgevoerd met een FOS van 1,5, om een veiligheid in de constructie te bouwen. Het frame wordt uit 3043 staal gefabriceerd met de eigenschappen uit figuur 23, waarbij de maximale spanning de Yield Strength (met FOS) van $4,7 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ niet overschrijdt en de maximale vervorming niet groter dan 15mm wordt. Er is een frame ontworpen met de afmetingen die volgens de vormgevingsrichtlijnen voor het grootste gedeelte vast staan. Het profiel van het frame is nog niet gedefinieerd. Het frame zal in de simulatie verschillende krachten ondervinden, waardoor torsie of buiging ontstaat. Het frame zal eerst op buiging worden getest, al volgens het frame op torsie te testen. Door het frame op torsie te testen wordt ook de locatie van de dwarsbalken duidelijk.

AISI 3043 Staal:

Property	Value	Units
Elastic Modulus	2.05e+011	N/m ²
Poisson's Ratio	0.32	N/A
Shear Modulus	8e+010	N/m ²
Mass Density	7850	kg/m ³
Tensile Strength	1110000000	N/m ²
Compressive Strength		N/m ²
Yield Strength	710000000	N/m ²
Thermal Expansion Coefficient	1.23e-005	/K
Thermal Conductivity	44.5	W/(m·K)
Specific Heat	475	J/(kg·K)
Material Damping Ratio		N/A

Fig. 23: Eigenschappen Staal

Buiging:

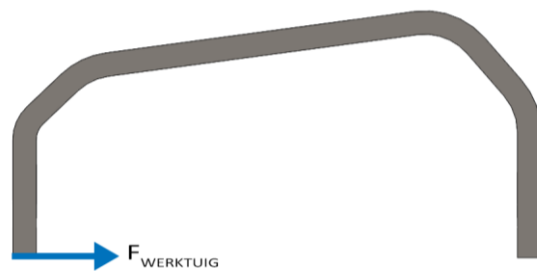
Het frame ondervindt door de werktuigen en de trekkracht van de wielen zware trekbelastingen, hierdoor zal het frame gaan buigen. Het frame moet de buiging kunnen weerstaan. Er zijn hierbij twee scenario's die interessant kunnen zijn om de krachten op het frame te kunnen bepalen.

Scenario 1: Trekkracht werktuig (afb. 56)

Er hangt een werktuig aan de middenhef. Als werktuig wordt er voor een Chisel Plough van 1,5 m in fijne grond gekozen.

Scenario 2: Volledig koppel van de wielen

De achterste wielen blokkeren, waardoor de volledige trekkracht van de twee voorwielen op de voorzijde van het frame komt.



Afb. 56: Trekkracht scenario 1 & 2

Om de afmetingen van het profiel te bepalen is er in de eerste studie in de hoogte en breedte van het profiel gevarieerd en geoptimaliseerd op gewicht. Bij de tweede studie is er gekeken naar de wanddikte van het plaatstaal waaruit het frame gefabriceerd zal worden. Uit de simulaties volgt een frame dat aan de gestelde eisen voldoet.

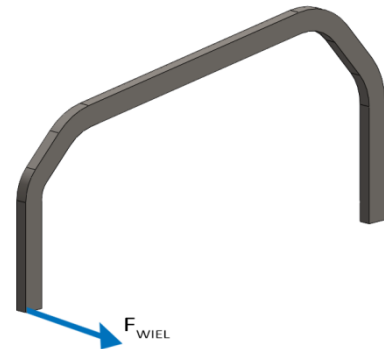
Buiging door middelste werktuig:

De maximale spanning blijft met een maximum van $3.7 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ onder de vloeisterkte (met FOS) van $4.7 \times 10^8 \text{ N/m}^2$. Het frame wordt onder de gekozen belasting dus niet blijvend vervormd en heeft daarnaast nog voldoende ruimte. De maximale verplaatsing van het frame komt bij de gegeven belasting uit op 8,3mm, dit is voor dit frame te tolereren. Uit deze analyse volgen ook de afmetingen van het profiel die in de resultaten gepresenteerd zullen worden.

Buiging/torsie door trekkracht wiel:

Het frame ondervindt een trekkracht van het wiel op de zijkant van het frame door de stuurhoek. (afb. 57)

De maximale spanning blijft met een maximum van $5.6 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ onder de vloeisterkte van $7.1 \times 10^8 \text{ N/m}^2$, maar komt niet onder de FOS. Het frame wordt onder de gekozen belasting niet blijvend vervormd, maar heeft geen veiligheidsfactor, waardoor hogere belastingen in de praktijk het frame kunnen laten scheuren. De maximale verplaatsing van het frame komt bij de gegeven belasting uit op 329mm, dit is een extreme verplaatsing en niet te tolereren. In werkelijkheid zullen de wielen voldoende weerstand moeten bieden om deze vervorming tegen te houden.



Afb. 57: Trekkracht van het wiel

Torsie

Het frame kan op verschillende manieren torsie ondervinden. Zo kan het werktuig een moment opwekken door oneffenheden op het land, waardoor het frame wil torderen. Ook is een soortgelijke situatie mogelijk met de assen die een moment op het frame uitoefenen. Het is lastig om te bepalen hoe groot de krachten zijn die hier opspelen. In de situatie van de assen wordt een schatting gemaakt, en deze wordt gebruikt in de simulatie.

Scenario 1: Kracht van de as op het frame (afb. 58)

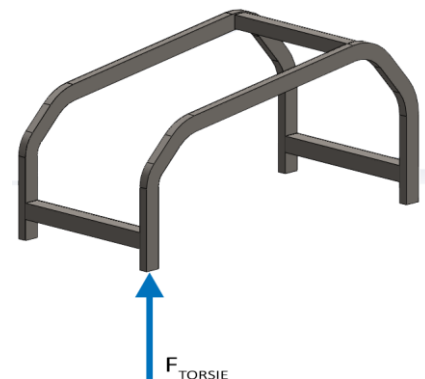
Door oneffenheden in de grond drukt het voorste frame op de onderzijde van het frame, waardoor deze zal torderen.

Torsie op frame door oneffenheden:

De maximale spanning blijft met een maximum van $2.9 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ onder de vloeisterkte (met FOS) van $4.7 \times 10^8 \text{ N/m}^2$.

Het frame wordt onder de gekozen belasting dus niet blijvend vervormd en heeft daarnaast nog voldoende ruimte.

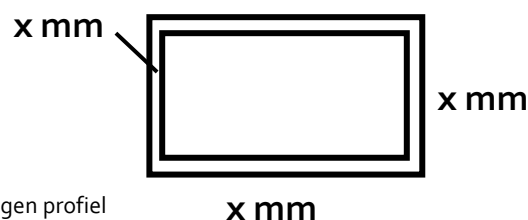
De maximale verplaatsing van het frame is nog te tolereren voor dit frame.



Afb. 58: Torsiekracht op het frame

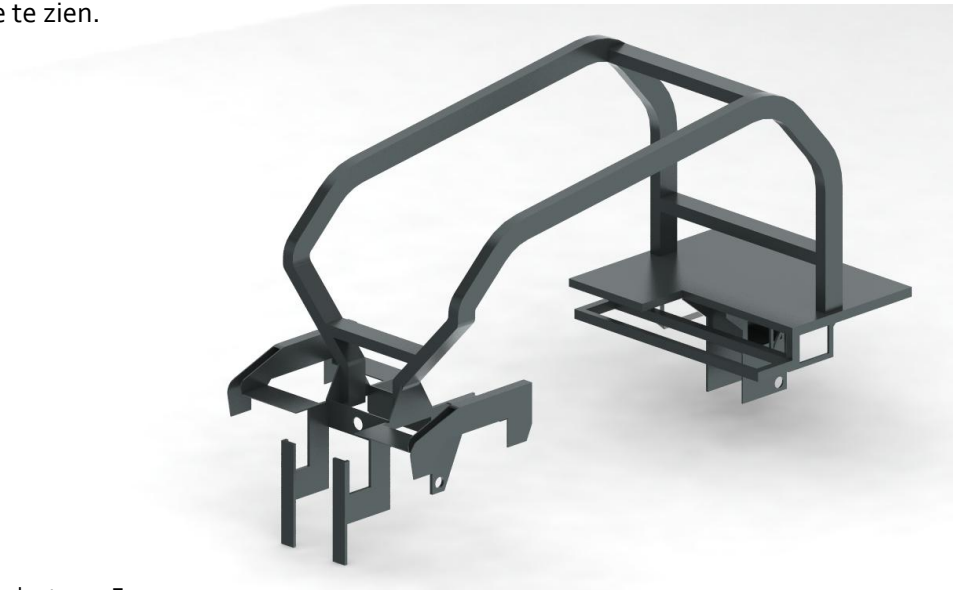
Resultaat Simulatie

De resultaten van de buiging en torsie studies hebben uiteindelijk de geometrie van het profiel bepaald. Bij dit profiel is de massa minimaal, maar bezwijkt het onderdeel niet onder de krachten die het ondervindt. Een profiel uit plaatstaal bespaart veel gewicht en heeft ook als voordeel dat de hydraulische en elektronische kabels en leidingen via deze constructie naar voren geleid kunnen worden. De afmetingen van het profiel zijn in de onderstaande afbeelding weergegeven:



Afb. 59: Afmetingen profiel

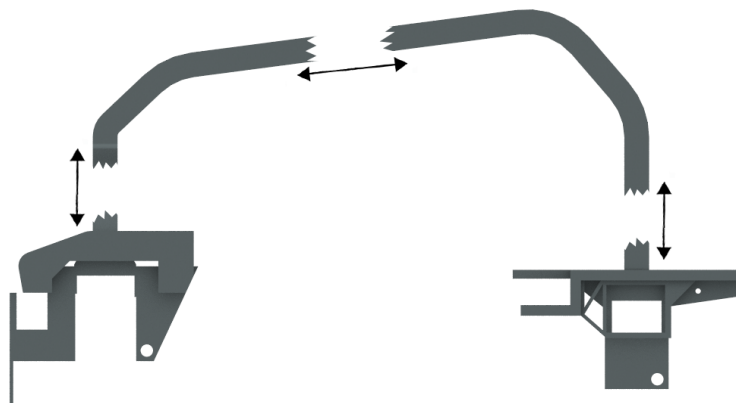
Ook heeft de analyse van de torsie, de zwakke plekken van het frame blootgelegd. Hierdoor wordt het duidelijk waar het frame verstevigd moet worden met dwarsbalken. De simulatie heeft uiteindelijk het onderstaande resultaat gegeven (afb. 60), waarbij de afmetingen van het hoofdframe en het profiel zijn vastgesteld. Ook zijn in deze afbeelding het voorste- en achterste subframe te zien.



Afb. 60: Eindontwerp Frame

Modulariteit

Het hoofdframe is gemakkelijk aan te passen aan de wensen van de klant (afb. 61). De lengte en breedte van het frame kunnen worden aangepast om de wielbasis te vergroten of verkleinen. Dit kan worden gedaan door te variëren met de lengte van het plaatstaal. Ook de hoogte van het frame kan naar wens van de klant aangepast worden. Het huidige frame is erg hoog, een lager frame is mogelijk. Daarnaast kan ook de breedte van het frame aangepast worden, wanneer de spoorbreedte ook groter zal worden. Dit betekent dat de lengte van de dwarsbalken moet toenemen.



Afb. 61: Modulariteit Hoofdframe

Fabricage

Het hoofdframe zal uit een vierkant buisprofiel bestaan, vervaardigd uit plaatstaal. Het frame bestaat uit in ieder geval 5 verschillende delen, die op maat gemaakt zullen worden. Wanneer de delen op de juiste maat zijn gemaakt, kunnen de onderdelen aan elkaar gelast worden om een geheel te vormen. De koppeling van het hoofdframe aan de subframes zal door middel van een las- of boutconstructie gaan.

Voorste Subframe

In afb. 62 is het voorste subframe weergegeven. Het voorste subframe heeft een andere belangrijke functie, namelijk het vasthouden van de componenten. Aan het voorste subframe zijn verschillende componenten verbonden, zoals ook in de herontwerpfase is aangegeven. De componenten zijn hier opgesomd:

- Accupakket
- Middelste hefinrichting
- Voorste hefinrichting
- Wielophanging
- Pendelas
- Ventielenblok

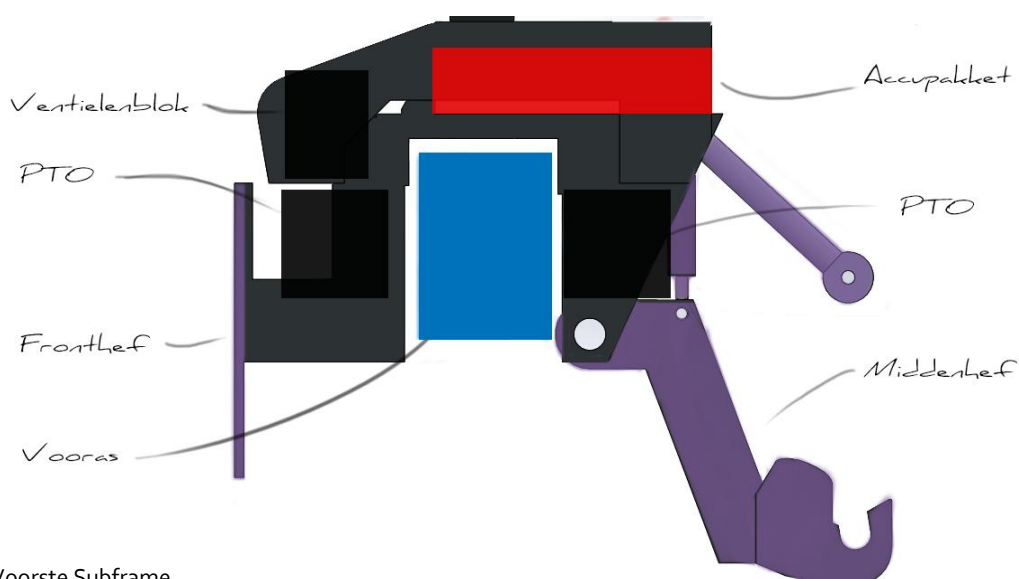
Het subframe moet genoeg ruimte bieden om de wielen met 62 graden te kunnen laten sturen en de pendelas genoeg te kunnen laten pendelen om de grootste oneffenheden op te kunnen vangen. Dit betekent dat er tussen de wielen weinig ruimte zal zijn en de componenten dus hoger geplaatst moeten worden.

Modulariteit

Het voorste gedeelte van het subframe is niet heel geschikt om modulair aanpasbaar te maken. Toch is het wel mogelijk de modulaire componenten aan het subframe te verbinden. Zo is het mogelijk om een fronthef te monteren met verschillende specificaties op verschillende hoogtes. Ook de breedte en hoogte van de middenhef zijn gemakkelijk naar wens van de klant aan te passen. Bij het accupakket is het mogelijk deze als module in of uit het subframe te schuiven, zodat vervanging gemakkelijker wordt.

Fabricage

Het voorste subframe vormt een verlengde van het hoofdframe en kan volledig uit plaatstaal worden gefabriceerd. De platen kunnen door middel van een las of boutverbinding aan elkaar verbonden worden om de constructie te vormen. Door de plaatstalen constructie voldoende dik te kiezen is het mogelijk de om de krachten die het frame ondervindt op te vangen.



Afb. 62: Voorste Subframe

Achterste Subframe

Het achterste subframe (afb. 63) heeft dezelfde functie als het voorste subframe, namelijk het vasthouden van de componenten. Aan het frame zijn ook de verschillende componenten verbonden, in de herontwerpfase is aangegeven. De componenten zijn hier opgesomd:

- Dieselmotor
- Generator
- Achterste hefinrichting
- Wielophanging
- Cabine (Stoel/Besturing/Bediening)
- Ventielenblok
- Hydrauliekmotor
- Elektrakast

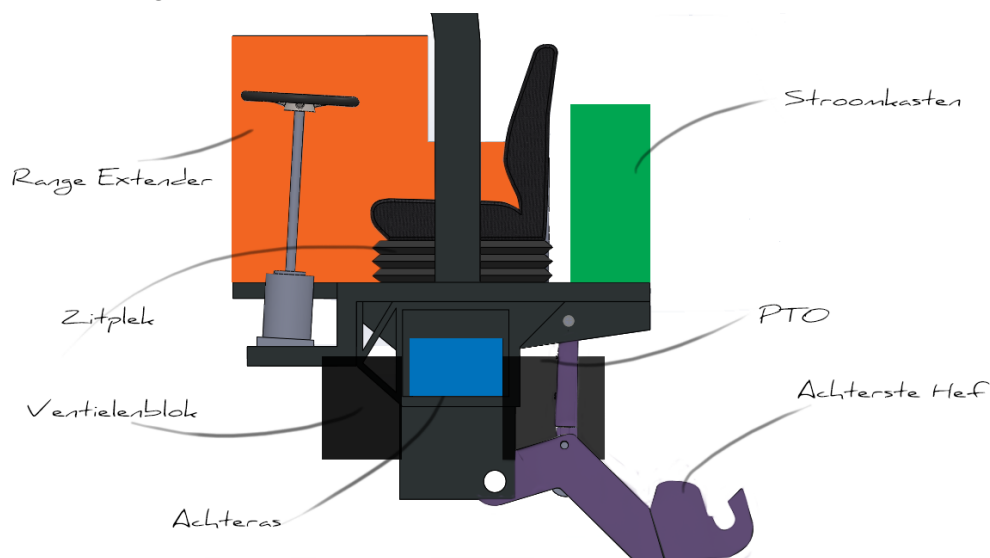
Het achterste subframe is uitgerust met een platform, waarop de cabine en range extender gemonteerd kunnen worden. Het platform biedt veel montagemogelijkheden voor de verschillende componenten.

Modulariteit

Het achterste subframe is net als het voorste subframe niet heel geschikt om modulair toe te passen. Het frame biedt daarentegen wel ruimte voor de verschillende modulaire componenten die op het frame gemonteerd worden. De componenten kunnen door hun plaatsing gemakkelijk vervangen of onderhouden worden. Daarnaast biedt het frame ook ruimte om componenten naar wens van de klant te kunnen monteren. Het frame biedt door het plateau een groot aantal montageplekken.

Fabricage

Het achterste subframe vormt net als het voorste subframe een verlengde van het hoofdframe en kan volledig uit plaatstaal worden gefabriceerd. De platen kunnen door middel van een las of boutverbinding aan elkaar verbonden worden om de constructie te vormen. Door de plaatstalen constructie voldoende dik te kiezen is het mogelijk de om de krachten die het frame ondervindt op te vangen. De componenten kunnen vervolgens op het plateau gemonteerd worden door middel van een boutverbinding.



Afb. 63: Achterste Subframe

Conclusie & Aanbevelingen

Het frame dat in dit hoofdstuk is ontwikkeld voldoet aan de eisen van de afmetingen en belastingen. Daarnaast biedt het frame ook nog voldoende ruimte voor de componenten die op het frame gemonteerd moeten worden. Het uit plaatstaal gefabriceerde frame heeft een massa van 890 kg, dit is een relatief hoog gewicht. Het frame kan daarom niet worden overgenomen voor de productie, een intensievere optimalisatie is nodig om het gewicht van het frame te beperken. Daarnaast zijn enkele afmetingen van bijvoorbeeld de hydraulica, elektronica en hef nog niet definitief, waardoor er verbindingsmogelijkheden weggehaald, of toegevoegd moeten worden.

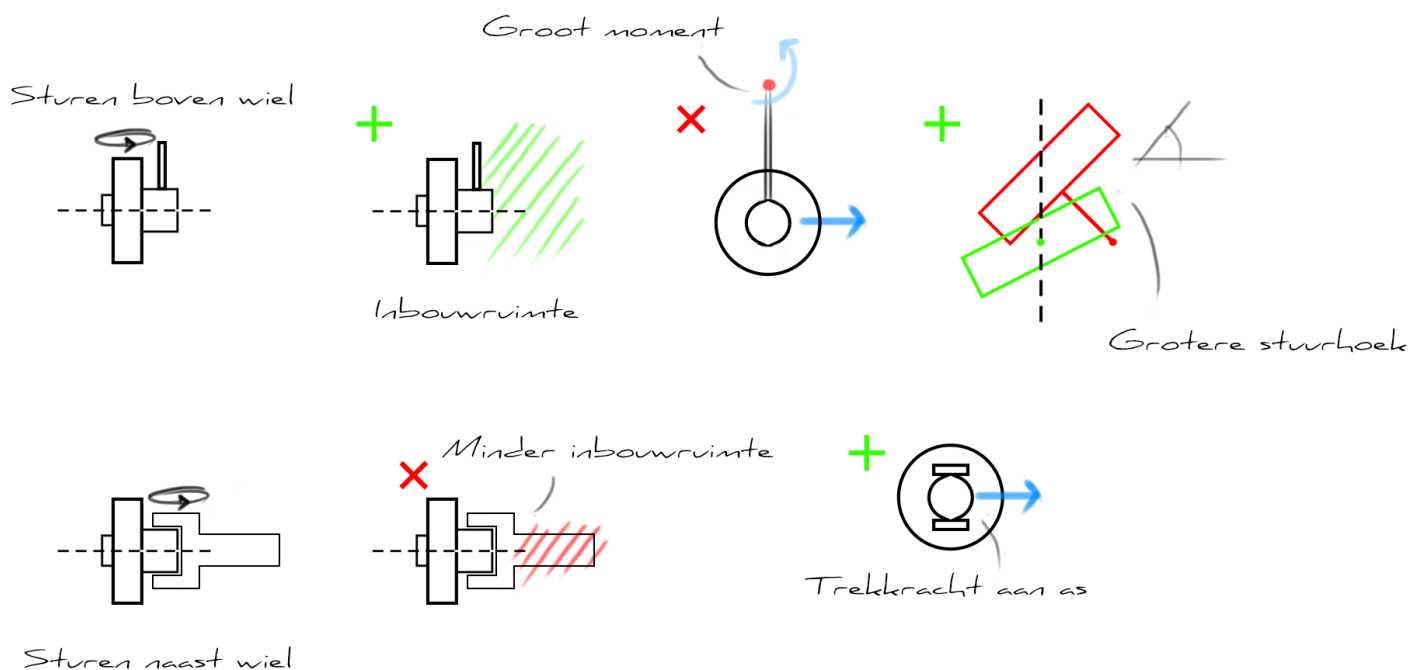
4.2 Wielophanging

In de herontwerp fase is er voor een pendelende vooras en een starre achteras gekozen. De assen moeten herontworpen worden om plaats te bieden aan de elektromotor met mantel, en de hydraulische stuurinrichting. Het ontwerpproces van de wielophanging en de stuurinrichting liepen parallel aan elkaar en zullen in de komende hoofdstukken behandeld worden.

Aanpassing van de assen

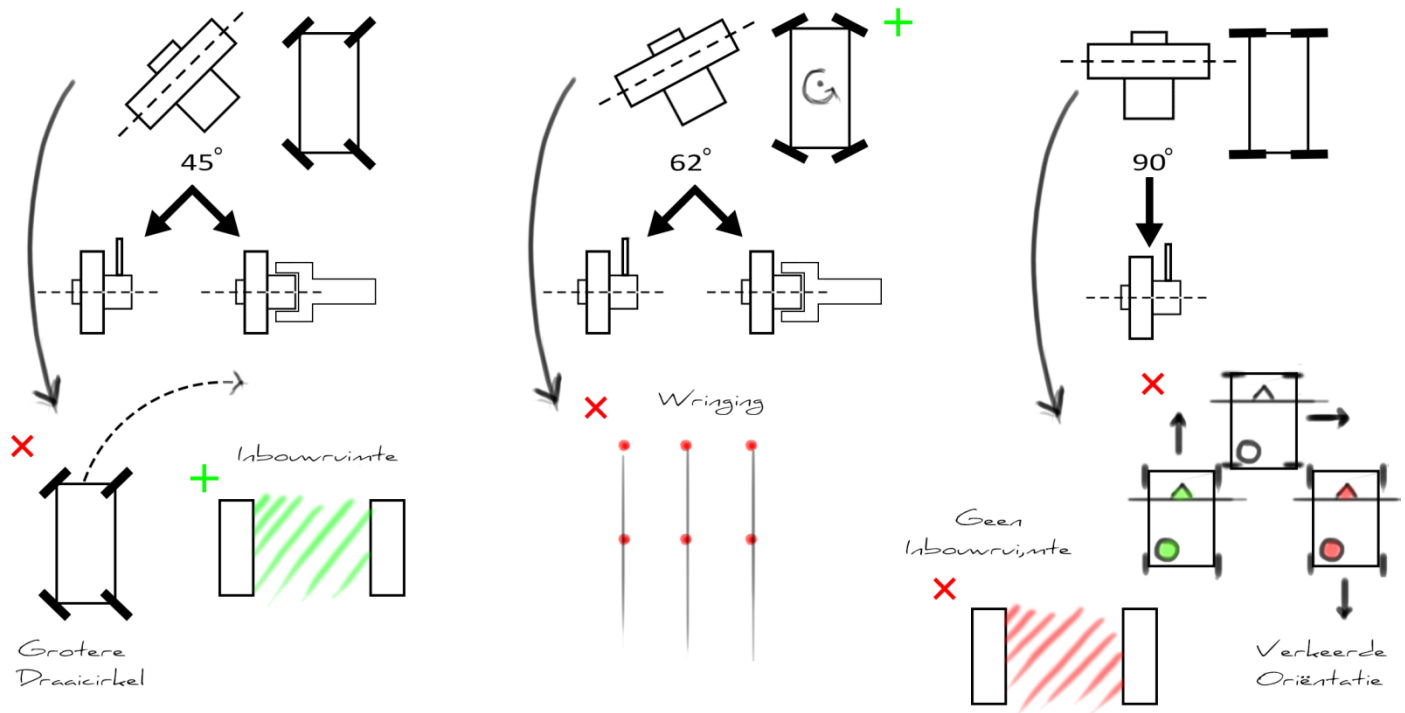
De Multi Tool Trac heeft hele specifieke assen met gebogen fuseearmen om de wielen uit te lijnen. Dit is in het herontwerp niet nodig, omdat de spoorbreedte niet verstelbaar is. Het herontwerp zal rechte assen hebben. De koppeling van de motoren aan de fuseearmen neemt veel ruimte in beslag. Dit komt door de onafhankelijke besturing van alle wielen, waardoor er een specifieke stuurinrichting ontworpen moest worden. De assen moeten naast voldoende stijfheid en sterkte ook ondersteuning bieden aan de hydraulische componenten van de stuurinrichting en de elektromotoren in de mantel.

Het type wielophanging is sterk afhankelijk van de manier van sturen. Er zijn voor het herontwerp twee verschillende manieren om het herontwerp te kunnen sturen. Boven het wiel met een hoge as, of naast het wiel met een as tussen de wielen. Beide concepten brengen voor en nadelen met zich mee die in afbeelding afb. 64 hieronder zijn weergegeven.



Afb. 64: Voor en nadelen sturing

Met de verschillende manieren van sturen, zijn er ook verschillende opties om de werktuigdrager te manoeuvreren. Dit heeft voornamelijk te maken met de stand van de wielen. In het PvE werd een stuurhoek van 45° als minimum gesteld. Grotere stuurhoeken brengen andere opties met zich mee die in de afb. 65 zijn weergegeven. Allereerst de eis van de 45° stuurhoek, waarbij de werktuigdrager normaal kan manoeuvreren. De tweede stuurhoek is de hoek van 62° , waardoor er de optie ontstaat om de werktuigdrager om zijn as te laten draaien. De laatste optie is de 90° stuurhoek, hierdoor kan de werktuigdrager zijwaarts bewegen. Ook deze opties hebben verschillende voor en nadelen die in de volgende paragraaf tegen elkaar afgewogen zullen worden om een keuze te maken.



Afb. 65: Voor en nadelen stuurhoek

Keuze type sturing

De keuze valt op het sturen boven het wiel met een stuurhoek van 62° . In de toepassing van dit voertuig is de benodigde trekkracht aanzienlijk minder, waardoor deze optie interessant wordt. Dit betekent wel dat de constructie van de wielophanging stevig moet zijn om de momenten op te kunnen vangen. De grootste momenten zullen tijdens het vol remmen, of het zware trekken zijn.

Door boven de wielen te sturen is het mogelijk om alle drie de stuurhoeken te kunnen halen. Er kan voor de 45° gekozen worden, om de inbouwruimte relatief groot te laten, maar door de keuze van het sturen boven de wielen kan er een winst in de stuurhoek behaald worden, waardoor de inbouwruimte nog steeds groot genoeg blijft. Daarnaast levert de stuurhoek van 62 graden een enorm voordeel, de werktuigdrager kan om zijn eigen as kan draaien. Hierdoor neemt de wendbaarheid van het voertuig enorm toe. Het nadeel is de wringing op de kopakkers. Het is zelfs mogelijk een stuurhoek van 90° te halen, maar door de beperkte inbouwruimte en de verkeerde oriëntatie van het werktuig en de bestuurder tijdens het keren, valt dit idee af.

Eindontwerp As

De keuze van de sturing boven de wielen heeft ervoor gezorgd dat de assen compleet gewijzigd moeten worden. Beide assen zijn identiek aan elkaar, op de pendelas na. De hoge vooras bevat een gat voor de pendelas, bij de starre achteras ontbreekt dit onderdeel. De assen hebben aan beide stuurkanten een lagering zitten om de wielen te laten draaien. De mantel zit met behulp van de lagering verbonden aan de pendelas. De elektromotoren op dezelfde wijze opgehangen in de fuseearmen als bij de Multi Tool Trac. Beide assen hebben met de mantel een massa van 390 kg.

Als de voorste as in de uiterste stand gewenteld is, kan de as een maximale hoek van 10° bereiken, waardoor de overbrugbare hoogte 310 mm bedraagt. Hiermee kunnen het comfort en de rijeigenschappen aanzienlijk verbeterd worden.

Simulatie

Het is van belang om de grootte van het lager en de lageras te bepalen. Dit wordt gedaan door te kijken naar verschillende belastingsscenario's en de as vervolgens te ontwerpen op het zwaarste scenario. Hier kan vervolgens een lager bij gekozen worden die de bijbehorende krachten op kan vangen. Na de keuze van de as diameter en het lager, kunnen de dimensies van de pendel/starre-as bepaald worden.

Modellen

De stuur-as boven het wiel wordt op het voertuig met de onderstaande afmetingen toegepast:

Diameter wielen: 1100mm

Maximale draaglast: 4800 kg

Hoogte tot lagering: 1250mm

Berekening

De weerstandskracht onderaan het wiel zorgt voor een moment op het aankoppelingspunt tussen het frame en de wielophanging. De verbinding tussen deze delen wordt gecreëerd door een gelagerde brede as. De diameter van deze as wordt gedefinieerd door het moment dat wordt opgelegd door de weerstandskracht tussen het wiel en de grond. Om een idee te krijgen van de breedte is de situatie vereenvoudigd.

Hierin onderscheiden we twee situaties.

1. Er wordt een maximale kracht gezet op het voertuig vanuit de weerstand van de werktuigen.
2. Het voertuig wordt met 40km/h tot stilstand gebracht in een korte tijd; in 3 en 1 seconden.

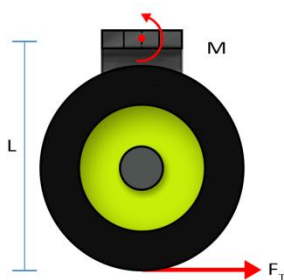


Fig. 24: VLS moment trekkracht op as

Er van uitgaande dat in deze situatie het frame oneindig stijf is, wordt er een moment gezet op de as, zoals in het figuur 24 is weergegeven. Het moment in het midden van de as wordt verplaatst naar de onderkant waar een kracht aangrijpt. Om een idee te krijgen van de diameter van de as, is in de tweede figuur (fig. 25) een situatie geschetst en aan de hand van de buigingsformules een diameter afgeschat. Hiervoor is onderstaande formule gebruikt.

1. $\delta = \frac{F L^3}{3 E I}$
2. $I = \frac{1}{4} \pi R^4$

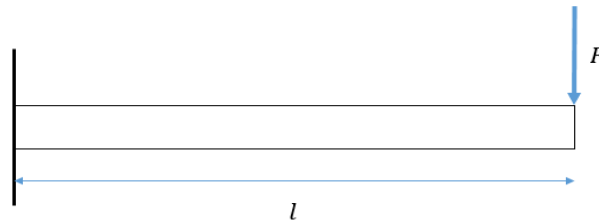


Fig. 25: VLS versimpelde situatie

Vervolgens zijn er nog een twee berekening, waarin in dezelfde richting een moment op het wiel wordt gezet. Echter wordt er nu vanuit gegaan dat de as stijf genoeg is. Het maximale moment komt dan op het framedeel zoals aangegeven in figuur 26 hiernaast. Ook hier zijn alle weerstandskrachten weergegeven.

Een versimpelde situatie is geschetst in de figuur 27. Het donkergrijze deel is het wiel dat in deze analyse als oneindig stijf wordt beschouwd. De berekening geeft een beeld van de vervorming van de mantel onder invloed van de krachten die beschreven zijn in de scenario's.

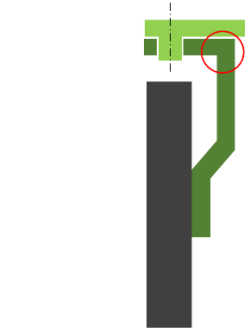


Fig. 26: Situatie moment matel

De uitwijking voor beide wielmaten is weergegeven in de tabel. Voor de berekening van de afwijking δ is de volgende formule gebruikt:

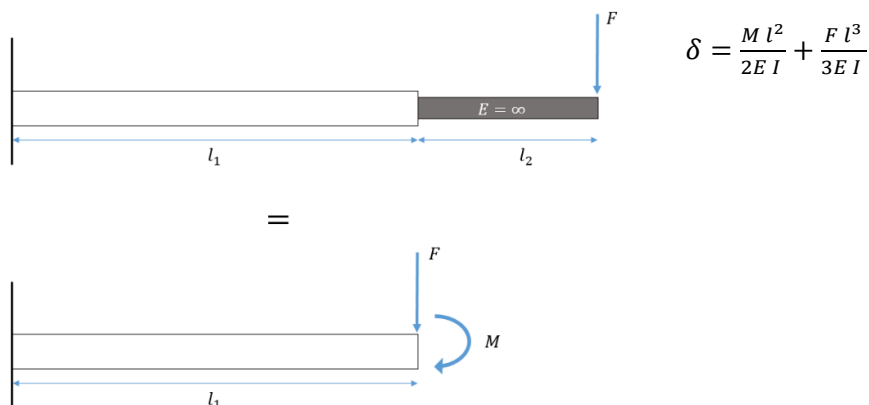


Fig. 27: VLS versimpelde situatie

Lagering

Door voor een korte as te kiezen is het mogelijk om kleinere lagers te gebruiken. Een as met een diameter van 100 mm zou in deze analyse voldoen. Voor de lagering zijn kegellagers gekozen. Deze lagers vangen zowel radiale als axiale krachten op. Door een groot moment op de wielophanging is dit een belangrijke eigenschap. Om het belastingsmoment beter op te kunnen vangen, is het ook mogelijk om twee enkele lagers te gebruiken. Hieronder zijn de mogelijkheden weergegeven.

Horizontale As

De horizontale as is gemodelleerd op de grootte van de lagers en de breedte van de mantel. De horizontale as moet het eigengewicht van de werktuigdrager kunnen dragen. De totale beladen massa van de werktuigdrager zal ongeveer 5,5 ton bedragen. Met een gewichtsverdeling van 60/40 zal er een massa van 3,3 ton op de assen steunen. Dit komt neer op een kracht van 32400 N die de as moet kunnen weerstaan. In figuur 28 is een versimpelde situatie weergegeven.

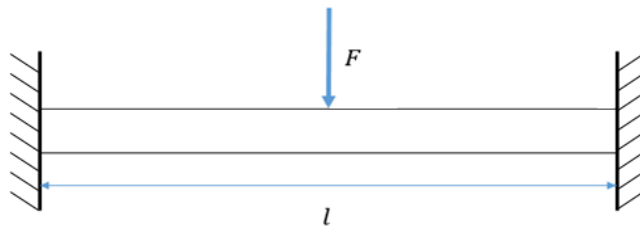


Fig. 28: VLS versimpelde situatie

$$\delta_{max} = \frac{FL^3}{192EI}$$

De balk zal onder zijn eigengewicht vervormen, maar deze vervorming is relatief klein. Dit betekent dat de assen onder belasting van het eigengewicht hun functie nog steeds uit kunnen voeren.

Modulariteit

De wielophanging vormt op zichzelf een module, die bestaat uit verschillende componenten. Zo is er een hoofdas (de starre- of pendelas), waaraan beide mantels verbonden worden. De hoofdassen kunnen gemakkelijk in spoorbreedte aangepast (afb. 71), door de lengte van het plaatstaal aan te passen. De assen kunnen vervolgens op dezelfde manier als de 1,5 m assen gemonteerd worden aan het frame. Ook de hoogte van de mantel en de diameter van de verbingsplaat kunnen aangepast worden aan de keuze van de motor of wiel. De mantel is als een module met de aandrijving en het wiel te verbinden aan de hoofdas.

Fabricage

De fabricage van de assen van de Multi Tool Trac werd als redelijk ingewikkeld bevonden. Voornamelijk de grote afrondingen waren onderdeel van een intensief fabricageproces. In het huidige model is de fabricage van de assen sterk versimpeld. Door het ontbreken van de spoorbreedteverstelling zijn gebogen assen niet meer nodig. Daarnaast worden de fuseearmen en de assen van elkaar gescheiden, waardoor de afrondingen niet meer aanwezig zijn. De assen kunnen uit plaatstaal worden gefabriceerd. Ook de mantels bestaan uit plaatstaal, maar zullen een intensiever fabricageproces ondergaan door de hoeken in het ontwerp.

Conclusie & Aanbeveling

Doordat de assen zijn over gedimensioneerd, betekent dit, dat de assen met mantel 390 kg wegen. Dit betekent dat er nog een verdere optimalisatie kan plaatsvinden in afmetingen. Door betere eisen te stellen aan de maximale spanning en vervorming is het mogelijk om de assen ook door te rekenen vóór fabricatie. Door de afmetingen van de assen kleiner te maken zal er ook bespaard worden op gewicht, een erg belangrijk onderwerp voor de stakeholders. Voornamelijk de mantels zijn zwaar en nog niet volledig geoptimaliseerd op gewicht. De constructie voldoet nu in ieder geval aan de eisen om niet kapot te gaan onder belasting.

4.3 Stuurinrichting

Het keuze van het type stuurinrichting is in het voorgaande hoofdstuk uitgebreid behandeld. De hydraulische stuurinrichting levert, ondanks de hogere kosten, veel voordelen op in de onafhankelijke besturing die nodig is om de werktuigdrager om zijn as te kunnen laten draaien. Door de boven de wielen te sturen wordt een groot probleem dat in de herontwerpfase aan bod kwam opgelost. De besturing bevindt zich nu niet meer tussen de wielen. Hierdoor is het mogelijk om de hydraulische cilinders te de hoofdas te plaatsen om zo het wiel te laten draaien. Het is belangrijk dat de stuurinrichting de vereiste 62° stuurhoek kan behalen om werktuigdrager om zijn as te kunnen laten draaien.

Eindontwerp Stuurinrichting

Het eindontwerp van de stuurinrichting bestaat uit de twee hydraulische cilinders die zijn overgenomen uit de MTT en enkele scharnierpunten. Dit ontwerp maakt, net als de stuurinrichting van de Multi Tool Trac, gebruik van twee hydraulische cilinders per wiel. 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, omdat het wiel dan gemakkelijker in zijn evenwichtsstand te houden is. Hierdoor neemt de nauwkeurigheid van het positioneren van de werktuigdrager toe. De hydraulische cilinders zijn verbonden met twee scharnierende punten om het juiste aantal graden van vrijheid te verkrijgen. Om een lineaire beweging van de hydraulische cilinders om te zetten naar een circulaire beweging zijn er tenminste twee scharnierpunten nodig. Door de cilinders te laten scharnieren, in plaats van een extra scharnierpunt bij de hydraulische as, ontstaat er geen dood punt in de mechaniek (waardoor de cilinders zich kapot drukken). Nu is het mogelijk om de scherpe stuurhoek van 62° te halen en hierdoor de draaicirkel te verkleinen.

Conclusie & Aanbeveling

De ontworpen stuurinrichting voldoet aan de gestelde eisen om een stuurhoek van minimaal 45° te halen. Door de specifieke wielophanging is het zelfs mogelijk om hele grote hoeken te halen. Hierdoor is het mogelijk om de draaicirkel van de werktuigdrager extreem klein te maken, ook is het zelfs mogelijk om de werktuigdrager om zijn as te laten draaien. De huidige stuurinrichting werkt in theorie. In de praktijk zullen de onderdelen met vuil te maken krijgen, waardoor slijtage zal optreden. Door de gehele constructie, net als bij de MTT, in een bak te plaatsen worden de componenten beschermd tegen vuil. Daarnaast zijn in het model de hydraulische cilinders van de MTT gebruikt, waardoor de cilinders nu teveel kracht zullen leveren om te sturen. Het is in het herontwerp nog mogelijk om kleinere cilinders, die minder kracht kunnen leveren te gebruiken. De kracht die de cilinders leveren heeft ook invloed op de grootte van de scharnierpunten, die op dit moment nog niet gespecificeerd zijn.

Voor MTT wordt dan ook aanbevolen om in dit herontwerp te kijken naar de benodigde duw-/trekkracht van de cilinders om de wielen te laten draaien. Wanneer deze krachten bekend zijn kunnen de geschikte hydraulische cilinders uitgezocht worden. De hydraulische cilinders moeten naast dat ze voldoende kracht moeten leveren, ook voldoende compact zijn. Nu de kracht bekend zijn is het ook mogelijk om de scharnierpunten verder te detailleren. Nadat de volledige hydraulische stuurmechaniek bepaald is, is het mogelijk om een kast voor de stuurinrichting te ontwerpen. Zo wordt de mechaniek beschermd tegen corrosie en vuil.

4.4 Wielen

De wielen van de MTT zullen veel te groot en zwaar zijn voor het herontwerp. Er moeten daarom kleinere banden gekozen worden die passen bij het formaat van het herontwerp. Bij de keuze van de wielen zijn vier aspecten erg belangrijk; de bodemdruk, draagvermogen, de velg grootte en rijpadbreedte die ook weer invloed heeft op de bodemdruk. De druk die de band uitvoert op de grond heeft te maken met het contactoppervlak en het gewicht/gewichtsverdeling van de tractor. Door het contactoppervlak van de band groot te maken zal de bodemdruk vermindert worden. Ook een lager gewicht van de tractor vermindert de bodemdruk, maar dit is geen variabele die aan te passen is bij het wiel. De breedte van het contactoppervlak wordt gelimiteerd door de breedte van het rijpad van 320 mm. De velgen van de tractor moeten relatief groot worden om veel ruimte te bieden aan de wielophanging met stuurinrichting.

Er is gekozen voor een speciaal voor rijenteelt ontwikkelde smalle Mitas AC85 band. De smalle banden vergemakkelijken het rijden tussen de gewassen zonder deze te beschadigen en leveren een betere oogst op. Ook de afgeronde schouders, de nokken en de hoogte van de band beschermen de zaden en gewassen. De diepe nokken zorgen voor goede tractie, een betere richtingsstabiliteit en een goede controle. Daarnaast heeft de band ook goede zelfreinigende eigenschappen om het loopvlakpatroon vrij van modder te houden, met minder doorslippen tot gevolg. De band heeft voldoende draagvermogen om het gewicht van de werktuigdrager met werktuigen op te kunnen vangen, zelfs op de laagste spanning van 1,2 bar. Het gewicht per band is 50 kg lager dan die van de MTT, dit scheelt aanzienlijk in het totaalgewicht.



Technische data

Bandenmaat	320/90 R 32	Sectiebreedte (mm)	331
Velg / toegestane velg	W 10 / W 11 / W 9	Statische radius belast (mm)	638
Totale buitendiameter (mm)	1391	Profiel diepte (mm)	39
Afrolomtrek (mm)	4190	Gewicht band (kg)	71
Aantal boutgaten x2	23	Nominale bandenspanning (bar)	2
Vlakke plaat (cm²)	1160	Draagvermogen van de band (kg)	2120.0

Fig. 31: Specificaties Wiel

4.5 Cabine

In het model is een simpele cabine gebouwd, waarin de vereiste componenten, zoals de stoel, het stuur, informatiescherm en bedieningspaneel met joystick ontworpen en geconfigureerd zijn (afb. 66). De bestuurder zit op een geveerde stoel die in de herontwerpfase gekozen is. De stoel heeft een goede positie ten opzichte van de componenten zoals, het stuur en het bedieningspaneel, om comfort en goed zicht mogelijk te maken. De joystick en de knoppen zijn gemakkelijk te bedienen door deze aan de rechterzijde van de bestuurder op armhoogte te plaatsen. Het stuur is op een smalle stuurstang geplaatst om goed zicht naar onder mogelijk te maken. Met een dikkere verticale, of horizontale kolom zou de gebruiker geen zicht meer hebben op het middelste werktuig en de bewerking. Goed zicht wordt als erg belangrijk gevonden en om deze reden is er dan ook voor deze simpele oplossing gekozen. Het informatiescherm bevindt zich op een scharnierende arm, waardoor het scherm in veel verschillende posities geplaatst kan worden, om een beter zicht op de werktuigen, de weg en het scherm te garanderen.



Afb. 66: Eindconfiguratie Cabine

Door de hoge zit van de bestuurder is het niet mogelijk om zonder trap in de werktuigdrager te komen. De meest geschikte oplossing is, om de bestuurder aan de voorzijde, tussen het frame in te laten stappen. Op deze plek is de meeste ruimte om in te stappen. De bestuurder kan via een losneembare trap (afb.67) op de werktuigdrager komen. Dit betekent wel dat de stuurkolom/het stuur verwijderd moet worden, bij in- en uitstap. De bestuurder heeft na de instap de mogelijkheid om de trap los te maken en de portaalhoogte weer voldoende groot te maken.



Afb. 67: Losneembare Trap

Conclusie & Aanbeveling

De ontworpen cabine voldoet aan de gestelde eisen in dit project. De bestuurder stapt met de losneembare trap aan de voorzijde van de werktuigdrager in. Hier neemt hij plaats op zijn mechanisch geveerde stoel en heeft het bedieningspaneel, de joystick en het flexibele scherm binnen handbereik. Deze componenten zijn in het model simpel gemodelleerd, door het ontbreken van informatie. Het volledig ontwerpen van de cabine is voor dit project niet relevant, maar de configuratie in de cabine is daadwerkelijk relevant. Door de plaatsing van de knoppen aan de rechterzijde, zijn zij gemakkelijk bereikbaar. En is het zicht door de lagere leuning aan de linkerzijde een stuk beter. Ook de smalle stuurkolom verbeterd het zicht naar voren.

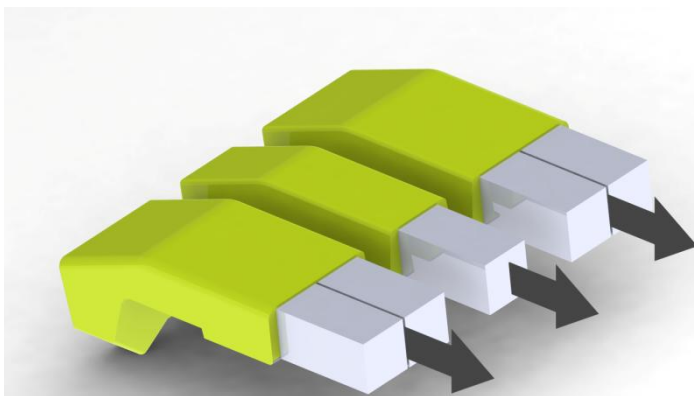
Het wordt aan Multi Tool Trac aangeraden om de cabine in de huidige configuratie te laten en de besturing, het bedieningspaneel, de joystick en het scherm verder te detailleren.

4.6 Carrosserie

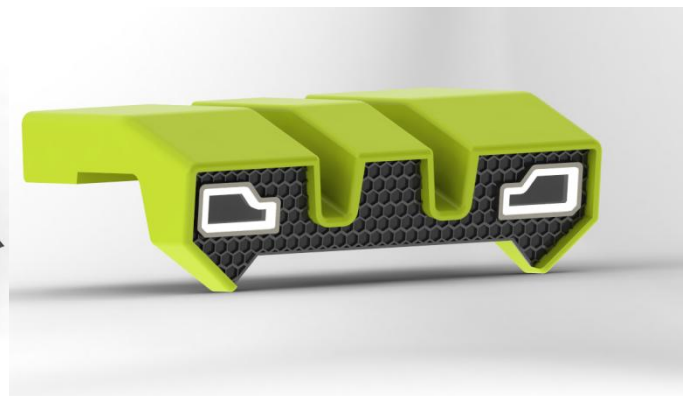
In het ontwerpproces is er gebruik gemaakt van het form-follows-function principe. De plaatsing en grootte van de onderdelen zijn bekend en de carrosserie is rond om deze componenten ontworpen. Niet alleen de grootte van de onderdelen is van belang, ook de functie. De carrosserie moet voldoende ruimte bieden om de componenten hun functie uit te laten voeren.

Afscherming Accu

Het accupakket wordt aan de voorzijde van de werktuigdrager geplaatst. Om het accu-pakket te beschermen tegen vocht en corrosie is er een kap ontworpen (afb. 68). In de herontwerp fase zijn de vormschetsen voor de afscherming van de accu uitgewerkt met de specifieke vormkenmerken van de MTT, door bijvoorbeeld de aflopende neus aan de voorzijde. Deze kenmerken zijn, samen met het kleurgebruik, overgenomen in het ontwerp om de afscherming van de accu bij de uitstraling van MTT te laten passen. Naast de beschermde en esthetische functionaliteit, heeft de afscherming ook nog een andere functie: de accu-modules kunnen snel omgewisseld worden door ze in en uit de sleuven te schuiven (afb. 69). Dit biedt een voordeel voor reparatie, onderhoud of vervanging. Daarnaast biedt de afscherming voor de accu ook nog plek aan de verplichte koplampen voor de werktuigdrager.



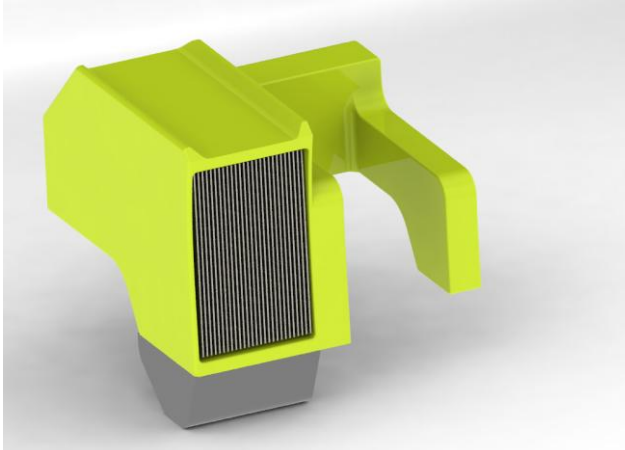
Afb. 69: Inwisselbare Accu's



Afb. 68: Afscherming Accupakket

Motorkap+ Afdak

De motorkap van de werktuigdrager vormt één geheel met de cabine. De motorkap aan de linkerkant (afb. 70) biedt plaats aan de 80kW Diesel Range Extender met een radiator aan de voorzijde. De 80L benzinetank bevindt zich onder de motor aan de voorzijde. Voor onderhoud is het mogelijk om de motorkap aan de rechterkant te openen. Aan de achterkant van de werktuigdrager bevindt zich de elektronica. De achterzijde is te openen om gemakkelijk bij de elektronica te kunnen voor eventueel onderhoud. (afb. 71)



Afb. 70: Motorkap voor Diesel Range Extender



Afb. 71: Gemakkelijk te bereiken achterzijde

Het lange afdak (afb. 72) dient als bescherming voor de bestuurder. Niet alleen tegen regen, maar ook tegen het rollen. Het dak bevat dezelfde vormkenmerken als de naastgelegen motorkap en heeft een witte kleur gekregen, net zoals bij de cabines van de tractoren. Het dak is ook verbonden met het hoofdframe om extra stevigheid te creëren tijdens een ongeval (roll-over).



Afb. 72: Afdak van de werktuigdrager



Conclusie & Aanbeveling

In de vormgevingsfase, is er op dit moment nog puur naar de vormgeving gekeken. Alle onderdelen zijn om de componenten ontworpen en voeren hun functie uit, van het beschermen tegen vocht tot het beschermen van de bestuurder tijdens een roll-over. Er wordt Multi Tool Trac aangeraden om te kijken naar de productiemogelijkheden van de ontwerpen, om vervolgens het ontwerp toe te kunnen passen op de kleine werktuigdrager.

Hoofdstuk 5: Conclusies & Aanbevelingen

5.1 Eindontwerp

Renders



5.2 Specificaties

Afmetingen



Afb. 73: Afmetingen van de werktuigdrager

De afmetingen van de werktuigdrager (afb. 73) moeten voldoen aan de eisen die gesteld zijn in het programma van eisen, evenals de wettelijke eisen van het RDW. Als eis werd gesteld dat de lengte van de werktuigdrager minimaal 3,5 m moest bedragen om ruimte te maken voor de verschillende werktuigen. Nu blijkt dit een strenge eis, omdat de totale lengte van de werktuigdrager al 4,4 meter bedraagt. Dit komt in de buurt van de maximale lengte. Dit maakt voor het eindontwerp niet heel veel uit. De overige afmetingen zijn in deze openbare versie niet beschikbaar, maar voldoen, op de middelste inbouwruimte na, aan de gestelde eisen.

Massaverdeling

Met de gegevens uit het CAD-Model en de specificaties van de leveranciers kan met de bekende componenten de totale massa van de werktuigdrager berekend worden. De totale massa van de werktuigdrager zal naar schatting rond de 3600 kg liggen. Dit is 800 kg meer dan de eis van 2800 kg. Een precieze afschatting van het gewicht is moeilijk te maken door onbekende componenten in de stuurinrichting (hydraulica), hef (PTO en hydraulica), de besturing met de stoel, het stuur en de knoppen, en ook de kunststof carrosserie heeft nog geen bepaald gewicht. Wat opvalt, is de hoge massa van de elektrische aandrijving van 700 kg. Dit is voornamelijk de massa die ervoor zorgt de werktuigdrager een hoger gewicht heeft dan de concurrerende werktuigdragers.

De gegevens van het CAD-model zijn gebruikt om berekeningen uit te voeren met betrekking tot de aslast. In de ideale situatie zou de werktuigdrager 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 en de werktuigdrager instabiel kan worden.

Vanuit een VLS kunnen er tevens evenwichtsvergelijkingen opgesteld worden waaruit de uiteindelijke reactiekrachten op de vooras en achteras berekend worden. Hieruit wordt duidelijk hoe de gewichtsverdeling van het frame eruit ziet. Met de massa's en afstanden die gegeven zijn, is de

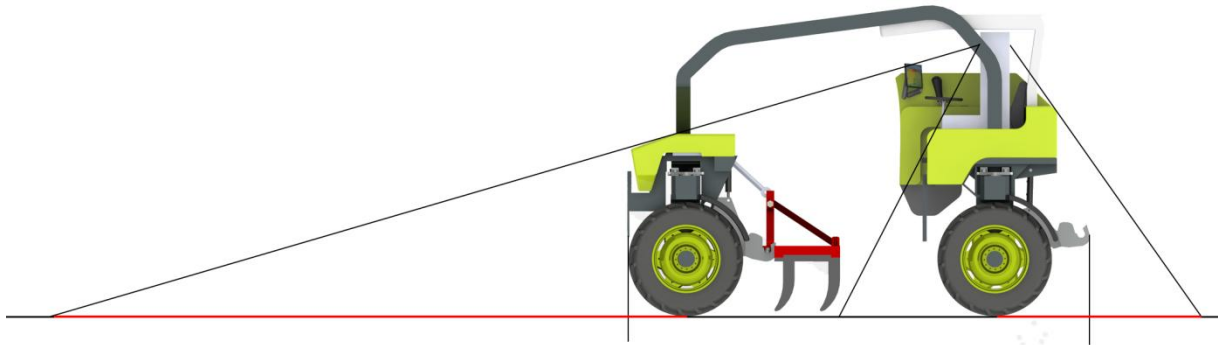
aslast aan de voorzijde 14290 N en 18700 N aan de achterzijde, hiermee komt de totale gewichtsverdeling op 43% voor/57% achter. Dit betekent dat er meer componenten/massa naar de voorzijde geplaatst moet worden om de vereiste 60/40 gewichtsverdeling te krijgen. Wanneer de werktuigen in de achterhef worden gehangen.

Wanneer er een werktuig met de maximale heflast van het middelste hefinrichting wordt gehesen, wordt de gewichtsverdeling 48% voor/52% achter, dit is een bijna ideale situatie voor de werktuigdrager. De focus van deze werktuigdrager ligt bij de middelste hefinrichting, waardoor de huidige gewichtsverdeling wel geschikt is. Bij het heffen met de achterhef moet de boer extra massa toevoegen.

Draaicirkel

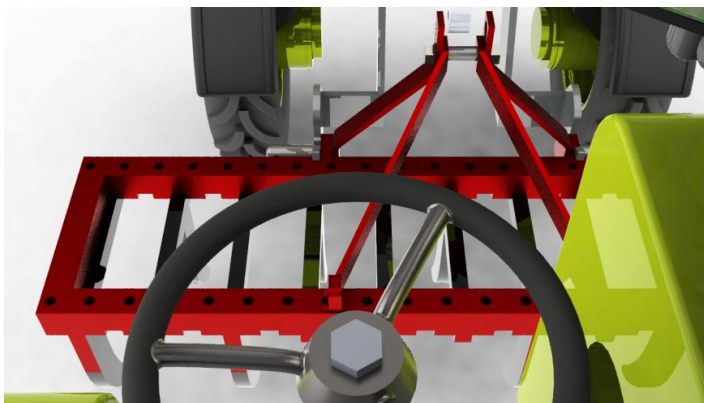
De draairadius of manoeuvreerbaarheid van de werktuigdrager wordt door de boeren als erg belangrijk gezien. De werktuigdrager heeft drie verschillende manier om te sturen; tweewielbesturing, vierwielbesturing en het draaien om de as. De tweewielbesturing wordt op hoge snelheid gebruikt om de stabiliteit van de werktuigdrager tijdens het sturen te vergroten. De vierwielbesturing vergroot de wendbaarheid op lage snelheden. De werktuigdrager kan sturen met een stuurhoek van 62°, waardoor de draaistraal 1,1 m wordt. Dit is ten opzichte van de concurrenten een erg groot verschil en ook voordeel. De minimale vereiste stuurhoek van 32° wordt dan ook ruim gehaald. Een extra feature waar de werktuigdrager op ontworpen is, is het draaien om de as. Doordat de werktuigdrager om zijn as te draaien is, neemt de manoeuvreerbaarheid aan de kopakkers enorm toe. De boeren kunnen nu bij de kopakker met behulp van GPS de werktuigdrager 90° draaien om vervolgens naar het volgende rijpad te rijden en weer 90° terug te draaien.

Zichtlijnen



Afb. 74: Zichtlijnen naar voor/midden/achter

De bestuurder van de elektrische tractor vindt het van groot belang dat er genoeg zicht is vanuit zijn positie. Het zicht naar voren (afb. 74) wordt niet door het RDW gespecificeerd, waardoor het lastig te bepalen is wat de zichtlengte naar voren moet zijn. Bij de huidige werktuigdrager kan de grond aan de voorzijde na 5,5 m gezien worden (afb. 82). Hogere objecten, zoals auto's op de weg kunnen dichterbij de werktuigdrager gezien worden. Het RDW vermeldt voor het zichtveld naar achteren verschillende eisen omtrent het gebruik van spiegels. Hier wordt echter binnen dit project niet op ingegaan. Wat voor een boer echter wel van belang is, is het zicht op de achterhef. De bestuurder is zo neergezet, dat het zicht naar achter erg goed is. De bestuurder kan het gekoppelde werktuig aan de achterzijde goed in de gaten houden. Door de hoge en zit van de bestuurder en de ruimte tussen de wielen, heeft de bestuurder goed zicht op de middelste werktuigen en de bewerking die plaatsvindt (afb. 83). De middelste hefinrichting zal door de doelgroep het meest gebruikt worden, waardoor het goed zicht naar de middenhef extra belangrijk is en neklachten door het vele achteruitkijken verleden tijd zullen zijn.



Afb. 84: Zicht op middelste werktuig



Afb. 82: Zicht naar voren

Configuratie & Specificaties

De configuratie van de verschillende onderdelen is al uitgebreid besproken. Hierin zijn alle componenten en hun locatie in de werktuigdrager weergegeven. Het CAD-model en ook de specificatielijst bevat niet alle componenten van de elektrische tractor, omdat dit niet in het tijdsbestek van het project past. Zo zijn hydrauliekpompen, frequentieregelaars et cetera niet opgenomen in het CAD-model, maar er is wel rekening gehouden in het model met de ruimte en de massa van deze componenten door ruimte voor de grootste onderdelen te reserveren. Vrijwel alle ruimte die beschikbaar is in het frame wordt gebruikt om de elektronische of hydraulische componenten te plaatsen.

5.3 Aanbevelingen

Massaverdeling

De massaverdeling van de werktuigdrager is nog niet optimaal en voldoet nog niet aan de gestelde eisen. Om de juiste massaverdeling te krijgen wordt er aangeraden om te kijken of er componenten naar de voorzijde van de werktuigdrager verplaatst kunnen worden om een 60/40 gewichtsverdeling te krijgen. Zo is de werktuigdrager ook geschikt om zwaardere werktuigen in de achterhef te koppelen.

Zicht naar voren

Door de hoge plaatsing van het accupakket wordt het zicht van de bestuurder geblokkeerd. Hier moet een oplossing voor worden gezocht, zonder de positie van de bestuurder te verhogen. Een oplossing kan zijn om het accupakket naar een lagere positie te verplaatsen. Een andere optie is om gebruik te maken van een camera aan de voorzijde om het zicht naar voren te bevorderen.

Alternatieve Energiebronnen

Het genereren van energie door middel van de Diesel Range Extender is storend voor de gebruiker. De dieselmotor maakt veel lawaai, iets dat niet past bij een elektrische werktuigdrager. In een vervolgonderzoek kan het interessant zijn om te kijken naar alternatieve energiebronnen, of misschien zelfs opties voor een volledig elektrische werktuigdrager. Hieronder zullen enkele opties genoemd worden.

Zonnepaneel

Boven de bestuurder is er ruimte om een zonnepaneel te plaatsen. Belangrijk is hierbij om te kijken naar het vermogen dat de zonnepanelen moeten kunnen leveren. De bijbehorende oppervlakte van de zonnepanelen bepaalt vervolgens of het mogelijk is om dit principe toe te passen.

Volledig elektronische werktuigdrager

In de herontwerpfase is er een korte berekening gedaan met de totale benodigde massa aan accu's voor de werktuigdrager om volledig elektrisch te kunnen rijden. Deze berekening is uitgevoerd met de huidige accu-pakketten, waardoor de massa te groot wordt. Er zijn met de huidige technieken, of in de toekomst misschien wel mogelijkheden om een volledig elektrische werktuigdrager aan te bieden. Misschien wel in combinatie met alternatieve energiebronnen zoals de zonnepaneel of windenergie.

5.4 Conclusie

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

"Maak op basis van vragen van de doelgroep een herontwerp van de Multi Tool Trac geschikt voor de tuinbouw."

De focus in de tuinbouwsector ligt op de opengronds groenteteelt, waarbij de boeren gebruik maken van onbereden beddenteelt. Uit de analysefase van dit project volgen een aantal key drivers, dit zijn de belangrijke aandachtspunten voor het ontwerp van de werktuigdrager, gezien vanuit de afzetmarkt. Naast deze key drivers (fig. 29) zijn er ook nog enkele andere belangrijke functionele eisen, zoals voldoende vermogen en koppel, de juiste massaverdeling en het hefvermogen van de tractor spelen natuurlijk ook een grote rol in het ontwerpproces. De specificaties van deze eisen zijn afgeleid uit de concurrerende werktuigdragers en zijn ook onderbouwd met enkele berekeningen.



Fig. 29: Scoringstabel Key Drivers

Modulariteit

Deze key driver is een belangrijke eis van Multi Tool Trac, en heeft ook veel invloed op de interesse van de klant. In het ontwerpproces is de werktuigdrager opgedeeld in verschillende modules die afzonderlijk van elkaar ontworpen zijn en vervolgens bij elkaar gevoegd moeten worden. Ieder component kan afgestemd worden op de eisen en wensen van de afzetmarkt, wanneer de boer een andere wielmaat wil is dit mogelijk zonder grote aanpassingen aan de constructie. Ook een grotere spoorbreedte behoort tot de mogelijkheden. De lengte van de as kan gemakkelijk vergroot worden, en de wielophanging kan vervolgens op dezelfde manier aan het frame verbonden worden. Ook de componenten, zoals het accupakket, de range extender en de elektronica kunnen gespecificeerd worden binnen bepaalde grenzen en op de werktuigdrager gemonteerd worden. Binnen dit project is er nog geen mogelijkheid geweest om deze grenzen op te zoeken. Interviews met boeren zouden moeten uitwijzen wat voor specificaties zij zoeken, om vervolgens de grenzen van de componenten aan te kunnen geven. Dit is dan ook de reden dat de werktuigdrager nog niet volledig modulair is.

Wendbaarheid

De wendbaarheid van de werktuigdrager is enorm toegenomen door de scherpe stuurhoek. De draaicirkel van de werktuigdrager is een stuk kleiner dan zijn directe concurrenten. Daarnaast is het zelfs mogelijk om de werktuigdrager om zijn as te laten draaien, waardoor er een hogere efficiënte te halen is tijdens het bewerken van het land. Het kleine draaicirkel is dan ook één van de unieke selling points van deze werktuigdrager. De wendbaarheid van de werktuigdrager wordt daardoor interessant voor de doelgroep die werkt met smalle rijpaden.

Geluidsproductie

Dit aspect werd ook erg belangrijk gevonden door de doelgroep. Zij maken op dit moment vaak gebruik van oude tractoren die veel lawaai maken. De communicatie op het land is erg slecht door het lawaai van de tractor, daarnaast kan er ook gehoorschade optreden door langdurige blootstelling. De werktuigdrager maakt gebruik van elektromotoren, waardoor geluidsproductie tot een minimum wordt beperkt. De accucapaciteit is niet groot, waardoor de generator al snel aanslaat. De diesel range extender maakt gebruik van een nieuwe motor die veel stiller is, waardoor de geluidsproductie afneemt. Het nadeel van deze werktuigdrager is de plaatsing van de motor om het zicht naar de voorzijde niet te slecht te maken. De bestuurder zit direct naast de motor waardoor zij nog steeds veel last van de motor zullen hebben.

Brandstofverbruik

Het brandstofverbruik van de werktuigdrager zal ten opzichte van zijn concurrenten afnemen. De diesel range extender hoeft niet de volledige dag te draaien, terwijl dit bij de concurrenten wel moet. De elektrische aandrijving zorgt er dus voor dat het brandstofverbruik omlaag zal gaan.

Kosten

Het is lastig om een afschatting te maken van de kosten, aangezien een groot gedeelte van de componenten onbekend is. Ook de kosten van de productie van het frame zijn moeilijk af te schatten. Wanneer we echter de geschatte verkoopprijs van de Multi Tool Trac afzetten tegen de concurrenten, dan valt het op dat de MTT een veel hogere verkoopprijs heeft. Dit zal voornamelijk komen door de elektrische aandrijving in combinatie met de range extender. Ook de alternatieve constructie zorgt voor andere fabricagemethoden die de prijs van het product opdrijven. De verwachting is dan ook dat de prijs van de werktuigdrager hoger uit zal vallen dan zijn concurrenten.

Overige specificaties

De totale massa in combinatie met de verdeling daarvan is ook belangrijkste aspecten van de werktuigdrager binnen dit project. De huidige werktuigdrager voldoet nog niet aan deze eis, elektrische aandrijving maakt de werktuigdrager erg zwaar en daarnaast zijn er nog enkele componenten die geoptimaliseerd moeten worden, waardoor gewichtsreductie optreedt.

Het vermogen aan de wielen en aan de aftakas misschien nog wel van groter belang, in dit concept bedraagt het vermogen van de motoren de helft van de Multi Tool Trac, dit lijkt in de theorie meer dan voldoende vermogen om de werktuigdrager voort te drijven. Het vermogen en het koppel voldoen aan de gestelde eisen van de afzetmarkt.

De elektrische werktuigdrager, voldoet aan bijna alle eisen zoals deze gesteld zijn in het programma van eisen. De afmetingen van de werktuigdrager vallen binnen maximale gestelde maten van de afzetmarkt en de RDW. De inbouwruimte in het midden voldoet voor hogere werktuigen niet aan de

gestelde eisen. Er is bij deze werktuigdrager nog ruimte om de inbouwruimte te vergroten, gezien de zeer kleine draaicirkel. De werktuigdrager voldoet verder aan alle overige eisen die gesteld zijn door de afzetmarkt en de opdrachtgever in het programma van eisen.



Referenties

Boerderij.nl. (2013). Verkoop trekkers West-Europa. Op 15 april 2015 verkregen via <http://www.boerderij.nl/Mechanisatie/Nieuws/2014/4/151000-nieuwe-trekkers-verkocht-in-West-Europa-1507263W/>

Boerderij.nl. (2012). Wie dieselkosten niet goed doorberekent, redt het niet. Op 28 april 2015 verkregen via http://www.boerderij.nl/PageFiles/152088/001_1360695799273.pdf

BioKennis Bericht. (2012). Haalbaarheid van RTK-GPS voor biologische tuinbouwbedrijven. Op 12 april 2015 verkregen via <http://www.onberedenbeddenteelt.nl/pictures/OBT/S%20rijpaden%20en%20gps%20in%20tuinbouw.pdf>

BioKennis Bericht. (2009). Vaste rijpaden bieden veel voordeel. Op 12 april 2015 verkregen via <http://www.onberedenbeddenteelt.nl/pictures/OBT/S%20Biokennis%20Vaste%20rijpaden%20bieden%20veel%20voordeel.pdf>

Bollenteelt (2015) in Wikipedia. Verkregen op 10 april 2015 via <http://nl.wikipedia.org/wiki/Bollenteelt>

Boomteelt (2015) in Wikipedia. Verkregen op 10 april 2015 via <http://nl.wikipedia.org/wiki/Boomteelt>

Centraal Bureau Statistiek. (2015). Landbouw; gewassen, dieren en grondgebruik naar regio. Verkregen op 06-05-2015 via [http://statline.cbs.nl/StatWeb/publication/?DM=SLNL&PA=80780NED&D1=155-156,159,163-164,167,170,180-181,187-188,193-195,199-200,203,215,225-226,237,240,250,264&D2=0&D3=0,5,\(I-2\),\(I-1\),I&HDR=G1,G2&STB=T&VW=T](http://statline.cbs.nl/StatWeb/publication/?DM=SLNL&PA=80780NED&D1=155-156,159,163-164,167,170,180-181,187-188,193-195,199-200,203,215,225-226,237,240,250,264&D2=0&D3=0,5,(I-2),(I-1),I&HDR=G1,G2&STB=T&VW=T)

CTF Europe. (2013). Controlled Traffic Farming (CTF). Op 17 april 2015 verkregen via <http://www.controlledtrafficfarming.com/downloads/CTF-A5-flyerWeb.PDF>

Driepuntsophanging. (2015) in Wikipedia. Verkregen op 14 april 2015 via http://nl.wikipedia.org/wiki/Driepuntsophanging_14-04-2015

Duijndam-Machines. (2015). Vollegrondsgroenten. Op 16 april 2015 verkregen via http://www.duijndam-machines.com/nl/main-category/vollegrondsgroenten/?product_group=468

Fruitteelt (2015) in Wikipedia. Verkregen op 10 april 2015 via <http://nl.wikipedia.org/wiki/Fruitteelt>

Grisso, R. & Helsel, Z. R. (2012, maart). Optimize wheel slip to save fuel. *Extension*. Op 21 april 2015 verkregen via <http://www.extension.org/pages/28319/optimize-wheel-slip-to-save-fuel#.VTY5LCGqgko>

Groenteteelt (2015) in Wikipedia. Verkregen op 10 april 2015 via <http://nl.wikipedia.org/wiki/Groenteteelt>

Ikink, H. (2005, januari). Plantaardig dieselen. *Kennislink*. Op 9 april 2015 verkregen via <http://www.kennislink.nl/publicaties/plantaardig-dieselen>

Internal Combustion Engine (2015) in Wikipedia. Verkregen op 23 april 2015 via http://en.wikipedia.org/wiki/Internal_combustion_engine#Energy_efficiency

Macmillan, R.H. The Mechanics of Tractor Implement Performance Op 3 juni 2015 verkregen via <http://www.iagre.org/sites/iagre.org/files/docs/Ross%20Macmillan%20Chapter%206.pdf>

Mechaman. (2014). Trekkerverkoopcijfers. Op 15 april 2015 verkregen via <http://www.mechaman.nl/trekkerverkoopcijfers/>

OSHA Europe. (2015). Noise in Agriculture. Op 23 april 2015 verkregen via <https://osha.europa.eu/en/sector/agriculture/noise>

Power Take-Off. (2015) in Wikipedia. Op 14 april 2015 verkregen via http://nl.wikipedia.org/wiki/Power_take-off

Sarami, S. (2009). Development and Evaluation of a Semi-active Suspension System for Full Suspension Tractors. Verkregen op 18 mei 2015 via www.opus4.kobv.de/opus4-tuberlin/files/2402/sara_mi_shahriar.pdf

Sherman, D. (2012). *Are We Losing Touch? A Comprehensive Comparison Test of Electric and Hydraulic Steering Assist*. Verkregen op 13-05-2015 via <http://www.caranddriver.com/features/electric-vs-hydraulic-steering-a-comprehensive-comparison-test-feature>

Steyr Engines (2015). Steyr monoblock diesel for heavy duty demands. Op 21 mei 2015 verkregen via <http://docslide.us/documents/steyr-engines.html>

The Farming Forum. (2014). Color Codes. Op 8 april 2015 verkregen via <http://thefarmingforum.co.uk/index.php?threads/paint-codes.28892/>

Tractordata (2014). Three-Point-Hitch. Op 20 april 2015 verkregen via <http://www.tractordata.com/articles/technical/threepoint.html>

Veilig Landbouwverkeer. (2015). Afmetingen. Op 17 april 2015 verkregen via http://www.veiliglandbouwverkeer.nl/Veilig_landbouwverkeer/Afmetingen.html

Veilig Landbouwverkeer. (2015). Verlichting Trekkers. Op 17 april 2015 verkregen via http://www.veiliglandbouwverkeer.nl/Veilig_landbouwverkeer/Verlichting_files/Verlichting_Trekker_s.pdf

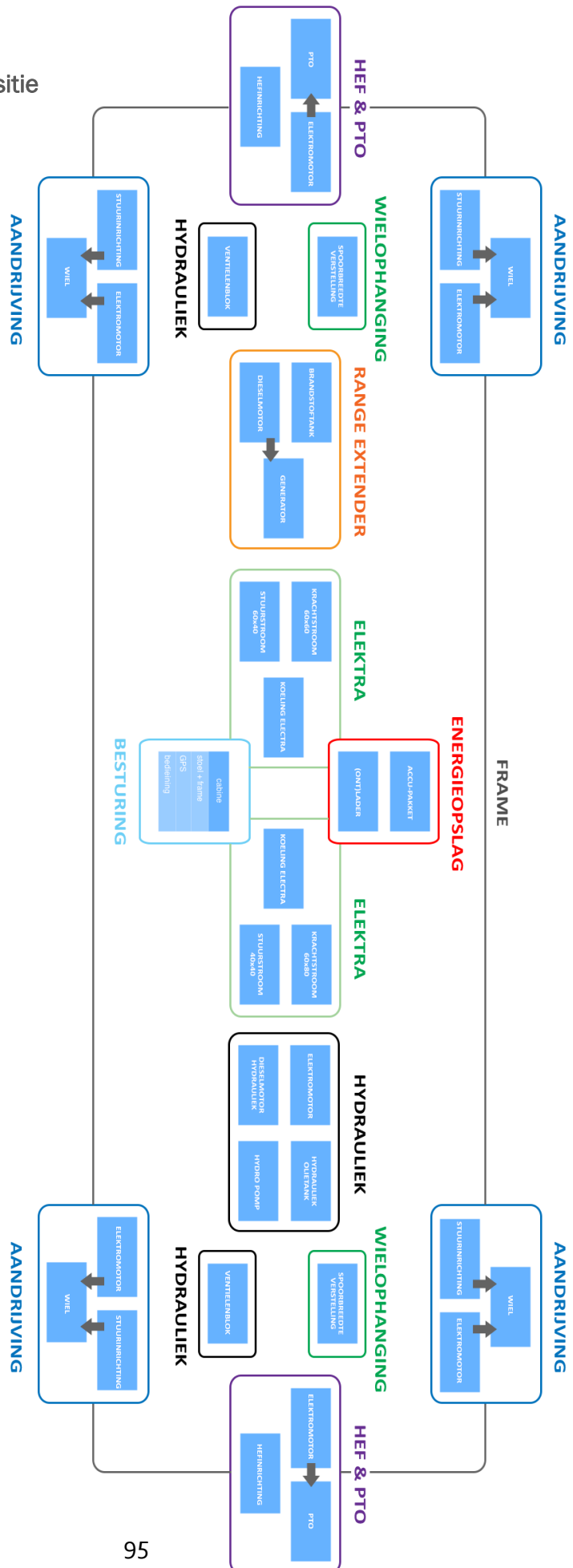
Zuidberg (2015). Specificaties 8 kN Fronthef. Op 20 april 2015 verkregen via http://producten.zuidberg.nl/ned/producten_specificaties_8kn.php

Bijlagen

Bijlage A: Planning

Taak	Week 1	Week 2	Week 3	Week 4	Week 5	Week 6	Week 7	Week 8	Week 9	Week 10	Week 11	Week 12	Week 13
Concurrentieanalyse		Analysefase											
Bedrijfsanalyse Mult Tool Trac													
Analyse Multi Tool Trac													
Interviews doelgroep													
Bureauonderzoek innovatie/mogelijkheden													
Opstellen programma van eisen													
Herontwerp Componenten													
Ideeschetsen vormgeving													
Onderbouwing keuzes													
Conceptdetailering													
Digitale uitwerking													
Uitwerking presentatie klant													
Onderbouwing keuze													
		MP1		MP2		MP3		MP4		MP5		MP6	MP7
MP1:	17 april - Concurrentieanalyse, Bedrijfsanalyse, Start Analyse MTT, Eerste interviews												
MP2:	1 mei - Deadline analysefase												
MP3:	15 mei - Start herontwerp componenten												
MP4:	29 mei - Deadline herontwerp fase												
MP5:	12 juni - Start conceptdetailering en digitale uitwerking												
MP6:	26 juni - Conceptueel Verslag												
MP7:	3 juli - Deadline inleverdatum												

Bijlage B: Component Decompositie



Bijlage C: Vragenlijst

Vragenlijst Interview Tuinder – NAAM BEDRIJF

Naam:

Aantal jaren in het vak:

Bedrijf: (Sinds:)

Specialisatie:

Aantal hectare:

Vragen huidige tractor

Werkzaamheden:

1. *Maakt u gebruik van een speciale techniek om de gewassen te verbouwen? (onbereden beddenteelt, etc.)*
2. *Kunt u de belangrijkste werkzaamheden op uw bedrijf noemen?*
3. *Hoeveel uur bent u per dag gemiddeld werkzaam op het land?*
4. *Wat voor materiaal gebruikt u voor deze werkzaamheden? (werktuigen, etc.)*

Tractor:

1. Wat voor merk en model tractor gebruikt u binnen uw bedrijf?
2. Wat maakt deze tractor geschikt voor het type werk dat u moet uitvoeren?
3. Wat maakt deze tractor minder geschikt voor het type werk dat u moet uitvoeren?

Vragen herontwerp

Tractor:

1. Wat zou u van een volledig elektrische tractor/werktuigdrager vinden?
2. Zou u behoefte hebben aan een werktuigdrager, waar drie werktuigen aan gekoppeld kunnen worden?
3. Hebt u een schatting van het motorvermogen dat u minimaal nodig heeft om uw werkzaamheden uit te voeren?
4. Zou u behoefte hebben in een tractor/werktuigdrager waarbij de lengte, breedte of hoogte variabel is?
5. Hebt u behoefte aan een cabine? Waarom niet, waarom wel?
6. Waar zou u graag de driepuntshefinrichting zien? Achterkant, Voorkant, midden of andere combinaties?

Toekomst:

1. Eisen; wat moet een tractor voor u kunnen? (maximale: lengte, gewicht, hef, draaicirkel)
2. Wat vindt u echt belangrijk aan de eigenschappen van een tractor? (brandstofbesparing, milieubewust, gewicht, etc.)
3. Wensen; wat zou u graag willen verbeteren aan uw tractor?
4. Wensen; wat zou u in de toekomst graag zien? Wat is uw visie?
5. Zou u ook nieuwe landbouwtechnieken in u bedrijf willen stoppen, of is dit te duur op kleine schaal?
6. Wat is het maximale bedrag dat u aan een tractor/werktuigdrager zou willen uitgeven?