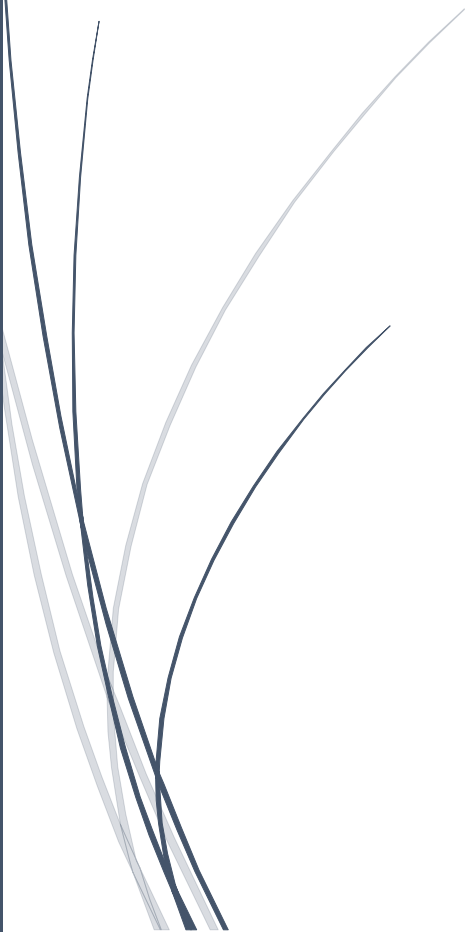


A thick dark blue vertical bar runs down the left side of the page. A blue arrow points to the right from this bar, containing the date.

07-08-2021

Afstudeerwerkstuk

Verduurzaming grondverzetmachines

Several thin, curved lines in dark blue and light grey originate from the bottom left corner and sweep upwards and to the right.

Rob Timmermans 4Bt

AERES HOGESCHOOL DRONTEN

Titelpagina

Titel: Afstudeerwerkstuk

Ondertitel: Verduurzaming grondverzetmachines

Plaats, Datum: Maren-Kessel, 7 augustus 2021

Opleiding: Agrotechniek & Management

Opdrachtgever: Aeres Hogeschool Dronten

Adres: De Drieslag 4
8251JZ Dronten

Telefoon: +31 (0)88 020 6000

Email: info.hogeschool.dronten@aeres.nl

Hogeschoolbegeleiding: Klaas Eeuwema

Email: k.eeuwema@aeres.nl

Telefoon: +31 (0)88 020 5547

Auteur: Rob Timmermans

Studentnummer: 3025309

Email: rob_timmermans@hetnet.nl
3025309@aeres.nl

Telefoon: +31 (0)6 83345050

Voorwoord

Aanleiding voor dit onderzoek is de afstudeerstage bij Ahlmann Nederland BV. Ahlmann heeft op het moment een geëlektrificeerde shovel verkocht en is bezig met de ontwikkeling voor het elektrificeren van andere modellen shovels en graafmachines. Mijn interesse in deze ontwikkelingen heeft ertoe geleid dat ik mezelf afvroeg of elektriciteit in onder anderen grondverzetmachines ook daadwerkelijk de toekomst heeft, of dat er nog andere goede alternatieven zijn. Om deze reden ben ik gestart met het onderzoek naar de verschillende mogelijkheden.

Graag wil ik Bart van den Oord en alle andere medewerkers van Ahlmann Nederland BV hartelijk danken voor de begeleiding en hulp die mij geboden is tijdens het afstudeertraject. Verder wil ik Klaas Eeuwema bedanken voor de begeleiding en feedback vanuit Aeres Hogeschool Dronten.

Samenvatting

Klimaatverandering is tegenwoordig een belangrijk onderwerp waaraan veel aandacht wordt besteed. Vanuit overheden worden bedrijven steeds meer gestimuleerd om over te stappen op zo duurzaam mogelijke manieren van werken. Het aandeel machines speelt hierin ook een rol. Bedrijven willen om deze reden gaan werken met duurzame machines om zo de schadelijke uitstoot te beperken. Binnen de automobielsector is het verduurzamen al verder dan dat bij de grondverzetmachines is, hier zijn de kleinere segmenten al wel uitstootvrij beschikbaar, alleen grotere machines zijn maar sporadisch uitstootvrij leverbaar. De grootste ontwikkelingen zullen dus nog plaats moeten gaan vinden. Er wordt al veel getest en geëxperimenteerd maar een concrete oplossing voor de vraag is er nog niet. In dit onderzoek wordt verder ingegaan op de vraag welke alternatieve aandrijving het meest haalbaar is als vervanger voor de door dieselolie aangedreven grondverzetmachines.

Om meer duidelijkheid te creëren met betrekking tot de verschillende duurzame alternatieven, zijn er deelvragen opgesteld die antwoord geven op verschillende aspecten omtrent de alternatieven. Zo zal er gestart worden met onderzoek naar de verschillende mogelijkheden voor alternatieve aandrijvingen. Vervolgens zal ingegaan worden op de kosten behorend bij de verschillende alternatieven om zo meer te kunnen bepalen hoe realistisch het is dat een alternatief ook daadwerkelijk een goede kans maakt bij potentiële eindgebruikers van het product. Als laatste zal de efficiëntie van de onderzochte alternatieven behandeld worden. Hierbij dient duidelijk gemaakt te worden welk alternatief over het gehele proces van productie van de energievorm tot aan het gebruik ervan, het hoogste rendement heeft. Duurzame energie is momenteel namelijk schaars dus is het wel degelijk van belang om zo zuinig mogelijk om te gaan met de beschikbare energie.

Na afloop van het drietal deelonderzoeken kon de hoofdvraag beantwoord worden. Een opstapeling van verschillende factoren heeft ertoe geleid dat een elektrische aandrijving voor grondverzetmachines momenteel het meest kansrijk blijkt te zijn. Deze uitkomst van dit onderzoek kan meer duidelijkheid bieden aan zowel fabrikanten, toeleveranciers en eindgebruikers. Via deze manier kan immers beargumenteerd worden waarom de elektrische aandrijving momenteel de meest kansrijke is en wat hiervan de voordelen zijn ten opzichte van de andere behandelde alternatieven.

Summary

Climate change is an important topic that is being given a lot of attention these days. Governments are increasingly encouraging companies to switch to the most sustainable ways of working. The share of machines also plays a role in this. For this reason, companies want to work with more sustainable machines in order to reduce harmful emissions. In the automotive sector, sustainability is already further along than in earth-moving machinery; here, the smaller segments are already available with zero emissions, while larger machines are only sporadically available with zero emissions. The biggest developments are therefore still to come. A great deal of testing and experimentation is already taking place, but a concrete solution to the question is not yet available. This study further examines the question of which alternative drive is the most feasible as a replacement for diesel-driven earthmoving machines.

To create more clarity regarding the various sustainable alternatives, sub-questions have been formulated that provide answers to various aspects of the alternatives. We will start by investigating the various possibilities for alternative drives. Next, the costs associated with the various alternatives will be examined in order to determine how realistic it is that an alternative actually has a good chance with potential end users of the product. Finally, the efficiency of the investigated alternatives will be discussed. Here it should be made clear which alternative has the highest efficiency over the entire process from production of the energy form to its use. Renewable energy is currently scarce, so it is important to be as efficient as possible with the available energy.

At the end of the three sub-studies, the main question could be answered. An accumulation of various factors has led to the conclusion that an electric drive for earthmoving machines currently appears to be the most promising. This outcome of this research can offer more clarity to manufacturers, suppliers and end users. In this way, it can be argued why the electric drive is currently the most promising option and what the advantages are compared to the other alternatives discussed.

Inhoud

Inhoud	6
1.1 Onderwerp	7
1.2 Trends en ontwikkelingen	7
1.3 Relevantie	9
1.4 Theoretisch kader	11
1.5 Knowledge gap	11
1.6 Hoofd- en deelvragen	12
1.7 Doelstelling	13
Hoofdstuk 2. Materiaal en Methode	13
2.1 Onderzoeksmethode	13
2.2 Aanpak per deelvraag	14
2.3 Aanpak hoofdvraag	15
Hoofdstuk 3. Resultaten	17
3.1 Resultaat deelvraag 1	17
3.2 Resultaat deelvraag 2	18
3.3 Resultaten deelvraag 3	20
3.4 Resultaat hoofdvraag	22
Hoofdstuk 4. Discussie	23
Hoofdstuk 5. Conclusie	24
Bibliografie	26

Hoofdstuk 1. Inleiding

De wereld warmt op en het klimaat verandert, zo ook in Nederland. Een van de redenen hiervoor is de toenemende hoeveelheid broeikasgassen in de atmosfeer. Algemeen het bekendste broeikasgas is CO₂. Dit broeikasgas wordt het meest door de mens geproduceerd en veroorzaakt 63% van de opwarming van de aarde waarvoor de mens verantwoordelijk is. Naast CO₂ is er ook NO_x, in de volksmond wordt dit hoofdzakelijk benoemd onder de overkoepelende naam stikstof. Tegenwoordig zijn de eisen aan nieuwe machines met betrekking tot de emissie steeds strenger, maar het is nog niet voldoende. Om zo zuinig mogelijk om te gaan met het milieu dienen er duurzamere oplossingen te komen en zullen machines emissievrij moeten worden. Bij deze zoektocht zal na het vooronderzoek verder gezocht worden naar wetenschappelijke antwoorden op de opgestelde vragen. (Europese Commissie, 2020)

1.1 Onderwerp

Doordat bij grote werken het klimaat tegenwoordig hoog in het vaandel staat willen veel aannemingsbedrijven een milieuvriendelijke machine gaan gebruiken. Om een machine te kunnen gebruiken zal deze eerst gekocht moeten worden. Het kopen van een milieuvriendelijke machine is op dit moment echter nog een lastige zaak omdat het aanbod zeer schaars is. Veel fabrikanten zijn al wel bezig met de ontwikkeling van milieuvriendelijke machines maar de hoofdtaak blijft veelal de door diesel aangedreven machine. Om dit probleem te kunnen verhelpen heeft het kabinet 500 miljoen gereserveerd om stikstofuitstoot bij de bouw naar nul te krijgen. Van deze 500 miljoen zal er tussen 2021 en 2023 300 miljoen vrijkomen, de overige 200 miljoen is voor de jaren 2024 tot en met 2030. Het betreft een subsidieprogramma voor het aanschaffen en ombouwen van machines naar een emissievrije uitvoering. (Koninklijke RAI Vereniging, 2020)

In de zoektocht naar een emissievrije aandrijving worden er verschillende ideeën bedacht en uitgewerkt. De verschillende bedachte ideeën kunnen heel divers zijn. Echter is de haalbaarheid ook een van de belangrijke onderdelen waar goed onderzoek naar gedaan dient te worden. Zo kan een alternatief volledig emissievrij werken terwijl het in praktijk onhaalbaar is. In dit onderzoek zal aan de hand van de verschillende belangrijke aspecten gekeken worden welke techniek praktisch de grootste kans heeft om een succes te worden. (Piette, 2018)

1.2 Trends en ontwikkelingen

De aarde bestaat naar schatting inmiddels 4,6 miljard jaar. In al deze jaren is er veel gebeurd en hebben er ook veel verschillende veranderingen plaats gevonden. Hiermee heeft ook het klimaat veel verschillende tijden gekend. Het is gedurende verschillende perioden warmer geweest, maar ook vele perioden veel kouder dan de huidige temperatuur. De zon warmt door middel van de straling de aardbodem op, deze warmtestraling wordt vervolgens vanaf de aardbodem weer de ruimte in gezonden. Echter vindt er een verandering plaats in golflengte van de straling waardoor de straling wel eenvoudig de atmosfeer binnendringt maar er lastig uit komt. Broeikasgassen, zoals koolstofdioxide, nemen deze warmtestraling op waardoor de warmte binnen de atmosfeer blijft en via deze manier de aarde opwarmt. Door toename van de hoeveelheid broeikasgassen in de atmosfeer wordt er meer warmte vastgehouden en stijgt de temperatuur op aarde. (KNMI, 2010) (Wageningen university & research, 2020)

De huidige klimaatverandering wordt volgens onderzoekers versnelt door toedoen van de mens, zo zijn er de afgelopen eeuwen verschillende fossiele grondstoffen geworven en gebruikt als brandstof. Deze fossiele brandstoffen bevatten koolstof welke na verbranding onder anderen als koolstofdioxide in de atmosfeer terecht kwamen als broeikasgas. Sinds de industriële revolutie welke startte in Engeland in 1750, startte de toename van de uitstoot van schadelijke stoffen door de mens. Met de hierop volgende opkomst van motorisch aangedreven machines en vervoersmiddelen bleef de uitstoot stijgen. In de loop der jaren nam het aantal machines en vervoersmiddelen niet alleen toe, maar deze werden ook groter. Dit resulteerde in een nog hogere uitstoot. De Verenigde Staten

hadden hiervoor als eerste wetgeving ingericht om de maximale uitstoot van motoren te beperken. Europa volgde in 1970 met de vastgestelde emissienormen. Vanaf 1992 zijn de euronormen in werking getreden. Deze voor onder andere vrachtwagens geldende norm is van euro 1 in 1992 inmiddels opgelopen tot euro 6. Voor ander materieel zoals landbouw- en grondverzetmachines gelden in de EU de Stage normen. Deze Stage normen zijn inmiddels ook opgelopen tot Stage 5 motoren welke dan veel minder schadelijk zijn dan een Stage 1 motor. (Wageningen university & research, 2020)

Grondverzetmachines worden aangedreven door een verbrandingsmotor, namelijk de dieselmotor. De momenteel omstreden dieselmotor is een uitvinding van Rudolf Diesel, deze man heeft in 1890 de oorspronkelijke dieselmotor ontwikkeld. Deze motor was uniek omdat er gebruik gemaakt werd van ontsteking door middel van compressie, oftewel zelfontbranding. Na de uitvinding van deze motor werd er veel onderzoek gedaan naar de verschillende brandstoffen die gebruikt konden worden. In 1900 werd er een verbrandingsmotor tentoongesteld welke, op verzoek van de Franse regering, op pindaolie liep. De interesse van de Fransen voor een plantaardige olie had weliswaar niet te maken met het milieu maar met de energieonafhankelijkheid van de Afrikaanse koloniën. Ook in die tijd werd er dus onderzoek gedaan naar alternatieve brandstoffen, deze waren echter vrijwel altijd duurder dan de gewone brandstof waardoor nooit echt een alternatief is doorgebroken als opvolger. (Knothe & Razon, 2017)

Vlak na de eerste wereldoorlog was er weer interesse in plantaardige oliën voor dieselmotoren, ook in dit geval was de hoofdoorzaak energieonafhankelijkheid. Na verloop van tijd werd door verschillende onderzoekers erkend dat plantaardige oliën door de hoge viscositeit minder bruikbaar zijn. Deze hoge viscositeit zou namelijk voor problemen kunnen gaan zorgen waardoor hiermee niet op dezelfde wijze verder is gegaan. De hierop volgende jaren werd er niet volledig gericht op het vinden van een alternatieve brandstof, er werd namelijk weer volop aardolie gebruikt om te raffineren. Echter, tijdens de energiecrisis kwam het onderzoek naar alternatieve brandstoffen weer op gang. Er is vervolgens met behulp van omestering, plantaardige olie ontwikkeld met een lagere viscositeit. Het maken van brandstof op basis van plantaardige olie, is tot op heden nog steeds met dezelfde methode, deze brandstof wordt dan over het algemeen biodiesel genoemd. Mede door deze ontwikkeling is biodiesel in de hierop volgende jaren meer geproduceerd. Ook op dit moment wordt aan de standaard diesel, biodiesel toegevoegd. (Knothe & Razon, 2017)

Wat elektrische auto's betreft, gaat de geschiedenis ver terug. Zo is in het jaartal 1888 de eerste elektrisch aangedreven auto gemaakt. Destijds zijn er in nakomende jaren verschillende elektrische auto's gemaakt. Er waren zelfs taxibedrijven die alleen met elektrische auto's reden. Ook toen was al bekend dat elektrische voertuigen meer comfort boden in verband met het geluid en geen uitlaatgassen produceerde waardoor deze prettiger waren voor het vervoer in de stad. Naast de vol elektrische auto's waren er ook hybride auto's ontwikkeld, zo ontwikkelde de Belgische wapenfabrikant, Henri Pieper een hybrideauto welke werkt volgens hetzelfde principe als de welbekende Toyota Prius. Voor deze hybride aandrijving ontving de heer Pieper in 1909 het patent, echter is de hybride, net als de elektrische auto, in die tijd nooit meer een succes geworden en uiteindelijk geheel van het straatbeeld verdwenen. Hoofdoorzaken hiervan zijn de doorontwikkeling van de benzinemotor en de ontwikkeling van de Ford Model T. De door benzine aangedreven motoren waren lichter waardoor deze sneller konden rijden, en waren in aanschaf goedkoper. Daarnaast waren de elektrische aandrijvingen in die tijd veel onderhoudsgevoeliger dan de door benzine aangedreven auto's. Door het gebruik van de lopende band werd de benzine aangedreven auto van Henri Ford bovendien nog goedkoper dan deze al was en hierdoor nog beter bereikbaar voor meerdere mensen. Mede door de grotere actieradius en het lichtere gewicht, waardoor langere afstanden sneller en eenvoudiger afgelegd konden worden, heeft de verbrandingsmotor de gehele hierop volgende tijd de voorkeur gehad. Sinds eind jaren 90 werden er weer hybride auto's voor de consument geproduceerd in verband met de mindere belasting van het milieu ten opzichte van de standaard auto. De populariteit van de hybride auto nam toe onder de consumenten. Echter brak de

vol elektrische auto pas echt door toen Tesla in 2008 de eerste vol elektrische auto fabriceerde welke voorzien was van lithium-ion accu's. Deze accu's zijn vele malen lichter dan lang gebruikte loodaccu's en hebben een grotere capaciteit waardoor de auto meer gelijkwaardig werd aan de 'standaard' auto's en dus aan populariteit won. (ANWB, 2020) (Koeten, 2021)

Naast het opschonen van de uitstoot van dieselmotoren en de elektrische aandrijving zijn er nog meer alternatieven uitgewerkt. Zo heeft tractorfabrikant New Holland een trekker geproduceerd die op methaan werkt. Deze T6.180 heeft tevens de prijs: Sustainable tractor of the year 2020 gewonnen na de tentoonstelling op de Agritechnica 2019 in Hannover. Bovendien zou deze trekker in 2020 in productie zijn genomen, Echter is er niet veel meer over te vinden op het internet. (Bakker, 2020)

Een ander duurzaam alternatief is waterstof, wanneer dit met behulp van groene stroom opgewekt kan worden is het geheel CO₂ neutraal. Om terug te gaan naar het begin van de ontwikkeling van waterstof en de brandstofcel, welke nodig is voor het geheel werken op waterstof, dient er ver terug in de tijd gekeken te worden. Waterstof werd voor het eerst gemaakt in 1670, dit werd gedaan met behulp van elektrolyse. Waterstof wordt tegenwoordig nog steeds gemaakt door middel van elektrolyse. De brandstofcel werd uitgevonden in 1839, echter werd deze pas 50 jaar later werkelijk werkend en bruikbaar. (MVW Autotechniek, 2020)

Wel zijn er verschillende initiatieven waarbij waterstof wordt gecombineerd met een standaard verbrandingsmotor. Zo komt ook New Holland met de volgens eigen zeggen, wereldprimeur waarbij deze technieken gecombineerd worden. Hierbij zal de waterstof worden ingespoten bij de inlaatlucht voor de verbrandingsmotor waardoor er minder diesel nodig is en de hoeveelheid nodige fossiele brandstof daalt. Doordat minder diesel nodig is zal ook de hoeveelheid schadelijke uitstoot drastisch verminderen. (Trekker, 2020)

Wat betreft grondverzetmachines gaat de historie niet zo ver terug. De laatste jaren zijn er echter verschillende initiatieven ontstaan en zijn fabrikanten bezig met het ontwikkelen van machines welke op een alternatieve manier worden aangedreven. Zo kondigt machinefabrikant Hyundai aan graafmachines op waterstof te gaan produceren, en deelt fabrikant JCB mede al enige tijd te testen met een prototype rupsgraafmachine op waterstof. Verder zijn er ook al verschillende shovels met een accupakket op de markt. Zo is ontdekt gedurende de stageperiode, dat Ahlmann Nederland BV op dit moment een van de weinige machineleveranciers is met volledig elektrische machines in het productaanbod, waar de Ahlmann AZ95 electric er een van is.

Naast de doorontwikkeling van duurzame machines is er ook op het gebied van certificaten en benodigdheden iets veranderd. Om bedrijven meer te stimuleren om minder CO₂ uit te stoten heeft in eerste instantie ProRail in 2009 de CO₂-prestatieladder ingevoerd. Dit is een systeem waarbij er met een rangschikking, 1 tot en met 5, wordt weergegeven hoe actief een bedrijf bezig is met het verminderen van de CO₂ uitstoot. In 2011 begonnen ook andere instanties met het eisen van certificering aan de hand van de prestatieladder, om deze reden is de stichting SKAO opgericht welke tot op heden alles rondom de CO₂-prestatieladder regelt. (De duurzame adviseurs, 2020)

1.3 Relevantie

Er zijn vele vormen van energie, waaronder warmte en beweging. Voor het verzetten van grond zijn er bewegingen nodig. Deze bewegingen kunnen op verschillende manieren gerealiseerd worden, de eenvoudigste manier is de handmatige beweging, deze wordt gegenereerd met hulpmiddelen zoals een schep waardoor er grond verzet kan worden. Om meer capaciteit te hebben zijn er grondverzetmachines ontwikkeld. Momenteel worden vrijwel alle grondverzetmachines aangedreven door een verbrandingsmotor welke vrijwel allemaal lopen op dieselolie. Naast dat deze vorm van aandrijven vele nadelige bijkomstigheden oplevert voor het milieu, gaat er ook veel energie verloren. Zo is het rendement van een dieselmotor slechts 30%. Dit houdt in dat er 70% van de energie verloren gaat. Het grootste deel van deze verloren energie verdwijnt als warmte. (Hermans, 2019)

In verband met het milieu heeft de Europese Unie richtlijnen opgesteld om de uitstoot zo veel mogelijk terug te dringen. In het VN-klimaatakkoord van Parijs staan deze doelen beschreven. Zo dient Europa in 2030 ten minste 40% minder uitstoot te genereren dan in 1990 en in 2050 geheel CO₂ neutraal te zijn. Volgens het nationale klimaatakkoord moet Nederland in 2030 49% minder uitstoten en in 2050 95% minder. Het doel van deze drastische uitstoot vermindering is het beperken van de opwarming van de aarde naar een maximale stijging van 1,5 graden Celsius. (Rijksoverheid, 2020)

Om de gestelde doelen te behalen dient de overheid meer te stimuleren om alles zo duurzaam mogelijk uit te voeren, zoals de bouw van gebouwen en het onderhoud van openbare ruimtes. Door milieuvriendelijke machines in te zetten wordt er steeds minder uitstoot gegenereerd waardoor dit een positieve bijdrage levert aan het milieu. Dat er bij de machines, welke momenteel veelal op diesel draaien, veel winst valt te behalen is bekend. Echter is het aanbod van deze machines heel gering. Wanneer de dieselmotoren vervangen kunnen worden door een alternatieve energievoorziening die niet schadelijk is voor het milieu, wordt de uitstoot uiteindelijk drastisch verminderd. (De duurzame adviseurs, 2020)

Naast het feit dat verbranden van fossiele brandstoffen een grote impact heeft op de natuur, heeft de uitstoot welke vrijkomt bij de verbranding ook impact op de gezondheid van mensen. Naast de verschillende schadelijke gassen komt er ook fijnstof vrij. Al deze uitstoot kan schadelijk zijn voor mens en dier met zelfs kans op ziekte of vroegtijdige sterfte tot gevolg, zo blijkt uit een Braziliaans onderzoek. Voor het desbetreffende rapport is onderzoek gedaan naar de invloed van de uitstoot van vrachtvervoer op de gezondheid van mensen. Hier is gekeken naar de mogelijke te behalen winst wanneer alle vrachtwagens in plaats van diesel, aardgas zouden gaan verbruiken. Uit dit onderzoek blijkt dat, in het geval van Brazilië, alleen het verminderen van de uitstoot van vrachtwagens onvoldoende is om het aantal doden terug te dringen. (Teixeira, Borges, Machado, Mouette, & Ribeiro, 2020)

Naast alle bekende gegevens over de invloed van fossiele brandstoffen en de gevolgen hiervan, zijn er meer onderdelen welke invloed hebben op de beslissingen die worden genomen door mensen en bedrijven. Vrijwel iedereen is het erover eens dat er veel moet gebeuren om het klimaat te sparen, echter blijft de uitwerking hiervan vaak nog achterwege. Dit heeft meestal niet met de wil van mensen te maken, maar met het financiële aspect. Momenteel zijn vrijwel alle machines voorzien van een dieselmotor. Op sommige werkplekken wordt al wel gewerkt met elektrische machines, dit is echter wel veelal in de stad omdat dit dan geprefereerd of geëist wordt. In buitengebieden en minder dichtbevolkte gebieden wordt vrijwel alles nog met traditioneel aangedreven machines uitgevoerd. In provincie Zeeland is een onderzoek uitgevoerd onder verschillende transportbedrijven om te achterhalen hoe deze bedrijven tegenover verduurzaming staan. Hieruit bleek dat de meeste vrachtwagens en overige voertuigen al wel voorzien zijn van motoren welke voldoen aan de hoogste classificering, maar echte alternatieven veelal uitblijven. Er zijn wel bedrijven die getest hebben met alternatieven, deze waren veelal negatief. Bij de alternatieve energie moest ingeleverd worden op vermogen dan wel laadcapaciteit of het rijbereik was onvoldoende. Daarnaast was elke vorm duurder dan de traditionele vrachtwagen waardoor innoveren op dit gebied een direct risico kan vormen voor de concurrentiepositie van een bedrijf. Werkaanbieders zijn namelijk veelal niet bereid om de extra kosten voor een duurzame machine mee te vergoeden waardoor deze machines dus vrijwel direct geld kosten. Enkel bij aannemingen kan er voordeel behaald worden met een machine welke op een alternatieve manier wordt aangedreven. Wanneer alle bedrijven gedwongen worden om te verduurzamen zal er snel verandering plaats vinden, in dit geval is de verandering voor elk bedrijf ook hetzelfde waardoor er nauwelijks verandering in de concurrentiepositie plaats hoeft te vinden. (Verduijn & Jonkman, 2020)

1.4 Theoretisch kader

Het theoretisch kader is het onderdeel waarin alle gebruikte termen van de verschillende onderzoeksvragen nader toegelicht worden. Door deze verschillende termen nader toe te lichten kan er vrijwel geen misverstand ontstaan over de opvatting van deze termen.

Energiedrager

De algemene benaming van een individu van een van de groepen dragers van energie is energiedrager. Deze groepen energiedragers kunnen opgedeeld worden in primaire dragers en secundaire dragers. Onder de primaire dragers vallen onder anderen: fossiele brandstoffen, uranium en zon. Verder zijn er de secundaire dragers, hieronder vallen onder anderen: elektriciteit, brandstoffen en warmte.

Kansrijk

Per alternatieve energiedrager dient de afweging gemaakt te worden hoe realistisch het is. Hierbij dient achterhaald te worden hoe haalbaar deze manier van aandrijven is, wat de kosten zijn, hoelang met de machine gewerkt kan worden en hoelang het tanken of opladen duurt. Verder is het van belang om het verdere effect op de machine te onderzoeken, bijvoorbeeld het gewicht en de veiligheid. Wanneer dit allemaal inzichtelijk is kan worden afgewogen welk alternatief het meest haalbaar en realistisch is, en is dus het meest kansrijk. Na het opstellen van deze definitie is met stagebegeleider Bart van den Oord nogmaals besproken wat de criteria zijn voor het kansrijk zijn. Ook na deze bespreking werd tot beschreven definitie gekomen.

Diesel aangedreven

De huidige grondverzetmachines beschikken vrijwel allemaal over een verbrandingsmotor. Dit zijn veelal motoren die doormiddel van diesel een draaiende beweging genereren waarmee alle verschillende onderdelen aangedreven kunnen worden. In dit geval is de brandstof dus diesel, de motor wordt aangedreven door diesel en de motor drijft de machine aan.

Grondverzetmachines

Het woord grondverzet houdt in dat er letterlijk grond verzet wordt. Het kan met verschillende machines uitgevoerd worden, dit zijn dan ook de zogeheten grondverzetmachines. Binnen deze categorie machines vallen verschillende soorten. Voor dit onderdeel zal hoofdzakelijk gericht worden op de shovels/wielladers, mobiele graafmachines en rupsgraafmachines. Grondverzetmachines zijn naast de verschillende soorten ook in verschillende afmetingen en gewichten beschikbaar. Voor dit onderzoek wordt hoofdzakelijk gekeken naar de voor de Nederlandse markt meest gangbare machines. Hiervoor wordt dan voor zowel de verschillende graafmachines als de shovels/wielladers van klein tot en groot met een maximaal gewicht van ongeveer 30 ton onderzoek gedaan.

1.5 Knowledge gap

In de zoektocht naar een milieuvriendelijke aandrijving worden er verschillenden ideeën bedacht en uitgewerkt. De verschillende bedachte ideeën kunnen heel divers zijn. Echter is de haalbaarheid ook een van de belangrijke onderdelen waar goed onderzoek naar gedaan dient te worden. Zo kan een alternatief volledig emissievrij werken terwijl het in praktijk onhaalbaar is. Om hierin meer duidelijkheid te kunnen creëren wordt er onderzoek gedaan naar de verschillende aspecten op gebied van kosten, risico's en efficiëntie.

Over de verschillende mogelijkheden tot aandrijven is er al veel bekend, zo zijn er al een aantal alternatieven in ontwikkeling. Verschillende fabrikanten experimenteren al enige tijd met diverse energiedragers om te onderzoeken wat werkbaar is en wat hiervoor opgeofferd dient te worden. In de automobiëlbranche zijn veel verschillende alternatieven, welke dienen als vervanger voor de standaard brandstoffen, al in beperkte mate verkrijgbaar op de huidige markt. Er is dus al wel grotendeels bekend welke mogelijke alternatieven er zijn, maar nog niet welke het meest kansrijk is. Van elk alternatief is grotendeels inzichtelijk welke voor- en nadelen er zijn, maar niet ten opzichte van de andere alternatieven. In dit onderzoek zullen deze eigenschappen en bijkomstigheden per

alternatief dan ook verder uitgewerkt worden ten opzichte van de andere alternatieven. Wanneer een ander alternatief gevonden wordt waarover nog weinig bekend is zal deze energiedrager natuurlijk ook verder uitgewerkt worden, maar de nadruk ligt hoofdzakelijk op de al bekende alternatieve energiedragers. (Hanschke, Uytterlinde, Kroon, Jeeninga, & Londo, 2009)

1.6 Hoofd- en deelvragen

Om een onderzoek te laten slagen zijn verschillende vragen een vereiste. Deze verschillende vragen zijn onderverdeeld in een hoofdvraag en meerdere bijbehorende deelvragen. Deze verschillende vragen zullen in dit onderdeel dan ook benoemd en nader toegelicht worden.

Hoofdvraag

Welke energiedrager is op dit moment het meest kansrijk als vervanger voor diesel aangedreven grondverzetmachines?

Om deze vraag te kunnen beantwoorden zijn verschillende deelvragen opgesteld, wanneer deze beantwoord zijn kan ook op bovenstaande hoofdvraag antwoord worden gegeven.

Deelvraag 1

Welke alternatieve energiedragers zijn er toepasbaar in grondverzetmachines?

Zoals eerder benoemd zijn er verschillende mogelijke alternatieven welke in de automobielbranche, dan wel in de agrarische- en grondverzetmachines worden toegepast. Een alternatief kan uitstekend werken en zeer geschikt zijn voor het leveren van prestaties, maar is ook afhankelijk van de omgeving en omstandigheden. Om duidelijk te krijgen welke alternatieven er zijn, en ook daadwerkelijk toegepast kunnen worden in grondverzetmachines, dient deze vraag beantwoord te worden. Om de vraag te beantwoorden zal er worden onderzocht onder welke omstandigheden de hedendaagse beschikbare alternatieve aandrijvingen kunnen werken en in de verschillende gevallen ook daadwerkelijk goed zouden kunnen functioneren. Hierbij moet er rekening mee gehouden worden dat machines ook onder zware omstandigheden ingezet kunnen worden en dus bestand moeten zijn tegen onder anderen vocht, modder en stof.

Deelvraag 2

Wat zijn de kosten behorend bij een emissievrije grondverzetmachine?

De kosten van een standaard diesel aangedreven machine zijn voor de meeste eigenaren redelijk bekend. Het betreft dan niet alleen de aanschafkosten maar ook alle bijkomende kosten voor het onderhoud van, en reparaties aan de machine. Voor machines met een alternatieve aandrijving is dit veelal nog onbekend, terwijl dit wel een van de belangrijke factoren is die doorslaggevend kan zijn voor de ontwikkeling en productie van een mogelijke machine. Dit alles omdat een dure machine met hoge onderhouds- en reparatiekosten niet aantrekkelijk is voor eindgebruikers en dus ook niet veel verkocht zal worden waardoor de productie ervan ook niet aan de orde komt.

Deelvraag 3

Wat is de energie-efficiëntie van een emissievrije grondverzetmachine en de benodigde energie?

De laatste belangrijke factor welke in dit onderzoek behandeld wordt is de efficiëntie. Energiedragers kunnen een verschillende dichtheid hebben van energie, dit houdt in dat er per vaste hoeveelheid bij het ene alternatief meer energie om gezet kan worden dan bij de andere energiedrager. Dit is van belang om te weten omdat hiermee rekening gehouden dient te worden bij de opslag ervan in de machine. Er moet immers wel voldoende opslagcapaciteit zijn om een hele dag te kunnen werken. Ook dient hierbij de wijze en tijd voor het herladen dan wel tanken van de machine meegenomen te worden. Verder moet gekeken worden of er wel tenminste dezelfde capaciteiten behaald kunnen worden als bij een diesel aangedreven machine het geval is. Naast de efficiëntie van de machine zelf is het ook van belang om de complete energiebehoefte te onderzoeken. Duurzame energie is momenteel nog te weinig aanwezig waardoor er zuinig mee omgegaan dient te worden. Hierbij is het dan ook van belang om de benodigde energie voor een machine, het rendement van de primaire energie, mee te nemen in het complete antwoord op deze vraag.

1.7 Doelstelling

Het doel is inzichtelijk krijgen welke alternatieve aandrijvingsvorm het meest kansrijk is voor toekomstige grondverzetmachines. Op deze manier zijn de verschillende alternatieven ten opzichte van elkaar afgewogen waardoor het beste alternatief ook als meest kansrijk gezien wordt. Via deze weg kan er meer duidelijkheid worden verschaft over de verschillende alternatieven en bijkomstigheden. Dit is niet alleen interessant voor gebruikers, maar ook voor fabrikanten, importeurs, dealers, handelaars en toeleveranciers. Al deze beroepsgroepen zouden met de opgedane en onderzochte informatie voordeel kunnen behalen. Dit voordeel kan zijn op het gebied van onder andere de productie, verkoop en aanschaf van een milieuvriendelijke machine, welke in de toekomst de meest kansrijke duurzame machine zal zijn.

Hoofdstuk 2. Materiaal en Methode

In dit hoofdstuk zal beschreven worden hoe de verschillende onder hoofdstuk 1.7 benoemde deelvragen beantwoord zullen worden. Om dit inzichtelijk te krijgen zullen alle mogelijke benodigdheden en de manier waarop het onderzoek verricht wordt, benoemd worden. Het onderzoek zal grotendeels literatuurgericht uitgevoerd worden. Dit om via deze weg zo veel mogelijk objectieve informatie in te winnen waardoor een zo realistisch mogelijk beeld zal ontstaan.

2.1 Onderzoeksmethode

Voor het uitvoeren van een onderzoek zijn er verschillende onderzoeksmethoden. In dit onderdeel zal nader toegelicht worden welke methode er gebruikt is, waarom hiervoor gekozen is en wat voor effect dit heeft op het eindresultaat.

Naast de verschillende soorten praktijkonderzoek zijn er ook vele andere vormen van onderzoek doen. In dit geval wordt er een literatuuronderzoek uitgevoerd, ook wel bekend als een systematic review of bronnenonderzoek. Bij een systematic review wordt gestructureerd literatuuronderzoek uitgevoerd, er wordt dus gezocht naar bronnen waarin relevante informatie is te vinden. Het doel van dit soort onderzoek is het beantwoorden van de vragen door middel van het samenvatten van verschillende relevante onderzoeken. Op deze wijze wordt er breed onderzocht en kan er vervolgens een conclusie getrokken worden. (Universiteit Utrecht, 2020)

Voor het zoeken naar bronnen is het van belang om op een juiste manier te werk te gaan om zo veel mogelijk informatie te kunnen verwerven. Bij het zoeken naar bronnen is het van belang om niet vast te houden aan één specifieke zoekterm. Er dient gezocht te worden naar bronnen door meerdere zoektermen te gebruiken, vrijwel elk woord heeft immers een of meerdere alternatieven. Verder is het van belang om breed te zoeken, ga niet uit van één zoekmachine. Zo wordt er in dit geval gebruik gemaakt van onder andere Google Scholar, Science Direct en andere wetenschappelijke zoekmachines. Naast de manier van zoeken is het ook van belang om de specificaties van de bronnen inzichtelijk te hebben. Er zijn namelijk verschillende eisen waar een bron van de minimaal 10 vereiste aan moet voldoen. Zo mag deze bron maximaal 10 jaar oud zijn, moet de auteur bekend zijn en moet het wetenschappelijk zijn. Daarnaast wordt een peer reviewed bron altijd zeer op prijs gesteld omdat hierbij meer zekerheid is omdat hier meerdere mensen naar gekeken of aan gewerkt hebben. Naast wetenschappelijke bronnen zullen er ook verschillende artikelen nieuwsartikelen en eventuele andere informatiebronnen gebruikt worden. (Baarda, 2019)

Wanneer er voldoende informatie is ingewonnen zal deze samengevat worden. Naast het samenvatten van de informatie wordt gekeken of er met behulp van de ingewonnen informatie voldoende bekend is om antwoord te kunnen geven op de verschillende bij onderdeel 1.6 opgestelde deelvragen. Deze deelvragen dienen namelijk uiteindelijk allemaal een gedeelte van het antwoord te worden. Aan de hand van de verschillende deelvragen zal de algehele conclusie worden getrokken, dit is tevens ook het eindresultaat van dit onderzoek.

Bij het kiezen van een onderzoeksmethode is het van belang om te weten waarna onderzoek gedaan zal worden. In dit geval is het onderzoek doen naar mogelijkheden om machines aan te drijven, om uiteindelijk te concluderen welke het meest haalbaar is. Het gaat in dit geval dus niet zo zeer om welke mogelijkheden er zijn en waar kansen liggen, maar welk alternatief op dit moment het meest haalbaar is om toegepast te worden in de verschillende machines. Om deze reden is er gekozen voor een systematische review. Via deze weg wordt er onderzoek gedaan naar wat er bekend is, dit wordt vergeleken en vervolgens zal er een conclusie getrokken kunnen worden.

Elke verschillende vorm van onderzoek doen heeft invloed op het eindresultaat. In dit geval betreft het een onderzoek naar de verschillende mogelijkheden, met als uiteindelijk doel, een conclusie waaruit blijkt welke energiedrager het beste toepasbaar en haalbaar is. De focus ligt dus niet op wat er allemaal kan, maar wat er op dit moment het meest haalbaar is. Om zo veel mogelijk tijd te kunnen besteden aan het hoofddoel, namelijk bepalen welke vorm het meest haalbaar is, is er gekozen voor een literatuuronderzoek. Via deze weg hoeft er minder tijd besteed te worden aan de losse onderzoeken naar mogelijkheden om verschillende soorten energie om te kunnen zetten in bewegingen van onder andere grondverzetmachines. Om deze reden kan er meer gefocust worden op de voor- en nadelen per alternatief waardoor dit een duidelijker en realistischer beeld op moet leveren aangezien er alleen gekeken wordt met al bekende en onderzochte energiedragers.

2.2 Aanpak per deelvraag

Om meer inzicht te krijgen hoe het antwoord op de deelvragen verkregen wordt, is het van belang om te weten hoe te werk wordt gegaan. Zo kan een eventueel onderzoek ook herhaald en gecontroleerd worden.

1. Welke alternatieve energiedragers zijn er toepasbaar in grondverzetmachines?

Manier van onderzoek:

Onderzoek zal hoofdzakelijk digitaal via internet plaatsvinden. Hier wordt dan veelal gezocht naar bronnen welke informatie verschaffen over de mogelijkheden. Deze wijze van onderzoek kan, vanwege de manier van onderzoek, ook literatuuronderzoek genoemd worden. Hierbij zal niet alleen naar grondverzetmachines gekeken worden, maar ook naar de automobielbranche, landbouw en overige aanverwante sectoren. Er kan bijvoorbeeld gezocht worden naar bronnen met behulp van de volgende zoektermen: alternative fuels, alternative energy en zero-emission cars.

Wijze van verwerking van de ingewonnen informatie:

Veelal zal informatie gebruikt worden om bekender te worden met de mogelijkheden en achterliggende informatie. Alle gevonden alternatieve aandrijvingsmogelijkheden zullen worden beschreven in het onderzoek. Verder zullen de eigenschappen per alternatief objectief beschreven worden. Na de tekstuele uitleg van de gevonden alternatieven zal er uiteindelijk bij de hoofdvraag per alternatief een tabel ingevuld worden welke nog nader toegelicht wordt bij de uitleg van de hoofdvraag.

2. Wat zijn de kosten behorend bij een emissievrije grondverzetmachine?

Manier van onderzoek:

Het onderzoek betreft een systematische review, dit houdt in dat er informatie wordt verzameld aan de hand van bronnen. Wel is het hierbij van groot belang dat de verschillende bedrijven redelijk gelijkwaardig zijn aan elkaar, anders is de kans groot dat er een onjuiste vergelijking ontstaat en er dus een vertekend beeld wordt weergegeven. Mogelijke zoektermen kunnen zijn: costs alternative energy, costs alternative fuels en costs zero-emission engines.

Wijze van verwerking van de ingewonnen informatie:

De gevonden informatie zal uitgewerkt worden per alternatief. De kosten zullen hierbij opgedeeld worden in aanschafkosten en onderhoudskosten/reparatiekosten, en de afschrijving van de machine. Ook is het van belang dat er een levensduur weergegeven kan worden om zo beter te kunnen vergelijken. Ook is het van belang om te achterhalen wat de kosten van de te gebruiken energiebron

zijn. Wanneer alles tekstueel is uitgewerkt zullen de concrete cijfers in een tabel bij de hoofdvraag worden weergegeven om zo meer overzicht te creëren. Ook kan aan de hand van deze tabel eenvoudig vergeleken worden.

3. Wat is de energie-efficiëntie van een grondverzetmachine en de benodigde energie?

Manier van onderzoek:

Wat betreft de efficiëntie wordt er ook literatuuronderzoek gedaan. Doormiddel van bronnen kan onderzocht worden hoeveel energie een alternatieve energiedrager levert ten opzichte van diesel. Ook kan onderzocht worden hoeveel van deze alternatieve vorm er nodig is om een hele dag te kunnen werken en wat daarna de duur voor het herladen of aftanken is. Wanneer deze informatie bekend is kan er in combinatie met de efficiëntie van de machine worden berekend wat een machine per uur aan energie kost. Voorbeelden van zoektermen kunnen zijn: efficiency alternative energy, efficiency zero-emission cars en efficiency alternative fuels.

Wijze van verwerking van de ingewonnen informatie:

De opgedane informatie wordt door middel van tekstuele toelichting verder uitgewerkt. In deze tekstuele toelichting zal toegelicht worden wat de efficiëntie is en hoe dit is ten opzichte van diesel. Bij het beantwoorden van de hoofdvraag zal verder vergeleken worden tussen de verschillende alternatieven onderling. Ook zal hierbij verklaard worden waarom de efficiëntie is zoals omschreven en hoe het herladen of aftanken plaats vindt en hoeveel tijd hiervoor nodig is. Nadat de tekstuele toelichting gegeven is zal bij de hoofdvraag de tabel ingevuld kunnen worden waardoor een overzichtelijk algemeen beeld ontstaat.

2.3 Aanpak hoofdvraag

Welke energiedrager is op dit moment het meest kansrijk als vervanger voor diesel aangedreven grondverzetmachines?

Wanneer de eerder benoemde deelvragen beantwoord zijn, kan ook de bovenstaande hoofdvraag beantwoord worden. De deelvragen zullen tekstueel beantwoord worden, dit houdt in dat er geen tabellen en grafieken in voor zullen komen. Er is een algemene tabel opgesteld welke per alternatief gebruikt zal worden voor de beantwoording van de hoofdvraag. In deze tabel, Tabel 1, zijn de volgende onderdelen weergegeven. Aan de hand van de tekstuele toelichtingen per deelvraag, kan voor elk alternatief een waardering bepaald worden. De waardering wordt in de tabel, behorend bij dat alternatief, ingevuld. Na het invullen van de verschillende tabellen kan een totaalscore per individueel alternatief berekend worden. Het alternatief met de laagste score is, volgens de onderzochte onderdelen, het meest kansrijk als vervanger voor de diesel aangedreven machines.

- **Vermindering werktijd:** Dit betreft de tijd die met een machine minder gewerkt kan worden, in vergelijking met de diesel aangedreven machine. Wanneer een volgeladen of volgetankte machine geen werktijdvermindering heeft zal de score 0 zijn. Is er wel een vermindering, dan zal afhankelijk van de mate waarin deze aanwezig is, de score bepaald worden. Ook wordt hierbij de benodigde tijd meegenomen die nodig is om een machine weer volledig te herladen dan wel af te tanken.
- **Kosten aanschaf:** De kosten voor de aanschaf betreffen alle kosten die nodig zijn om de machine te kopen, in vergelijking met de diesel aangedreven machines.
- **Kosten onderhoud:** Dit onderdeel omvat alle bijkomstige kosten die gemaakt moeten worden om de machine in goede conditie te houden. Dit zijn dan ook de kosten van alle bijkomstige werkzaamheden die nodig zijn om de machine werkend te houden.
- **Kosten afschrijving:** De kosten van de afschrijving zijn het verschil tussen de aanschaf en restwaarde, verdeeld over het aantal uren dat de machine gebruikt kan worden voordat deze versleten is.

- **Kosten energie:** De kosten van de energie omvatten de kosten voor de eindgebruiker. Hier worden dus enkel de kosten van de energie meegenomen die de eindgebruiker moet betalen om een uur te kunnen werken, in vergelijking met de dieselprijs.
- **Energieverlies productie alternatief:** Dit onderdeel omvat het verlies aan energie bij de productie van een alternatief. Hieronder vallen de benodigde energie voor het produceren, opslaan en transporteren naar de machines.
- **Energieverlies van de machine:** Het energieverlies van de machine omvat alle energie die tijdens het werken verloren gaat. Energie kan bijvoorbeeld verloren gaan door middel van warmte.

Tabel 1 - Schema voor het beoordelen van een alternatief

Alternatief:			Totaalscore:	
	Geen/Laag	Aanvaardbaar	Verbetering vereist	Te hoog
Vermindering werktijd	0	1	2	3
Kosten aanschaf	0	1	2	3
Kosten onderhoud	0	1	2	3
Kosten afschrijving	0	1	2	3
Kosten energie	0	1	2	3
Energieverlies productie alternatief	0	2	4	6
Energieverlies van machine	0	2	4	6
Totaal:				

In Tabel 1 is zichtbaar dat er bij de onderdelen vermindering werktijd en de verschillende kosten gebruik wordt gemaakt van de cijfers 0-3 en bij de overige onderdelen van de cijfers 0-6. De reden hiervoor is dat de kosten wel invloed hebben op de haalbaarheid van een alternatief, maar nooit van groter belang mogen zijn dan de veiligheid en milieuwinst. Tabel 1 is opgesteld en vervolgens besproken met de stagebegeleider vanuit Ahlmann Nederland BV, na afloop van dit gesprek werd geconcludeerd dat de puntenverdeling realistisch is

Als voor elk alternatief de tabel is ingevuld, komt hier een totaal aantal punten uit welke rechtsbovenin worden weergegeven. Hoe lager het aantal, hoe groter de kans is dat het ook daadwerkelijk haalbaar is. Na het invullen van de tabel zal per alternatief een korte conclusie geschreven worden over het alternatief. Nadat alle alternatieven beoordeeld zijn volgens de tabel en vervolgens een korte conclusie hebben gekregen, zal er vergeleken worden. Uit deze vergelijking moet duidelijk worden welke energiedrager het meest kansrijk is als vervanger voor de diesel aangedreven machines.

Na het voltooien van de vergelijking zal een conclusie opgesteld worden. Deze conclusie wordt opgesteld aan de hand van de eerder benoemde informatie bij de verschillende deelvragen, en aan de hand van de tabellen en vergelijkingen bij de beantwoording van de hoofdvraag. Deze conclusie zal hierdoor niet alleen een duidelijk antwoord geven, maar zal ook de afsluiting van dit onderzoek vormen.

Hoofdstuk 3. Resultaten

In dit onderdeel worden de eerder opgestelde vragen beantwoord. Het beantwoorden van de deelvragen zal plaats vinden door middel van een tekstuele toelichting waarmee er een concreet antwoord zal ontstaan. De hoofdvraag zal ook tekstueel beantwoord worden, maar heeft hierbij ook de verschillende tabellen van de mogelijke alternatieven die het antwoord onderbouwen.

3.1 Resultaat deelvraag 1

Deelvraag 1: Welke alternatieve energiedragers zijn er toepasbaar in grondverzetmachines?

Qua ontwikkeling lopen de grondverzetmachines achter op de automobielbranche. Het verduurzamen van machines is een langdurend proces, zo is dit ook het geval bij onder andere auto's, echter zijn er bij auto's eerder nieuwe ontwikkelingen doorgevoerd zoals de hybride en vol elektrische auto's. Om deze reden kan er dan ook onder andere gekeken worden naar de ontwikkelingen op het gebied van auto's en vrachtverkeer. Naast de auto's en het vrachtverkeer is er ook het stadverkeer, hierbij worden ook veel ontwikkelingen doorgevoerd met betrekking tot het openbaar vervoer, met name de aandrijvingsvormen van bussen zullen verder bekeken worden. Een van de redenen hiervoor is dat zowel het openbaar- als het personenvervoer momenteel al meerdere veranderingen heeft doorgemaakt en wat dat betreft een voorsprong heeft op onder anderen de grondverzetmachines. Vooral de grotere machines zijn nog zeer beperkt tot niet verkrijgbaar met een alternatieve aandrijvingsvorm. (Elektrische mobiele werktuigen in beeld, 2019)

Er zijn een aantal verschillende alternatieven, mogelijke alternatieven zijn de verschillende brandstoffen zoals: HVO, GTL, CNG, LNG. Op HVO na betreft het allemaal alternatieven voor standaard dieselolie of mengsels in combinatie met standaard dieselolie. Het viertal benoemde typen brandstoffen zal nader toegelicht worden, echter zal met GTL, CNG en LNG in dit onderzoek niet verder gewerkt worden omdat deze niet geheel fossiel vrij zijn waardoor deze brandstoffen voor de toekomst ook niet het hoofddoel mogen zijn.

HVO: HVO, Hydrotreated Vegetable Oils, is een brandstof die qua eigenschappen vergelijkbaar is met de standaard dieselolie. Enkel is deze variant gemaakt uit niet-fossiele middelen, namelijk plantaardige oliën en restafval zoals dierlijke vetten. Deze producten worden vervolgens als geheel behandeld met waterstof waardoor een kwalitatief hoogwaardige en duurzame vorm van dieselolie wordt gecreëerd. Hierdoor komt er geen extra uitstoot vrij tijdens de verbranding van HVO, ten opzichte van de verbranding van dieselolie uit fossiele brandstoffen waar wel lang opgeslagen broeikasgassen worden uitgestoten. De uitstoot van fijnstof en andere schadelijke stoffen blijft wel gelijk aan die van de standaard dieselolie waardoor het geen verdere voordelen biedt voor de gezondheid van mensen en het werken in de binnenstad met machines die HVO tanken. Dit geldt overigens ook voor de andere alternatieve brandstoffen. (Future Fuels, 2019)

GTL: GTL is de afkorting van Gas To Liquid, de naam omschrijft eigenlijk al wat deze brandstofvariant inhoudt. Op een synthetische manier wordt aardgas omgezet naar een vloeistof, deze vloeistof wordt vervolgens gebruikt als brandstof. In gebruik is de brandstof gelijk aan de standaard diesel, er zijn hiervoor dan ook geen aanpassingen aan de machine nodig. Echter is GTL een brandstof die qua uitstoot vrijwel geen positieve bijdrage levert aan het milieu, ten opzichte van de standaard dieselolie. Bovendien wordt GTL gemaakt van aardgas waardoor de opgeslagen fossiele brandstoffen worden verbruikt en er dus extra broeikasgassen vrijkomen. (OQ value, sd)

CNG: CNG is de afkorting van Compressed Natural Gas, dit betekent dat het aardgas is dat onder druk is gebracht. CNG wordt dusdanig gecomprimeerd dat het volume minder dan 1% is ten opzichte van het volume bij de atmosferische druk, dit komt door de wijze van opslag en het gebruikt wat namelijk wordt gerealiseerd onder een druk van 200 tot 248 bar. Ondanks dat CNG wereldwijd is aangemerkt als een van de milieuvriendelijkere brandstoffen, wordt in dit onderzoek ook hierna geen verder onderzoek gedaan, CNG blijft namelijk aardgas, wat een fossiele brandstof is en dus extra

broeikasgassen de atmosfeer in brengt. Bovendien heeft ook een motor welke werkt door middel van CNG een rendement van 35% waardoor er ten opzichte van de diesel ook geen winst wordt behaald met de energie-efficiënte. (Khan, Yasmin, & Shakoor, 2015)

LNG: LNG is de afkorting van Liquefied Natural Gas, letterlijk vertaald betekent dit vloeibaar gemaakt aardgas. LNG is qua uitstoot schoner moeten dan onder anderen dieselolie, echter blijft ook in dit geval weer een fossiele bron in gebruik voor de productie van de brandstof. Ondanks dat het schoner is dan onder andere dieselolie, blijft er op deze manier dus een toename van de hoeveelheid broeikasgassen in de atmosfeer omdat de brandstof opgeslagen was in de grond, naar boven wordt gehaald en vervolgens wordt verbrand en als broeikasgas in de atmosfeer terecht komt. (Strantzali, Aravossis, Livanos, & Nikoloudis, 2019)

Naast de brandstoffen welke van fossiele afkomst zijn of op biologische wijze worden gemaakt, zijn er ook andere alternatieven. Op dit moment gaat het om een tweetal bekende mogelijkheden, namelijk elektriciteit en waterstof. Voor beide alternatieven geldt dat deze in onder andere grondverzetmachines gebruikt kunnen worden zonder dat hier fossiele brandstoffen bij nodig zijn.

Waterstof: Op het gebied van waterstof is er veel mogelijk, niet alleen bij de wijze van gebruik maar ook de wijze van productie. Er zijn verschillende soorten waterstof, deze verschillende soorten hebben de naam, en dus de kleur te danken aan de wijze van productie. Op dit moment de meest gebruikte soort is grijze waterstof, dit wordt veelal geproduceerd met behulp van aardgas of kolen. Naast productie uit aardgas kan grijze waterstof ook geproduceerd worden met standaard elektriciteit. Dit is grijze waterstof omdat er bij het proces CO₂ vrij komt. Een tweede variant is de blauwe waterstof, dit is een variant waarbij waterstof wordt geproduceerd uit aardgas, echter wordt bij deze vorm van productie het grootste deel van de CO₂, tot 90%, opgevangen. Een derde variant is groene waterstof, dit is waterstof waarbij geen CO₂ vrijkomt bij de productie ervan. Dit komt doordat er in dit geval watermoleculen worden gescheiden van zuurstofmoleculen met behulp van elektrolyse. Dit proces is gebaseerd op de elektriciteit die moleculen scheidt, wanneer dit gebeurt met behulp van groene elektriciteit, is er geen uitstoot van schadelijke stoffen en is het dus groene waterstof. Groene waterstof kan ook geproduceerd worden uit biogas, in dit geval wordt er ook geen uitstoot van schadelijke stoffen gegenereerd. Verder is er de oranje waterstof, dit betreft waterstof die is geproduceerd met groene stroom uit Nederland. (Wassink, 2019)

Waterstof kan op verschillende manieren toegepast worden in mobiele machines, namelijk door verbranding in een verbrandingsmotor, maar ook door gebruik in combinatie met een brandstofcel. Een brandstofcel is vele malen efficiënter met de hoeveelheid waterstof dan de verbrandingsmotor, om deze reden zal er ook verder onderzoek gedaan worden naar de toepassing met de brandstofcel.

Elektriciteit: Elektriciteit is tegenwoordig een bekend fenomeen, werken met elektriciteit is al meerdere jaren bekend. Het rijden op elektriciteit wordt tegenwoordig steeds bekender en speelt een steeds grotere rol binnen de automobielbranche. Door middel van een accupakket kunnen de machines voor een bepaalde tijd op elektriciteit werken zonder dat hier schadelijke uitstoot bij gegenereerd wordt. Door gebruik van een voldoende grote accu en verschillende aanpassingen met betrekking tot de besturing van de machine, zou elektriciteit een mogelijke toepassing kunnen zijn voor een emissievrije grondverzetmachine.

3.2 Resultaat deelvraag 2

Deelvraag 2: Wat zijn de kosten behorend bij een emissievrije grondverzetmachine?

Van de bij 3.1 genoemde alternatieven is er een drietal mogelijk haalbaar voor de grondverzetmachines. Het betreft HVO, waterstof en elektriciteit waarna verder onderzoek verricht zal worden. Doordat het drie verschillende alternatieven zijn, zullen ook de kosten anders zijn. Door overzichtelijk te hebben wat de kosten zijn van een dergelijk alternatief ten opzichte van de door diesel-aangedreven machine, kan een duidelijk beeld van de situatie gecreëerd worden.

HVO: Zoals bij 3.1 benoemd is HVO qua eigenschappen gelijk aan de standaard dieselolie. Doordat HVO dermate veel lijkt op de gewone dieselolie, kan deze brandstof veelal gewoon toegepast worden in de standaard dieselmotor. Echter mag dit niet zomaar in elke machine worden getankt, dit heeft namelijk te maken met de certificering van de brandstof. Gewone dieselolie is gecertificeerd volgens de EN 590-norm, HVO voldoet niet aan deze norm door de dichtheid van de brandstof, verder is de brandstof wel voldoende voor de EN 590-norm. Voor onder anderen HVO is dan ook de EN 15940 ontworpen, dit is een norm welke is afgeleid van de EN 590. Elke dieselmotor mag EN 590 gecertificeerde dieselolie tanken. De EN 15940 is tot op heden nog niet opgenomen bij de te gebruiken brandstoffen in dieselmotoren, om deze reden moet er altijd door de fabrikant schriftelijk bevestigd zijn dat HVO getankt mag worden met het type motor dat in de machine geplaatst is. Als dit schriftelijk bevestigd is kan HVO getankt worden. Het enige verschil ten opzichte van de standaard is dus het prijsverschil in brandstof. Het brandstoftarief voor gewone diesel is gesteld op €116,45 per 100 liter diesel exclusief btw. Het tarief voor HVO is €147,02 per 100 liter diesel exclusief btw. Prijzen betreffen de adviesprijzen met ingangsdatum per 27-01-2021. (DCB Energy, 2021) Het betreft dus enkel een stijging van de kostprijs op het gebied van brandstof. De prijsstijging voor de overgang van gewone diesel op HVO is 26,25%. Dan is het afhankelijk van de machine, de werkzaamheden en het verbruik van de motor, wat de daadwerkelijk kostprijsstijging per uur zal zijn. (Vreemann & Stok, 2018)

Waterstof: Om meer te weten te komen over de kosten van een waterstofsysteem in machines zal gekeken worden naar de automobielbranche. Binnen de automobielbranche is er al meer geëxperimenteerd, wordt er al langer ontwikkeld en is er dus ook meer informatie beschikbaar. Waterstof is nog niet groot in productie genomen wat ervoor zorgt dat er nog geen echte massaproductie plaats vindt waardoor de prijs hoger is. Dit zorgt ervoor dat de aanschafprijs van een waterstofauto dubbel zo hoog is als de aanschafprijs voor een traditionele auto met verbrandingsmotor. Door het verder ontwikkelen van onder andere de benodigde systemen, meer massaproductie en meer ervaring, zullen de kosten van de aanschaf dalen. Echter betreft het niet alleen de aanschafkosten, maar ook de verdere bijkomende kosten zoals het waterstof zelf welke op dit moment gemiddeld gezien in vergelijking met de benodigde hoeveelheid ten opzichte van een standaard diesel aangedreven machine nog 20% hoger zijn maar erg fluctueren en tevens zeer beïnvloed worden door het transport ervan. De kosten van waterstof is verder ook afhankelijk van de ontwikkelingen op dat gebied. Bovendien is het ook van belang om het waterstof duurzaam te produceren om het een reëel alternatief te laten zijn. Uit onderzoek blijkt dat de prijs van waterstofauto's de komende tien jaar zal dalen maar wel hoger blijft dan die van een standaard elektrische auto. Dit geldt dan zowel voor de aanschaf als voor de totale kosten voor het gebruik ervan. Er vanuit gaande dat dit minstens ook het geval zal zijn voor de grondverzetmachines. (Beeftink, Erich, & Nusselder, 2020)

Elektriciteit: In tegenstelling tot waterstof is er met elektriciteit al meer ervaring opgedaan doordat deze vorm van aandrijving al meerdere jaren in de automobielbranche is toegepast. Dit zorgt er ook voor dat kostenposten beter inzichtelijk zijn. Om te beginnen wordt de informatie van de automobielbranche gebruikt om meer duidelijkheid te creëren. Op dit moment zijn de aanschafprijzen voor elektrische auto's nog zo'n 30% hoger dan die voor conventionele auto's met een verbrandingsmotor. Naar verwachting zal de prijs van elektrische auto's nog dalen. Het zou mogelijk zijn dat in 2030 de elektrische auto's goedkoper zijn in aanschaf dan auto's met een verbrandingsmotor. Echter zal deze prijsafname deels worden opgeheven door de toepassing van beter ontwikkelde accu's met een hogere capaciteit. Hierdoor zal de prijs in 2030 ongeveer gelijk zijn aan die van gelijkwaardige conventionele voertuigen. Wanneer de totale kosten worden berekend, is de elektrische auto op dit moment gelijkwaardig aan de conventionele auto's, op het gebied van totale kosten. Naar verwachting zal dit in 2030 wel een groter verschil zijn waarin de elektrische auto inclusief alle bijhorende kosten goedkoper zal zijn dan een conventioneel voertuig met verbrandingsmotor. (Beeftink, Erich, & Nusselder, 2020)

Voor grondverzetmachines is een daadwerkelijke prijsschatting nog lastig te maken, dit komt hoofdzakelijk door de huidige kostprijs van accu's en overige elektronische componenten. De kosten voor elektronische componenten zullen voor het prijsverschil tussen standaard machines en elektrische machines de grootste veroorzaker zijn. Zo heeft een zwaardere machine vele malen meer accu's nodig dan een kleinere machine waardoor het prijsverschil met de standaard machine procentueel gezien ook toe neemt. Zo kost een 25 ton rupsgraafmachine in de aanschaf op dit moment drie keer zo veel als de standaard variant. Onder zware belasting kan de machine slechts vijf tot zeven uur draaien. Naar verwachting zal de kostprijs van dergelijke elektrische machines de komende jaren afnemen zoals ook bij de auto's het geval is geweest in de beginjaren. Echter zal de aanschafprijs van een elektrische machine naar verwachting de komende jaren nog niet gelijkwaardig of lager zijn dan die van een standaard machine doordat de elektronische componenten duur zijn en hier simpelweg heel veel van nodig is voor een goed functionerende machine. Over de totale kosten van een elektrische machine kan momenteel nog enige discussie ontstaan. De machines zijn in aanschaf namelijk duur maar bieden wel voordelen. Zo kan het zijn dat er een grote klus aangenomen kan worden doordat de elektrische machine ingezet kan worden, of dat er door gebruik van elektrische machines geen ventilatie nodig is in sommige gevallen waardoor veel geld bespaard wordt. Bovendien wordt er ook bespaard op brandstofkosten, de nodige elektrische energie is namelijk voordeliger dan de kosten voor de benodigde diesel. Uit de praktijk blijkt dat bij de Ahlmann AZ95 electric, met 1,8 kWh hetzelfde werk verricht kan worden als met 1 liter dieselolie. Deze mate van elektriciteitsverbruik leidde op het moment van overleg met de medewerkers van Ahlmann Nederland tot een energieprijsverlaging van 74 eurocent ten opzichte van een liter dieselolie. Hierbij kan rekening worden gehouden met een gemiddelde van 7 liter per uur bij normale belasting wat leidt tot een energieprijsverlaging van €5,18 per uur. De eerder benoemde rupsgraafmachine met een gewicht van 25 ton bespaart namelijk €110.000 aan brandstofkosten bij 10.000 uur gebruik van de machine ten opzichte van een gelijkwaardige dieselvariant, dit komt neer op een energieprijsverlaging van €11,- per uur. (Warbroek, 2018)

Naar aanleiding van de bovenstaande tekst kan bepaald worden dat de kostprijs van HVO 26,25% hoger is in vergelijking met gewone diesel. Voor waterstof is het ook al redelijk inzichtelijk maar is er geen concrete prijs inzichtelijk omdat hiervoor de afstand tot een tankstation of de mogelijkheid voor opslag en transport er van een grote invloed op de kostprijs heeft. Elektriciteit heeft per nodige hoeveelheid energie een prijsdaling van 74 eurocent ten opzichte van het gebruik van 1 liter dieselolie. De kosten van de machines zelf zijn alleen voor HVO al geheel inzichtelijk, voor elektrisch- en waterstof aangedreven machines kan er al wel een redelijk beeld gecreëerd worden maar is de toekomstige ontwikkeling van machines nog zeer bepalend voor de uiteindelijke kostprijs van een duurzaam aangedreven machine. Zo is de huidige prijs van een waterstof aangedreven grondverzetmachine nog niet inzichtelijk, maar is de prijs van een waterstofauto dubbel zo hoog als die van een auto met verbrandingsmotor. Ook voor elektrisch aangedreven grondverzetmachines is geen concrete prijs te bepalen, wel is bekend dat binnen de automobielbranche een elektrische auto gemiddeld 30% duurder is in aanschaf. Hierover zal dan ook de komende jaren meer duidelijkheid ontstaan wanneer fabrikanten al verder zijn met de ontwikkeling van de verschillende technieken in grondverzetmachines.

3.3 Resultaten deelvraag 3

Deelvraag 3: Wat is de energie-efficiëntie van een grondverzetmachine en de benodigde energie?

Om de efficiëntie van de benodigde energie te bepalen zijn er verschillende factoren van belang. Onder deze factoren vallen de productieverliezen, transportverliezen en de verliezen tijdens de uitvoering van het werk. Wanneer de verschillende rendementen, dan wel verliezen inzichtelijk zijn, kan bepaald worden wat de totale energie-efficiëntie is.

HVO: De brandstof zelf heeft in de motor opbrengsten die gelijkwaardig zijn aan de gewone dieselolie. De complete efficiëntie van productie tot gebruik is niet letterlijk vindbaar. Wel is er een

milieukosten indicatie, MKI, bekend. MKI omvat alle schadelijkheden die ten kosten komen van het milieu. Dit houdt in dat het gehele proces van productie tot gebruik wordt meegenomen bij de bepaling van de MKI-waarde. Deze waarde is niet alleen bekend voor HVO, maar ook voor diesel waardoor er een duidelijker beeld kan worden weergegeven. Zo heeft de MKI voor gewone diesel een waarde tussen de 0,260 en 0,281. HVO heeft een MKI-waarde tussen de 0,213 en 0,232. Er is dus zichtbaar dat dezelfde hoeveelheid energie bij HVO een lagere belasting voor het milieu oplevert dan de gewone diesel. Dit houdt dus in dat de energie bij HVO efficiënter benut wordt dan bij de standaard dieselolie. Echter dient wel meegenomen te worden dat het rendement van de gebruikte dieselmotor ook met HVO niet efficiënter wordt en dus nog steeds meer dan de helft van de energie verloren gaat.

Waterstof: Waterstof is een energiedrager die van oorsprong niet natuurlijk op de aarde voorkomt, deze energiedrager dient gemaakt te worden. Het produceren van waterstof kan met behulp van elektrolyse, dit is een reactie waarbij elektrische energie nodig is. Om emissievrij te kunnen produceren dient er gebruik gemaakt te worden van groene energie welke afkomstig is van wind- of zonne-energie. Hierbij geldt dat eerst elektrische energie opgewekt dient te worden die vervolgens omgezet moet worden naar waterstof, daarna getransporteerd moet worden om tot slot weer omgezet te worden naar elektrische energie in een brandstofcel om te kunnen gebruiken in een machine. Doordat er verschillende handelingen nodig zijn treedt er energieverlies op, dit is immers bij vrijwel elke reactie of omzetting zo. Voor de productie van waterstof geldt dat er een rendement is van 70 tot 80%. Dit houdt in dat er alleen al bij de productie van waterstof 20 tot 30% van de gebruikte energie verloren is gegaan. In een brandstofcel in een grondverzetmachine wordt waterstof weer omgezet naar elektrische energie om zo de machine aan te drijven. Bij deze omzetting ontstaat naast elektrische energie ook waterdamp en warmte. Door deze extra reactieproducten wordt niet alle energie gebruikt voor de elektrische energie en treedt er dus verlies op. Wanneer geen gebruik gemaakt kan worden van de restwarmte, dan zal het rendement van de omzetting in de machine rond de 60% zijn. Wanneer de restwarmte wel gebruikt zou kunnen worden, dan is het mogelijk om een rendement van 85 tot 90% te behalen. Het gebruik van de restwarmte die vrijkomt bij de reactie in een auto of machine is op dit moment nog nauwelijks tot niet aan de orde waardoor het rendement van 60% het meest realistische beeld geeft voor de huidige situatie. (Aué, 2018)

Elektriciteit: Elektriciteit is er in verschillende vormen, dit heeft te maken met de wijze van opwekking van de energie. Een geheel kloppende energie-efficiëntie is om deze reden niet te achterhalen, bij het transport van de energie vinden namelijk verliezen plaats, ook bij mogelijke transformatorlocaties in het elektriciteitsnetwerk kunnen verliezen optreden. Daarentegen zijn deze verliezen vrijwel allemaal niet van toepassing als gebruik gemaakt wordt van opgewekte stroom door zonnepanelen welke bijvoorbeeld gelegen kunnen zijn op het dak van de garage waar het voertuig of de machine in staat. Wat wel bekend is, is het rendement van de componenten in de machine of het voertuig zelf. Wat betreft het rendement van de accu is dit tegenwoordig vrijwel maximaal. Zo is de uitgaande energie bij een hedendaagse lithium-ion accu vaak al tegen de 100%, hier treedt dus nauwelijks een verlies op. (Terbijhe, Verbruggen, De Veth, & Pukala, 2012) Een elektromotor heeft veelal een rendement van 90%, het algemeen rendement van een voertuig kan dus worden gesteld op 90% aangezien de accu zelf nauwelijks energieverlies heeft, de elektromotor 90% rendement heeft en vervolgens direct de overbrenging naar het te verrichten werk plaats vindt. Wat betreft het voorafgaande rendement is er geen concrete hoeveelheid te benoemen. Wel is duidelijk dat het verlies in deze beginfase vrijwel gelijk zal zijn aan dat van waterstof. Dit moet namelijk ook gemaakt worden met behulp van elektrische energie, enkel wordt de opgewekte elektrische energie voor waterstof nog in verschillende processen gebruikt terwijl deze bij elektrische voertuigen al direct beschikbaar kan zijn.

3.4 Resultaat hoofdvraag

Zoals bij onderdeel 2.3 benoemd is, zal er gebruikt gemaakt worden van al eerder bepaalde tabellen. Het alternatief met de laagste score is volgens deze onderdelen dan het meest geschikt als vervanger voor de dieselaandrijving in grondverzetmachines. In elke tabel is linksboven het alternatief weergegeven en rechtsboven de behaalde totaalscore volgens de tabel.

Tabel 3 Ingevuld schema HVO hoofdvraag

Alternatief:	HVO		Totaalscore:	14
	Geen/Laag	Aanvaardbaar	Verbetering vereist	Te hoog
Vermindering werktijd	0	1	2	3
Kosten aanschaf	0	1	2	3
Kosten onderhoud	0	1	2	3
Kosten afschrijving	0	1	2	3
Kosten energie	0	1	2	3
Energieverlies productie alternatief	0	2	4	6
Energieverlies van machine	0	2	4	6
Totaal:	0	4	4	6

Tabel 4 Ingevuld schema waterstof hoofdvraag

Alternatief:	Waterstof		Totaalscore:	10
	Geen/Laag	Aanvaardbaar	Verbetering vereist	Te hoog
Vermindering werktijd	0	1	2	3
Kosten aanschaf	0	1	2	3
Kosten onderhoud	0	1	2	3
Kosten afschrijving	0	1	2	3
Kosten energie	0	1	2	3
Energieverlies productie alternatief	0	2	4	6
Energieverlies van machine	0	2	4	6
Totaal:	0	4	6	

Tabel 5 Ingevuld schema elektriciteit hoofdvraag

Alternatief:	Elektriciteit		Totaalscore:	4
	Geen/Laag	Aanvaardbaar	Verbetering vereist	Te hoog
Vermindering werktijd	0	1	2	3
Kosten aanschaf	0	1	2	3
Kosten onderhoud	0	1	2	3
Kosten afschrijving	0	1	2	3
Kosten energie	0	1	2	3
Energieverlies productie alternatief	0	2	4	6
Energieverlies van machine	0	2	4	6
Totaal:	0	2	2	

Zoals uit de tabellen is te herleiden, blijkt dat HVO een score van 14 heeft behaald, waterstof 10 en elektriciteit 4. Volgens de onderzochte onderdelen is elektriciteit het beste alternatief voor de diesel-aangedreven grondverzetmachines, met daaropvolgend waterstof en als minst kansrijk HVO.

Hoofdstuk 4. Discussie

In dit hoofdstuk zal gestart worden met een reflectie op het verrichte onderzoek en de hiervoor gebruikte onderzoeksmethode. Er zal omschreven worden wat de resultaten betekenen en wat dit omvat, en er zal duidelijk gemaakt worden welke mensen belang hebben bij de resultaten van het verrichte onderzoek.

Voor dit rapport is gebruik gemaakt van een literatuuronderzoek. Dit houdt in dat er onderzoek wordt gedaan aan de hand van de beschikbare literatuur. Deze vorm van onderzoek doen heeft, zoals ook elke andere vorm van onderzoek, voor- en nadelen. Het grootste voordeel van literatuuronderzoek is het feit dat er niet geëxperimenteerd hoeft te worden met de verschillende alternatieven, wat in dit geval zeer tijdrovend en tevens kostbaar zou zijn. Bij literatuuronderzoek wordt er gebruik gemaakt van de verschillende beschikbare onderzoeken. Dit houdt in dat zeer specifieke en uitgebreide onderzoeken gebruikt kunnen worden om zo kennis op te doen over de verschillende alternatieven. Zo zijn er bijvoorbeeld meerdere onderzoekers die onderzoek doen naar enkel de toepassing van waterstof of de toepassing van elektrische energie, deze onderzoeken kunnen dan gebruikt worden bij het literatuuronderzoek. Nadelen zijn er echter ook, doordat er namelijk literatuuronderzoek gedaan wordt, is het succes van het onderzoek vrijwel geheel afhankelijk van de beschikbaarheid van informatie. Daarnaast dient de beschikbare informatie ook relevant en bruikbaar te zijn voor de onderzoeksopzet, dit is niet bij alle beschikbare rapporten het geval waardoor veel tijd verloren gaat aan het zoeken van geschikte onderzoeken. Ook na de vele verloren tijd welke nodig was voor het zoeken van onderzoeksrapporten, is niet alle gewenste informatie gevonden. Wanneer er een andere manier van onderzoek gehanteerd was, was er misschien wel alle informatie beschikbaar geweest, alleen was het dan niet zo omvangrijk als in dit rapport het geval is. Achteraf gezien zal de gebruikte vorm, literatuuronderzoek, dan ook de meest succesvolle manier zijn voor een bruikbare conclusie in dit rapport.

Het onderzoek is zo opgesteld dat de meest invloedrijke onderdelen voor het laten slagen of mislukken van een mogelijke alternatieve aandrijvingsvorm behandeld zijn. Hierbij is gestart met het creëren van een overzicht van de mogelijkheden, vervolgens zijn de kosten zo goed mogelijk in beeld gebracht met daaropvolgend de efficiëntie van de verschillende alternatieven. De resultaten van deze deelonderzoeken hebben uiteindelijk geleid tot een antwoord op de vraag: Welke energiedrager is op dit moment het meest kansrijk als vervanger voor diesel aangedreven grondverzetmachines? Uit het onderzoek blijkt dat elektriciteit op dit moment het meest kansrijk is als vervanger voor de door dieselolie aangedreven machines.

De uitkomst van het onderzoek kan voor meerdere doelgroepen interessant zijn. Veel bedrijven, zowel produceren, verkopend als de eindgebruikers, zijn bezig met verduurzaming. Hierbij is het aanbod en de kennis met dergelijke technieken binnen grondverzetmachines nog zeer gering. De uitkomst van dit onderzoek, het feit dat elektriciteit op dit moment het meest kansrijk is, kan voor meerdere doelgroepen doorslaggevend zijn om te kiezen voor een elektrische aandrijving in plaats van de dieselmotor.

Voor de huidige situatie van de markt met de hedendaagse beschikbaarheid van kennis en middelen was het niet geheel onverwacht dat elektriciteit het meest kansrijk zou zijn. Voor het toepassen van de verschillende technieken wordt namelijk ook vergeleken met de verschillende toepassingen in andere branches zoals de automobielsector. Hier is het aanbod elektrische auto's ook veel verder ontwikkeld dan het aanbod waterstofauto's en de nodige waterstof voor de aandrijving van de auto's, bleek uit het verrichte onderzoek.

Hoofdstuk 5. Conclusie

Dit rapport betreft een onderzoek naar welke alternatieve aandrijvingsvorm voor grondverzetmachines momenteel het meest haalbaar is. Veel bedrijven en overheden willen duurzamer gaan werken waarbij op alle fronten wordt gekeken naar vermindering van schadelijk invloed op het milieu. Op het gebied van grondverzetmachines vinden momenteel grote ontwikkelingen plaats met betrekking tot de verduurzaming ervan. Deze machines werken ook veel in steden waar niet alleen de schadelijke uitstoot invloed heeft op het milieu, maar ook op de gezondheid van de mensen in de omgeving van werkende machines. Om deze redenen zijn er steeds meer fabrikanten aan het ontwikkelen en experimenteren met mogelijke alternatieve aandrijvingsvormen om zo de dieselmotor te kunnen vervangen voor een minder schadelijke aandrijving. Het uitgevoerde onderzoek dient binnen de huidige mogelijke aandrijvingen meer duidelijkheid te bieden over welk alternatief het meest haalbaar en op dit moment dus het meest kansrijk is.

Om aan het doel van het onderzoek te voldoen zijn er verschillende deelvragen opgesteld die beantwoord zijn alvorens er een concreet antwoord op de hoofdvraag opgesteld werd. Zo is er gestart met de vraag: Welke alternatieve energiedragers zijn er toepasbaar in grondverzetmachines? Naar aanleiding van het verrichte onderzoek kwamen er een zestal alternatieven in beeld, namelijk: HVO, GTL, CNG, LNG, waterstof en elektriciteit. Van dit zestal is enkel verdergegaan met HVO, waterstof en elektriciteit, dit omdat GTL, CNG en LNG niet geheel hernieuwbaar zijn in verband met de productie van de brandstoffen. Deelvraag 2, 'Wat zijn de kosten behorend bij een emissievrije grondverzetmachine?' is bedoeld om meer inzicht te bieden omtrent het financiële aspect van de alternatieven, dit speelt immers ook een grote rol bij het slagen of falen van een alternatief. Naar aanleiding van het verricht onderzoek werd duidelijk dat er, ondanks de snelle ontwikkelingen, nog veel onduidelijk is over de kosten behorend bij de verschillende alternatieven. Van HVO is bekend dat enkel de brandstof een prijsverschil maakt, de prijs voor elektrische machines is nog lastig te bepalen maar zullen naar verwachting de komende jaren gaan dalen net als bij de automobielsector het geval is, hier is een elektrische variant nog 30% duurder dan een auto met verbrandingsmotor. Van

waterstof is nog minder bekend, hierbij zullen de machines hoogstwaarschijnlijk dubbel zo duur zijn als de variant met verbrandingsmotor, dit is bij de auto's immers ook het geval terwijl daar al meer geëxperimenteerd is. De laatste deelvraag van het onderzoek is: Wat is de energie-efficiëntie van een grondverzetmachine en de benodigde energie? Deze vraag is opgesteld omdat duurzame energie momenteel nog niet in overvloed aanwezig is en het veel tijd, geld en energie kost om deze duurzame energie te kunnen gaan produceren. Zuinig omgaan met de beschikbare energie is dan ook een belangrijke factor bij het bepalen van het meest kansrijke alternatief. Voor de productie van HVO is geen indicatie van de nodige energie gevonden, wel is bekend dat het rendement van de gebruikte dieselmotor nog steeds relatief laag is en er dus minstens meer dan de helft van de energie verloren gaat aan onder andere geluid en restwarmte. Voor waterstof dient rekening gehouden te worden met een rendement van 60% over het gehele proces van productie tot gebruik. Dit is al aanzienlijk beter dan dat van dieselolie en HVO, maar nog niet optimaal. Voor elektrische machines kan het algeheel rendement gesteld worden op 90%. Wanneer de energie wordt opgewekt met bijvoorbeeld een windmolen kan deze vrijwel direct gebruikt worden voor het opladen van de accu van de machine die tegenwoordig nog nauwelijks verliezen heeft. Het rendement van een elektromotor is veelal 90% dit is eigenlijk ook het enige onderdeel waarop energie binnen het proces van productie tot gebruik, verloren gaat.

Na het beantwoorden van de deelvragen kon de hoofdvraag beantwoord worden. Het meest kansrijke alternatief als vervanger voor de dieselaandrijving is op dit moment de accu-elektrische aandrijving. Deze techniek wordt binnen de automobielsector al veel toegepast en wordt continu doorontwikkeld. Dit is ook mogelijk met grondverzetmachines. Het is niet het goedkoopste alternatief, maar zeker wel de meest kansrijke op dit moment gezien de resultaten van de opgestelde deelvragen. In de huidige situatie is het om deze reden aan vrijwel alle bedrijven aan te raden om een elektrische grondverzetmachine te overwegen gezien de geringe schadelijke uitstoot, de energie-efficiëntie en de uiteindelijke kosten.

Bibliografie

- ANWB. (sd). *Historie elektrische auto*. Opgeroepen op september 23, 2020, van <https://www.anwb.nl/auto/elektrisch-rijden/elektrische-autos/historie-elektrische-auto>
- Baarda, B. (2019, voorjaar). In B. Baarda, *Dit is onderzoek!* (p. 50). Den Haag: Noordhoff Uitgevers. Opgeroepen op november 09, 2020, van <https://www.managementboek.nl/code/inkijkexemplaar/9789001895440/dit-is-onderzoek-ben-baarda.pdf>
- Bakker, A. (2020, januari 6). 's Werelds eerste methaan aangedreven trekker gaat in 2020 in productie. De Loonwerker. Opgeroepen op september 24, 2020, van <https://www.deloonwerker.nl/nieuwsartikel/2020/-s-werelds-eerste-methaan-aangedreven-trekker-gaat-in-2020-in-productie/b24g14c29o2575/>
- De duurzame adviseurs. (sd). *Hoe is de CO2 prestatieladder ontstaan?* Opgeroepen op oktober 8, 2020, van <https://deduurzameadviseurs.nl/kennisbank/co2-begrippen/hoe-is-de-co2-prestatieladder-ontstaan/>
- Elektrische mobiele werktuigen in beeld*. (2019, september 11). Opgeroepen op april 5, 2021, van Aannemer: <https://userfiles.mailswitch.nl/medialib/5393458/medialib/Elektrische%20mobiele%20werktuigen%20in%20beeld.pdf>
- Europese Commissie. (sd). *Oorzaken van de klimaatverandering*. Opgeroepen op september 23, 2020, van https://ec.europa.eu/clima/change/causes_nl#:~:text=De%20mens%20heeft%20een%20steeds,opwarming%20van%20de%20aarde%20versnelt.
- Future Fuels. (2019, februari 4). *HVO en Blauwe Diesel, wat is het verschil*. Opgeroepen op januari 21, 2021, van Future Fuels: <https://futurefuels.nl/nl/hvo-en-blauwe-diesel-wat-is-het-verschil/>
- Hanschke, C. B., Uytterlinde, M. A., Kroon, P., Jeeninga, H., & Londo, H. M. (2009). *Duurzame innovatie in het wegverkeer*. ECN. Opgeroepen op december 4, 2020, van <https://publicaties.ecn.nl/PdfFetch.aspx?nr=ECN-E--08-076>
- Hermans, J. (2019, december 17). *Energiebesparing*. Deurne, Noord-Brabant, Nederland. Opgeroepen op november 12, 2020, van <https://docplayer.nl/182294362-Energiebesparing-energy-port-peelland-deurne-17-december-jo-hermans-universiteit-leiden.html>
- Khan, M. I., Yasmin, T., & Shakoor, A. (2015). *Technical overview of compressed natural gas (CNG) as a transportation fuel*. Elsevier. Opgeroepen op januari 22, 2021, van https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115006255?casa_token=6suQ5CPTiIsAAAAA:Lr0dT3RBgDN5U6DICpYOcMGzwModO1fIPF00FHdvK2NQQyxIGy3SOBQZEXowhK2QjG9MGe-n
- Knothe, G., & Razon, L. F. (2017, januari). *Biodiesel fuels*. Opgeroepen op november 11, 2020, van https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360128516300284?casa_token=-D3XNOs8yvEAAAAA:Svkr1-OVFFJfCMNyMg8legYM6s5LSdv3nEJ8jDr4u8rSDEmJ0MFMa8ojI9urchk5UBTYViVB
- Koeten, A. (sd). *De geschiedenis van de hybride elektrische auto*. Opgeroepen op januari 06, 2021, van Louwman museum: <https://www.louwmanmuseum.nl/de-geschiedenis-van-de-hybride-elektrische-auto/>

- Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut. (2010, december). *Hoe warmen broeikasgassen de aarde op?* Opgeroepen op oktober 14, 2020, van <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/hoe-warmen-broeikasgassen-de-aarde-op>
- Koninklijke RAI Vereniging. (2020, oktober 21). *Kabinet: half miljard voor elektrische vrachtwagens en bouwmaschinen*. Opgeroepen op oktober 22, 2020, van <https://www.raivereniging.nl/nieuws/nieuwsberichten/2020-q4/1021-kabinet-half-miljard-voor-elektrische-vrachtwagens-en-bouwmaschinen.html>
- MVW Autotechniek. (sd). *Elektrische aandrijving*. Opgeroepen op september 23, 2020, van <https://www.mvwautotechniek.nl/elektrische-aandrijving/>
- OQ value. (sd). *Wat moet je weten over Shell GTL fuel (Q&A)*. Opgeroepen op januari 21, 2021, van OQ value: <https://www.oqvalue.nl/kennisbank/wat-moet-je-weten-over-shell-gtl-fuel-qa/>
- Piette, F. (2018, januari 5). *7 Brandstoffen als alternatief voor diesel*. Opgeroepen op september 23, 2020, van <https://www.vroom.be/nl/dossier/autosalon-brussel-2018/7-brandstoffen-als-alternatief-voor-diesel-18616>
- Rijksoverheid. (sd). *Klimaatverandering*. Opgeroepen op september 24, 2020, van <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/klimaatverandering/klimaatbeleid>
- Strantzali, E., Aravossis, K., Livanos, G. A., & Nikoloudis, C. (2019). *A decision support approach for evaluating liquefied natural gas supply options: Implementation on Greek case study*. Elsevier. Opgeroepen op januari 22, 2021, van https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619307140?casa_token=-Tsm_caPbMUAAAAA:yrUhfYWwQV1o9xL5zgZlICL93bHSj4XYWL-P6iFGTw4M4vsuUlnx9ZI0fpilNv5zO66Jrdo_
- Teixeira, A. C., Borges, R. R., Machado, P. G., Mouette, D., & Ribeiro, F. N. (2020, juli 28). *PM emissions from heavy-duty-trucks and their impact on human health*. In Atmospheric Environment. Opgeroepen op november 12, 2020, van <https://www.sciencedirect-com.aeres.idm.oclc.org/science/article/pii/S1352231020305483>
- Trekker. (2020, september 22). *New Holland kondigt komst waterstoftrekkers aan*. Trekker. Opgeroepen op september 24, 2020, van <https://trekkeronline.nl/2020/09/new-holland-kondigt-komst-waterstoftrekkers-aan-film/>
- Universiteit Utrecht. (sd). *Systematic reviews*. Opgeroepen op november 9, 2020, van <https://www.uu.nl/universiteitsbibliotheek/advies-ondersteuning-voor-onderzoekers/systematic-reviews#:~:text=Bij%20een%20meta%2Danalyse%20wordt,'evidence%2Dbased'%20wetenschappen>
- Verduijn, T., & Jonkman, J. (2020). *Zero-emissielogistiek vanuit het perspectief van vervoerder en verladers actief in de regio*. Logistiek, 110-125. Opgeroepen op november 17, 2020, van https://www.researchgate.net/profile/Jochem_Jonkman/publication/342957071_Zero-emissielogistiek_vanuit_het_perspectief_van_vervoerders_en_verladers_actief_in_de_regio_Logistiek_tijdschrift_voor_toegepaste_logistiek_NR9_2020_110-125/links/5f0f1c5b299bf1e54
- Wageningen univeristy & research. (sd). *Oorzaken klimaatverandering*. Opgeroepen op oktober 13, 2020, van <https://www.wur.nl/nl/artikel/Oorzaken-klimaatverandering-1.htm>
- Wageningen university & research. (sd). *Gevolgen van klimaatverandering*. Opgeroepen op oktober 12, 2020, van <https://www.wur.nl/nl/show/Gevolgen-van-klimaatverandering-1.htm>

- Warbroek, B. (2018, oktober 17). *Volledig elektrische 25-tons Cat kost (nu nog) 620.000 euro*. Bouwmachines. Opgeroepen op januari 28, 2021, van https://www.bouwmachines.nl/ondernemen/artikel/2018/10/volledig-elektrische-25-tons-cat-kost-nu-nog-620-000-euro-10142083?_login=1
- Wassink, J. (2019, september 17). *Hoe schoon is waterstof eigenlijk*. Opgeroepen op januari 25, 2021, van Delta: <https://www.delta.tudelft.nl/article/hoe-schoon-waterstof-eigenlijk>
- Zevenbergen, G. (2009, Maart). *Schone brandstofcel vervangt ronkende dieselmotor*. LandbouwMechanisatie, 12-17. Opgeroepen op september 24, 2020, van <https://edepot.wur.nl/2927>