

**HOGESCHOOL
UTRECHT**



TU/e Technische Universiteit
Eindhoven
University of Technology

FOX
INDUSTRIES



SOUTH POLE, SOLAR POWERED

RICK CREEMERS



Onderzoek naar de haalbaarheid van een expeditie op Antarctica, volledig aangedreven door de zon

Afstudeerscriptie van: Rick Creemers
Opleiding: Integrated Product Development
Werktuigbouwkunde
Studentnummer: 1582728
Cursus: TEWT-VABACHEX-12
Datum: 19-8-2014

Afstudeerscriptie
Rick Wouter Creemers
1582728

Integrated Product Development
Hogeschool Utrecht
M.G. Rietbergen MSC (1^{ste} examiner)
Ing. J.S.A. Gijbels MBI (2^{de} examiner)
Cursus: TEWT-VABACHEX-12

Opdrachtgever:
XMARX
Ir. M. Cornelissen
Afstudeerstage
maart 2014 – augustus 2014

19 augustus 2014, Utrecht
Versie 1.0

Het bestuur van de Stichting Hogeschool Utrecht te Utrecht aanvaardt geen enkele aansprakelijkheid voor schade voortvloeiende uit het gebruik van enig gegeven, hulpmiddel, werkwijze of procedure in dit verslag beschreven. Vermenigvuldiging zonder toestemming van de auteur en de school is niet toegestaan. Vermenigvuldiging zonder toestemming van de auteur, de school en XMARX is niet toegestaan.



Voorwoord

Het eerste contact tussen dhr. Cornelissen en mij ontstond op 25-11-2013 tijdens een congres waar ik voor mijn minor aanwezig was. Marc was een van de sprekers op dit congres en tijdens zijn presentatie raakte ik steeds meer geboeid door zijn verhaal. Uiteindelijk was ik na de presentatie zo gefascineerd door zijn verhaal dat ik besloot op hem af te stappen om kennis te maken.

Die kennismaking leidde uiteindelijk tot deze erg bij mij passende en uitdagende afstudeeropdracht bij XMARX. Mijn interesses gaan uit naar de techniek, de sport, het reizen en boven alles het avontuur en het verleggen van grenzen. Al deze elementen vond ik terug in deze afstudeeropdracht bij Marc Cornelissen. Mede door deze grote overlap in interesses verliep het contact tussen Marc en mij uiterst prettig en vlot: het was geen probleem als de communicatie soms van Panama naar Nederland, of van de Noordpool naar Nederland moest verlopen.

Nu, ongeveer negen maanden later, zijn mijn onderzoek en scriptie afgerond en zit mijn avontuur van het afstuderen er bijna op. Als u dit leest heeft u het begin van mijn scriptie al gezien, maar ik vertel u: ik bewaar graag het beste tot het laatst. Dit resultaat had ik niet kunnen bereiken zonder hulp van enkele personen die ik hiervoor graag zou willen bedanken:

Mijn dank gaat uit naar mijn bedrijfsbegeleider Marc Cornelissen en mijn docent-begeleider Jens Gijbels. Beiden waren er, ongeacht waar op de wereld zij of ik zaten, altijd voor al mijn vragen. Daarnaast wil ik ook in het speciaal Jelmer van de Wiel van het Solar Team Eindhoven bedanken voor alle hulp en ondersteuning. 's Ochtends vroeg of 's avonds laat was hij beschikbaar om hulp te bieden.

Ook wil ik mijn dank uitspreken naar Maarten Steinbuch, omdat hij voor mij een zeer nuttige werkplek geregeld heeft bij de Technische Universiteit Eindhoven. Als laatste dank ik Fox Industries B.V., en in het bijzonder Kees Vos, voor de begeleiding tijdens deze afstudeeropdracht.

Ik hoop dat de haalbaarheid van een missie op *Antarctica* zoals ik in deze afstudeeropdracht beschrijf dichterbij is gekomen voor XMARX en dat er binnen een korte termijn een expeditie gerealiseerd kan worden. Ik heb erg genoten van dit avontuur en hoop ook in de toekomst aangehaakt te blijven bij het project South Pole, Solar Powered.

Utrecht, 19 augustus 2014

Rick Creemers



Samenvatting

XMARX is het bedrijf van de zeer ervaren en professionele avonturier Marc Cornelissen. Marc wil samen met collega avonturier Wilco van Rooijen een expeditie maken met een voertuig op *Antarctica*. Dit voertuig zou volledig aangedreven moeten zijn door zonne-energie. De ambitie hierbij is om een inspirerend voorbeeld te geven van de extreme toepassing van bestaande en geïmplementeerde duurzame energietechnologie.

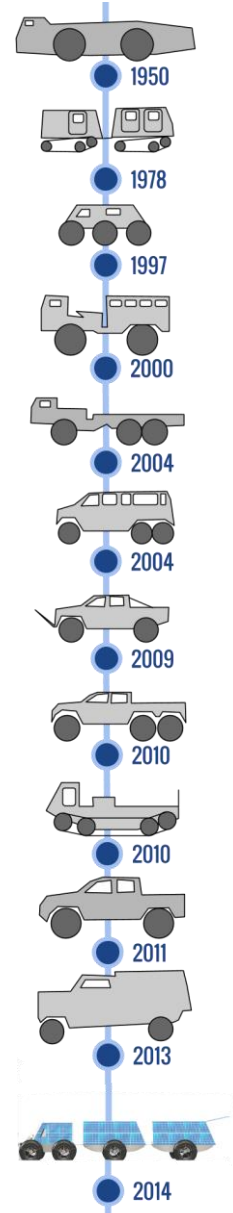
De kern van de opdracht is om te onderzoeken of het haalbaar is om met een door zonne-energie aangedreven voertuig een 2300 kilometer lange expeditie op *Antarctica* te maken, van Union Glacier naar de Geografisch Zuidpool en terug. De haalbaarheid van dit idee wordt verkennend onderzocht door tot een veelbelovende conceptrichting te komen die aan de te stellen eisen zou kunnen voldoen, onder meer gebaseerd op andere vervoersmiddelen zie figuur 1. Hierbij is de hoofdvraag: Wat is de meest geschikte combinatie, van de technische (deel)oplossingen voor een nieuw voertuigontwerp dat zich in volledige autonomie, aangedreven door zonne-energie, over een afstand van 2300 kilometer op *Antarctica* moet voortbewegen?

Om invulling te geven aan deze opdracht is onderzocht welke extreme omstandigheden voorkomen op *Antarctica*, hoeveel aanbod van zonne-energie er beschikbaar is en welke gebruikseisen en -wensen gesteld worden aan het voertuig. Dit onderzoek gebeurde in nauw overleg met de opdrachtgever en betrok ook externe partijen als Weather4expeditions, Universiteit Utrecht het Amerikaanse Ministerie van Handel. Dit heeft als reden dat data over *Antarctica* schaars zijn.

De extreme omstandigheden waar een voertuig of persoon mee te maken krijgt zijn opgebouwd uit de terrein- en weersomstandigheden. Op *Antarctica* is de zon in de maanden november, december en januari constant boven de horizon en is de logistiek voor een expeditie mogelijk. In deze maanden komen temperaturen van $-44,5^{\circ}\text{C}$ voor en windsnelheden tot 53 km/h, met een gemiddelde van 34,2 km/h uit zuidelijke richting. Onderweg kan men zachte poedersneeuw met een dichtheid van $\pm 200 \text{ kg/m}^3$ tot gletsjerspleten of Sastrugi met een dichtheid van $\pm 830 \text{ kg/m}^3$ en een hoogte van meer dan 300 mm tegen komen (Paterson, 1994). Hiernaast zal ook tijdens de gehele expeditie meer dan 2141 meter in hoogte geklommen worden (Cornelissen, 2014).

De eisen die gesteld worden aan het voertuig, naast de eisen van de terrein- en weersomstandigheden, komen van de opdrachtgever en de Wet Bescherming *Antarctica*. De Wet Bescherming *Antarctica* bepaalt kort gezegd dat alles wat op *Antarctica* komt er ook weer vanaf moet, zonder in de tussentijd enige schade aan het milieu toegebracht te hebben. Wanneer dit niet mogelijk is krijgt een voertuig geen toegang tot *Antarctica*. Alle eisen die aan het voertuig gesteld worden zijn samengevat tot een programma van eisen. Eisen van de opdrachtgever zijn bijvoorbeeld dat het mogelijk moet zijn om een *ijsspleet* te overbruggen, dat het voertuig snel te verlaten moet zijn en dat er 160 kilogram bagage meegenomen kan worden.

Hierna is onderzocht wat de beschikbaarheid en toepasbaarheid van zonne-energie is op *Antarctica*. Tijdens dit onderzoek zijn data van tien jaar in de maand december gebruikt, omdat dit de meest aannemelijk tijd is dat de expeditie zal plaatsvinden. In deze maand valt gemiddeld 735 Watt/m^2 direct zonlicht en 166 Watt/m^2 diffuus zonlicht op een paneel dat op de zon gericht staat. Hierbij staat de zon gemiddeld op een hoogte van 21,9 graden boven de horizon en is het 28,8 procent van de uren in december bewolkt.



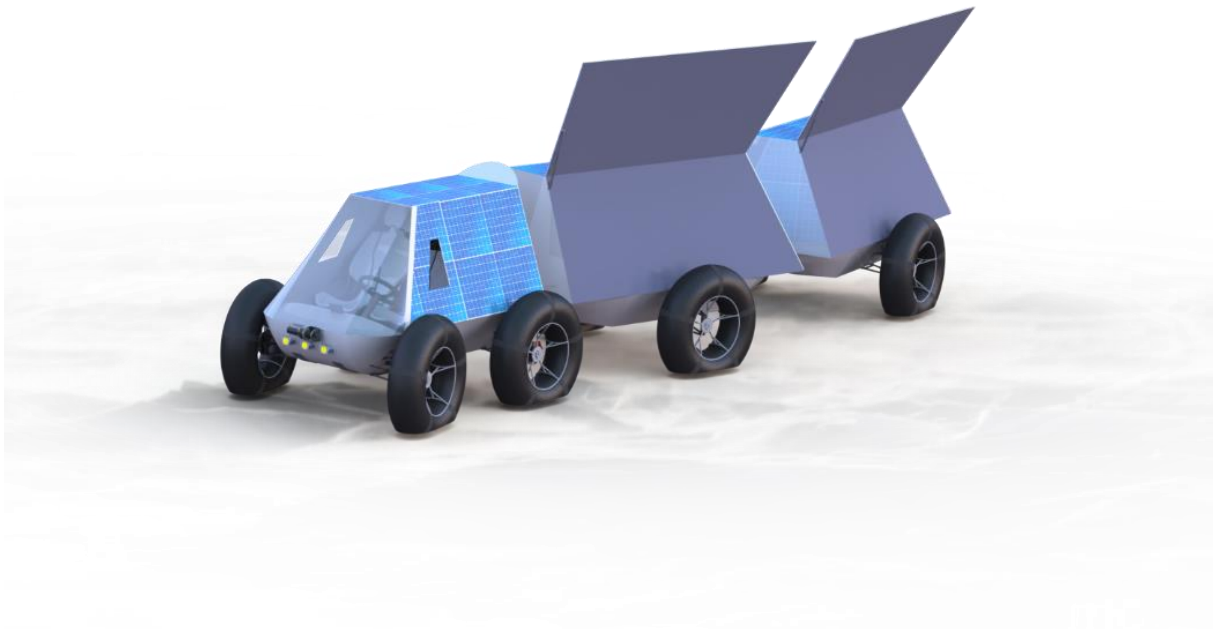
Figuur 1, Voertuigen in tijdslijn

Vervolgens is een overzicht gemaakt met daarin alle functies van het voertuig. Hieruit zijn de onderlinge invloeden van de functies en de hierbij behorende technische kenmerken onderzocht en zijn per functie verschillende oplossingsrichtingen onderzocht en uitgewerkt. Deze richtingen kwamen uit reeds bestaande vervoersmiddelen en gebruiksvoorwerpen. De oplossingsrichtingen zijn hierna beoordeeld aan de hand van de wensen en beoordelingscriteria uit het programma van eisen. Dit resulteerde in een morfologische matrix van enkel bruikbare en realistische oplossingsrichtingen.

Aan de hand van deze oplossingsrichtingen zijn drie verschillende conceptringen ontwikkeld die als integraal beoordeeld zijn aan de hand van het programma van eisen. Hieruit kwamen de verschillende plus- en minpunten per conceptring voort. Vanuit hier is de conceptring met de meeste positieve punten verder uitgewerkt. Er is gestreefd naar de invoeging van de positieve punten van de andere conceptringen.

Dit uitte zich in een definitieve conceptring die getoetst is aan de hand van de eerder in het onderzoekdeel gemaakte berekeningen. Hieruit kwam naar voren dat het voertuig aan de eisen voldoet met uitzondering van één eis: maximale gronddruk van $0,13 \text{ kg/cm}^2$. De behaalde gronddruk is $0,14 \text{ kg/cm}^2$, maar omdat de eis gebaseerd is op een gemiddelde van verschillende voertuigen veranderd de haalbaarheid van de expeditie hierdoor niet.

De conclusie van dit onderzoek is dat het haalbaar lijkt om met een voertuig van bestaande en geïmplementeerde technologie, volledig door zonne-energie aangedreven, een afstand van 2300 kilometer in volledige autonomie af te leggen over *Antarctica*. Door de ontwikkeling van de definitieve conceptring is aangetoond hoe een voertuig voor de expeditie eruit zou kunnen zien.



Begrippenlijst

Albedo

Weerkaatsingsvermogen van een object, specifiek het overgebleven percentage van het opvallende licht.

Antarctica

Antarctica is het continent rondom de Geografische Zuidpool van de aarde. Het is een landmassa met daarop een gemiddeld twee kilometer dikke ijskap. Het continent behoort niemand toe maar wordt beheerd binnen het raamwerk van het internationale Antarctische Verdrag.

Battery Management System (BMS)

Elektrisch systeem dat het (ont)laden van een batterij managet voor de veiligheid en maximale prestatie van de batterij.

Ijsspleet

Zichtbare open spleten die soms enkele meters breed kunnen zijn en tientallen meters diep. Ijsspleten ontstaan door het bewegen van verschillende ijslagen.

Latitude

Geografische coördinaat die de noordelijke of zuidelijke positie op het aardoppervlak aangeeft. Positieve waarden geven de coördinaat in noordelijke richting aan, negatieve waarden geven de coördinaat in zuidelijke richting aan.

Maximum Power Point Tracker

Onderdeel van een omvormer in het elektrische systeem die ervoor zorgt dat het maximale vermogen uit een fotovoltaïsche paneel gehaald wordt.

Pakijis

Meest voorkomend zee-ijs dat bestaat uit drijvende op elkaar geschoven ijsplaten.

Voortbewegingsmiddel

Verzamelnaam voor middelen als een wiel, een rupsband, sleden, etc.

Zenithoek

Hoek tussen een object en de zenit. Hierbij is de zenit een lijn tussen het hoogste punt in de sterrenhemel, boven de waarnemer, en het midden van de aarde. In dit rapport ook de verticale hoek genoemd.

Zon-declinatie

Hoek ten opzichte van de evenaar die de zon maakt. Plus 23,45 graden is het maximale noorden, winter in zuiden, en -23,45 graden is het maximale zuiden, winter in het noorden (Masters, 2004).

Ambient temperatuur

Omgevingstemperatuur bij een gegeven toepassing in graden Celsius

Azimuthoek

De hoek tussen een object en het oosten (in dit rapport) in het horizontale vlak, gemeten over het noorden. Ook wel de horizontale hoek of kompasrichting genoemd.

Geografische Zuidpool

Zuidelijke punt waarom de aarde draait en tegenhanger van de Noordpool. Vaak verward met Antarctica.

Katabatische wind

Wind die ontstaat doordat een koudere lucht met een hoge dichtheid door de zwaartekracht naar beneden valt, meestal van een berg af (National Science Foundation; University of Wisconsin-Madison, sd)

Longitude

Geografische coördinaat die de oostelijke of westelijke positie op het aardoppervlak aangeeft. Positieve waarden geven de coördinaat in oostelijke richting aan en negatieve waarde geven de coördinaat in westelijke richting aan.

Motor Control Unit (MCU)

Elektrisch component die de motor controleert en er voor zorgt dat de motor maximaal presteert.

Sneeuwbruggen

Ijsspleten die volgelopen zijn met sneeuw waardoor ze niet tot slecht zichtbaar zijn aan het oppervlak. Vaak zijn deze bruggen instabiel en kunnen zij weinig gewicht dragen.

Windchill

Gevoelstemperatuur, een maat voor kou of warmte temperatuur die de mens ervaart als gevolg van wind of regen.

Zero-emissie

'Nul-uitstoot' wat inhoudt dat er geen uitstoot van broeikasgassen of andere schadelijk gassen plaats vindt.



Inhoudsopgave

Voorwoord	3
Samenvatting	5
Begrippenlijst	7
1. Inleiding.....	10
1.1. Leeswijzer	10
1.2. Organisatie.....	11
1.3. Werkwijze	11
2. Opdracht	12
2.1. Probleemstelling.....	12
2.2. Opdracht.....	12
2.3. Hoofd-/ Deelvragen.....	13
2.4. Afbakening	13
3. Onderzoeksresultaten	14
3.1. Omgevingseisen onderzoek.....	14
3.2. Gebruikseisen onderzoek	23
3.3. Milieueisen onderzoek.....	28
4. Programma van eisen.....	28
4.1. Technische eisen en wensen	29
4.2. Functionele eisen	32
4.3. Milieu eisen	34
5. Beschikbaarheid & toepasbaarheid van zonne-energie.....	35
5.1. Zonne-energie op Antarctica	35
5.2. Zonne-energie aanbod.....	36
5.3. Vermogens berekeningen.....	42
5.4. Quality Function Deployment toepassing.....	47
6. Functies van het voertuig.....	49
6.1. Oplossingsmogelijkheden	49
6.2. Voor- en nadelen oplossingen voor functies	55
6.3. Conclusie voor- en nadelen oplossingen voor functies.....	67
6.4. Morfologische matrix en beoordelingsmatrix	67
7. Conceptrichtingen	71
7.1. Conceptrichtingen uit combinaties	71
8. Beoordeling conceptrichtingen	75
9. Definitieve conceptrichting.....	77
9.1. Versie 1 – Definitieve conceptrichting	77
9.2. Versie 2, definitieve conceptrichting	81
9.3. Test berekeningen definitief concept	83



10.	Conclusie	87
10.1.	Discussie en aanbeveling	89
10.2.	Procesevaluatie	92
	Geciteerde werken	93
	Bijlage I , Overzicht afbeeldingen en tabellen	96
	Bijlage II , Verschillende terreinondergronden	98
	Bijlage III , Gegevens en afbeeldingen van andere voertuigen	99
	Bijlage IV , Berekening gronddruk	100
	Bijlage V , Gewicht mee te nemen spullen en schatting voertuiggewicht.....	102
	Bijlage VI , Grafieken uit rekensheet NOAA	103
	Bijlage VII , Argumentatie invulling keuzematrix.....	104
	Bijlage VIII , Beoordelingsmatrix en argumentatie	105



1. Inleiding

1.1. Leeswijzer

Na het toelichten van de betrokken partijen en de werkwijze zal vanaf hoofdstuk 2 ingegaan worden op de opdracht. In dit hoofdstuk zullen de probleemstelling, opdracht, hoofdvraag en deelvragen toegelicht worden. Ook zal de afbakening van de opdracht verduidelijkt worden.

Na deze start zal vanaf hoofdstuk 3 het gedane onderzoek toegelicht worden. Hierbij zullen de resultaten van het onderzoek naar de omgevingseisen, gebruikseisen, milieueisen en toepassing van zonne-energie op *Antarctica* toegelicht worden. In hoofdstuk 4 zal het programma van eisen gepresenteerd worden.

Vervolgens zal dieper ingegaan worden op het benodigde voertuig en de functies hiervan. De functies van het voertuig zullen geanalyseerd worden en oplossingen zullen uiteengezet, beoordeeld en geconcretiseerd worden. Vervolgens zal de morfologische matrix in paragraaf 6.4 gepresenteerd worden.

Hierna zijn de eerste conceptrichtingen samengesteld en is de tweede beoordeling uitgevoerd aan de hand van een aantal eerder in hoofdstuk 4 gestelde eisen. Dit leidt tot een definitieve conceptrichting die in hoofdstuk 9 toegelicht en getest zal worden. Tot slot zal een advies gegeven worden over de haalbaarheid van de expeditie en de nodige vervolgstappen met betrekking tot de definitieve conceptrichting.

In dit verslag kan verwezen worden naar rekensheets en afbeeldingen. De rekensheets zijn verkrijgbaar op de website goo.gl/tZvbg3. Een overzicht van de figuren en tabellen is weergegeven in bijlage i. De gebruikte en verkregen data zijn enkel toegankelijk via de gegeven link en mogen niet zonder toestemming van de afstudeerder of het afstudeerbedrijf en/of zonder duidelijke vermelding gekopieerd of verspreid worden.

Ook zijn in de tekst schuingedrukte woorden weergegeven. Dit zijn begrippen en zijn uitgelegd in de begrippenlijst op pagina 7.



1.2. Organisatie

Bij dit onderzoek zijn vier partijen betrokken. In tabel 1 zijn de contactgegevens weergegeven. De betreffende bedrijven zijn: Hogeschool Utrecht, XMARX, Technische Universiteit Eindhoven en Fox Industries.

Tabel 1, Contactgegevens

XMARX			
Naam begeleider	Ir. Marc Cornelissen	Adres	Spechtstraat 102, 3145 XM Maassluis
Functie	Eigenaar, expeditieleider & organisator		
Email	marc@marccornelissen.com	Telefoon	06-55 13 85 92
Hogeschool Utrecht			
Naam 1^{ste} examiner	Martijn Rietbergen	Adres	Oudenoord 700, 3513 EX Utrecht
Functie	Hogeschooldocent Werktuigbouwkunde		
Email	Martijn.rietbergen@hu.nl	Telefoon	088-4818693
Naam 2^{de} examiner	Ing. Jens Gijbels MBI	Adres	Oudenoord 700, 3513 EX Utrecht
Functie	Hogeschooldocent Werktuigbouwkunde		
Email	Jens.gijbels@hu.nl	Telefoon	06-28435640
Technische Universiteit Eindhoven			
Naam begeleider	Prof.dr.ir. M. Steinbuch	Adres	Gemini-Noord, 5612 AZ Eindhoven
Functie	Directeur TU/e afstudeerprogramma automotive systemen		
Email	m.steinbuch@tue.nl	Telefoon	040 247 9111
Fox Industries B.V.			
Naam begeleider	Kees Vos	Adres	Moerheimstraat 115, 7701 CD Dedemsvaart
Functie	Eigenaar, Engineer		
Email	k.vos@foxindustries.eu	Telefoon	06-42 01 67 94
Afstudeerder			
Naam afstudeerder	Rick Creemers	Adres	Amsterdamse straatweg 237, 3551 CC Utrecht
Studentnummer	1582728		
Email	rickcreemers@gmail.com	Telefoon	06-14 55 06 91

1.3. Werkwijze

XMARX

XMARX is de opdrachtgever van de afstudeeropdracht. Marc Cornelissen is hierbij de begeleider en is de eigenaar van XMARX. Door middel van vooruit geplande afsprakemomenten, telefonisch contact en/of email contact werd meestal tweemaal per week de voortgang besproken. Ook zijn gezamenlijk enkele bedrijfsbezoeken gemaakt om expertise op te halen en/of toegang te krijgen tot extra mogelijkheden.

Hogeschool Utrecht

Beoordeling wordt gedaan door de 1^{ste} examiner M. Rietbergen en tevens begeleider J. Gijbels. De voortgang is om de drie weken gecommuniceerd met de begeleider. Dit ging vaak mondeling in een vooruit geplande afspraak maar ook telefonisch en per email.

Technische Universiteit Eindhoven

De Technische Universiteit Eindhoven heeft een werkplek aangeboden voor de tijd van de afstudeeropdracht. Begeleiding hier kwam van Jelmer van de Wiel van Solar Team Eindhoven. Besprekingen vonden om de drie weken plaats.

Fox Industries B.V.

Kees Vos, eigenaar van Fox Industries heeft begeleiding verzorgd op de momenten dat dit nodig was. Omdat Fox Industries in de technische praktijkwereld zit en zijn expertise goed kon delen, vond hier om de zeven weken een terugkoppelmoment en begeleiding plaats.



2. Opdracht

Hieronder zal de opdracht toegelicht worden. In dit hoofdstuk komen de probleemstelling, de opdrachtformulering en hoofd en deelvragen aan bod.

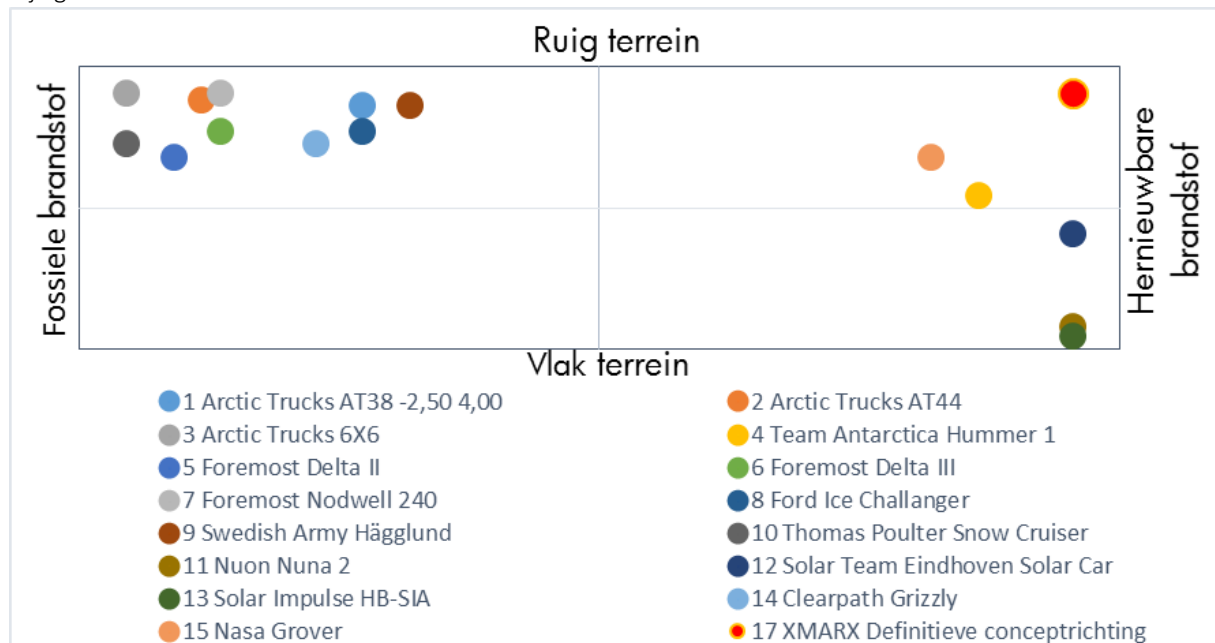
2.1. Probleemstelling

Het is onduidelijk of het haalbaar is om op basis van bestaande en beschikbare technologie een door zonne-energie aangedreven voertuig te ontwikkelen voor een expeditie onder de extreme omstandigheden van *Antarctica*.

2.2. Opdracht

De kern van de opdracht is om tot een conceptontwerp te komen van een voertuig dat zich onder de extreme omstandigheden van *Antarctica* kan voortbewegen. Dit zal moeten gebeuren in volledige autonomie, aangedreven door zonne-energie en over een afstand van tenminste 2300 kilometer. Tot op heden is een dergelijk voertuig niet beschikbaar zoals blijkt uit marktonderzoek naar soortgelijke voertuigen. De resultaten zijn weergegeven in figuur 2.

In dit figuur zijn verschillende reeds bestaande voertuigen beoordeeld op de brandstofsoort en het bruikbare terrein. Helemaal links zijn voertuig weergegeven die zich op de meest vervuilende fossiele brandstof verplaatsen en rechts zijn voertuig weergegeven die op de minst vervuilende brandstof rijden. Ook zijn bovenin dit figuur voertuigen weergegeven die zich over zeer ruig terrein kunnen verplaatsen, terwijl onderin dit figuur voertuigen zijn weergegeven die zich enkel op vlak terrein kunnen verplaatsen. Het doel van deze opdracht is ook weergegeven als nummer 16. Toegevoegde informatie en afbeeldingen van de gebruikte vervoersmiddelen zijn weergegeven in bijlage iii.



Figuur 2, Reeds bestaande voertuigen beoordeeld op brandstofsoort en bruikbaar terrein

Het voertuig dat het meest in de buurt komt van het gewenste voertuig is de NASA Grover. Dit voertuig is volledig aangedreven door zonne-energie en kan zich verplaatsen over *Antarctica*. Wel is dit een autonoom onderzoeksvoertuig, wat inhoudt dat er geen personen meegenomen hoeven te worden. Meer informatie over dit voertuig is weergegeven in bijlage iii. Op basis van de gestelde eisen, door de opdrachtgever en de omgeving van *Antarctica*, waaraan het nieuwe voertuig zal moeten voldoen, is onderzoek gedaan naar de meest geschikte technologieën bij reeds bestaande vervoersmiddelen. Waar nodig (bijvoorbeeld voor toonaangevende zonne-energietoepassingen) is buiten het domein van vervoersmiddelen gekeken.

2.3. Hoofd-/ Deelvragen

2.3.1. Hoofdvraag

De hoofdvraag van de afstudeeropdracht luidt als volgt:

Wat is de meest geschikte combinatie van de technische (deel)oplossingen voor een nieuw ontwerp van een voertuig dat zich in volledige autonomie, aangedreven door zonne-energie, over een afstand van 2300 kilometer op *Antarctica* zal voortbewegen?

2.3.2. Deelvraag

De vier deelvragen binnen dit onderzoek luiden als volgt:

1. Welke eisen stelt de omgeving van *Antarctica* aan het voertuig?
 - 1.1. Wat zijn de terreinomstandigheden van het gebied?
 - 1.2. Wat zijn de weersomstandigheden van het gebied?
 - 1.3. Welke milieueisen worden gesteld aan het voertuig?
2. Welke specifieke gebruikseisen worden er gesteld door de opdrachtgever?
3. Wat is de beschikbaarheid en toepasbaarheid van zonne-energie op *Antarctica*?
 - 3.1. Hoeveel zonne-energie aanbod is er op *Antarctica* in de periode van de Expeditie?
 - 3.2. Met welke systemen van omzetting en opslag kan deze energie benut worden voor aandrijving?
 - 3.3. Wat is de te verwachten vermogensopbrengst van diverse zonne-energiesystemen?
4. Welke technische (deel)oplossingen zijn er voor het voertuig?
 - 4.1. Welke functies moet een voertuig voor dit project vervullen?
 - 4.2. Waar in de automotive industrie en andere domeinen zijn de technische (deel)oplossingen (voor de invulling van de functies) te vinden?

2.4. Afbakening

Deze opdracht kan erg lang (qua diepgang) en breed (qua mogelijk opties) getrokken worden, maar is in verband met de beschikbare tijd van 91 dagen ingekaderd.

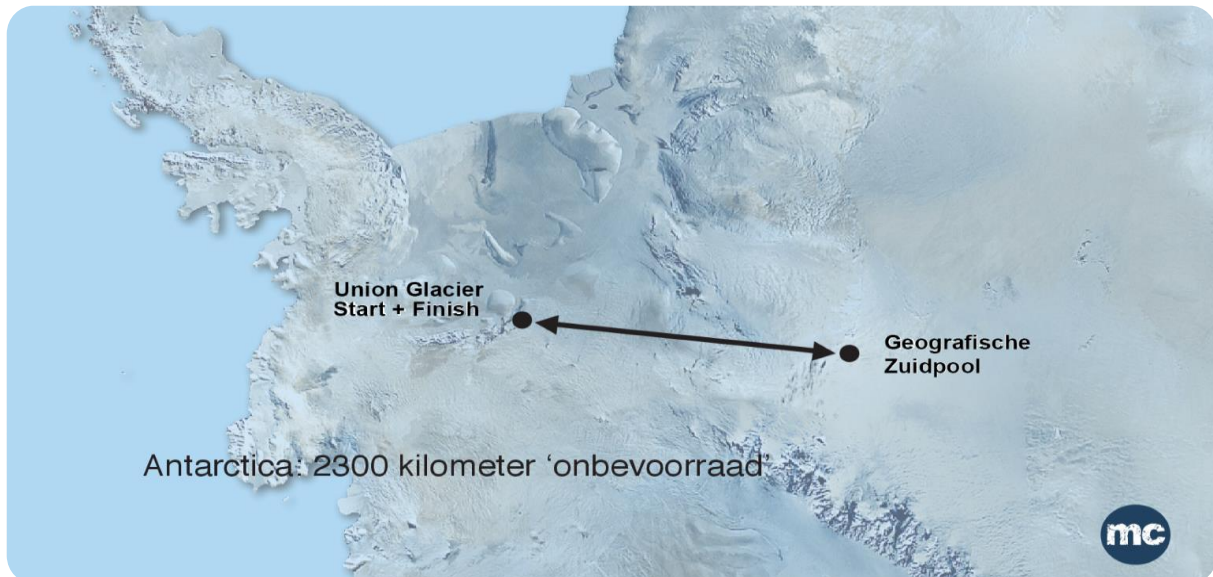
Ten eerste heeft deze opdracht niet tot doel om een concept te ontwikkelen, maar om een conceptringing aan te wijzen die veelbelovend is en voor zover mogelijk binnen het kader van deze opdracht beoordeeld kan worden en tegemoet zal komen aan de te stellen eisen. Het verschil tussen een concept en conceptringing is dat een concept uitgewerkt is tot op het niveau waarop alle details van het ontwerp zijn vormgegeven. Een conceptringing is een globaal ontwerp van een concept waarbij enkel de hoofdlijnen aangegeven worden. Deze hoofdlijnen geven richting aan hoe een definitief concept eruit zal komen te zien.

Ten tweede zullen tijdens het ontwerpproces (deel)oplossing worden bekeken uit andere vervoersmiddelen en gebruiksvorwerpen die een afdoende spectrum zullen bedekken van alle mogelijke oplossingen. Enkel bestaande en geïmplementeerde oplossingen zullen worden bekeken. Het onderzoeken van alle mogelijke oplossingen of het ontwikkelen van nieuwe technologie is niet mogelijk in verband met de tijd en is niet gevraagd door de opdrachtgever.



3. Onderzoeksresultaten

De exacte route van de mogelijk expeditie is nog niet bekend. Hierdoor zal de route van Union Glacier naar de *Geografische Zuidpool*, die gekozen is op basis van een eerder gemaakte expeditie door Marc Cornelissen en Wilco van Rooijen, gebruikt worden als referentie voor deze opdracht. Deze route geeft een representatief beeld van de haalbaarheid van de expeditie en de omstandigheden op *Antarctica*. Het voordeel hiervan is dat van deze route terreindata bekend zijn van bijvoorbeeld de GPS coördinaten van de eerdere expeditie. Hieronder zal toelichting gegeven worden over welke eisen gesteld worden als gevolg van de omstandigheden van *Antarctica*. Deze toelichting is onderverdeeld in de gestelde deelvragen.



Figuur 3, Route over Antarctica, representatief voor alle andere routes. Aangepast van: (Cornelissen, 2014)

3.1. Omgevingseisen onderzoek

Antarctica is een continent met een oppervlak van 14,2 miljoen vierkante kilometer. Nederland beslaat maar 0,3 procent van het oppervlak van *Antarctica*. *Antarctica* is zo groot dat het tien procent van het aardoppervlak in beslag neemt. Daarnaast bestaat *Antarctica* voor 99,6% uit sneeuw en ijs en dit is dan ook meteen 90% van het ijs aanwezig op aarde (ThinkQuest, 2007; Europa Nu, 2014). De grootte van *Antarctica* zorgt ervoor dat er diverse terrein- en weersomstandigheden zijn. Deze omgevingsomstandigheden hebben grote invloed op het ontwerpen van een geschikte conceptringing en het slagen van een eventuele expeditie. Daarom zijn de weers- en omgevingsomstandigheden onderzocht en zijn de eisen die als gevolg van deze omstandigheden gesteld worden aan het voertuig opgenomen in het programma van eisen.



3.1.1. Wat zijn de terreinomstandigheden van het gebied?

Oppervlakteomstandigheden

Op *Antarctica* komen verschillende soorten terreinen voor. Ieder terrein wordt gekenmerkt door zijn oppervlak. De oppervlakken kunnen elkaar snel opvolgen en verschillen behalve in ruwheid ook in dichtheid van elkaar, wat uiteindelijk samen met de keuze van transportmiddel bepaalt of een voertuig wegzakt in de sneeuw of boven op de sneeuw blijft staan. Gewenst is dat een voertuig niet of nauwelijks (in verband met de hoeveelheid grip) wegzakt in de sneeuw. Dit heeft als reden het aannemelijk is dat een voertuig dat wegzakt in de sneeuw niet enkel weerstand onder de banden maar ook aan de zijkant van de banden en/of onderkant van het voertuig zal ondervinden, wat extra vermogen zal vragen. Hieronder is een overzicht gegeven van de verschillende ondergronden die voorkomen op *Antarctica*. In bijlage ii staat per soort ondergrond een afbeelding.

Tabel 2, Verschillende ondergronden op *Antarctica*, met bijbehorende dichtheden (Paterson, 1994)

Naam	Soort ondergrond	Oorzaak	Dichtheid
Geplooid ijsvelden	Licht geplooid ondergrond van ijs	Sneeuw die enkele zomers heeft overleefd en samengepakt is tot een vaste ijslaag	830-917 kg/m ³
Gletsjer spleten	Spleten of sneeuwbruggen tussen ijslagen	Verplaatsen van ijsplaten en het scheuren hiervan	-
Harde sneeuw	Harde bijna ijsachtige sneeuw	Compacte sneeuw die aan elkaar gevoren is in de zomer	400-830 kg/m ³
Losse sneeuw	Vers gevallen sneeuw	Neerslag in de vorm van sneeuw	50-200 kg/m ³
Verwaaide sneeuw / sneeuwdrift	Opgewaaide sneeuwvlokken die opnieuw vallen	Op een andere plek opgewaaide en neergevallen sneeuw bestaande uit kristallen	350-400 kg/m ³
Sastrugi velden	Scherpe en onregelmatige geërodeerde sneeuw/ijs, gemiddeld 0,3 meter hoog en met golflengtes van twee meter (Lever, Streeter, & Ray, 2005)	Door constante wind met zout en ijskristallen uitgeschuurd ijsbergen van knie tot heuphoogte	400-830 kg/m ³
Zandachtige sneeuw	Verweerde sneeuw waarbij de kristalstructuur is verschuurd	Sneeuw bestaande uit kapotte stukjes ijskristal	100-300 kg/m ³

Tabel 2 laat zien dat er op *Antarctica* voornamelijk zeven verschillende soorten ondergrond voorkomen. Belangrijk voor dit onderzoek is dat deze ondergronden verschillende dichtheden hebben. Toelichting over waarom deze belangrijk zijn, wordt op de volgende pagina gegeven. Het resultaat van dit onderzoeksdeel naar de oppervlakteomstandigheden is de eis dat het voertuig zich moet kunnen verplaatsen over terrein van 150 kg/m³ tot 917 kg/m³. Hierin is de kleinste dichtheid uit tabel 2 niet meegenomen, omdat in het binnenland van *Antarctica* nauwelijks verse sneeuw valt; het gaat hier veelal verwaaide sneeuw die opnieuw valt (Cornelissen, 2014). Van de dichtheid van de ondergrond aan de kust (begin en eind van expeditie) zijn geen data bekend. Na overleg met de opdrachtgever is besloten een dichtheid van 150 kg/m³ minimum te gebruiken.



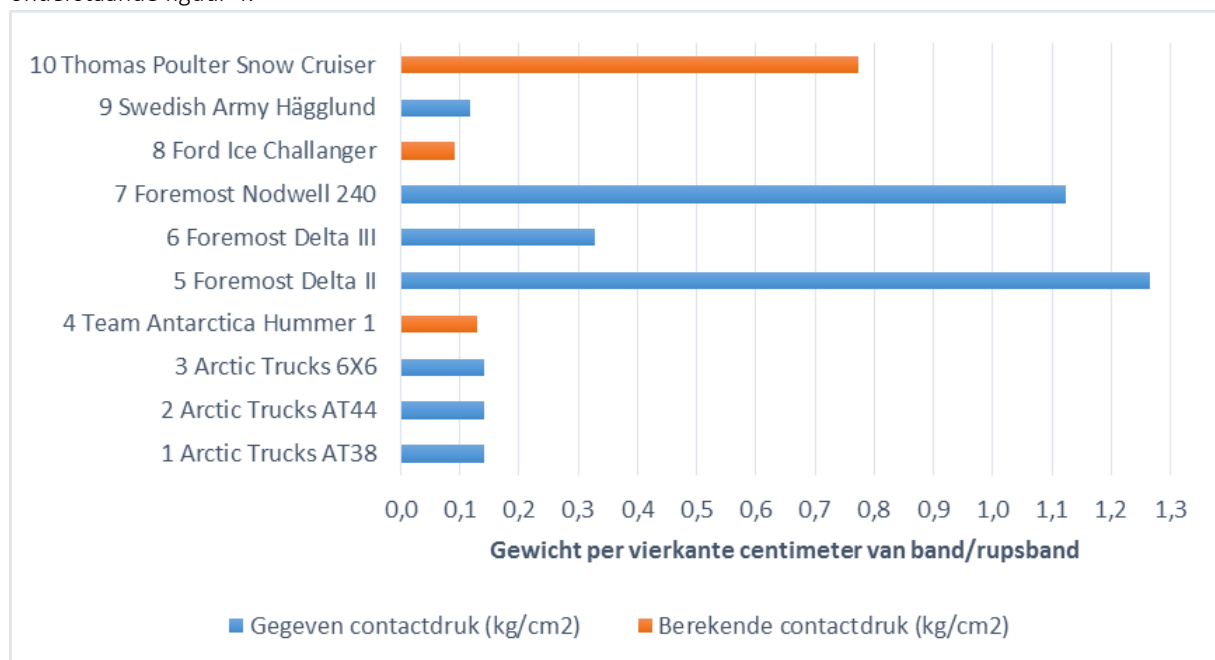
Contactdruk per (rups)band uit andere projecten

Om te zorgen dat een voertuig niet volledig wegzakt in de sneeuw is een draagoppervlak van een bepaalde grootte nodig. Dit benodigde draagoppervlak is afhankelijk van (Saarilahti, May 2012):

- De condities van de ondergrond;
- Het materiaal (en de flexibiliteit) van de band;
- De druk in de band;
- Het gewicht van het voertuig;
- Het aantal banden;
- De diameter van de band
- De breedte van de band

Door de vele sterk wisselende en lastig verkrijgbare parameters is de contactdruk lastig te berekenen. Bovendien blijkt uit verschillende studies dat de theoretische modellen maar een (slechte) benadering geven van de werkelijkheid. Hierom is gekozen om data van vergelijkbare projecten te analyseren.

Van verschillende voertuigen zijn data bekend van de gronddruk. Van andere voertuigen was het mogelijk deze data te berekenen via een gemiddelde berekening (voor de voertuigen zie bijlage iii). Uitleg van de gemaakte berekening en de gebruikte parameters is weergegeven in bijlage iv. De resultaten zijn weergegeven in het onderstaande figuur 4.



Figuur 4, Gronddruk per (rups)band, per voertuig op Antarctica

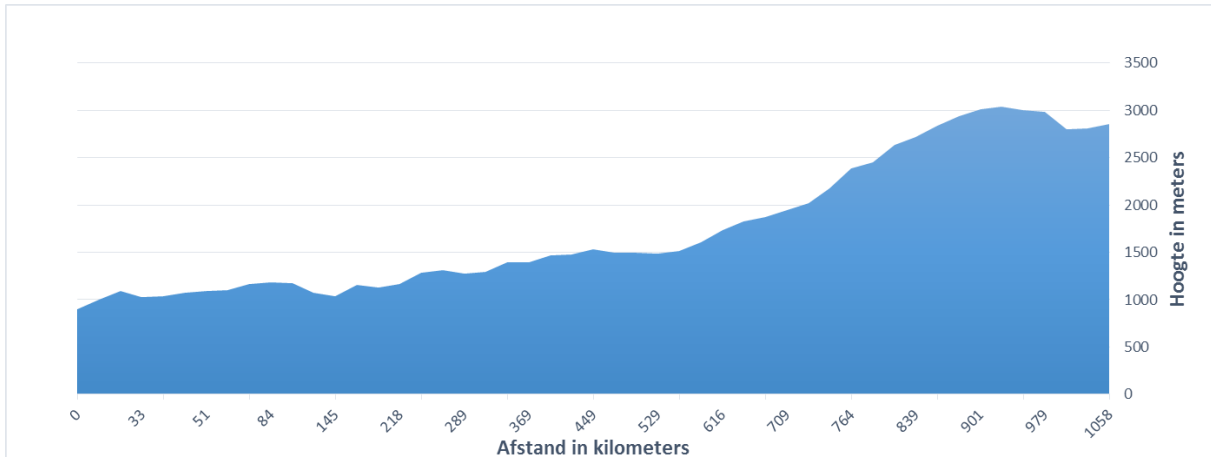
Te zien is dat van de tien voertuigen, zes voertuigen (tevens de nieuwste voertuigen) rond een gronddruk van $0,13 \text{ kg/cm}^2$ zitten. Vijf van deze voertuigen hebben hun expeditie op de *Geografische Zuidpool* volbracht en zijn in verschillende bronnen te zien waarbij zij niet wegzakken op de ondergrond van *Antarctica* (4x4offroads, 2005; Arctic Trucks, 2010; Toyota, 2010). Omdat deze voertuigen niet wegzakken is het aannemelijk dat zij ook minder energie zullen gebruiken dan een voertuig dat wel wegzakt.

Het resultaat van dit stuk onderzoek is de eis dat het voertuig een maximale gronddruk van $0,13 \text{ kg/cm}^2$ moet hebben. Het voertuig kan zich zo voortbewegen, zakt niet weg op de verschillende terreinen van *Antarctica*, en verbruikt hierdoor weinig energie.



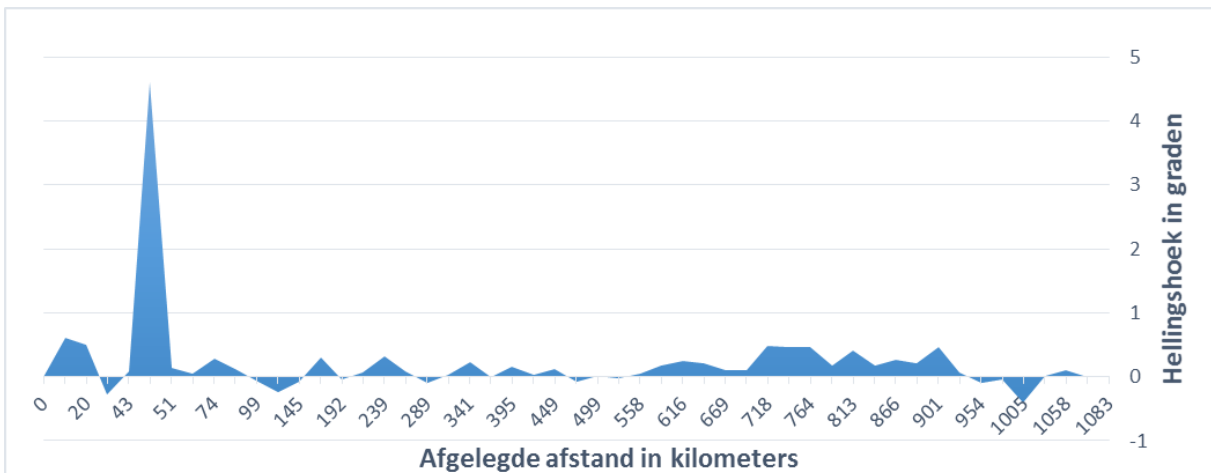
Hoogteverschil

Antarctica is een continent dat bijna volledig bedekt is met een dikke laag ijs en sneeuw. Hierdoor ligt de *Geografische Zuidpool* op zo'n 2800 meter hoogte. Over *Antarctica* loopt het Trans-Antarctische gebergte van 4800 kilometer lang (vier keer de lengte van de Alpen (WWF, sd)). Verder ligt *Antarctica* bedolven onder een ijsplaat van gemiddeld 2300 meter (Het laatste continent, 2014) en bevindt Union Glacier zich op 900 meter hoogte, vlak bij de kust. figuur 6 geeft de hoogtedata van de expeditie uitgevoerd in 2000/2001 door Marc Cornelissen en Wilco van Rooijen weer.



Figuur 6, Hoogte analyse, data van de expeditie over dezelfde route uit 2000/2001 (Cornelissen, 2014)

In het bovenstaande figuur is te zien dat het hoogste punt (3041 meter) van deze expeditie werd bereikt toen het Trans-Antarctische gebergte (of het uitvloeisel hiervan) overgestoken werd. Een totale klim van 2141 meter zal gedaan worden over een afstand van 927 kilometer. Omdat de hoogteverschillen bekend zijn, kan de stijging per kilometer ook berekend worden (zie figuur 6). Dit is van belang voor het berekenen van het benodigde vermogen.



Figuur 5, Stijghoek analyse, gemiddelde stijghoek van de expeditie over dezelfde route uit 2000/2001 (Cornelissen, 2014)

Uit het bovenstaande figuur is uitgerekend dat de gemiddelde stijghoek 0,21 graden per dag is, met een minimale waarde van -0,40 graden (dus daling) en een maximale waarde van 4,61 graden over 372,3 meter. Een belangrijk kanttekening hierbij is dat de gemiddelde stijghoek tussen het start en eindpunt van een dag is bepaald. Data van tussentijdse hellingen, bijvoorbeeld van Sastrugi (zie bijlage ii), geeft veel steilere hoeken aan dan de gemiddelde stijghoek. Hier wordt dieper op ingegaan in paragraaf 6.2.5 als de motor berekening wordt gedaan.

Het resultaat van dit deel van het onderzoek is de eis dat het voertuig moet kunnen functioneren en zich verplaatsen op een hoogte van 900 meter tot 3041 meter op *Antarctica*.



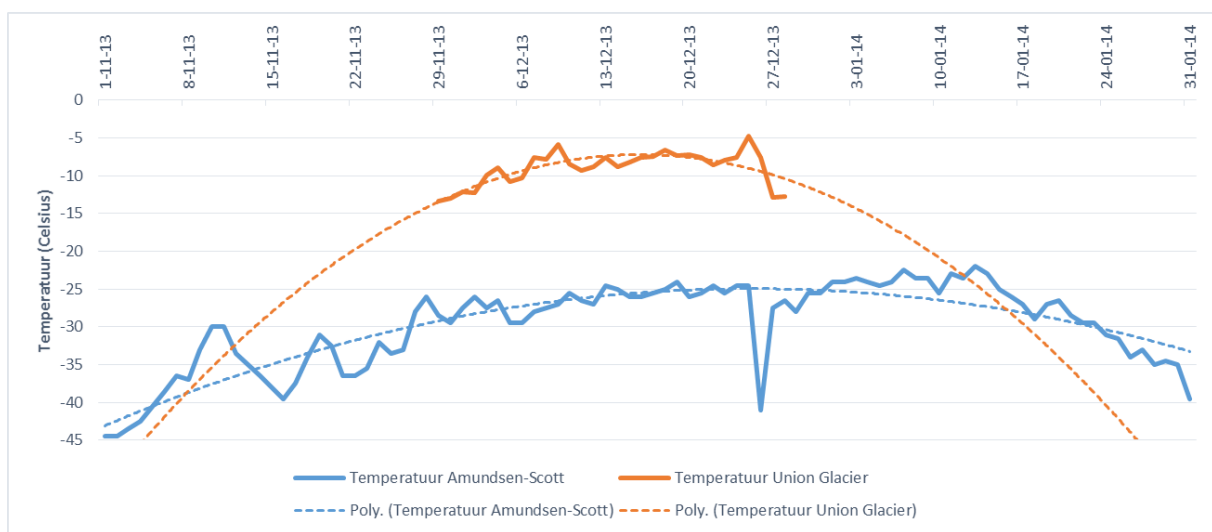
3.1.2. Wat zijn de weersomstandigheden van het gebied?

De weersomstandigheden zijn onder andere bepalend voor de hoeveelheid energie die beschikbaar is en gevraagd wordt. De weersomstandigheden worden uitgedrukt in de temperatuur, dominante windrichting en gemiddelde windsnelheid. Deze zullen hieronder individueel behandeld en toegelicht worden.

Temperatuur

Van zowel Union Glacier als van de *Geografische Zuidpool* zijn data van de temperatuur beschikbaar gemaakt. Deze data is afkomstig van een 'Cold Facts' weerstation dat gestationeerd was in Union Glacier en van de Amerikaanse Zuidpool basis Amundsen-Scott. Deze data zijn weergegeven in Figuur 7 en lopen van begin november tot eind januari (zie paragraaf 5.1). Ook is bekend, door de eerder gemaakte expeditie (9-11-2000 tot en met 16-1-2001) van Marc Cornelissen en Wilco van Rooijen, dat de maximale temperatuur hier -15°C was en minimale temperatuur -30°C (Cornelissen, Rooijen, & Vermeer, Zuiver Noord, 2001).

De data zijn geëxtrapoleerd, zodat de helft van de slinger (de jaarlijkse cyclus van stijgen en dalen van de temperatuur) die de temperatuur op *Antarctica* maakt te zien is in figuur 7.



Figuur 7, Temperatuur analyse, gemiddelde temperatuur in Union Glacier & Amundsen-Scott (AccuWeather, 2014; Cornelissen, 2014)

In de bovenstaande grafiek is te zien dat de temperatuur van Union Glacier gemiddeld 21°C hoger ligt dan de temperatuur op de *Geografische Zuidpool*. Dit komt door de relatief warme zeelucht. De hoogste temperatuur is $-4,7^{\circ}\text{C}$ en de laagste temperatuur is $-44,5^{\circ}\text{C}$. De maximale temperatuur wordt echter enkel bereikt aan het begin van de zomer op de *Geografische Zuidpool* en verdwijnt hierna snel. In het midden van de expeditieperiode, de tijd dat het voertuig de *Geografische Zuidpool* zal bereiken, is de temperatuur relatief constant op -27°C . De grote daling rond 26-12-2013 leidt echter tot een minimum temperatuur van -40 graden. Deze daling is vermoedelijk ontstaan door zware bewolking en zeer koude windstroom, maar de exacte oorzaak is helaas niet te achterhalen.

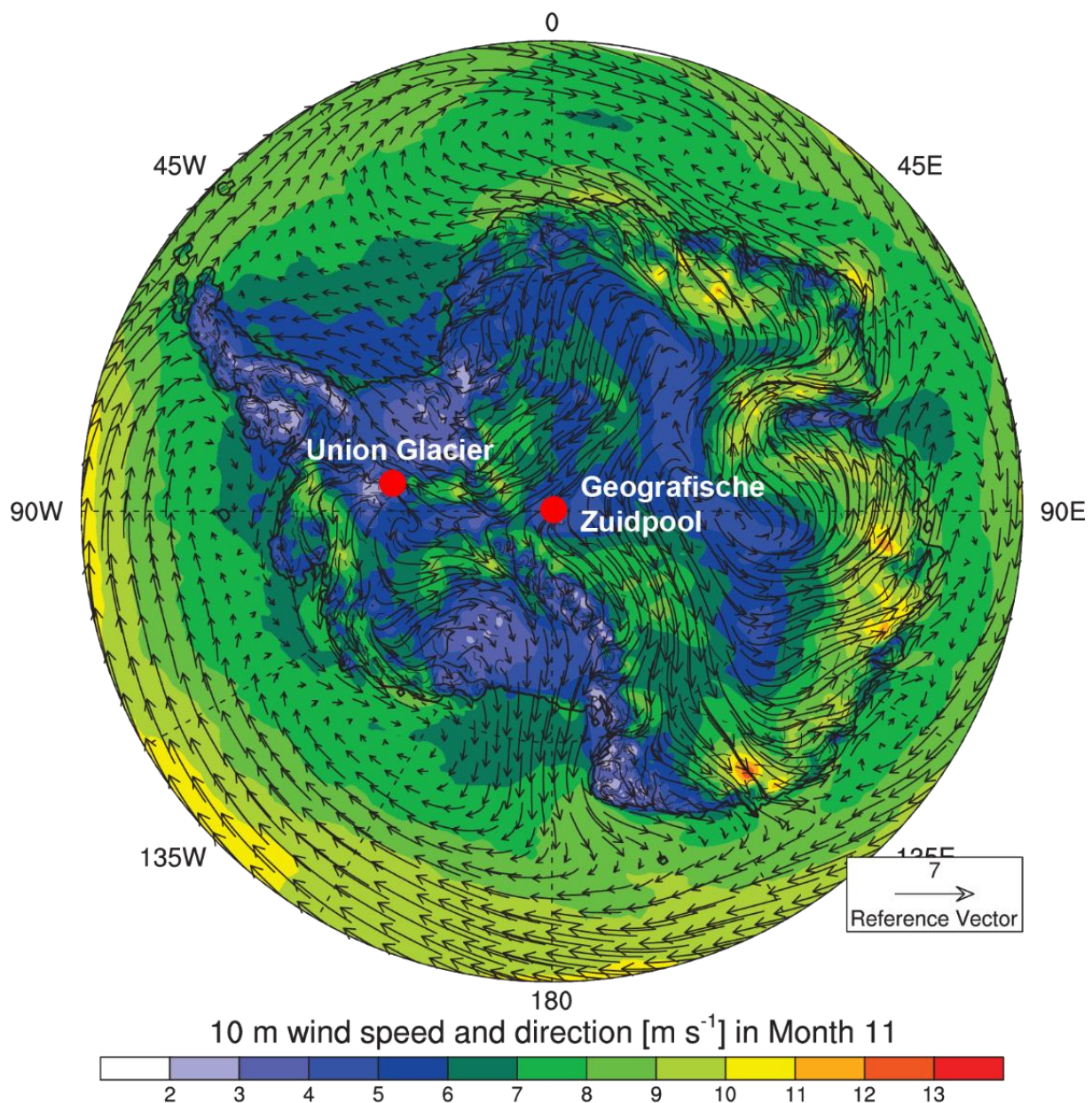
Naast deze temperaturen op *Antarctica* is het ook van belang dat het voertuig gedemonstreerd kan worden in Nederland voor bijvoorbeeld onderwijsdoeleinden. In Nederland kunnen in de zomer temperaturen van 35°C worden bereikt (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, 2014).

Het resultaat van dit onderzoeksdeel is de eis dat het voertuig bestand moet zijn tegen temperaturen van -45°C op *Antarctica* tot $+35^{\circ}\text{C}$ in Nederland.

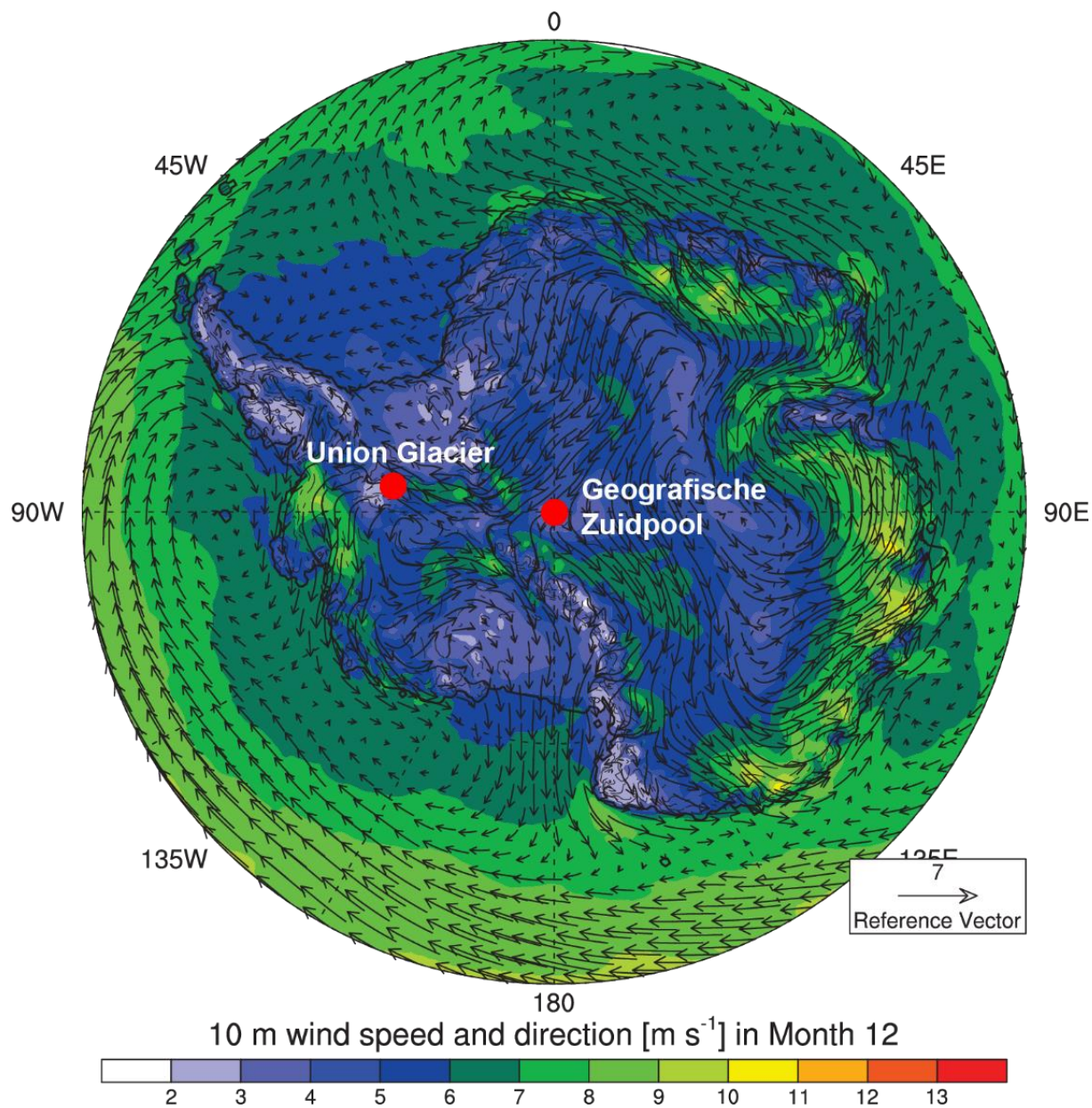
Windrichting

Antarctica wordt beschouwd als de meest winderige plek op aarde. Wind ontstaat door verschillen in luchtdruk waardoor lagen lucht gaan bewegen. Aan de rand van *Antarctica* is deze beweging het gevolg van de relatief warme zeelucht en koude landlucht, in het binnenland is dit het gevolg van lucht die botst op Mount Vinson (Trans Antarctisch gebergte). In figuur 8, hieronder weergegeven, is te zien hoe windstromen zich gedragen op *Antarctica* in november. In dit figuur is te zien dat de wind tussen Union Glacier (links) en de Geografische Zuidpool (rechts) voornamelijk uit zuidelijke richting komt. Cruciaal om te weten is dat dit betekent: op de heenweg tegenwind en op de terugweg wind mee.

Dergelijke grafieken zijn hieronder ook van de maanden december en januari weergegeven. Waarom deze maanden specifiek gekozen zijn om hieronder weer te geven wordt uitgelegd in paragraaf 3.2.1 waarin ook dieper op de performance ingegaan zal worden.

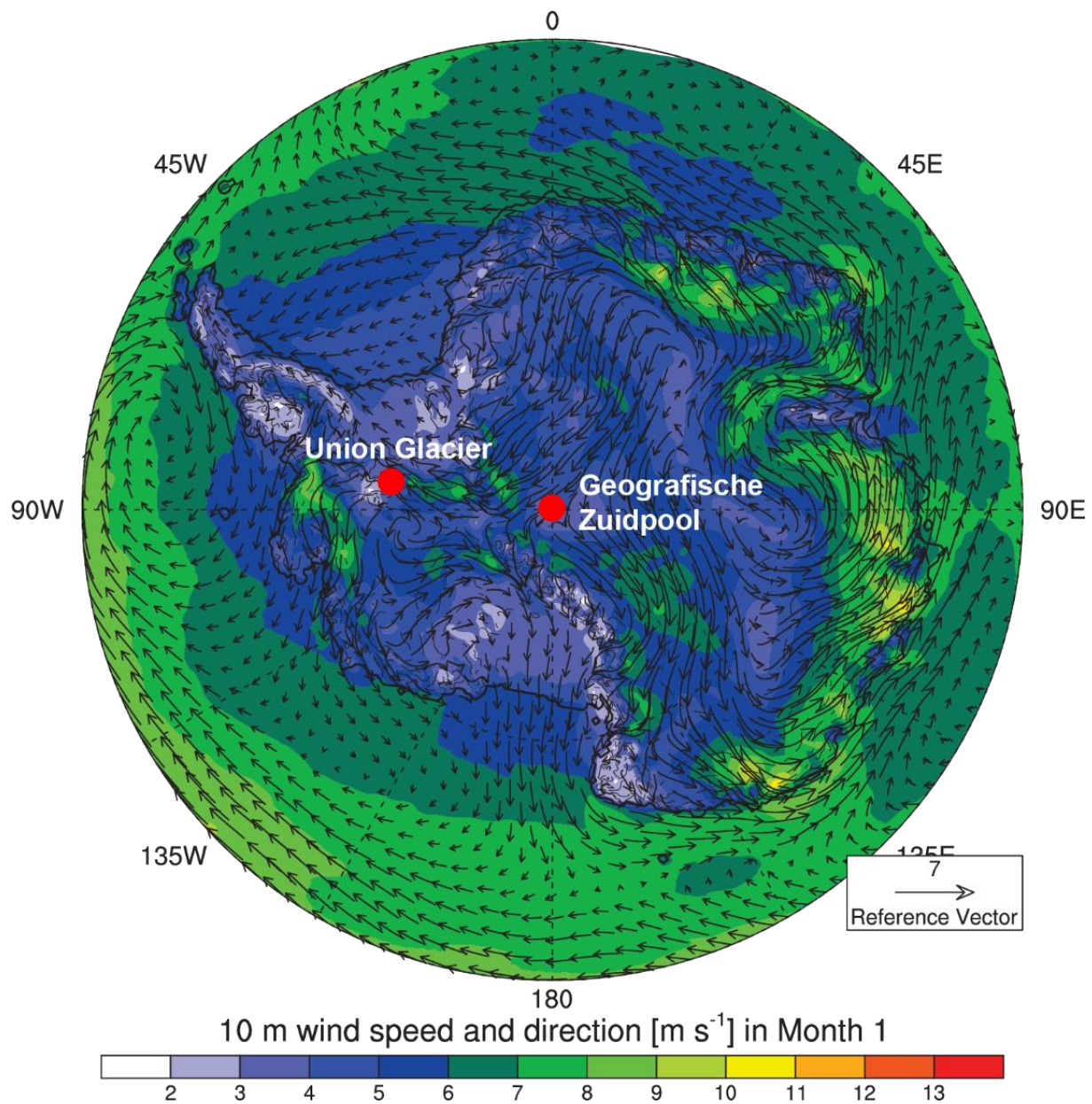


Figuur 8, Wind analyse, windrichting en windsnelheid, in november. Overgenomen van: (Lenaerts, et al., 2012)



Figuur 9, Wind analyse, windrichting en windsnelheid, in december. Overgenomen van: (Lenaerts, et al., 2012)



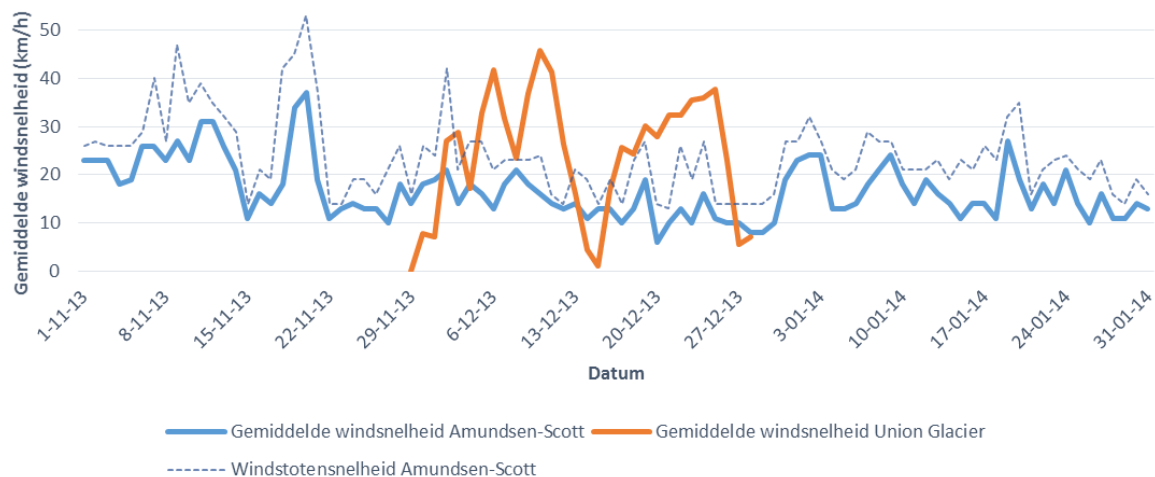


Figuur 10, Wind analyse, windrichting en windsnelheid, in januari. Overgenomen van: (Lenaerts, et al., 2012)



Windsnelheid

Op *Antarctica* staat, net als in Nederland, aan de kust gemiddeld een hardere wind dan land inwaarts. Een in Nederland niet voorkomend verschijnsel is de *Katabatische wind*. Deze winden kunnen snelheden behalen tot wel 327 kilometer per uur, maar zijn in het binnenland een stuk milder omdat het oppervlakte hier relatief vlak is en de temperatuurverschillen kleiner zijn. De hoogst gemeten windsnelheid op de *Geografische Zuidpool* is 88,5 kilometer per uur. Gemiddeld is deze windsnelheid 19,8 kilometer per uur vanuit 20°, wat gelijk staat aan oostzuidoostelijke richting (National Science Foundation; University of Wisconsin-Madison, sd). In figuur 11 is de windsnelheid over de maanden november, december en januari weergegeven. Hierin zijn de data van het 'Cold Facts' weerstation ook weergegeven.



Figuur 11, Wind analyse, gemiddelde windsnelheid en windstoten (Weather Underground, 2013/2014; Cornelissen, 2014)

De gemiddelde windsnelheid in Union Glacier is 24 km/h en in Amundsen-Scott 17 km/h en de maximale windstotensnelheid is 53 km/h (wat genomen is als een gemiddelde over een hele dag). Niet uitgesloten kan worden dat kortstondige windstotensnelheid kunnen oplopen tot 120 km/h (Cornelissen, 2014). Er wordt niet verwacht dat het voertuig zich hierbij kan voortbewegen. Ook is te zien in figuur 8, figuur 9 en figuur 10 dat de gemiddelde windsnelheid tussen Union Glacier en Amundsen-Scott 34,2 km/h is.

Het resultaat van het windrichtings- en windsnelheidsonderzoek is dat de wind voornamelijk uit zuidelijke richting komt en maximaal snelheden van 120 km/h kan bereiken. Gemiddeld komen snelheden van 24, 17, en 34,2 km/h voor. Met deze bevindingen is samen met de opdrachtgever de volgende eis opgesteld:

Het voertuig moet bestand zijn tegen windstoten van 120 km/h en moet volledig kunnen functioneren tot windsnelheden van 50 km/h.

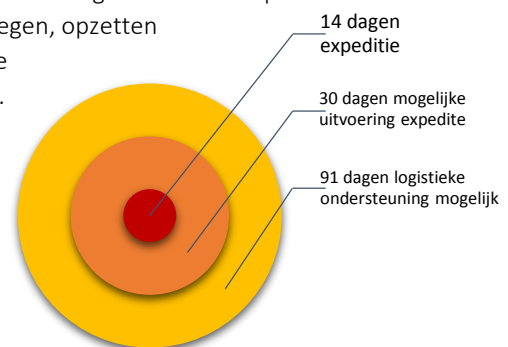
3.2. Gebruikseisen onderzoek

In dit deel van het onderzoeksverslag zal ingegaan worden op welke eisen er gesteld worden voor het gebruik van het voertuig. In dit deel van het onderzoek komen onder meer de eisen die gesteld worden aan de prestatie, de betrouwbaarheid en het comfort naar voren. Per gebruikskennmerk zal hieronder toelichting gegeven worden over de geëiste en gewenste prestaties.

3.2.1. Performance

Door de opdrachtgever is geëist dat het voertuig de route van Union Glacier naar de *Geografische Zuidpool* kan afleggen, en ook terug. Dit is een afstand van in totaal 2300 kilometer. Deze afstand samen met de daar geldende omstandigheden zijn representatief voor meerdere routes op *Antarctica* en dient als referentienorm voor dit ontwerp. De tijd waarbinnen deze afstand moet worden overbrugd is drie maanden; november, december en januari, wat overeenkomt met 91 dagen. Deze periode is niet te veranderen omdat enkel hierbinnen de zon 24 uur per dag boven de horizon uitkomt en logistieke ondersteuning ook mogelijk is. Dit in verband met de koude omstandigheden en het gevaar van in het donker vliegen en landen op *Antarctica*. Binnen deze 91 dagen zal door invloed van externe factoren (denk aan invliegen, opzetten basiskamp, opbouwen, testen, afbreken en terugvliegen) een ruimte ontstaan van 30 dagen waarin de expeditie zal kunnen plaatsvinden.

Om de expeditie extra uitdagend te maken wenst de opdrachtgever binnen twee weken in deze periode de expeditie te voltooien (zie figuur 12 voor de tijdperiodes). Dit zal neerkomen op een gemiddelde dagafstand van 164 km, waarbij geen uitlooptijd is meegerekend. Uit dit onderzoek vloeit dus de eis voort dat het voertuig de afstand van 2300 km in veertien dagen moet afleggen.



Figuur 12, Planning, tijdsindeling van de expeditie

3.2.2. Maakbaarheid

Voor het ontwerp en de realisatie van het voertuig moet gebruik worden gemaakt van reeds bestaande en geïmplementeerde technologieën voor duurzame energieoplossingen. De reden hiervan is de ambitie om een inspirerend voorbeeld te geven voor de maatschappij om gebruik te maken van beschikbare duurzame energieoplossingen en de mogelijkheden en de extreme toepassingen hiervan.

Deze expeditie is een extreme demonstratie van de toepasbaarheid en betrouwbaarheid van deze technologie. De eis die hieruit voortkomt, is dat voor de ontwikkeling van het voertuig enkel gebruik mag worden gemaakt van reeds bestaande en geïmplementeerde technologie.

3.2.3. Betrouwbaarheid

De betrouwbaarheid hangt samen met de haalbaarheid van de expeditie. Het streven naar betrouwbaarheid kan zowel tegen- als meewerken. Door bijvoorbeeld een extreem lichtgewicht voertuig te ontwerpen zal de haalbaarheid van de expeditie positief beoordeeld worden, omdat er minder vermogen nodig is om het voertuig voort te bewegen. Tegelijkertijd zal de betrouwbaarheid van het voertuig negatief beoordeeld kunnen worden omdat de constructie te fragiel is. Er zal dus een evenwicht gevonden moeten worden waarbij het voertuig de expeditie kan volbrengen, maar ook voldoende betrouwbaar en sterk genoeg is. De eis die door de opdrachtgever gesteld wordt is dat het voertuig niet afdoet in betrouwbaarheid door het lichtgewicht construeren van het voertuig.

3.2.4. Repareerbaarheid

Het voertuig zal relatief gemakkelijk en op locatie te repareren moeten zijn, omdat het doel is om de expeditie in autonomie te volbrengen. Grote reparaties, zoals bijvoorbeeld het vervangen van een batterijpakket, zijn zeer moeilijk uit te voeren in verband met de koude en winderige omstandigheden van *Antarctica*. Hiernaast kan ook geen onbeperkte hoeveelheid reserve onderdelen meegenomen worden omdat dit geld, gewicht en tijd kost. Alleen onderdelen die een hoge faalkans hebben, zullen als reserve meegenomen moeten worden. Ook zal om deze reden het voertuig modulair opgebouwd moeten zijn, zodat een module of onderdeel simpel vervangen kan worden op locatie, mocht er een groot defect optreden. Dit leidt dus tot de eis dat het voertuig op locatie te repareren moet zijn.



3.2.5. Veiligheid

Het voorkomen van letsel is waar het om draait bij veiligheid. Tijdens de expeditie zijn er veel kansen op letsel door de extreme omstandigheden. Daarom zijn de volgende eisen gesteld aan het voertuig:

- Het voertuig moet een veilig en toepassingsbestendig elektrisch systeem hebben;
- Het voertuig moet bescherming bieden voor de expeditieleden tegen de wind, temperatuur en neerslag;
- Expeditieleden kunnen het voertuig binnen enkele seconden verlaten;
- Na een ongeval moet het voertuig gerepatrieerd kunnen worden.

Hiernaast is het gewenst het voertuig te kunnen bedienen zonder in het voertuig te zitten voor overbrugging van ijspleten of *sneeuwbruggen*. Ook is gewenst dat het voertuig te verankeren is aan de ondergrond tijdens mogelijke hevige stormen of windstoten.

3.2.6. Comfort

Het comfort is belangrijk voor de bestuurder en de bijrijder, de expeditieleden. Voor het comfort zal rekening gehouden moeten worden met een aantal punten:

- Temperatuur
De expeditieleden moeten het niet te warm of te koud krijgen. Hiervoor zal een optimum gevonden moeten worden tussen het te koud zijn, en verbruiken van veel lichaamsenergie en het te warm zijn met als gevolg zware condensatie. De exacte gewenste temperatuur is nog niet vast te stellen en zal in een verder stadium van het ontwikkelen van het voertuig onderzocht moeten worden.
- Ergonomie
Er zal rekening gehouden moeten worden met de menselijke anatomie en menselijke ergonomie. Denk bijvoorbeeld aan het kunnen bereiken van een noodstop-knop wanneer een dikke winterjas gedragen wordt. De eis die hieruit voortvloeit, is dat de expeditieleden kunnen zitten en tegelijk het voertuig kunnen besturen.
- Slaapcomfort
Een goede nachtrust is essentieel en bepalend voor de te leveren prestaties. Hierdoor heeft de opdrachtgever laten weten dat het gewenst is dat er slaapmogelijkheden zijn binnen het voertuig.
- Zonlicht
Te veel belasting door een grote lichtintensiteit is schadelijk voor de ogen en beïnvloedt de prestatie en kan langdurige schade tot gevolg hebben. Daarom is bescherming tegen zonlicht gewenst.
- Ultraviolet straling
Een deel van het zonlicht bevindt zich in het UV-spectrum. Te veel blootstelling hieraan zal schadelijk zijn voor de expeditieleden en kan langdurige schade tot gevolg hebben. Daarom is het gewenst dat de expeditieleden in het voertuig beschermd worden tegen UV-straling van maximaal schaal 9 van het KNMI. (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2014)
- Wind
Bescherming tegen de wind is essentieel op *Antarctica*. Door de constante wind kan de temperatuur als gevolg van de *Windchill* lager ervaren worden. Ook kan hinderlijk geluid gevormd worden wat de prestatie van de expeditieleden sterk kan beïnvloeden. De eis die hieruit voortvloeit, is dat de expeditieleden beschermd worden tegen de wind, *Windchill* en het geluid van de wind.
- Trillingen
Het dempen van trillingen/stoten en het voorkomen van resonantie is belangrijk voor het comfort van de expeditieleden. Het opvangen van trillingen en stoten kan veel lichaamsenergie schelen en draagt bij aan de veiligheid van de expeditieleden. Bovendien kunnen trillingen onderdelen van het voertuig beschadigen of los doen komen.



3.2.7. Autonomie

Het is de bedoeling dat de expeditie volledig autonoom uitgevoerd wordt. Dit houdt in dat de 2300 kilometer, zonder tussentijdse leveringen van voedsel of materiaal, door middel van dropping of ontmoetingspunten, afgelegd moet kunnen worden (met uitzondering van noodsituaties). Hiervoor is een bepaalde bergruimte nodig. In bijlage v is een overzicht weergegeven, dat samen met de opdrachtgever is opgesteld, van de verwachte mee te nemen spullen (inclusief noodmateriaal). De hoeveelheid is gebaseerd op een expeditie van maximaal 30 dagen. De uitkomst hiervan is dat 160 kilogram meegenomen zal worden, 80 kilogram per expeditielid.

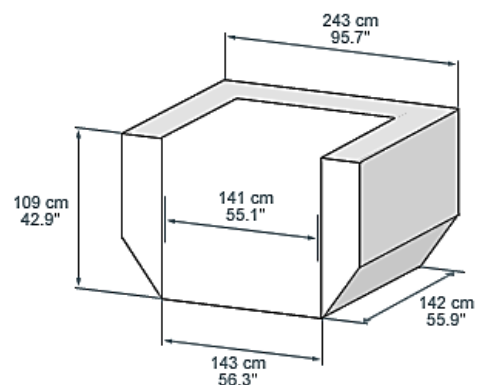
Het volume dat deze spullen in beslag neemt, is lastig te bepalen. Hiervoor kan echter wel een slede als referentie gebruikt worden omdat deze een representatief beeld geeft van het volume dat nodig is voor een expeditie van 30 dagen, aldus de opdrachtgever. De afmetingen van een slede zijn 165 x 55 x 30 centimeter en de inhoud is ongeveer 240 liter. De slede is afgebeeld in figuur 13. De opdrachtgever wenst dat er niet meer dan twee compartimenten zijn voor opslag. Dit in verband met veiligheidsoverwegingen en het snel kunnen bergen van materiaal en voorraad. Deze bevindingen hebben geleid tot de eis dat de expeditie in volledige autonomie uit te voeren moet zijn, en de eis dat 160 kilogram aan materiaal meegenomen kan worden met het voertuig.



Figuur 13, Expeditie slede "Last Degree" voor afmetingen. Overgenomen van: (Cornelissen, 2014)

3.2.8. Transport

Voor het transport wordt door de opdrachtgever geëist dat het voertuig (volledig geassembleerd) niet groter is dan een zeecontainer die zonder begeleiding door een vrachtauto vervoerd kan worden. Dit wordt geëist omdat hierdoor het vervoer voor onderwijs- en promotiedoeleinden wereldwijd minder kostbaar is, transport gedaan kan worden door verschillende leveranciers en met een minimale milieu-impact. De binnen afmetingen van de grootste maat zeecontainer die zonder begeleiding over de weg vervoerd kan worden zijn 12032 mm x 2345 mm x 2385 mm. De aanvullende wensen bij de bovenstaande eis zijn dat het voertuig in een zo klein mogelijke container vervoerd kan worden, in verband met volume kosten en dat het voertuig gedemonteerd of in modules te vervoeren is in een vrachtcontainer voor luchttransport naar Pres Ibanez Airport (Zuid-Chili). Het type meest gebruikte container op dit vliegveld is LD3-45, zie figuur 14. Het maximale gewicht hiervan is 1052 kilogram (Swiss World Cargo, 2014). Naast dit maximale gewicht is het belangrijk te weten dat voor transport van Pres Ibanez Airport naar Union Glacier voor goederentransport een tarief gerekend wordt van 70 dollar (€51,70) per kilogram (Adventure Network International, 2014). Voor transport zal rekening gehouden moeten worden met apart transport van eventuele accu's omdat dit verplicht is door verschillende luchtvaartmaatschappijen (Cornelissen, 2014). De uitkomst van dit onderzoeksdeel is dat het voertuig moet passen in een container van maximaal 12032 x 2345 x 2385 mm, maar liefst kleiner.



Figuur 14, Vrachtcontainer LD3-45, voor luchttransport. Overgenomen van: (Swiss World Cargo, 2014)

3.2.9. Communicatie

Communicatie met de buitenwereld zal noodzakelijk zijn. Onder communicatie valt een spraak en data verbinding met plekken overal op de wereld. Deze verbinding is er voor de veiligheid van de expeditieleden, maar ook voor de interne en externe communicatie (met respectievelijk het basiskamp en de rest van de wereld). Deze externe communicatie is noodzakelijk voor een optimale publiciteit bij het grote publiek. Dit zal bijvoorbeeld gebeuren via sociale media. Mogelijke platformen waar gebruik van gemaakt kan worden zijn Iridium of Inmarsat.

3.2.10. Navigatie

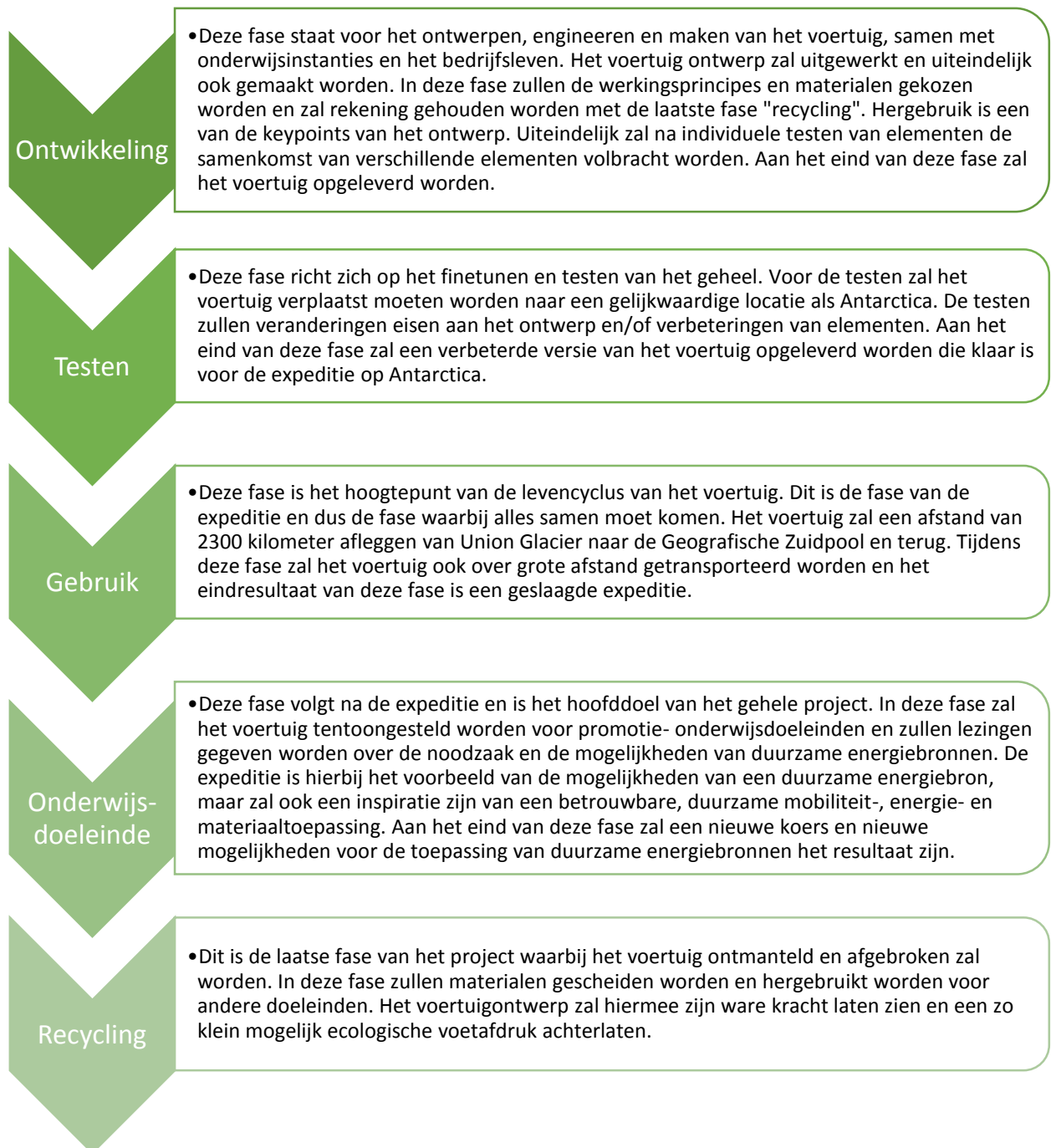
Voor het rijden van de meest geschikte route zullen tijdens de uitvoering van de expeditie routeplanningen gemaakt worden. Dit gebeurt door middel van GPS-systemen. Voor zover mogelijk zal voor de routeplanning van de expeditie, op basis van aardobservatie-technologie (satelliet), moeilijk terrein in kaart gebracht en vermeden worden. Hiernaast zal er ook tijdens de expeditie rekening gehouden moeten worden met de terrein- en weersomstandigheden zoals ze worden aangetroffen. Om zowel eerder verkregen als ook actuele informatie te kunnen gebruiken bij het bepalen van de juiste route en strategie, is het nodig zowel het navigatie- als communicatiesysteem tegelijkertijd te kunnen gebruiken. De eis die gevormd wordt door dit onderzoek naar communicatie en navigatie is dat beide altijd mogelijk moeten zijn tijdens de expeditie.

De manier van communicatie of navigatie zal in dit onderzoek niet verder aan bod komen. Wel zal het gevraagde vermogen van deze apparatuur terugkomen in de hoeveelheid overig vermogen dat nodig zal zijn, naast het voortbewegen.



3.2.11. Levenscyclus (inclusief activiteiten na expeditie)

De levenscyclus van het voertuig bestaat uit de hieronder weergegeven fases. Per fase zal hieronder toelichting gegeven worden over de activiteiten binnen deze fase. Voor het ontwerpproces is het van belang dat deze levenscyclus bekend is, zodat hier rekening mee gehouden kan worden.



Figuur 15, Levenscyclus, levensfase en uitleg per fase van het voertuig

Het gevolg van de levenscyclus is dat tijdens het ontwerpproces rekening gehouden zal worden met de complexiteit van de onderdelen en de mogelijkheid tot materiaalscheiding. Hiernaast vindt bij vier van de vijf fases transport plaats, wat er voor zorgt dat de mogelijkheid om het voertuig te transporteren een belangrijke eigenschap zal zijn tijdens het ontwerpproces.



3.3. Milieueisen onderzoek

Het is een grote en logistiek complexe opgave, met bovendien een flinke milieu-impact, om het voertuig op *Antarctica* te krijgen en ook weer terug te brengen naar Nederland. Daarom is het belangrijk om te letten op het gewicht en het te transporteren volume, zodat de logistiek gemakkelijker en minder schadelijk voor het milieu. In paragraaf 3.2.8 is dit al besproken.

Om *Antarctica* en het milieu van *Antarctica* te beschermen is sinds 23 juni 1961 'Het Antarctisch Verdrag' van kracht op *Antarctica*. Een uitvloeisel van dit verdrag is de Nederlandse 'Wet Bescherming *Antarctica*'. Deze wet bepaalt dat door Nederlanders uitgevoerde activiteiten moeten voldoen aan de in het verdrag en haar protocollen vastgelegde richtlijnen (Wet Bescherming *Antarctica*, 2013):

Een ieder neemt in het Antarctisch gebied zo veel mogelijk zorg voor het Antarctisch milieu in acht.

De zorg, bedoeld in het eerste lid, houdt in dat een ieder die weet of redelijkerwijs kan vermoeden dat door zijn handelen of nalaten nadelige gevolgen voor het Antarctisch milieu kunnen worden veroorzaakt, verplicht is dergelijk handelen achterwege te laten voor zover zulks in redelijkheid kan worden gevergd, dan wel alle maatregelen te nemen die redelijkerwijs van hem kunnen worden gevergd teneinde die gevolgen te voorkomen of, voor zover die gevolgen niet kunnen worden voorkomen, deze zoveel mogelijk te beperken of ongedaan te maken.

Het bepaalde in het eerste en tweede lid laat onverlet de uit het burgerlijk recht voortvloeiende aansprakelijkheid en de mogelijkheid van rechtspersonen als bedoeld in artikel 1, boek 2 van het Burgerlijk Wetboek, en artikel 1, boek 2 van het Burgerlijk Wetboek BES, om uit dien hoofde in rechte op te treden.

Hierdoor is het niet naleven van deze protocollen strafbaar in Nederland.

In de praktijk houden deze protocollen in dat het voertuig, of het gebruik daarvan, op *Antarctica* geen blijvende negatieve impact mag hebben op de omgeving. Het is hierdoor verplicht het voertuig na gebruik te repatriëren, ook in het geval van een onvoorzien voorval, zoals een vroegtijdige beëindiging van de expeditie. De eis die gevormd is aan de hand van dit onderzoek is dat het voertuig altijd volledig te verwijderen moet zijn van *Antarctica*.

4. Programma van eisen

Het programma van eisen is een verzameldocument van alle eisen en wensen voor dit voertuig. Het programma van eisen is samengesteld als het resultaat van het hiervoor gedane onderzoek. Het programma van eisen bestaat uit de technische eisen, de functionele eisen en de milieu eisen. Dit programma van eisen is het document waar alle punten in staan waaraan de uiteindelijke conceptring zal moeten voldoen en waarop het concept ook getoetst zal worden. De komende zes pagina's zijn liggend weergegeven voor een duidelijk overzicht van alle eisen en wensen.



4.1. Technische eisen en wensen

Tabel 3, Overzicht van de technische eisen en wensen

#	Eis	Wens/ scoring criteria	Specificatie	Toelichting	Hoe te realiseren	Hoe te verifiëren
1.	X		Het voertuig moet volledig aangedreven worden door zonne-energie	Enige energiebron is de zon omdat het voertuig een inspirerend voorbeeld van een duurzame energietoepassing moet zijn	Door in het ontwerpproces componenten te gebruiken die zonne-energie omzetten naar elektrische energie	Door te controleren of zonne-energie de enige energiebron is voor de werking van het voertuig
1.1.		X	Het voertuig moet een zo hoog mogelijk rendement hebben	Overbodig energiegebruik zorgt voor een minder goede prestatie	Door tijdens het ontwerpproces te letten op het rendement van onderdelen	Door te testen wat het totale rendement van het voertuig is
2.	X		Het voertuig moet een afstand van 2300 kilometer kunnen afleggen	1150 km van Union Glacier naar de <i>Geografische Zuidpool</i> en terug is representatief voor vele routes op <i>Antarctica</i>	Door tijdens energieberekeningen en het ontwerpproces rekening te houden met langdurige belasting	Door te controleren of het mogelijk is volgens de energieberekening
2.1.		X	Het voertuig moet de afstand in 14 dagen afleggen	Door transport en voorbereidingstijd is een periode van 14 dagen ontstaan	Door tijdens het ontwerpproces te onderzoeken of dit mogelijk is en dan wel hoe	Door te controleren of het mogelijk is volgens de energieberekening
3.	X		Het voertuig moet ijsspleten en sneeuwbruggen overbruggen	Ijsspleten en <i>sneeuwbruggen</i> is komen geregeld voor op <i>Antarctica</i> en kunnen zich op de route bevinden	Door tijdens het ontwerpproces componenten toe te voegen die grote oppervlaktedruk-spreiding veroorzaken	Door het controleren van de oppervlaktedruk-berekening en dit aan te tonen met een test
3.1.		X	Het voertuig moet van buitenaf bedienbaar zijn	Nodig bij het overbruggen van <i>sneeuwbruggen voor minimaal gewicht en maximale veiligheid</i>	Door tijdens het ontwerpproces componenten te gebruiken die hier geschikt voor zijn	Door het controleren van het elektrische systeem en dit aan te tonen met een demonstratie
4.	X		Het voertuig moet zich verplaatsen over Sastrugi van 0,3 meter hoog en met een golflengte van twee meter	Dit is de ruigste ondergrond die voor kan komen tijdens de expeditie	Door tijdens het ontwerpproces rekening te houden met de aanrijdhoek en bodemvrijheid	Door het controleren van de energieberekening, aanrijdhoek en bodemvrijheid en dit aan te tonen met een test

5.	X		Het voertuig moet bestand zijn tegen temperaturen van +35 tot -45 °C	Deze temperaturen zijn mogelijk in de periode waarin de expeditie uitgevoerd zal worden	Door tijdens het ontwerpproces rekening te houden met temperatuur uitzettingscoëfficiënten van materialen	Door te controleren van de behuizingseigenschappen en te demonstreren in een koelcel
6.	X		Het voertuig moet bestand zijn tegen windstoten van maximaal 120 km/h	Ervaringsdeskundige M. Cornelissen meent aan te kunnen nemen dat windstoten optreden tot 120 km/h	Door tijdens het ontwerpproces rekening te houden met de aerodynamica van het voertuig	Door het te controleren van de zijwindberekening en dit te demonstreren in een windtunnel
6.1.		X	Het voertuig moet verankerd kunnen worden om heftige windstoten te weerstaan	Bij stormachtige wind de mogelijkheid hebben om het voertuig vast te zetten aan de ondergrond	Door tijdens het ontwerpproces componenten toe te voegen waarmee het voertuig vastgezet kan worden.	Door te controleren of het mogelijk is door middel van een demonstratie
6.2.		X	Het voertuig moet de expeditieleden beschermen tegen de extreme wind van <i>Antarctica</i>	De wind beïnvloedt de prestaties en kan samen met de <i>windchill</i> leiden tot letsel	Door tijdens het ontwerpproces rekening te houden met de winddichtheid en stabiliteit van het voertuig	Door te controleren of de bescherming volstaat door middel van een windtunneltest
7.	X		Het voertuig moet volledig functioneren bij windsnelheden van 50 km/h	Gemiddelde windsnelheid tussen Union Glacier en de <i>Geografische Zuidpool</i> is 34,2 km/h plus marge	Door tijdens de energieberekening te rekenen met een tegenwind van 50 km/h	Door te controleren of het mogelijk is volgens de energieberekening
8.	X		Het voertuig moet zich verplaatsen over terrein met een dichtheid van 150 tot 917 kg/m ³	150 kg/m ³ voor losse sneeuw en 917 kg/m ³ voor ijsvlaktes	Door tijdens het ontwerpproces bij de keuze van de oplossing voor de omzetting van rotatie naar translatie rekening te houden met deze eis	Door te controleren of het mogelijk is volgens de oppervlaktedrukberekening en een demonstratie
9.	X		Het voertuig moet een maximale gronddruk van 0,13 kg/cm ² hebben	Vergelijkbare voertuigen op <i>Antarctica</i> hebben gemiddeld een gronddruk van 0,13 kg/cm ²	Door tijdens het ontwerpproces bij de keuze van de oplossing voor de omzetting van rotatie naar translatie rekening te houden met deze eis	Door te controleren of het mogelijk is volgens de oppervlaktedrukberekening en een demonstratie
9.1.		X	Een zo laag mogelijke gronddruk	Minder gronddruk zorgt voor minder rolwrijving en een lager energieverbruik	Door tijdens het ontwerpproces te letten op de gronddruk van onderdelen	Door de berekening te controleren en een praktijktest uit te voeren
9.2.		X	Een zo laag mogelijk gewicht	Minder gewicht zorgt voor minder gronddruk, lager(e) rolwrijving en energieverbruik	Door tijdens het ontwerpproces te letten op het gewicht van onderdelen	Door de berekening en uiteindelijk materiaalkeuze en de onderbouwing hiervan te controleren

10.	X		Het voertuig moet zich kunnen voortbewegen van 900 meter hoogte tot een hoogte van 3041 meter en terug	Exacte impact op voertuig onduidelijk	Door informatie in te winnen over rijden op grote hoogte en hier rekening mee te houden tijdens het ontwerpproces	Door te controleren of het mogelijk is volgens de energieberekening
11.	X		Het voertuig moet passen in een zeecontainer van 12032x 2345x 2385 mm	Transport mogelijk door verschillende leveranciers en met een minimale milieu impact	Door tijdens het ontwerpproces uit te gaan van de maximale afmetingen van 12032x 2345x 2385 mm	Door de afmetingen te controleren en te demonstreren
11.1.		X	Het voertuig moet transporteerbaar zijn in een zo klein mogelijke container	In verband met volume kosten bij transport	Door tijdens het ontwerpproces te zoeken naar de kleinst mogelijke afmetingen	Door aan te tonen dat een kleiner ontwerp niet mogelijk is door middel van werktekeningen
11.2.		X	Het voertuig moet transporteerbaar zijn in een LD3-45	Is minder schadelijk en lagere kosten, maximaal gewicht 1052 kg.	Door tijdens het ontwerpproces te zoeken naar de kleinst mogelijke afmetingen	Door aan te tonen dat een kleiner ontwerp niet mogelijk is en of deze past in een LD3-45
12.	X		Het voertuig moet een veilig elektrisch systeem hebben	Volledig afgeschermd en gemonitord systeem om eventueel letsel te voorkomen bij de bestuurders.	Door tijdens de ontwikkeling van het elektrische systeem rekening te houden met alle veiligheidsvoorschriften	Door het controleren van het elektrische systeem en de veiligheid aan te tonen met een demonstratie
13.	X		Het voertuig moet binnen enkele seconden verlaten kunnen worden door de expeditieleden	Om veiligheidsredenen en om eventueel letsel te voorkomen bij de bestuurders.	Door tijdens het ontwerpproces componenten te gebruiken die tegemoet komen aan deze eis	Door het controleren van snelle evacuatie in mogelijk noodsituaties

4.2. Functionele eisen

Tabel 4, Overzicht functionele eisen en wensen

#	Eis	Wens	Specificatie	Toelichting	Hoe te realiseren	Hoe te verifiëren
14.	X		Voor de ontwikkeling van het voertuig mag enkel gebruik gemaakt worden van reeds bestaande en geïmplementeerde technologie	De ambitie is om een inspirerend voorbeeld te geven van de mogelijkheden/extreme toepassingen van al beschikbare duurzame energieoplossingen	Door tijdens het ontwerpproces enkel reeds bestaande en bewezen technologie te implementeren	Door het controleren van documentatie van het ontwerpproces
15.	X		Expeditie moet in volledige autonomie gebeuren	Onderweg zal geen leveringen van voeding of materiaal door middel van dropping (m.u.v. noodsituaties) plaatsvinden	Door tijdens het ontwerpproces rekening te houden met extra opslagruimte	Door te controleren wat de opslag capaciteit is en een volledige bepakking te simuleren
15.1.		X	Het voertuig heeft niet meer dan twee compartimenten voor opslag	Om veiligheidsoverwegingen en het snel kunnen bergen van materiaal en voorraad	Door tijdens het ontwerpproces rekening te houden met maximaal twee compartimenten	Door de documentatie van het ontwerpproces te controleren en de schetsen van de definitieve conceptringing te controleren
15.2.		X	Voertuig en onderdelen moeten bestand zijn tegen de meest extreme omgeving en toepassing	In de ergst mogelijke omgevingsvariabele of toepassing moet het voertuig heel blijven	Door tijdens het ontwerpproces te letten op bestendigheid tegen omgeving en toepassing	Door de documentatie van het ontwerpproces te controleren
16.	X		Communicatie en navigatie zijn altijd mogelijk tijdens expeditie	Communicatie en navigatie moet altijd mogelijk zijn in verband met de veiligheid en de maximale publiciteit van de expeditie	Door tijdens de energieberekening extra vermogen te reserveren	Door het controleren van de energieberekening en het elektrisch systeem
17.	X		Het voertuig moet op locatie te repareren zijn, met uitzondering van grote reparaties	Grote reparaties zijn niet mogelijk in verband met de koude, winderige omstandigheden. Reserveonderdelen kosten, geld, gewicht, tijd	Door tijdens het ontwerpproces te beoordelen hoe simpel een constructie is	Door het controleren van de opbouw van onderdelen en hoe simpel deze onderdelen zijn uitgewerkt

17.1.		X	Onderdelen moeten gemakkelijk toegankelijk zijn	Hoe korter de reparatie duurt hoe groter de kans op slagen van de expeditie	Door tijdens het ontwerpproces te letten op de toegankelijkheid van onderdelen	Door de argumentatie van de gekozen oplossingen te controleren
17.2.		X	Zo min mogelijk verschillende onderdelen	Complex onderdelen verminderen de kans dat een onderdeel te repareren is	Door tijdens het ontwerpproces te letten op het aantal onderdelen	Door de argumentatie van de gekozen oplossingen te controleren
17.3.		X	Het voertuig moet modulair opgebouwd zijn	Grote reparaties zijn niet mogelijk in verband met de koude, winderige omstandigheden. Door een slim modulair opgebouwd voertuig te ontwerpen wordt de kans op slagen vergroot	Door tijdens het ontwerpproces het voertuig al onder te verdelen in modules.	Door het controleren van de verschillende modules
18.	X		De expeditieleden moeten van binnen in zittende positie het voertuig kunnen besturen		Door tijdens het ontwerpproces rekening te houden met de menselijke anatomie	Door het controleren van de interne afmetingen en te demonstreren dat zittend besturen mogelijk is
18.1.		X	Het voertuig moet bedienbaar zijn met dikke kleding aan	Door de omgeving is het aannemelijk dat expeditieleden met beschermende kleding het voertuig in of uit willen	Door tijdens het ontwerpproces rekening te houden met extra dikke kleding	Door het controleren van de interne afmetingen en de ruimte in het voertuig te demonstreren
19.	X		In het voertuig moet thermisch comfort zijn voor de expeditieleden	Te koud vraagt veel lichaamsenergie, te warm heeft zware condensatie tot gevolg. Exacte temperatuur zal in een later stadium bepaald worden door de opdrachtgever en/of testen.	Door tijdens het ontwerpproces componenten te gebruiken voor koeling of verwarming	Door het controleren van de temperatuur berekeningen en de verwarming/koeling te demonstreren
20.		X	Het voertuig moet bescherming bieden tegen zonlicht voor de expeditie leden	Bescherming tegen verblinding/verbranding door zonlicht	Door deze wens bij de beoordeling van componenten mee te nemen	Door het controleren en meten wat de beschermingsfactor in het voertuig is

21.		X	Het voertuig moet slaapruiimte bieden voor de expeditieleden	In verband met effectiviteit en slaapcomfort dat de te leveren prestaties beïnvloedt. Goede rust verhoogt de prestaties en de focus tijdens het besturen van het voertuig	Door tijdens het ontwerpproces te zoeken naar mogelijke slaapruiimte	Door het controleren wat de interne afmetingen zijn en de mogelijkheden om te slapen te demonstreren
22.		X	Het voertuig moet de expeditieleden bescherming bieden tegen trillingen en stoten	Dempen van trillingen en voorkomen van resonantie verhoogt het comfort. Dit kan veel lichaamsenergie schelen en draagt bij aan de veiligheid	Door deze wens bij de beoordeling van componenten mee te nemen	Door het controleren van de demping van trillingen en de mogelijke resonantie tijdens een demonstratie
23.		X	Het voertuig moet expeditieleden beschermen tegen UV-straling van maximaal index 9 op de schaal van het KNMI	Bescherming tegen UV-straling is noodzakelijk om schade aan de huid te voorkomen	Door tijdens de keuze van ruit rekening te houden met de graad van bescherming tegen de zon	Door de specificaties van de gekozen ruit te controleren en eventuele UV-stralingstest uit te voeren

4.3. Milieu eisen

Tabel 5, Overzicht milieu eisen en wensen

#	Eis	Wens	Specificatie	Toelichting	Hoe te realiseren	Hoe te verifiëren
24.	X		Het voertuig moet volledig te verwijderen zijn van <i>Antarctica</i>	Wet Bescherming <i>Antarctica</i> zegt dat alles wat op <i>Antarctica</i> komt, ook verwijderd moet worden	Door tijdens het ontwerpproces rekening te houden met de verwijderbaarheid van het voertuig	Controle van de ontwerptekeningen en een verwijderplan
25.		X	Het voertuig moet zo veel mogelijk recyclebaar zijn	Rekening houden met grondstoffen, verwerking ervan, einde levenscyclus en herwinbaarheid omdat een hoge duurzaamheidsambitie nagestreefd wordt	Door tijdens het ontwerpproces rekening te houden met de oorsprong, verwerking en recyclebaarheid van materialen	Controle van de ontwerptekeningen en het recycleplan

5. Beschikbaarheid & toepasbaarheid van zonne-energie

Zoals al eerder aangegeven in paragraaf 3.2.1 zijn er maar drie maanden waarin de zon constant boven de horizon is. Deze informatie is belangrijk voor het gebruik van een door zonne-energie aangedreven voertuig, echter zegt dit nog niets over de hoeveelheid opvangbare zonne-energie, de positie van de zon of de hoeveelheid bewolking die zonlicht tegenhoudt. Op deze punten zal in dit hoofdstuk ingegaan worden. Eerst zal een korte introductie gegeven worden over zonne-energie in het algemeen op *Antarctica*.

5.1. Zonne-energie op Antarctica

Zonne-energie wordt steeds meer gebruikt op *Antarctica*, omdat de ontwikkelingen op dit gebied elkaar in hoog tempo opvolgen en het behaalde rendement steeds hoger wordt, waardoor de aantrekkelijkheid en toepasbaarheid toeneemt (Tin, et al., 2010). Zonne-energie wordt op *Antarctica* op twee manieren gebruikt: voor het genereren van warmte met behulp van zonnecollectoren, en voor het genereren van elektriciteit door middel van zonnecellen.

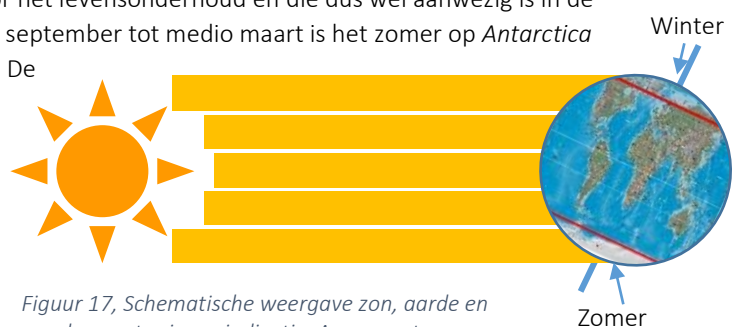
Een voorbeeld waar zowel zonnecollectoren als zonnecellen gebruikt worden, is de eerste *Zero-emissie* onderzoeksbasis 'Princess Elisabeth' (figuur 16). Deze Belgische basis bevat naast negen windturbines ook 374 vierkante meter aan fotonvoltaïsche zonnepanelen (maximale capaciteit van 52 kW) en achttien vierkante meter zonnecollectoren. De zonnepanelen zijn beschermd met gewapend glas en een speciale coating. Ook zijn ze geplaatst in een aluminium frame waardoor ze uiteindelijk hermetisch afgesloten zijn. Deze bescherming is om zonder veel onderhoud de druk van gevallen/verwaalde sneeuw en de extreme temperaturen te kunnen doorstaan. Door de koude temperaturen is oververhitting van de zonnepanelen uitgesloten (International Polar Foundation, 2009).



Figuur 16, Princess Elisabeth, zero-emissie onderzoeksbasis van België. Overgenomen van: (International Polar Foundation, 2009)

De onderzoeksbasis is enkel in de zomermaanden bewoond door maximaal twintig onderzoekers. Dit is onder andere het gevolg van het feit dat de basis dan genoeg energie kan omzetten voor het levensonderhoud van de onderzoekers. Ook komt dit doordat vliegverkeer niet mogelijk is in de wintermaanden omdat het te donker en koud is om te landen, en het omvangrijke *Pakij's* bevoorrading per schip zwaar hindert (International Polar Foundation, 2009). De extra energie die nodig is voor het levensonderhoud en die dus wel aanwezig is in de zomermaanden, is afkomstig van de zon. Van medio september tot medio maart is het zomer op *Antarctica* en van november tot januari gaat de zon niet onder. De overige maanden is het winter en komt de zon niet boven de horizon uit, wat de temperatuurdaling en -stijging uit paragraaf 3.1.2. verklaart en wat er toe leidt dat *Antarctica* maar twee seizoenen kent.

Het niet opkomen of ondergaan van de zon op *Antarctica* komt doordat *Antarctica* onder de 66,5° zuiderbreedte ligt (66,5° noorderbreedte voor de Noordpool). Deze lijnen op 66,5° NB of ZB lopen gelijk met de Noordpoolcirkel en de Zuidpoolcirkel en zijn in figuur 17 rood weergegeven. De oorzaak van het niet op- en ondergaan van de zon is dat de aarde om de zon draait (in 365 dagen) en doordat de aarde zelf schuin om zijn eigen as draait (in 24 uur). Hierdoor zal er altijd een deel van de Geografische Noord-/Zuidpool zon hebben of juist geen zon hebben (Australian Government, 2013).



Figuur 17, Schematische weergave zon, aarde en aardas, met seizoen indicatie. Aangepast van: (Central Intelligence Agency, 2014)

5.1.1. Zonnehoek en mogelijke gevolgen hiervan

In de zomermaanden staat de zon gemiddeld op twintig graden boven de horizon van *Antarctica*. Ter vergelijking; op de evenaar is dit negentig graden (Cornelissen, 2014). Gevolg hiervan kan zijn dat de zonnepanelen niet genoeg zonlicht opvangen om de benodigde elektrische energie op te wekken. Dit zou bijvoorbeeld kunnen als zonnepanelen aan de zijkant van het voertuig zijn bevestigd en de zon zich recht voor of achter het voertuig bevindt. Hiervoor heeft *Antarctica* echter een compensatie: een hoog *Albedo*.

Een voordeel van de grote hoeveelheid sneeuw en ijs op *Antarctica* is dat er veel reflectie optreedt. Verwacht wordt dat tot wel 90 procent van het zonlicht weerkaatst wordt op het oppervlak (Hartmann, 1994). Een deel hiervan kan opgevangen worden door zonnepanelen. Bij het 'Cool Robot' project van het Amerikaanse leger, in samenwerking met de Thayer School of Engineering, is na uitgebreid testen gebleken dat 30 procent van het verkregen vermogen afkomstig was van weerkaatst zonlicht van de sneeuw en ijs van Groenland (Lever, Streeter, & Ray, 2005). Dit is vergelijkbaar met de condities op *Antarctica* aldus Marc Cornelissen.

5.1.2. Bewolking

Bewolking speelt bij de toepassing van zonne-energie een grote rol, omdat wolken een deel van het licht van de zon terugkaatsen of verspreiden, met als gevolg dat minder licht de zonnecellen zal bereiken. Dit is ook gebleken bij het 'Cool Robot' project. Hier moest tijdens een bewolkte testdag een deel van de benodigde energie toegevoegd worden door een batterij (Lever, Streeter, & Ray, 2005).

Ervaringsdeskundige Marc Cornelissen geeft aan dat in het binnenland van *Antarctica*, in de eerste maanden van de zomer, geen tot nauwelijks bewolking zal optreden. Later richting medio januari is het mogelijk dat er dagen met bewolking zullen zijn (Cornelissen, 2014). Deze aanname wordt bevestigd door het Amerikaanse Ministerie van Handel, en specifiek het National Oceanic and Atmospheric Administration, zie paragraaf 6.2.2. Hierbij moet wel een belangrijke aantekening gemaakt worden: de hoeveelheid bewolking kan gemiddeld 25% zijn, maar de realiteit is dat het dan veel dagen onbewolkt (0%) is, en enkele dagen zwaar bewolkt (100%) (Keyser de, 2014) (Ward, 2014). Hier zal later, in paragraaf 6.2.2, dieper op ingegaan worden.

5.2. Zonne-energie aanbod

De hoeveelheid zonne-energie wordt uitgedrukt in Watt (joule per seconde) en is onder andere afhankelijk van de volgende factoren: *Latitude*, *Longitude*, tijdzone, positie van zonnecollector, positie van zon, en mogelijke bewolking. Deze factoren op hun beurt zijn opnieuw afhankelijk van vele andere parameters (U.S. Department of Commerce, 2014).

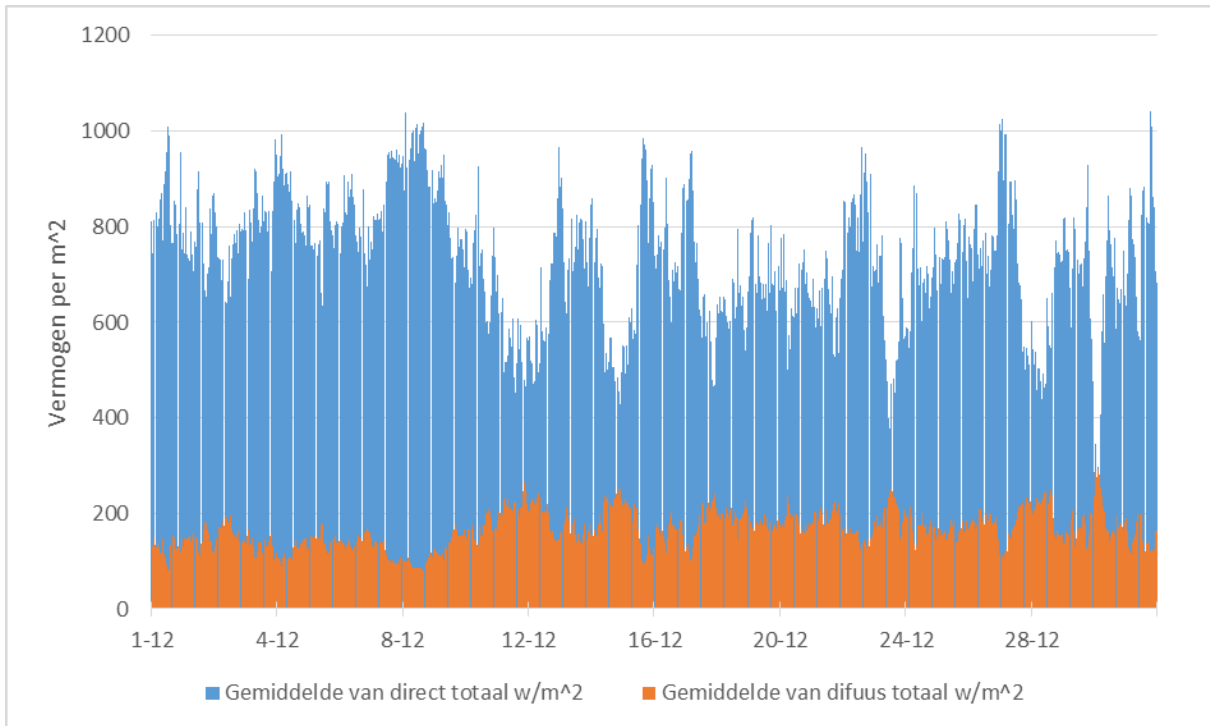
Voor de berekening van de positie van de zon is gebruik gemaakt van een rekenmodel van de Amerikaanse Ministerie van Handel, of meer specifiek van de National Oceanic and Atmospheric Administration, afgekort NOAA (U.S. Department of Commerce, 2014). Voor de waarden van inkomende zonne-energie op *Antarctica* zijn meetdata van tien jaar van de maand december gebruikt. Deze data zijn ook beschikbaar gesteld door het Amerikaanse Ministerie van Handel (U.S. Department of Commerce, 2014). Er is gekozen voor de periode van de maand december, omdat het zeer waarschijnlijk is dat in deze periode de expeditie zal plaatsvinden (zie paragraaf 3.2.1).



5.2.1. Hoeveelheid zonne-energie aanbod op Antarctica

De hoeveelheid op een paneel vallend zonlicht wordt gemeten in Watt/m² en is opgedeeld in directe en diffuse zonne-energie. De reflectie, zoals in paragraaf 5.1.1 beschreven, is meegenomen in de diffuse zonne-energie. In de meetdata van NOAA zijn de directe- en diffuse zoninval per minuut weergegeven. Deze data zijn verzameld voor de maand december over de jaren 2004 tot en met 2013.

Na het verzamelen is de gemiddelde directe (I_{dir}) en diffuse (I_{diff}) zoninval per jaar voor iedere minuut, berekend met Excel. Vervolgens zijn de gemiddelden gecombineerd tot een eindgemiddelde, dat geldt per dag voor elk uur in de maand december. Het aantal meetpunten is met deze stap teruggedrongen van 5.356.920 naar 1.488 (24 uur keer 31 dagen) en resulteerde in de onderstaande grafiek. Alle meetpunten zijn te vinden op goo.gl/tZvbg3.



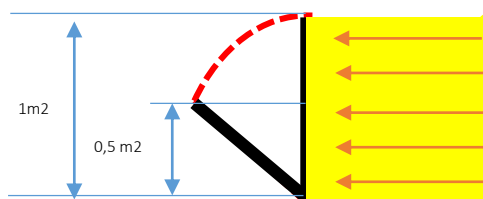
Figuur 18, Gemiddelde directe en diffuse zonne-energie, verkregen uit tien jaar metingen, per minuut, op Antarctica (U.S. Department of Commerce, 2014)

In figuur 18 zijn 1.488 resultaten weergegeven van de gemiddelde directe en diffuse hoeveelheid zonne-energie. In deze resultaten is te zien dat de directe zonne-energie gemiddeld 735 Watt/m² is en de diffuse zonne-energie gemiddeld 166 Watt/m². Ook zijn grote pieken en dalen te zien. In paragraaf 6.2 zal hier verder op ingegaan worden, wanneer gekeken wordt naar de hoeveelheid pieken en dalen, en de keuze van een type zonnepaneel.



5.2.2. Uitleg omzetbare zonne-energie per vierkante meter zonnepaneel

De in paragraaf 5.2.1 verkregen data noemen niet de hoeveelheid zonne-energie die een zonnepaneel kan omzetten. Deze data gelden enkel wanneer de zon exact loodrecht op het zonnepaneel staat en als het rendement van het zonnepaneel 100% is. Dit is erg lastig met een rijdend voertuig en een roterende zon. De hoeveelheid zonne-energie die een zonnepaneel kan omzetten (genaamd I_{sun}) is afhankelijk van de locatie op de aardbol, de oriëntatie van het paneel, het totaal rendement van het paneel en de positie van de zon. Gezien het feit dat de afstand die het voertuig aflegt relatief klein is vergeleken met de afstand tussen het paneel en de zon, wordt verondersteld dat het middelpunt van de route gelijk is aan de locatie van het voertuig, -84,88 NB, -41,25 OL. De oriëntatie van het paneel en de positie van de zon doet er wel toe. Dit wordt uitgebeeld in de onderstaande figuur.



Figuur 19, Oriëntatiefactor van paneel & positie zon overzicht waarbij de grootte van het paneel niet veranderd is en de hoek waarop hij staat wel.

In figuur 19 is te zien dat het oppervlak waar het zonlicht opvalt, afneemt wanneer het paneel gekanteld wordt, de mate van afname is hierbij de oriëntatiefactor. Deze oriëntatiefactor is niet enkel van toepassing op het zij aanzicht, zoals hierboven weergegeven, maar werkt ook in het X, Y en Z vlak en geldt voor zowel direct zonlicht als diffuus zonlicht. Dit heeft dus invloed op de hoeveelheid zonne-energie die een zonnepaneel kan omzetten (I_{sun}). Voor I_{sun} geldt de formule:

$$I_{sun} = (I_{dir} * \eta_{dir} + I_{diff} * \eta_{diff}) \quad (1)$$

De oriëntatiefactor van direct zonlicht is η_{dir} en van diffuus zonlicht η_{diff} . Voor de bepaling van deze oriëntatiefactor η_{dir} en η_{diff} is gebruik gemaakt van een berekening met vectoren, omdat dit de enige correcte manier is waarop zowel het X, Y en Z vlak tegelijk meegenomen worden. De lengte van de vector $\mathbf{p}$ is één omdat deze verder niet gebruikt zal worden.

Omdat diffuse zonne-energie overal is en niet afhankelijk is van de positie van de zon (zolang er een zon is) geldt voor deze oriëntatiefactor dat:

$$\eta_{diff} = 0,5 * 0,5 * \cos(\varphi_{paneel}) \quad (2)$$

Hierbij is φ_{paneel} de verticale hoek van het paneel, ook wel de 'paneel-zenithhoek' genoemd. Deze varieert tussen 0 graden (recht naar boven) tot 90 graden (parallel aan horizon), zoals weergegeven in figuur 20. De formule van η_{diff} houdt geen rekening met de reflecterende omgeving. Gevolg is dat er een onderschatting gemaakt wordt wanneer met η_{diff} gerekend wordt. Dit is echter wel de manier die voorgeschreven wordt (Wiel, 2014). De grootte van deze onderschatting is onbekend en afhankelijk van de manier waarmee het diffuse zonlicht gemeten is. Hier zal in een later stadium onderzoek naar verricht moeten worden.

Omdat de directe zonne-energie van zowel de positie van het paneel als de positie van de zon afhankelijk is, is de formule van η_{dir} wat complexer:

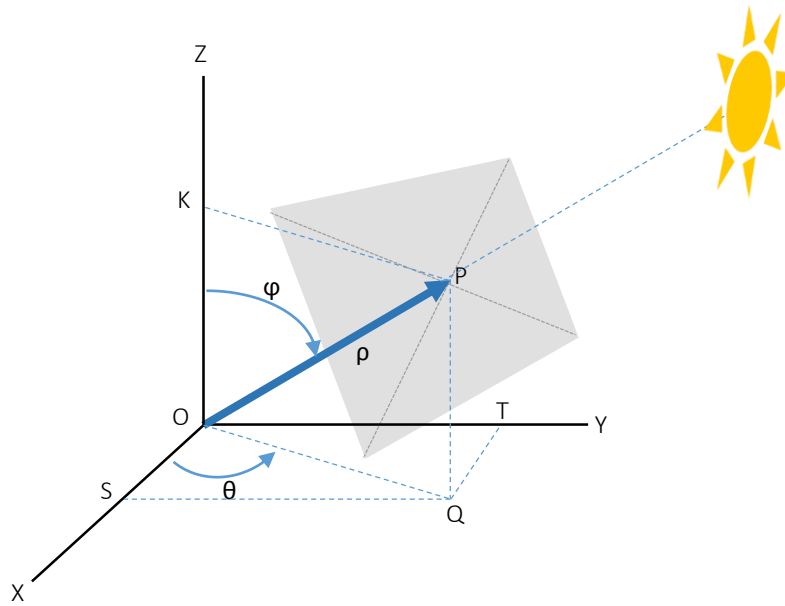
$$\eta_{dir} = \cos(\alpha) \quad (3)$$

Waarbij α de hoek is tussen de zonnestrallen en de normaal (loodrechte lijn op het midden van het zonnepaneel) van het zonnepaneel. Voor α geldt:

$$\alpha = 2 * \sin^{-1}(0,5 * R) \quad (4)$$

Waarbij vervolgens R de afstand tussen de twee vectornotaties (paneel en zon) is.

$$R = \sqrt{(X_{sun} - X_{paneel})^2 + (Y_{sun} - Y_{paneel})^2 + (Z_{sun} - Z_{paneel})^2} \quad (5)$$



Figuur 20, Hoeken en vectoren van paneel of zon, voor berekening van oriëntatiefactoren

De vectoren van het paneel komen voort uit de eerder genoemde paneel-zenithoek, φ_{paneel} (verticale hoek) en de paneel-azimuthhoek θ_{paneel} (horizontale hoek), zoals weergegeven in figuur 20. De vectoren worden verkregen door:

$$X_{paneel} = \sin(\varphi_{paneel}) * \sin(\theta_{paneel}) \quad (6)$$

$$Y_{paneel} = \sin(\varphi_{paneel}) * \cos(\theta_{paneel}) \quad (7)$$

$$Z_{paneel} = \cos(\varphi_{paneel}) \quad (8)$$

De vectoren van de zon komen voort uit het rekenmodel van NOAA en zijn net als bij het paneel de zon-zenithoek φ_{sun} (verticale hoek) en de zon-azimuthhoek θ_{sun} (horizontale hoek). Hiervoor geldt:

$$X_{paneel} = \sin(\varphi_{sun}) * \sin(\theta_{sun}) \quad (9)$$

$$Y_{paneel} = \sin(\varphi_{sun}) * \cos(\theta_{sun}) \quad (10)$$

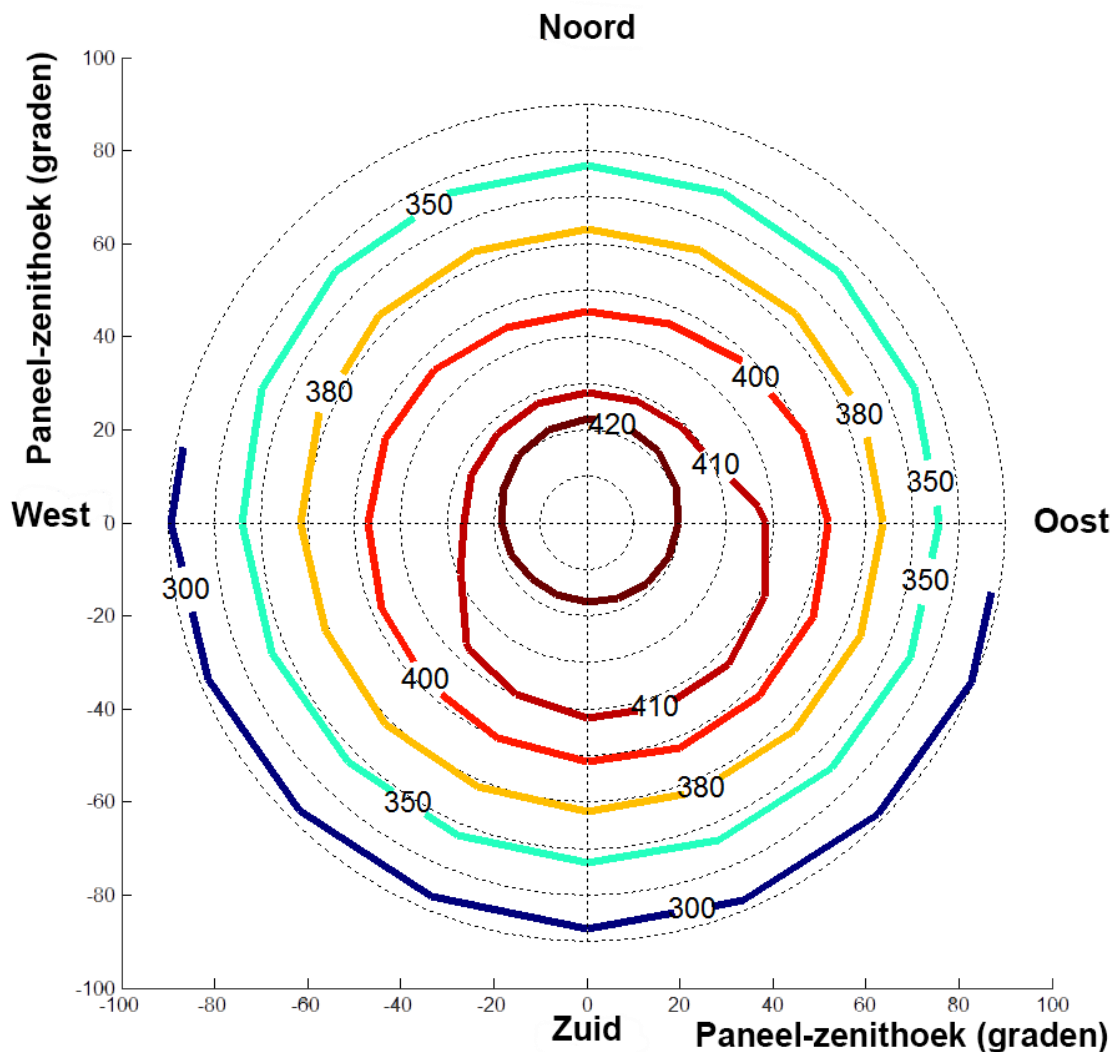
$$Z_{paneel} = \cos(\varphi_{sun}) \quad (11)$$

Met deze formules zal in de volgende paragraaf gekeken worden naar hoeveel zonne-energie een zonnepaneel van 1 m² nou gemiddeld zal vangen, afhankelijk van de oriëntatie. De invulling van de formules is gedaan in Excel aan de hand van de eerder gebruikte gegevens uit van figuur 18.



5.2.3. Zonne-energie aanbod op Antarctica

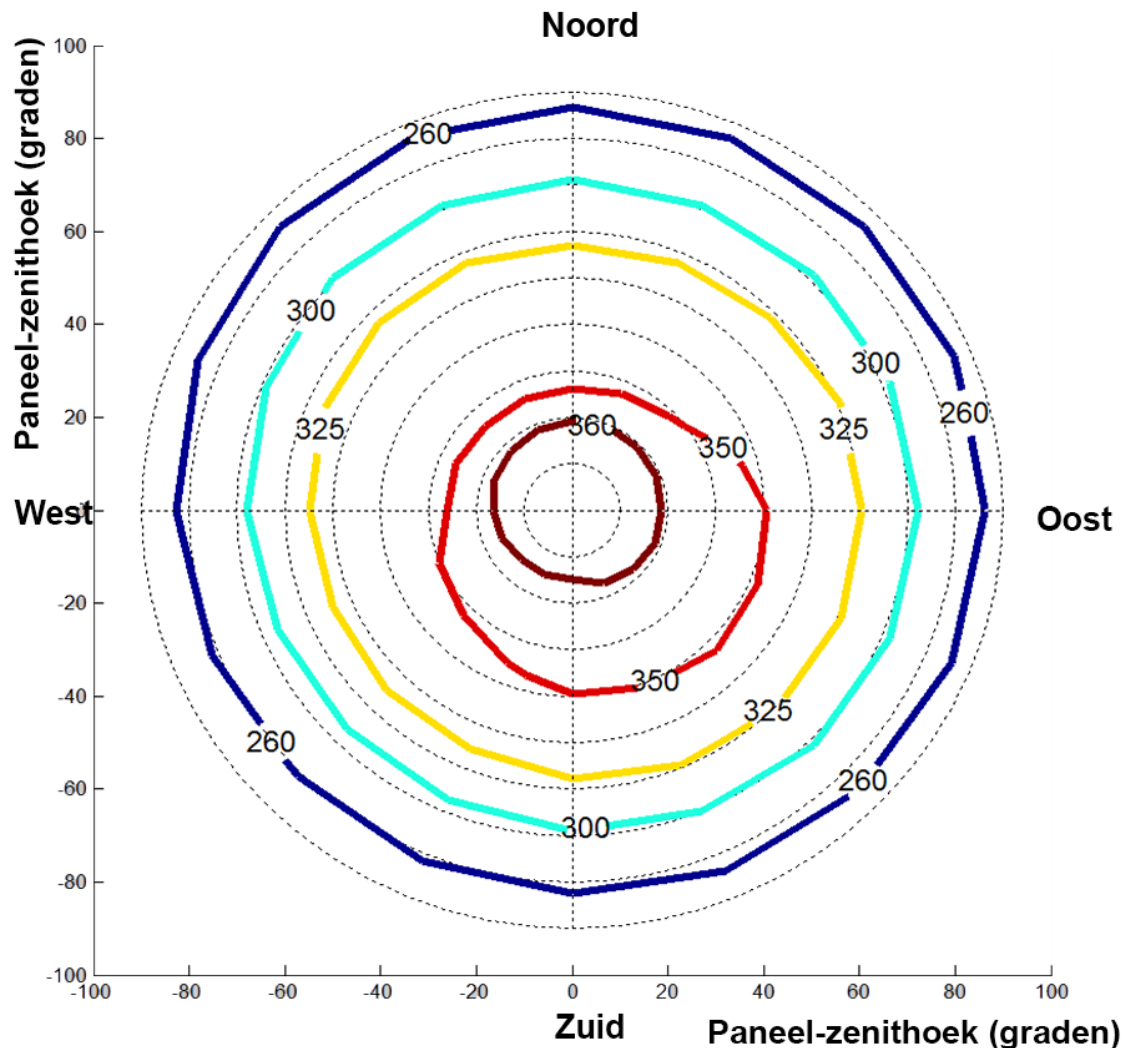
Wanneer alle hiervoor besproken formules en het rekenmodel correct zijn ingevuld, is het mogelijk om met de uitkomsten het diagram te creëren dat is weergegeven in figuur 21. Dit diagram geeft de gemiddelde hoeveelheid zonne-energie op een zonnepaneel van 1 m² per dag in de maand december aan. De paneel-zenithoek, φ_{paneel} hierbij hoort is links en onder weergegeven, en per tien graden in de weergegeven kringen. De paneel-azimuthoek, θ_{paneel} loopt rondom en is aangegeven als Noord, Oost, Zuid of West. Naast dit diagram zijn in bijlage vi nog grafieken weergegeven van de *Zon-declinatie*, de zon-azimuthoek tegenover de zon-zenithoek en de hoogte van de zon boven de horizon per uur van de dag. Ook is een vergelijkbaar diagram weergegeven als figuur 21, maar dan van het Solar Team Eindhoven.



Figuur 21, Gemiddelde zonne-energie aanbod, per paneel-zenithoek, per paneel-azimut hoek, op Antarctica



Voor meer zekerheid over de minimale hoeveelheid zonne-energie die een zonnecel per vierkante meter ontvangt is het onderstaande diagram gemaakt. Dit diagram lijkt op figuur 21, maar hierbij is enkel de 'low95' weergegeven. 'Low95' is een statistische term en betekent dat met 95 procent zekerheid gezegd kan worden dat de minimale hoeveelheid zonne-energie per vierkante meter (inclusief op bewolkte dagen) hoger ligt dan de berekende hoeveelheid. Van deze berekende hoeveelheden is figuur 22 gemaakt. Bij deze berekening is uitgegaan van een gemiddelde zonne-energie over veertien dagen (expeditietijd) waarbij als input de data van NOAA gebruikt zijn (U.S. Department of Commerce, 2014).



Figuur 22, Low95 zonne-energie aanbod, per paneel-zenithoek, per paneel-azimut hoek, op Antarctica

De berekening van de hoeveelheid zonne-energie op een zonnepaneel per vierkante meter kan vervolgens uitgeschreven worden tot een vermogen dat opgewekt wordt door alle zonnepanelen van het voertuig:

$$P_{sun} = I_{sun.totaal} * A_{paneel} * \eta_{paneel} \quad (12)$$

Deze formule zal verder uitgelegd worden in paragraaf 5.3.2, waarbij aan de hand van de verkregen grafieken onderzocht wordt wat de invloed van verschillende paneel-zenithoeken is op de totale opbrengst en met welke snelheid uiteindelijk verplaatst kan worden.



5.3. Vermogens berekeningen

Het rendement van zonnecellen kan tegenwoordig oplopen tot 44%, maar dit is enkel in de testomgeving van laboratoria (National Renewable Energy Laboratory, 2014). In de praktijk is het zo dat zonnecellen nog niet hoger dan een rendement van 25% komen, ondanks de buitentemperatuur (Wiel, 2014). Voor de snelheid waarmee gereden kan worden is naast het rendement ook het aantal vierkant meter zonnepaneel en de oriëntatierichting hiervan belangrijk. Maar het allerbelangrijkste is het gevraagde vermogen: deze vraag zal als eerste beantwoord moeten worden, willen we een uitspraak over de snelheid kunnen doen.

5.3.1. Gevraagd vermogen van het voertuig

Opmerking: in de onderstaande berekening is het vermogen om over Sastrugi te komen niet meegenomen. Dit vermogen is een piekvermogen en zal grotendeels komen uit de batterij. Wel zal hier in paragraaf 5.3.2 rekening mee gehouden worden.

Voor het verwachte vermogen dat een voertuig (de motoren) zal vragen bestaan enkele standaard formules in de automotive industrie. Om te beginnen de formule voor de rolweerstand keer de snelheid die het rolvermogen vormt, P_{rol} in Watt.

$$P_{rol} = \mu_{rol} * m * g * v \quad (13)$$

Waarin geldt:

μ_{rol}	=	Rolweerstandscoefficiënt [-]
m	=	Massa [kg]
g	=	Gravitatieconstante [m/s ²]
v	=	Snelheid [m/s]

Als tweede de formule voor de kracht die het kost om tegen een helling op te rijden, keer de snelheid vormt $P_{helling}$ in Watt.

$$P_{helling} = m * g * \beta * v \quad (14)$$

Waarin geldt:

m	=	Massa [kg]
g	=	Gravitatieconstante [m/s ²]
β	=	Hellingshoek [graden]
v	=	Snelheid [m/s]

Als derde de formule voor de kracht die het kost om tegen de wind in te rijden, keer de snelheid vormt P_{wind} in Watt.

$$P_{wind} = 0,5 * \rho * C_d * A_{frontaal} * (v * v_w) * v \quad (15)$$

Waarin geldt:

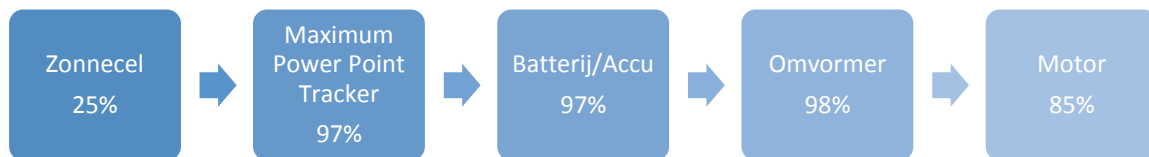
ρ	=	Luchtdichtheid [kg/m ³]
C_d	=	Luchtweerstand coëfficiënt [-]
$A_{frontaal}$	=	Frontaal oppervlak [m ²]
v	=	Snelheid [m/s]
v_w	=	Windsnelheid [m/s]

Gezamenlijk leiden deze formules met het motorrendement η_{motor} en het overige gevraagde vermogen voor bijvoorbeeld communicatie en navigatie P_{aux} tot de formule van $P_{voertuig}$.

$$P_{voertuig} = \frac{P_{rol} + P_{helling} + P_{wind}}{\eta_{motor}} + P_{aux} \quad (16)$$

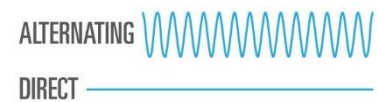
De benodigde parameters, waarden, eenheden en uitleg zijn weergegeven in tabel 6. Het elektrisch rendement van een zonnevoertuig is gebaseerd op de standaard elektrische onderdelen van een zonnevoertuig, zoals weergegeven in figuur 23.





Figuur 23, Elektrisch rendement, standaard indeling van zonne-energie voertuigen, per onderdeel (Collard A. , 2014; Wiel, 2014)

In het bovenstaande figuur is een omvormer weergegeven. De toepassing hiervan is afhankelijk van de exacte keuze van de elektromotor en is niet enkel om van Direct Current naar Alternating Current te gaan, maar kan ook van een Direct Current een andere soort Direct Current te maken (wisseling in voltage en ampère). Deze wisseling is soms nodig omdat bijvoorbeeld een zonnepaneel een Direct Current geeft terwijl een motor efficiënter werkt op Alternating Current. Hier zal later in paragraaf 6.2.5. dieper op ingegaan worden bij de verdere motor specificatie. Onderdelen als een Motor Control Unit zijn niet weergegeven in figuur 23 omdat dit 'low voltage' systemen zijn en voor het totaal rendement geen tot nauwelijks (<2%) invloed zullen hebben. De Motor Control Unit zal toegelicht worden in paragraaf 6.2.5 als ook dieper ingegaan word op het elektrische systeem.



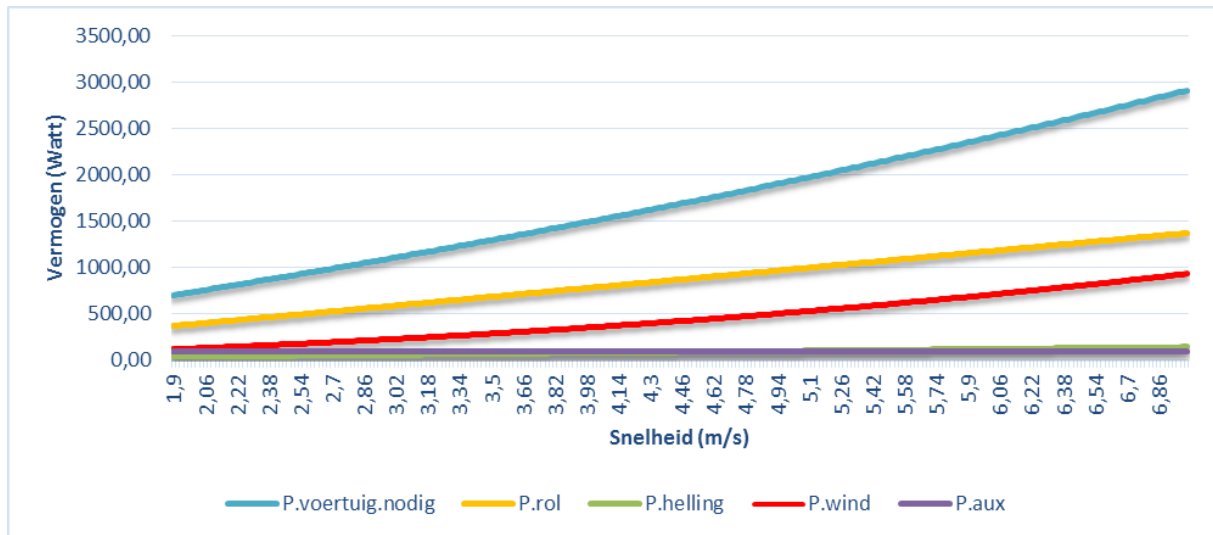
Figuur 24, AC & DC stroom voorbeeld

Tabel 6, Parameters voor de berekening van het benodigd vermogen van het voertuig

Symbool	Parameters	Waarde	Eenheid	Toelichting
P_{aux}	Overig benodigd vermogen	100,00	Watt	Benadering n.a.v. overleg met teamlid van Solar Team Eindhoven, voor communicatie, mogelijk verwarming en navigatie (Wiel, 2014) en met de opdrachtgever (Cornelissen, 2014)
ρ	Luchtdichtheid	1,225	kg/m^3	n.a.v. gevonden waarde (Bolonkin & Cathcart, 2006)
C_d	Luchtweerstand coëfficiënt	0,40	-	Gemiddelde tussen een vrachtwagen en een personenauto (The Engineering Toolbox, 2014)
$A_{frontaal}$	Frontaal oppervlak	2,00	m^2	Gemiddelde tussen verschillende off-road voertuigen (The Mayfield Company, 2001)
v	Snelheid		m/s	Afhankelijk van vermogen dat gegenereerd kan worden door zonnepanelen
v_w	Windsnelheid	9,50	m/s	Zie paragraaf 3.1.2
U_{rol}	Rolweerstand coëfficiënt	0,02	-	Off-road band op ijs of hard gepakte sneeuw (HP Wizard.com, 2014).
m	Massa	1000,00	Kg	Zie onderbouwing in bijlage v
g	Gravitatieconstante	9,80	m/s^2	Gemiddelde waarde op aarde
θ	Hellingshoek	0,21	<i>Graden</i>	Zie paragraaf 3.1.1
n_{motor}	Rendement motor(en)	85	%	Rendement van goed gekozen elektromotor (The Engineering Toolbox, 2014)
$n_{elektrisch\ systeem}$	Rendement elektrisch systeem	92	%	Maximum Power Point Tracker rendement, batterij/accu rendement en omvormer rendement, zie figuur 23

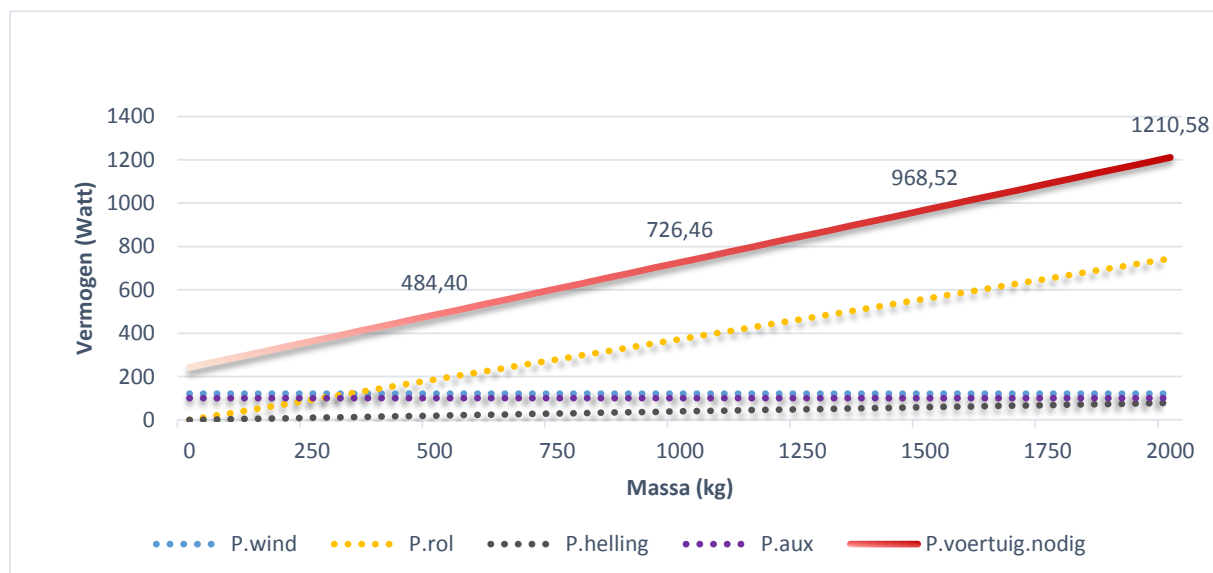


In de bovenstaande tabel is bij de snelheid (v) geen waarde ingevuld. Dit is omdat deze afhankelijk is van het vermogen dat door de zonnepanelen gegenereerd wordt. Er is echter wel een wens voor de minimale snelheid: 164 km/dag (zie paragraaf 3.2.1). 164 km/dag staat in het worst-case scenario, 24 uur per dag non-stop rijden, gelijk aan 6,83 km/h = 1,90 m/s. Vanaf deze minimale snelheid is het benodigde vermogen weergegeven in figuur 25.



Figuur 25, Benodigd vermogen - snelheid diagram, per snelheid het benodigd soort vermogen

Naast de afhankelijkheid tussen het benodigd vermogen en de snelheid is er ook een zeer belangrijke afhankelijkheid tussen het benodigd vermogen en de massa van het voertuig. Deze verhouding is duidelijk te zien in figuur 26 waar de massa is uitgezet tegen het benodigd vermogen. Deze verhouding is lineair zoals aan de rode P_{voertuig.nodig} trendlijn te zien is. In figuur 26 is de snelheid constant op 1,9 m/s gehouden.



Figuur 26, Invloed massa op benodigd vermogen, per massa het benodigd soort vermogen



5.3.2. Combinatie van gevraagd en beschikbaar vermogen

Voor het rijden van minimaal 1,90 m/s is een vermogen nodig van minimaal 704,37 Watt (zie figuur 25).

Wanneer er vanuit gegaan wordt dat het voertuig zonder extra toevoeging van een batterij rijdt (P_{voertuig} is gelijk aan P_{sun}), zal de gevraagde hoeveelheid energie gelijk zijn aan de hoeveelheid beschikbare zonne-energie van de zonnepanelen. Er geldt dan:

$$P_{\text{voertuig}} = P_{\text{sun}} \quad (17)$$

De formule in (12) komt hierbij van pas want:

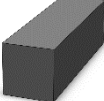
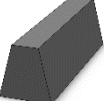
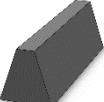
$$P_{\text{sun}} = I_{\text{sun.totaal}} * A_{\text{paneel}} * \eta_{\text{paneel}} \quad (12)$$

Hierbij is η_{paneel} 25% omdat dit de maximale waarde is van een polykristallijne zonnecel (Alles over zonnepanelen, 2012; Wiel, 2014).

De vraag is nu, hoeveel $I_{\text{sun.totaal}}$ en A_{paneel} is er beschikbaar?

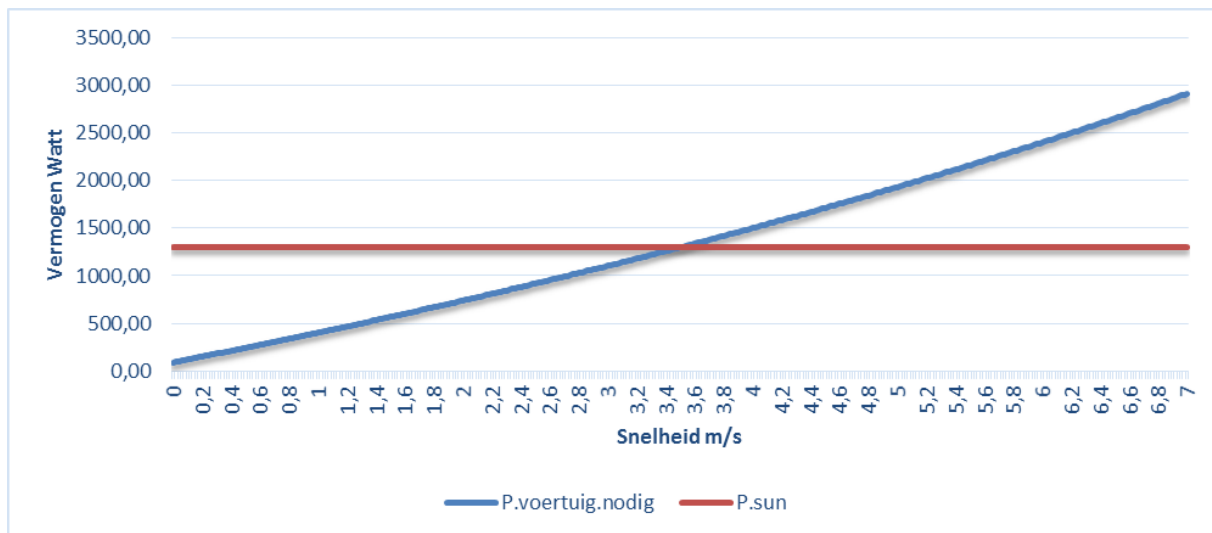
Met de formule in (12) kan voor een aantal verschillende ontwerpen een overzicht gemaakt worden van het oppervlak, de oriëntaties en het op te brengen vermogen. De invloed van de hoek die de zijwanden van het voertuig maken (links en rechts), op het op te wekken vermogen, is in tabel 7 weergegeven. Hierbij is een voertuigbody als zwarte doos beschouwd, met de helft van de maximale hoogte en breedte afmetingen. Voor de lengte is een derde van de maximale lengte, zoals in paragraaf 3.2.8 beschreven, gebruikt. De rijrichting is naar de *Geografische Zuidpool* en op het voorste vlak zijn geen zonnepanelen geplaatst voor het zicht van de expeditieleden.

Tabel 7, Vermogen opbrengst bij verschillende zenithoeken van linker en rechter paneel

Type	Zenit hoek	η paneel	Links		Rechts		Boven		Achter		Totaal
			I_{sun} Watt/ m^2	A	I_{sun} Watt/ m^2	A	I_{sun} Watt/ m^2	A	I_{sun} Watt/ m^2	A	P_{sun}
	0°	25%	297,49	4,78 m^2	301,23	4,78 m^2	439,07	4,70 m^2	288,83	1,40 m^2	1332,46 Watt
	0° & 13,8°	25%	427,90	4,92 m^2	429,68	4,92 m^2	439,07	2,35 m^2	288,83	1,05 m^2	1388,60 Watt
	0° & 18,2°	25%	419,37	5,03 m^2	421,79	5,03 m^2	439,07	1,57 m^2	288,83	0,93 m^2	1299,29 Watt
	26°	25%	409,30	5,33 m^2	412,83	5,33 m^2	439,07	0 m^2	288,83	0,7 m^2	1146,04 Watt

Het gemiddelde vermogen dat een ontwerp oplevert is nu bekend. Dit vermogen is afhankelijk van het gemaakte ontwerp en kan nu samen met P_{voertuig} in een diagram geplaatst worden, zie figuur 21.





Figuur 27, Snelheid – benodigd & beschikbaar vermogen diagram, per snelheid het benodigde en beschikbare vermogen

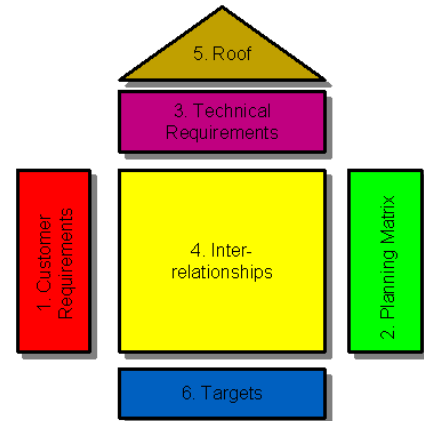
In het bovenstaande figuur is het tweede type gebruikt dat is weergegeven in tabel 7. Het snijpunt tussen P_{voertuig} en P_{sun} (op 3,5 m/s) bestaat uit de snelheid en het bijbehorende vermogen waarbij theoretisch voldoende energie aanwezig is en tevens geen energie verspild zal worden. De dagafstand zal bij dit ontwerp in 13 uur gehaald worden.



5.4. Quality Function Deployment toepassing

Nu alle eisen en wensen overzichtelijk weergegeven zijn, kan de volgende stap in het ontwerpproces genomen worden: het omzetten van eisen en wensen in ontwerpeisen. Ontwerpeisen zijn de technische kenmerken waaraan het ontwerp zal moeten voldoen. Niet alle eisen en wensen kunnen worden omgezet naar ontwerpeisen. Alle eisen en wensen waarbij dit wel mogelijk is zijn meegenomen in deze stap.

Terwijl deze koppelingen gemaakt worden is het belangrijk ook inzicht te verkrijgen in de invloeden van de eisen op elkaar. Dit komt doordat mogelijk één eis grote invloed heeft op de gestelde eis van een andere functie. Een Quality Function Deployment (QFD) diagram bestaat uit verschillende onderdelen en kan zeer uitgebreid tot compact gebruikt worden. Figuur 28 geeft aan welke gebieden het QFD-diagram heeft. Een overzicht van de onderlinge invloeden van de eisen wordt weergegeven in een QFD-diagram, zoals weergegeven in figuur 29. De invulling van het 'interrelationships' deel is gedaan door de vraag te stellen: 'als de eis of wens (links) groter wordt, wat gebeurt er dan met de technische kenmerken?'. De invulling van het 'roof' deel is gedaan door de vraag te stellen: 'Als technisch kenmerk nummer één groter wordt, wat gebeurt er dan met technisch kenmerk nummer twee?' enzovoort.



Figuur 28, Schematische weergave QFD-diagram. Overgenomen van: (Produlog, sd)

Figuur 29 laat in het 'interrelationship' deel een diagonale lijn van (min) negens zien. Dit komt doordat per eis een technisch kenmerk toegewezen is. Afwijkend van deze lijn is te zien dat het volume en de massa een matige negatieve invloed hebben op veel eisen. Dit zijn dus zeer belangrijke technische kenmerken waar tijdens het ontwerpproces en het keuzeproces aandacht aan besteed zal moeten worden. Ook is in het dak ('roof') te zien dat het gewicht grote invloed heeft op de klimhoek en gronddruk, die vervolgens grote negatieve invloed heeft op de overbruggingsafstand. Deze resultaten uit het QFD-diagram zijn later bij de beoordeling van oplossingen gebruikt en zijn van invloed op de conceptringingen.



Beoordelingsschaal:

1 = Kleine invloed, -1 = Kleine negatieve invloed

3 = Matige positieve invloed, -3 = Matige negatieve invloed

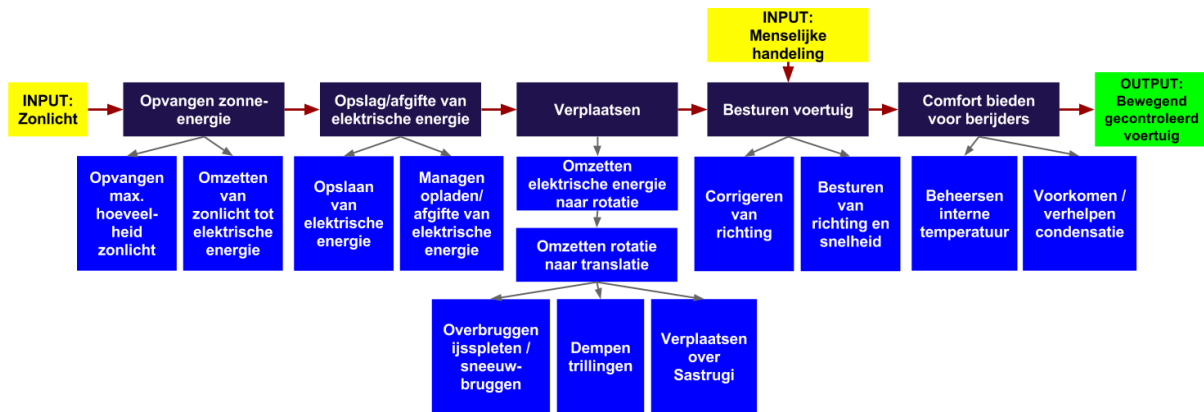
9 = Grote positieve invloed, -9 = Grote negatieve invloed

Richting van verbetering →																	
Technische kenmerken →																	
← Eis/wens nummer	Klant eisen en wensen ↓																
		Elektrische vermogen [watt]	Afstand [km]	Snelheid [km/dag]	Overbruggingsafstand [mm]	Klimhoek [graden]	Bodemvrijheid [mm]	Temperatuur (buiten) [Celsius]	Windsnelheid [m/s]	Gronddruk [kg/cm ²]	Luchtdruk [hpa]	Volume [mm ³ *mm ³]	Massa [kg]	Tijd [s]	Levensduur [jaren]	Temperatuur (binnen) [Celsius]	Zonkracht [-]
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Aangedreven door zonne-energie	9	9	9		3			3			3	1	3	3		3
2	Af te leggen afstand		9	1	-3	-3					3	-3	-3	-1			
3	Overbruggen gletsjerspleten/sneeuwbruggen	1	-1	-3	9		-1			-9		-3	-3	1			
4	Verplaatsen over Sastrugi	9	-1	-9		9	9		-1			3	-3	1	-1		
5	Bestand tegen lage temperaturen	-3						9					3		1		
6	Bestand tegen windstoten		-1	-3				-1	9			-3	1		3		
7	Functioneren bij tegenwind	9	3	3								-3		3		1	
9	Zo laag mogelijke gronddruk	3	1	1	3					9			9				
10	Op hoogte voortbewegen			-1							9						3
11	Passen in een zeecontainer	1		1						3		9	3				
13	Voertuig snel te verlaten											1		9		1	
15	Volledige autonomie		-3									9	9	9			
19	Thermisch confort in voertuig							1	-1			1	1			9	
20	Bescherming tegen zonlicht		1	1												-3	9
22	Bescherming tegen trillingen		3	3									3	9			
24	Volledig te verwijderen											-3	-3		1		
Streefwaarde →		Nog onbekend	2300	164	2000	30	300	+35 tot -45	13,8	0,13		12032x 2345x 2385	<1000		10	Nog onbekend	7-8

Figuur 29, Quality Function Deployment diagram, per eis en per technisch kenmerk gemaakte beoordeling

6. Functies van het voertuig

Om een machine, wat de conceptringing uiteindelijk zal zijn, te ontwerpen is het altijd belangrijk om een overzicht van de uit te voeren functies te maken. Dit zorgt voor overzicht en geeft ook duidelijk aan wat de machine zal moeten gaan doen. Hieronder is een overzicht weergegeven van de hoofdfuncties en deelfuncties die het voertuig zal moeten vervullen. Dit overzicht is een combinatie van een functieblokschema (donkerblauw) en een functieanalyse (lichtblauw) en weergeeft zowel de processtappen als sub-processtappen.



Figuur 30, Functieoverzicht van het voertuig, per hoofdfuncties en per sub-functies

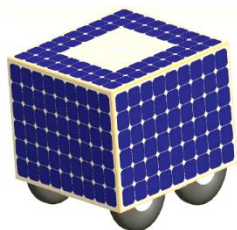
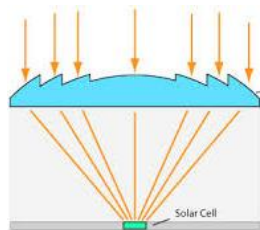
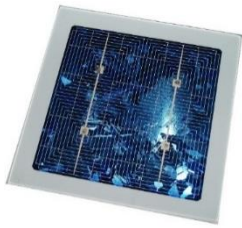
6.1. Oplossingsmogelijkheden

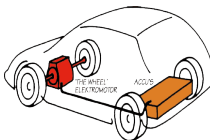
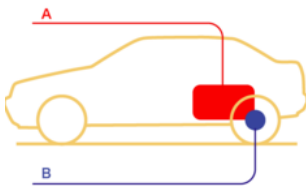
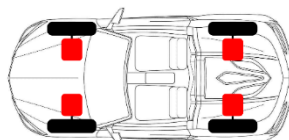
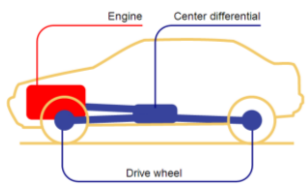
Er zijn verschillende oplossingen mogelijk om de bovenstaande functies in te vullen. Deze oplossingen zijn verzameld door literatuuronderzoek en desktop research naar vervoersmiddelen en andere gebruiksvoorwerpen waar de functies toepassing op hebben. De resultaten van dit onderzoek zijn uitgezet in tabel 8, zodat hier een duidelijk overzicht van ontstaat, samen met de bron van de oplossing. In deze tabel zijn niet alle mogelijk denkbare oplossingen weergegeven maar aangenomen mag worden dat een afdoende spectrum bedekt wordt door de gekozen oplossingen.

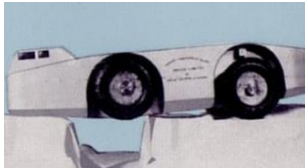
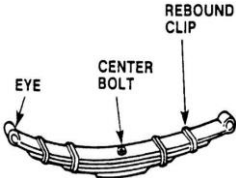
Na tabel 8 zal dieper ingegaan worden op de oplossingsmogelijkheden, en paragraaf 6.2 gaat in op de voor- en nadelen van deze oplossingen. In deze paragraaf zal besloten en onderbouwd worden of een oplossing weergegeven wordt in de morfologische matrix. In tabel 8 is het voertuig, project of voorwerp vanwaar de oplossingsmogelijkheid is afgeleid onder iedere oplossing met schuingedrukte letters weergegeven.

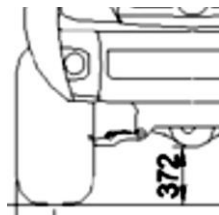
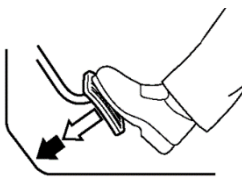


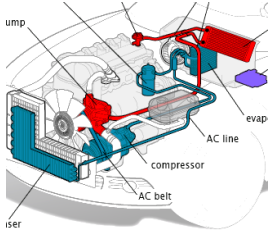
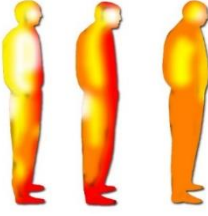
Tabel 8, Oplossingsmogelijkheden, per functies mogelijk oplossingen

Nr.	Hoofdfuncties	Deelfuncties	Technische oplossingen			
			OPTIE 1	OPTIE 2	OPTIE 3	OPTIE 4
F1	Opvangen zonne-energie					
F1.1.		Opvangen zonlicht				
			Meebewegend zonnepaneel	Vast gepositioneerde zonnecellen	Zonnecellen positioneren op aanhanger	Zonlicht ombuigen naar zonnecel via een lens
			<i>Solar Dog project</i>	<i>Cool Robot</i>	<i>Green Tow project</i>	(Bullis, 2007)
F1.2.		Omzetten zonlicht – elektrische energie				
			Losse fofovoltaïsche cellen	Flexibele fofovoltaïsche cel	Fofovoltaïsche paneel	
			<i>Team Antarctica 1</i>	<i>Team Plastique Sailor</i>	<i>NASA Grover project</i>	

F2	Opslag/afgifte elektrische energie					
F2.1.		Opslag elektrische energie				
			LiFePo4 batterij met stevige behuizing voor extreme toepassing	Na-NiCl2 (Gesmolten zout batterij)	Klep gereguleerde lood batterij voor extreme toepassing	
			<i>Lupo project</i>	<i>Solar Taxi project</i>	<i>Yuasa motorfietsen</i>	
F2.2.		Managen opslag/afgifte				
			Battery Management System			
			<i>Stella project</i>			
F3	Verplaatsen					
F3.1.		Omzetten elektrische energie naar rotatie				
			1x elektromotor	2x elektromotor	4x elektro motoren	1x elektromotor met differentieel
			<i>Tesla model S</i>	<i>AMP Holding inc. project</i>	<i>Clearpath Grizzly project</i>	<i>Mitsubishi 4WD system</i>

F3.2.		Omzetten rotatie naar translatie				
			Rupsbanden	Off-road banden met extra lage druk	Ski's / geleiders	Holle gelaste buizen met opgeblazen stevige band
			<i>Venturi Antarctica Project</i>	<i>Arctic Truck tires</i>	<i>Lotus project</i>	<i>Yemelya project</i>
F3.3.		Overbruggen ijsspleten/ sneeuwbruggen				
			Rijplaten waarover het voertuig zich verplaatst	Met ankerpunt, hefboom en lier voor voorttrekken	Glijden op bodemoppervlak en voortduwen met wielen	
			<i>Yemelya project</i>	<i>Yemelya project</i>	<i>Snow Cruiser project</i>	
F3.4.		Dempen trillingen				
			Bladveren van verschillende lagen	Wiel draagarm met springveren en demper	Demping in banden door lage druk in band	
			<i>Nissan Cabstar</i>	<i>AMP Off-road vehicle</i>	<i>Arctic Truck tires</i>	

F3.5.		Verplaatsen over Sastrugi				
			Grote klimhoek zodat obstakels worden overwonnen	Bodemvrijheid om vastlopen te voorkomen		
			Arctic Truck projects	Arctic Truck projects		
F4	Besturen voertuig					
F4.1.		Corrigeren van richting				
			Differentieel sturen door de wielen apart te controleren	Stuurstangen zoals in vele auto's gebruikt wordt	Draaien in midden van voertuig zoals bij een graafmachine	
			Clearpath Grizzly project	Arctic Truck projects	Foremore Delta II	
F4.2.		Besturen van richting en snelheid				
			Stuur met losse gas- en rempedaal inrichting	Stuur met snelheidscorrectie in de vorm van flippers	Sturen met een joystick die een stuurstang systeem aanstuurt en de snelheid controleert	
			Arctic Truck projects	Braun EnterVan	Toyota's i-Real	

F5	Comfort bieden					
F5.1.		Beheersen interne temperatuur				
			Donker uiterlijk voor opvang van zonnestraling en opwarming voertuig	Verwarming zoals bij vele andere voertuigen gebruikt wordt	Geen beheersing maar eigen controle per expeditielid d.m.v. kleding	Opwarming d.m.v. lichaamswarmte van de expeditieleden
			<i>Team Antarctica</i>	<i>Arctic Truck projects</i>	<i>Arctic Truck projects</i>	<i>Arctic Truck projects</i>
F5.2.		Voorkomen / verhelpen condensatie				
			Meerdere lagen ruit waardoor de temperatuur overgang minder groot wordt	Vocht absorberende kunststof achter ruit zodat condens direct geabsorbeerd wordt	Blazers op voorruit zodat het temperatuurverschil minder wordt en condens niet neerslaat	
			<i>Arai GP-6 serie vizier</i>	<i>Pinlock anticondens</i>	<i>Arctic Truck projects</i>	

6.2. Voor- en nadelen oplossingen voor functies

Door het maken van het overzicht van oplossingen kwamen vragen naar boven en werd duidelijk dat voor een aantal oplossingen verdieping nodig was. Deze verdieping was nodig om voor enkele oplossingen al een goed gefundeerde keuze te maken en toe te werken naar een steeds meer gedetailleerde conceptrichtingen. Per functie is hieronder voor de oplossingen van deze functies een verdere detaillering gemaakt. Deze detaillering bepaalt of een functie opgenomen wordt in het morfologische overzicht en/of de conceptrichtingen en hoe het beste invulling geven kan worden aan deze oplossing.

6.2.1. Functie 1.1. Opvangen zonlicht

Het opvangen van zonlicht is essentieel omdat het voertuig volledig aangedreven zal moeten zijn door de zon, zie hoofdstuk 4, programma van eisen. Dit kan op vier manieren, zoals aangegeven is in tabel 8. Per oplossing zal hieronder ingegaan worden op de specificaties en de mogelijkheden van deze oplossing.

6.2.1.1. Optie 1, Met de zon meebewegend zonnecellen op het voertuig

Deze optie kan de maximale hoeveelheid zonne-energie opvangen wanneer goed afgesteld. Dit komt doordat het gehele paneel zo georiënteerd kan worden dat hij loodrecht op de zon staat en het meeste zonlicht zal opvangen en kunnen omzetten. Dit zal echter wel constante bijsturing vragen aangezien de hoogte van de zon constant verandert (zie bijlage vi). Dit zal door de bestuurder of door servomotoren gedaan moeten worden, wat van beide energie vraagt en hiernaast zal het paneel zowel in X-Y richting, als X-Z richting kantelbaar moeten zijn, wat de constructie technisch ingewikkelder zal maken. Dan is nog niet gesproken over de veiligheid tegen opstekende windstoten zoals besproken in paragraaf 3.1.2. Ondanks dit is deze oplossing door zijn hoge rendement wel opgenomen in de morfologische matrix.

6.2.1.2. Optie 2, Vast gepositioneerde zonnecellen

Het vast positioneren van zonnecellen op het voertuig heeft als voordeel dat de zonnecellen een dubbele functie krijgen; opvangen en omzetten van zonlicht en het vormen van een wand van het voertuig. Deze tweede functie kan ook dienen als isolatie of deels als zonnecollector. Een nadeel van het vast positioneren is dat de ruimten onder de zonnecellen minder toegankelijk worden en dat wanneer deze toegankelijk gemaakt zijn, het elektrisch (gevoelige) systeem open en bloot komt te liggen. Dat deze optie per definitie minder rendement levert dan optie 1 is niet te zeggen, omdat optie 1 niet kantelbaar is in X-Z richting, en hier dus minder zal opvangen dan de zonnecellen gepositioneerd aan de voor/achterkant van het voertuig.

6.2.1.3. Optie 3, Zonnecellen op een aanhanger

Deze optie is interessant wanneer het voorttrekken van de aanhanger minder energie kost dan de aanhanger opwekt. Voor deze berekening zijn dezelfde formules als in paragraaf 5.3 gebruikt en is uitgegaan van de volgende parameters:

Tabel 9, Parameters voor de benodigde vermogensberekening aanhanger

Uit deze berekening blijkt dat het vermogen om een aanhanger van 300 kilogram (schatting van constructie gewicht, 200 kg, en het gewicht van de zonnepanelen, 100kg) voort te trekken gemiddeld 621 Watt is. Dit vermogen zal al door twee horizontaal geplaatste panelen opgebracht kunnen worden (zie figuur 22). Dit is dus een zeer rendabele oplossing omdat hij meer opbrengt dan hij vraagt. Hoe groter het zonnecel oppervlak en de oriëntatie, hoe hoger het vermogen.

Parameters			
<u>Parameters</u>	<u>Waarde</u>	<u>Eenheid</u>	<u>Symbool</u>
Luchtdichtheid	1,23	kg/m ³	p1
Luchtweerstand coëfficiënt	0,40	-	C.d
Frontaal oppervlak	1,50	m ²	A.f
Snelheid	4,00	m/s	v
Windsnelheid	9,50	m/s	v.w
Rolweerstand coëfficiënt	0,02	-	u.rol
Massa	300,00	kg	m
Gravitatieconstante	9,80	m/s ²	g
Hellingshoek	0,21	deg	β
Rendement motor(en)	85,00	%	n.motor
Overig nodig vermogen	0,00	Watt	P.aux

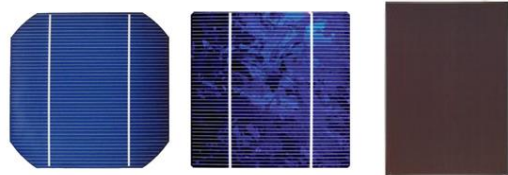


6.2.1.4. Optie 4, Ombuigen van zonlicht

Het ombuigen van zonlicht kan gezien worden als het focussen van zonlicht op een zonnecel. Dit vergroot de intensiteit van het zonlicht per zonnecel en dus het omzetbare vermogen. Nadeel hiervan is dat je lenzen nodig zal hebben om het zonlicht te focussen en dat de zonnecellen sneller oververhit raken door de verhoogde intensiteit. Wanneer dit gebeurt, zijn de zonnecellen onbruikbaar. Ook zijn lenzen zwaar in gewicht of juist erg lichtgewicht, denk aan flexibele lenzen, maar gevoelig voor wind (resonantie specifiek). Omdat optie vier waarschijnlijk zal zorgen voor een toename in gewicht of niet bestand zal zijn tegen de extreme omstandigheden zal optie vier niet meegenomen worden in de morfologische matrix.

6.2.2. Functie 1.2. Omzetten zonlicht – elektrische energie

Alle varianten weergegeven in tabel 8 zijn uit te rusten met fotovoltaïsche (PV) cellen, specifiek amorge, mono-kristallijne en polykristallijne (zie figuur 31) zonnecellen. Voor fotovoltaïsche cellen is gekozen omdat dit de meest toegankelijke en efficiënte zonnecel op de particuliere markt is van vandaag.



Figuur 31, Mono-, polykristallijn en amorge cellen.
Aangepast van: (Solar4you, 2012)

6.2.2.1. Prestaties bij (on)bewolkte dagen

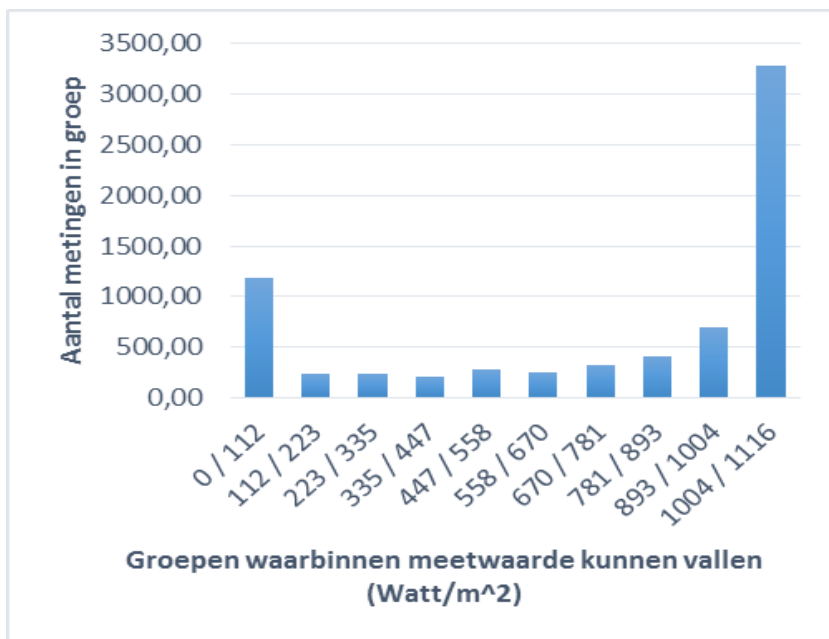
Uit onderzoek van de Universiteit Sains Malaysia, Pul Pinang blijkt dat er verschillen zijn tussen het rendement bij bewolking van verschillende type zonnecel. Ondanks dat dit onderzoek gedaan is in Maleisië zijn de resultaten te gebruiken, omdat de verklaring van de verschillen onafhankelijk is van de omgevingsvariabelen. Uit dit onderzoek komt naar voren dat amorge cellen een $\pm 3\%$ hoger rendement hebben tijdens een bewolkte dag dan polykristallijne cellen, en een $\pm 7\%$ hoger rendement dan mono-kristallijne cellen. Op onbewolkte dagen had een polykristallijne cel het hoogste rendement, $\pm 11\%$ hoger dan mono-kristallijn en maar liefst $\pm 36\%$ hoger dan amorf. Het grote verschil tussen deze data is te verklaren aan de hand van de structuur van het silicium van de zonnecellen. Een mono-kristallijne cel bestaat uit een siliciumkristal, een polykristallijne cel bestaat uit meerdere siliciumkristallen en een amorge cel bestaat uit een dunne film van silicium. Doordat een amorge cel niet bestaat uit kristallen (en dus een vaste oriëntaties van atomen heeft) zou een amorge cel meer diffuus zonlicht kunnen opvangen en kunnen omzetten tot elektrische energie. Dit doet hij met een rendement van 14% (Azhar Ghazali & Abdul Rahman, 2012). Diffuus zonlicht zal verder worden toegelicht in paragraaf 5.2.1.

6.2.2.2. Bewolkingstijd

Vanuit meetdata van de maand december, gemeten over de jaren van 2004 tot en met 2013, van het Amerikaanse Ministerie van Handel, specifiek van NOAA (U.S. Department of Commerce, 2014) is te bepalen hoeveel procent van de tijd het bewolk zal zijn op de route van Union Glacier naar *Antarctica*. Hierbij wordt aangenomen dat de gemeten data van de *Geografische Zuidpool* gelden voor de gehele route. Dit is de enige optie gezien het feit dat er geen data bekend zijn van Union Glacier.

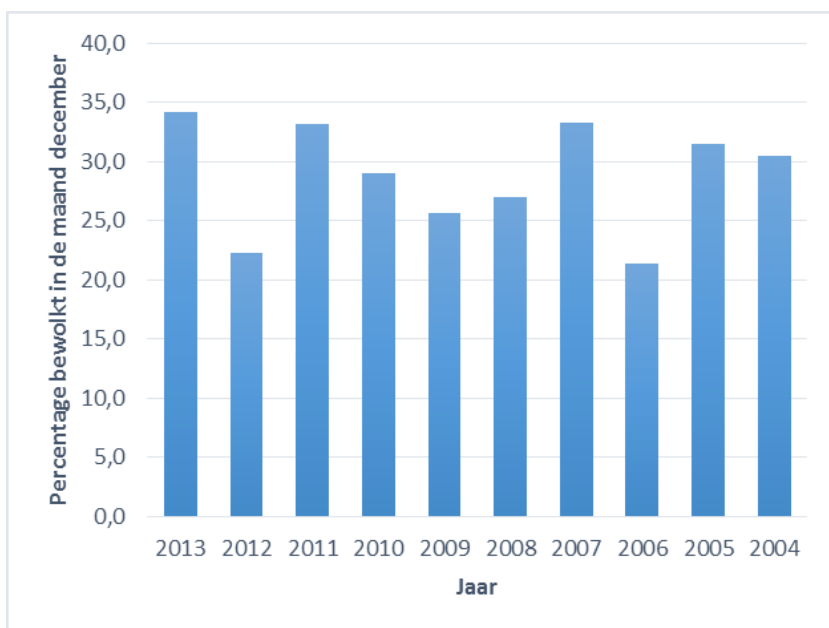
Voor het bepalen van de bewolkingstijd is gekeken naar de hoeveelheid gemeten direct zonlicht (gemiddelde per uur). Deze waarde wordt beïnvloed door de hoeveelheid wolken en geeft een indicatie van hoeveelheid bewolking. In figuur 32 is duidelijk te zien dat de eerder gemaakte aanname dat het of bewolkt, of onbewolkt is, en zelden "half"-bewolkt is correct was. Duidelijk pieken zijn zichtbaar in de frequentie van de groep nul tot 112 Watt/m² en 1005 tot 1116 Watt/m².





Figuur 32, Histogram van meetdata, per categorie het aantal metingen

Voordat bepaald kan worden of het bewolkt/onbewolkt is zal eerst een frequentiegrens bepaald moeten worden. Deze grens is vastgesteld op 558 Watt/m² omdat dit exact het midden is tussen de minimale waarde (0 Watt/m²) en de maximale waarde (1116 Watt/m²). Vervolgens is het percentage van de uren waarbij het gemiddelde onder de 558 Watt/m² ligt berekend per jaar. Dit is weergegeven in figuur 33.



Figuur 33, Percentage bewolkt in december, per jaar

Het gemiddelde van deze tien jaar is 28,8%, wat betekent dat het 28,8% van alle uren in de maand december bewolkt is. De standaarddeviatie¹ (gemiddelde verschil ten opzichte van het gemiddelde, van alle waarden, in dit geval de tien jaar) is hierbij 4,6% en de standaardfout (verwachte afwijking van het gemiddelde als er tien jaar data bij zou komen) is 1,4%. Dit heeft als resultaat dat met 95% zekerheid gezegd kan worden dat het gemiddelde aantal uur dat het bewolkt is in december tussen de 25,58% (low95) en 32,03% (high95) zal liggen.

¹ Er kan uitgegaan worden van een Gaussverdeling omdat het gemiddelde per jaar van het gemiddelde per uur gebruikt wordt, zie de Centrale Limietstelling.



6.2.2.3. Onderbouwing type zonnecel

Omdat er maximaal 32,03% van het aantal uur in december bewolking zal voorkomen en dus een amorfe cel in deze tijd een 3% hoger rendement zal hebben dan een polykristallijne cel, terwijl 67,97% van het aantal uur in december een polykristallijne cel een 36% hoger rendement heeft dan een amorfe cel, kan geconcludeerd worden dat gekeken naar de efficiëntie en de bewolkingsgraad in december op *Antarctica* een polykristallijne cel de voorkeur heeft. Een mono-kristallijne cel presteert bij bewolking slechter dan een polykristallijne cel maar bij een onbewolkte dag beter, blijkt uit verschillende bronnen. Het is echter zo dat het verschil tussen een mono-kristallijne cel en polykristallijne cel tegenwoordig klein is en alleen geldt wanneer er sprake is van direct zonlicht. Omdat op *Antarctica* naast direct ook veel diffuus zonlicht is (*Albedo*) en een polykristallijne zonnecel hier het beste mee om kan gaan heeft een polykristallijne cel de voorkeur (Schiebaan, 2013).

6.2.3. Functie 2.1. Opslaan elektrische energie

Voor het opslaan van elektrische energie zijn accu's onderzocht die specifiek bestand zijn tegen een lagere temperatuur dan nul °C. Dit met de reden dat deze accu's bij eventueel onderhoud, reparatie of falen van de isolatie (op *Antarctica*) vervolgens niet volledig onbruikbaar worden. Het onbruikbaar worden is het gevolg van het verliezen van hun lading en slecht opladen bij lage temperaturen. Daarnaast zullen deze accu's tijdens de expeditie minder verwarming (en dus energie) vragen om op hun optimale temperatuur te functioneren. Maar verwarming van de accu's blijft noodzakelijk, ook al is het misschien relatief weinig graden in temperatuur. Gezien het feit dat accu's hun lading verliezen wanneer zij afkoelen en vervolgens onbruikbaar kunnen zijn totdat zij opgewarmd zijn.

Drie accu types die bestand zijn tegen lage temperaturen zijn in tabel 10 weergegeven. Tijdens het onderzoek naar de specificaties van vele verschillende accu types kwamen deze naar voren als de beste bij een lage temperatuur. Andere batterijen waarnaar gekeken is zijn onder meer: Gel polymeer elektrolyt lithium-ion Marine Grade accu's, AGM Sealed Lead Acid LiFB4 (US military) accu's, nikkel accu's, lood accu cellen en alkaline low temperature accu's. Deze accu's vielen af omdat deze te gevaarlijk waren, slecht bestand tegen lage temperaturen of te experimenteel en ongetest.

Tabel 10, Specificaties van accu's (Panasonic, 2005; Antonucci, 2012; Intercel Energie B.V., 2014)

	LiFePo4 accu	NA-NiCl2 accu	Lood accu (klep gereguleerd)
Aantal oplaadcycli	2000	3000	800
Maximale ontlading	100%	80%	90%
Levensduur	10 jaar	5 tot 10 jaar	10 jaar
Temperatuurbereik	-20 tot 60°C	-20 tot 60°C	-15 tot 50°C
Energiedichtheid	>120Wh/kg	115 Wh/kg	110 Wh/kg
Positief punt	Licht gewicht, veel vermogen	Wekt eigen warmte op met eigen lading	Sterk en bewezen product
Negatief punt	Vraagt verwarming voor optimale prestatie	Gebruikt 90 Watt om zichzelf te verwarmen	Bij opladen minimale temperatuur 0°C

Deze drie type accu zijn allen geschikt voor toepassing bij het project en zullen worden opgenomen in de morfologische matrix. Eén accu heeft echter wel een duidelijke voorkeur, de LiFePo4 accu, omdat deze het grootste temperatuurbereik en de hoogste energiedichtheid en dus het laagste gewicht heeft. Het is echter niet verstandig om de andere twee type accu's direct aan de kant te zetten omdat deze in specifieke situaties of plaatsingen juist voordelen kunnen hebben. Zo wekt de Na-NiCl2 accu zijn eigen warmte op en is de lood accu zeer sterk.

6.2.4. Functie 2.2. Managen opslag en afgifte elektrische energie

Deze functie is enkel door een *Battery Management System (BMS)* te vervullen. De technisch uitwerking van deze oplossing is afhankelijk van welk type accu gekozen wordt en van het volledige elektrische systeem. In de praktijk is een *BMS*, net als de *MCU*, een 'low voltage' systeem dat verwerkt is in een printplaat. De exacte accu keuze is nog niet bekend en het volledige elektrische systeem is nog niet ontworpen. Hierdoor kan het *Battery Management Systeem* niet verder uitgewerkt worden en zal dit later in de uitwerking van het voertuig uitgezocht moeten worden door een elektrisch engineer. Hierbij zal rekening moeten worden gehouden met de bestendigheid tegen lage temperaturen en de kwetsbaarheid van het *Battery Management Systeem*.



6.2.5. Functie 3.1. Omzetten elektrische energie naar rotatie

Voordat een motorkeuze gemaakt kan worden zullen eerst de gevraagde motorspecificaties berekend worden. Dit kan aan de hand van de eerder in paragraaf 5.3.1 genoemde en onderzochte specificaties (zie tabel 6). Om het mechanische vermogen op het *voortbewegingsmiddel* te berekenen zijn de onderstaande formules gebruikt:

$$T_{motor} = \left(0,5 * \rho * C_d * A * v^2 + \mu_{rol} * m * g * \cos(\alpha) + m * g * \sin(\alpha) + m * \frac{dv}{dt} \right) * r_{wiel} \quad (18)$$

$$\omega_{motor} = v/r_{wiel} \quad (19)$$

$$P_{motor} = \omega_{motor} * \tau_{motor} \quad (20)$$

Waarbij de nieuwe parameters zijn: T_{motor} = koppel op de motor (Nm), r_{wiel} = straal van wiel (m), α = hoek van het op te rijden terrein (graden), ω_{motor} = hoeksnelheid motor (rad/s).

Door de toepassing is het vereist dat de aandrijflijn een laag gewicht heeft, een zeer hoog rendement heeft van liefst >80%, met een nominaal punt op 10 km/h bij een helling van +1 graden. Dit hoge rendement is haalbaar mits er geen differentieel of versnellingsbak gebruikt wordt, omdat deze het rendement drastisch omlaag halen tot <80% (Collard A. , 2014). Hierdoor is achterwiel- of voorwielaandrijving met een enkele elektromotor niet geschikt (met uitzondering van gebruik bij een rupsband of ski's). Ook een door losse elektromotoren aangedreven voorwiel- of achterwielaandrijving is niet geschikt voor deze toepassing, omdat een voertuig hierdoor gemakkelijk vastloopt of niet genoeg grip kan krijgen op het extreme terrein van *Antarctica*. Uiterst geschikt voor deze toepassing is een directe 4x4 aandrijving, omdat deze voor voldoende grip kan zorgen en direct door vier motoren aangestuurd kan worden (zonder grote overbrengingen en dus een haalbaar hoog rendement).

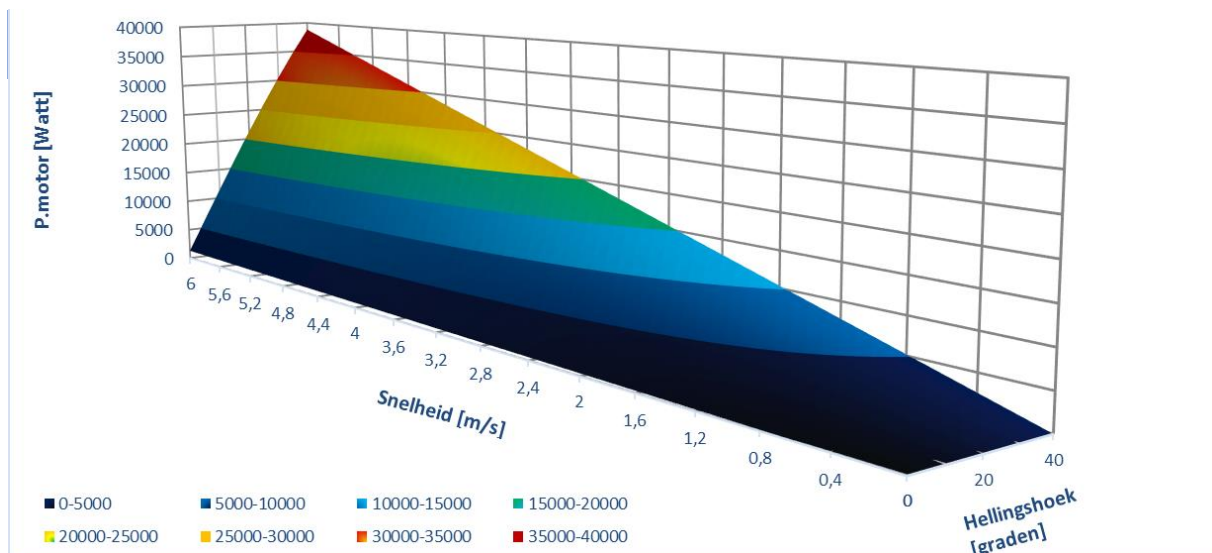
Hiervoor zal wel koppelcontrole (Engels: Torque Controle) nodig zijn omdat wanneer een bocht gemaakt zal worden er verschillen zullen optreden tussen de snelheid en het moment dat optreedt (koppel) tussen de wielen aan de binnen- en buitenzijde. Het koppelcontrole systeem is, net als het *MCU* en *BMS*, een 'low voltage' elektrische oplossing, zoals eerder is uitgelegd in paragraaf 5.3.1 en 6.2.4. De exacte werking van een koppelcontrolesysteem is complex en verschilt per motortype, met als gevolg dat dit nu niet verder onderzocht is.

Het individueel aandrijven zal voor een lichte toename in gewicht zorgen, maar dit zal worden gecompenseerd wanneer geen cardanas en differentieel nodig is. Een andere factor die het rendement mogelijk nog kan beïnvloeden is de lage temperatuur. Onwaarschijnlijk is dat de nauw getolereerde onderdelen door krimp wrijving gaan veroorzaken en zorgen dat de motor niet meer soepel draait of dat de motor onherstelbaar beschadigd wordt (Collard A. , 2014). Ondanks zal hier tijdens de definitieve motorkeuze wel rekening mee gehouden moeten worden en eventueel zelfs getest moeten worden. Dit om latere grote problemen te voorkomen. Het berekende totaal motorvermogen voor verschillende scenario's is weergegeven in tabel 11. Hierbij zijn alle hellingshoeken positief omdat hiervoor het grootste vermogen nodig is. In figuur 34 is het benodigde motorvermogen uitgezet tegen de snelheid en de hellingshoek.

Tabel 11, Berekend totaal motorvermogen, per snelheid, per hoek

Voertuig prestatie eisen/wensen						
Snelheid	Hellingshoek (+)	Verwachte duur van prestatie	Berekend			
			n [rpm]	P [kW]	τ [Nm]	
7 km/h	1°	Constant	46	0,72	148	nominaal
10 km/h	1°	Constant	66	1,03	148	
15 km/h	1°	Constant	100	1,57	150	
20 km/h	1°	Constant	132	2,12	153	
7 km/h	10°	1 minuut	46	3,69	759	Sastrugi
7 km/h	16,7°	30 minuten	46	5,84	1202	
10 km/h	10°	1 minuut	66	5,27	759	





Figuur 34, Benodigd motorvermogen, per snelheid, per hellingshoek

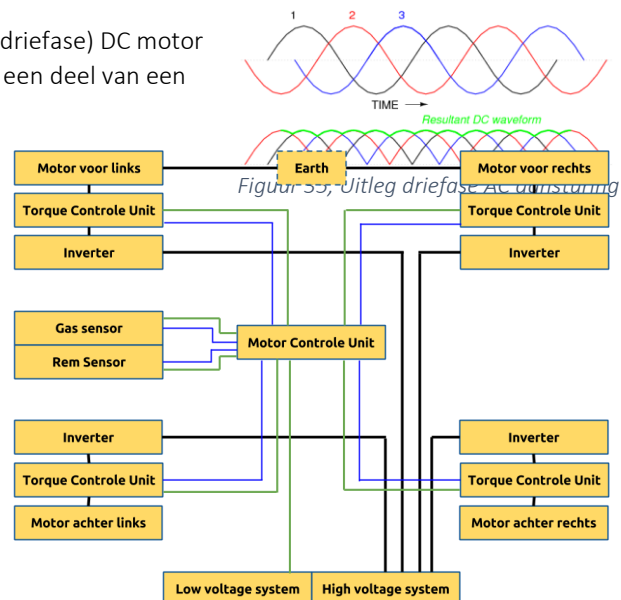
1.1.1.1. Soort elektromotor

Binnen de elektromotoren bestaan veel verschillende type motoren. Voor de specifieke toepassing van elektromotoren binnen dit project zal een type elektromotor gezocht moeten worden dat efficiënt, robuust en laag in onderhoud is. Het type elektromotor dat hier het beste aan voldoet is een borstelloze elektromotor (Engels: brushless (BL) electric motor). Dit type motor is veiliger dan een borstelmotor omdat er geen contactoppervlakken zijn, en vraagt het hierdoor ook nauwelijks onderhoud. Ook is hij efficiënter dan een borstelmotor, omdat een borstelloze motor gebruik maakt van zeer sterke permanente magneten en niet van magneten die constant voeding nodig hebben.

De aansturing van deze borstelloze motor zal het meest efficiënt zijn wanneer hier een Alternating Current (AC) driefase aansturing op is aangesloten. Ondanks dat de zonnepanelen en accu's een Direct Current (DC) signaal leveren is dit met een omvormer te transformeren naar een AC signaal. Deze omvormers kunnen gebruikt worden omdat deze een zeer hoog rendement van >98% hebben (Alles over zonnepanelen, 2012).

Waarom een driefase AC motor efficiënter is dan een (driefase) DC motor is omdat de AC motor om een bepaalde zeer korte tijd een deel van een stroompiek ontvangt. Wanneer deze drie fase net iets verschillen en iedere keer een piek van een andere fase gebruikt wordt ontstaat een nagenoeg constante stroompiek, zie figuur 35. Dit terwijl de DC motor constant een vermogen vraagt. Een nadeel hiervan is wel dat een AC motor lastiger aan te sturen is, echter dit is niet onmogelijk en wordt tegenwoordig steeds meer gebruikt doordat de elektrotechniek steeds kleiner en beter wordt. (Collard A. , 2013; Collard A. , 2014).

Voor verdere specificatie van de aandrijving zal eerst het elektrisch systeem ontworpen moeten worden. Een concept hiervan, met tevens verwachte rendementen, is weergegeven in figuur 36.



Figuur 36, Elektrisch systeem van het voertuig, per onderdeel

² Dit is een schatting omdat deze afhankelijk zijn van de snelheids-, temperatuurs- en koppelkarakteristieken van de motor.

6.2.6. Functie 3.2. Omzetten rotatie naar translatie

Voor het omzetten van de rotatie als gevolg van de elektromotor naar translatie, een rechtlijnig beweging, zijn verschillende opties beschikbaar. Deze opties zijn hieronder toegelicht.

6.2.6.1. Optie 1, Rupsbanden

Rupsbanden staan bekend om hun goede grip en grote draagvlak. Hierdoor is de gronddruk van rupsbanden een groot pluspunt. Deze is erg belangrijk voor het verplaatsen over de ondergrond van *Antarctica*, zie paragraaf 3.1.1. Het is echter niet zo dat rupsbanden een per definitie lagere gronddruk hebben dan banden. Dit is naast het draagvlak ook afhankelijk van het gewicht van het voertuig.

Een rupsband is van zichzelf zwaarder dan een off-road band. Dit komt doordat een rupsband bestaat uit allemaal losse schakels en verbindingen, en uiteindelijk ook meer onderdelen bevat. Een ander punt dat het gebruik van rupsbanden bemoeilijkt, is het vermogen dat nodig is om te sturen. Bij het sturen zal altijd een deel van de rupsband over de grond schuiven, ook als je beide rupsbanden tegengesteld laat draaien. Dit schuiven zorgt voor een extra wrijvingskracht en vraagt dus ook extra vermogen. Ondanks de minpunten van een rupsband is het wel een mogelijke oplossing en zal deze meegenomen worden in de morfologische matrix.

6.2.6.2. Optie 2, Off-road banden met extra lage druk

Het afgebeelde wiel is afkomstig van Arctic Trucks en is gebruikt bij verschillende expedities waarvan de bekendste zijn afgebeeld in tabel 22. Deze banden zijn specifiek gemaakt voor de ondergrond van *Antarctica*. De banden zijn uitgevoerd met een dikke rubberen laag die niet scheurt als deze gevouwen wordt, bij bijvoorbeeld het rijden met een half opgeblazen band voor een lagere gronddruk. De druk in de band is variabel van twee Psi tot zes Psi en wordt verlaagd als er over ruig terrein gereden wordt.

Het nadeel van dit wiel is dat hij redelijk zwaar is uitgevoerd. Hierdoor is hij wel robuust maar het is echter de vraag of dit nodig is wanneer met lage snelheid gereden wordt. Ook is het meenemen van een reserveband omslachtig en dit neemt veel ruimte in beslag. Ondanks dat is de band wel meegenomen in de morfologische matrix omdat het toch een bewezen concept is.

6.2.6.3. Optie 3, Skies/geleiders van het Lotus project

Deze oplossing komt uit een project genaamd Lotus Ice Vehicle en is ook gebruikt bij een eerdere expeditie op *Antarctica*. Het voertuig glijdt over *Antarctica* op haar ski's. Het grote voordeel is dat de ski's een groot oppervlak en dus lage gronddruk hebben. Het nadeel hiervan is echter wel weer wrijving. Hiernaast is een ski ook niet simpel vervangbaar en kost het meenemen van een reserve ski veel gewicht en ruimte. Los hiervan is ook een deel van de damping niet meer beschikbaar, zoals deze wel beschikbaar is bij een band. De damping van trilling zal door een individuele vering en damping combinatie moeten ontstaan.

Omdat deze oplossing grotere impact heeft op het vermogen en ook het gewicht van het voertuig in verband met de mee te nemen reserve onderdelen, is deze oplossing niet meegenomen in het morfologische matrix.



Figuur 37, Lotus Ice Vehicle. Overgenomen van: (Scooter, 2011)

6.2.6.4. Optie 4, Holle gelaste buizen met opgeblazen stevige band

Deze oplossing komt voort uit een Russische expeditie richting de Noordpool. Het grote voordeel van deze oplossing is de eenvoud van het ontwerp. Door innovatief en extreem lichtgewicht een velg te maken die een opblaasbare band ondersteunt is een zeer simpele maar effectieve band ontwikkeld. Deze band is net als optie 2 variabel in de hoeveelheid druk waarmee je hem oppompt. Het meenemen van eventuele reserveonderdelen is niet zwaar omdat een reserveband opgevouwen kan worden tot een klein formaat.

Een risico van deze band is dat hij niet genoeg grip zal hebben en zal wegglijden bij het beklimmen van een heuvel. Dit bleek echter bij andere voertuigen geen probleem (Marine Live-Ice Automobile Expedition, 2014; Astronomical Tours, 2003). Vergeleken met optie 2 heeft deze band een minder groot oppervlak wat tot een minder grote wrijvingscoëfficiënt zal leiden. Door het grote voordeel van de eenvoud en het geringe gewicht zal deze oplossing meegenomen worden in de morfologische matrix.



6.2.7. Functie 3.3. Overbruggen ijsspleten/sneeuwbruggen

Voor het overbruggen van ijsspleten of *sneeuwbruggen* zijn verschillende opties bekeken. Ook is bekeken hoe *sneeuwbruggen* gedetecteerd kunnen worden. Deze functie is niet in het overzicht in paragraaf 6 meegenomen omdat dit niet een functie is die het voertuig zal moeten uitvoeren. Ook bleek na onderzoek, omdat de apparatuur die gebruikt wordt voor het meten van de sneeuwdikte en voor het detecteren van eventuele *sneeuwbruggen* veel vermogen zal gebruiken. Tijdens andere expedities is naast deze oplossing gebruik gemaakt van prikstokken of het vooruit lopen van expeditieleden bij riskant terrein (Marine Live-Ice Automobile Expediton, 2014). Omdat ijsspleten redelijk goed zichtbaar zijn en omdat met relatief lage snelheid voortbewogen wordt, is het hierdoor aangenomen dat tijdens de expeditie de leden puur op zicht zullen rijden. Wanneer een *ijsspleet* te groot is om te worden overbrugd zal omgereden moeten worden. Wanneer een *ijsspleet* of sneeuwbrug overbrugd moet worden, zijn er de volgende oplossingen mogelijk:

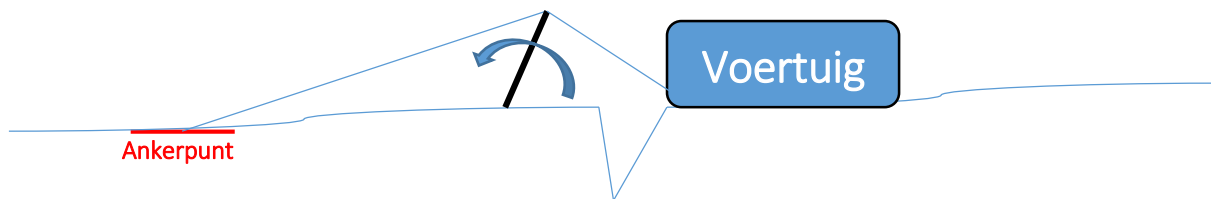
6.2.7.1. Optie 1, Rijplaten waarover het voertuig zich verplaatst

Rijplaten zijn de meest gebruikte manier om een gat of een scheur te overbruggen. Lichtgewicht, holle en slim geconstrueerde rijplaten zijn zeer effectief, zoals de eerder al genoemde Russische expeditie bewijst (Marine Live-Ice Automobile Expediton, 2014). Deze rijplaten zijn geconstrueerd uit holle buizen aan elkaar geknoopt met touw. Iedere rijplaat kon een gewicht van minimaal 1000 kilogram weerstaan en bracht de gebruikte voertuigen meerdere malen veilig naar de overkant van een sneeuwbrug. Deze oplossing is in het morfologische schema terug te vinden vanwege zijn effectiviteit.

6.2.7.2. Optie 2, Met ankerpunt, hefboom en lier voor voorttrekken

Een deel van deze oplossing is vaak gebruikt tijdens andere expedities: de lier. Deze lier is aan de voorkant van het voertuig bevestigd. Deze lier is bedoeld om een voertuig vanuit een benauwde positie te bevrijden of om het voertuig voort te slepen.

Het andere deel van de oplossing is een hefboom en ankerpunt voor de lier. Hiermee wordt een voertuig over of een sneeuwbrug of *ijsspleet* heen getrokken. Zie voor een illustratie hiervan de schematische weergave hieronder in figuur 38.



Figuur 38, Schematische weergave van oplossing 2 van functie 3.3

Deze methode vormt een goede oplossing wanneer het voertuig vastzit in een sneeuwbrug of zich over zeer lastig terrein zal moeten verplaatsen (Marine Live-Ice Automobile Expediton, 2014). Nadeel hiervan is dat het voertuig met zijn achterkant in de sneeuwbrug/*ijsspleet* kan vallen en kan beschadigen. Hierdoor is het belangrijk dat optie 1 en 2 van de functie overbruggen ijsspleten/*sneeuwbruggen* samen toegepast worden. Dit zorgt er voor dat het voertuig veilig *sneeuwbruggen*/*ijsspleten* kan oversteken en zich tevens uit benarde situaties kan bevrijden.

6.2.7.3. Optie 3, Glijden op bodem oppervlak en voortduwen met wielen

Optie 3 komt voort uit een ontwerp uit 1950 van Thomas Poulter genaamd Snow Cruiser. De oplossing waarmee dit ontwerp zich over ijsspleten en *sneeuwbruggen* duwt lijkt op een grote slee. De body stak hierbij enkele meters voor de voorwielen en achterwielen uit. Hierdoor leunde een deel van de body al op de overkant van een ijsspleet/sneeuwbrug en kon vervolgens het voertuig op de onderkant van de body aangedreven door wielen die de ondergrond nog raakten over de spleet geduwd worden.

Deze techniek is niet meer van deze tijd omdat het voertuig hierdoor voor dit project onmogelijke dimensies aan zal nemen. De Snow Cruiser was 17 meter lang, 6 meter breed en 5 meter hoog en woog 34 ton (zie tabel 22).



Figuur 39, Thomas Poulter ingenieur van de Snow Cruiser. Overgenomen van: (Brooklyn Public Library, 2012)

6.2.8. Functie 3.4. Dempen trillingen

Damping van trillingen en het opvangen van ongelijkheden in het terrein van *Antarctica* is essentieel. Uit de oplossingen matrix in tabel 8 zijn drie oplossingen mogelijk: bladveren, wiel draagarmen met damping, en damping in de banden.

6.2.8.1. Optie 1, Bladveren van verschillende lagen metaal

Deze optie bestaat uit verschillende, gekromde en in het midden vast gemaakte stroken metaal. Naast het midden zijn de bladveren ook op elkaar geklemd. Hierdoor kunnen bladveren erg goed klappen opvangen en veren zij gemakkelijk mee. Bladveren zijn ideaal in sommige toepassingen omdat ze alle bewegingen behalve in een richting beperken. Denk bijvoorbeeld aan een horloge waarbij soms gebruik wordt gemaakt van een getordeerde bladveer. Het nadeel van de toepassing van bladveren is dat ze zonder damping (vaak zware constructie) lang blijven doortrillen en dat ze relatief veel wegen. Dit is de reden dat bladveren in de automotive industrie niet veel (meer) gebruikt worden. Enkel bij zware industriële voertuigen die werken in zeer vervuilde omstandigheden worden bladveren met enige regelmaat toegepast, omdat ze erg robuust zijn. De optie van bladveren is niet meegenomen in de morfologische matrix omdat deze alleen geschikt is voor zware constructies en zonder dempingsysteem oncontroleerbaar is.

6.2.8.2. Optie 2, Wiel draagarm met demper

Optie twee is de meest toegepaste optie in de automotive industrie en bestaat uit twee draagarmen, een koppelstuk, bevestigingspunt voor het wiel en een veer en demper. Deze oplossing biedt ieder wiel een onafhankelijke vering en heeft tegens de mogelijkheid tot het direct bevestigen van het wiel en de aandrijving hiervan. Het nadeel van deze oplossing is vergeleken met optie 1 van functie 3.4 dat het complexer is. Echter, door de veelzijdigheid en de lichtgewicht constructie zou dit een ideale oplossing kunnen zijn voor het voertuig.

6.2.8.3. Optie 3, Damping in band

Door een band te gebruiken met een lagere druk worden veel ongelijkheden van het terrein opgevangen. Daarom valt deze oplossing onder de functie “dempen trillingen”. Het dempen van trillingen met een laag opgepompte band is enkel mogelijk wanneer een wiel gebruikt wordt en omdat de optie voor rupsbanden ook in de morfologische matrix meegenomen zal worden, en optie 2 zowel bij een wiel als rupsband mogelijk is, staat deze optie los weergegeven in de morfologische matrix naast optie 2.

6.2.9. Functie 3.5. Verplaatsen over Sastrugi

Het verplaatsen over Sastrugi is uiterst lastig omdat Sastrugi bestaat uit wisselende scherpe punten van ijs en sneeuw. Voor off-road voertuigen zijn enkele ontwerpregels opgesteld die in de praktijk bewezen zijn, deze regels zijn in optie 1 en optie 2 weergegeven.

6.2.9.1. Optie 1, Grote klimhoek zodat obstakels overwonnen kunnen worden

Een hoek van 48 graden vanaf het voorste (of achterste- als achterwiel) punt omhoog waarbinnen zich niks mag bevinden. Deze hoek zorgt ervoor dat het voertuig niet tegen obstakels aanrijdt of de achterkant over de grond schraapt.

6.2.9.2. Optie 2, Bodemvrijheid om vastlopen te voorkomen

De bodemvrijheid is essentieel voor het verplaatsen over Sastrugi. Omdat Sastrugi, zoals in paragraaf 3.1.1 is beschreven, minimaal 0,3 meter hoog is met een golflengte van 2 meter is de minimale bodemvrijheid dus ook 0,3 meter.

Doordat optie 1 en optie 2 van functie 3.5 essentieel zijn voor het voor het verplaatsen over Sastrugi zijn beide weergegeven in het morfologische overzicht.



6.2.10. Functie 4.1. Corrigeren van richting

Het corrigeren van richting is essentieel voor het voertuig en de veiligheid van de expeditieleden. Voor het corrigeren van de richting zijn drie oplossingen mogelijk.

6.2.10.1. *Optie 1, Differentieel sturen door wielen of banden apart te laten draaien*

Differentieel sturen is het veranderen van je positie door de linker en rechterkant van het voertuig in tegenovergestelde richting of verschillend in snelheid te bewegen. Het grote voordeel van differentieel sturen is dat geen stuurinstallatie nodig zal zijn, enkel een elektrische controle unit die de elektromotoren aanstuurt. Nadeel hiervan is dat er veel wrijving zal optreden tussen de ondergrond en het raakvlak van het voertuig met de ondergrond. Ook vraagt differentieel sturen meer van het frame van het voertuig omdat er grote trek- en duwkrachten optreden op de bevestigingen en het frame dus sterker (meestal ook zwaarder) uitgevoerd moet worden. Ondanks dit is differentieel sturen wel meegenomen in de morfologische matrix omdat het een oplossing is die gebruik maakt van al de aanwezige componenten.

6.2.10.2. *Optie 2, Stuurstangen systeem*

Een stuurstangen systeem wordt meestal gebruikt bij voertuigen. Dit systeem is van zeer klein tot erg groot beschikbaar en is vaak mechanisch uitgevoerd en elektrisch/hydraulisch versterkt. Dit systeem is erg ver doorontwikkeld en is hierdoor een zeer betrouwbare oplossing. Nadeel van deze oplossing is wel dat hij uit meer onderdelen bestaat dan bijvoorbeeld optie 1 van deze functie.

6.2.10.3. *Optie 3, Draaipunt in het midden van het voertuig*

Een draaipunt in het midden van het voertuig wordt vaak gebruikt bij kiep-/graafmachines. Deze oplossing heeft grote invloed op de draaicirkel van een voertuig en verkleint deze sterk. Een nadeel van deze oplossing is wel dat dit draaipunt in het midden van het voertuig erg stevig uitgevoerd moet zijn, wat negatieve gevolgen heeft voor het gewicht. Daarnaast is het zwaar om het voertuig te draaien om zijn middelpunt en wordt hiervoor vaak hydrauliek gebruikt. Dit vraagt op zijn beurt weer extra energie en voegt gewicht toe.

Door de toename in gewicht en zwaarte met als gevolg extra energieverbruik is deze oplossing niet meegenomen in de morfologische matrix.

6.2.11. Functie 4.2. Besturen van richting en snelheid

Het besturen van de richting en snelheid is vrijwel altijd noodzakelijk bij een voertuig. Het besturen van de richting en snelheid geeft de benodigde controle; daarnaast geeft het de bestuurder vertrouwen in het voertuig. Voor het besturen van de richting en de snelheid zijn drie oplossingen verder uitgewerkt. Naast deze oplossingen zijn andere oplossingen, als het sturen en regelen van de snelheid met twee hendels links en rechts (zoals in sommige tanks) of het gebruiken van een gashendel (zoals in een vliegtuig) bekeken, maar niet verder uitgewerkt. De reden hiervan is dat deze oplossingen deels onder de gekozen oplossingen vallen, niet geschikt zijn voor de toepassing van het voertuig of veel trainingsuren vragen.

6.2.11.1. *Optie 1, Stuur met losse gas- en rempedaal inrichting*

Het variëren van de bekrachtigingsstroom of motorspanning door een gas- en rempedaal is de meest gebruikte techniek bij elektrische voertuigen. Hoever een pedaal ingedrukt wordt, wordt gemeten door een druksensor, die het signaal doorgeeft aan de *Motor Controle Unit*, die op zijn beurt de motoren extra bekrachtigt of juist de remmen bekrachtigt. Ook een stuur is de meest gebruikte techniek bij voertuigen. Het grote voordeel van deze oplossing is dat er geen training nodig zal zijn voor deze besturing en dat het voertuig dus ook voor demonstraties en promotiedoeleinden gemakkelijk bruikbaar is. Een nadeel is wel dat na lange tijd de pedaal bediening zwaar kan worden voor het lichaam. Om dit te voorkomen kan een cruisecontrole ingebouwd worden.

6.2.11.2. *Optie 2, Stuur met snelheidscorrecties in de vorm van flippers*

Deze oplossing heeft als voordeel dat alle controle van het voertuig bij elkaar in de buurt zit. Dit is tevens de achilleshiel van deze oplossing: alle controle op een plek zorgt namelijk voor meer complexiteit. Ook kan dit problemen opleveren wanneer de expeditieleden handschoenen dragen. Dit vermindert de beweegbaarheid, wat erg vervelend kan. Omdat de kans groot is dat de expeditieleden handschoenen en speciale kleding zullen dragen, als gevolg van de in paragraaf 3.1.2 besproken weersomstandigheden, is het aannemelijk dat zij slecht kleine bewegingen kunnen maken. Gevolg is dat de optie van een flipper aan het stuur niet meegenomen in de morfologische matrix.



6.2.11.3. *Optie 3, Sturen met een joystick die een stuurstangstelsel aanstuurt en de snelheid controleert*

Deze optie wordt in de game industrie veel gebruikt maar is in de automotive industrie nog niet veel toegepast. In 2009 zijn verschillende voertuigen gepresenteerd die aangestuurd werden door de meest futuristische joystickontwerpen. Deze zijn echter tot op heden niet toegepast, omdat het gebruik van een joystick één hand de controle geeft over de snelheid en de richting van het voertuig, wat in de praktijk niet handig of bruikbaar blijkt in een rollend voertuig. Wel handig is dit voor bijvoorbeeld het besturen van een helikopter. Omdat één hand alle controle heeft en training nodig zal zijn voor het besturen van het voertuig, is het joystick ontwerp niet meegenomen in de morfologische matrix.

6.2.12. Functie 5.1. Beheersen interne temperatuur

Voor het beheersen van de interne temperatuur en het bieden van comfort aan de expeditieleden zijn vier oplossingen mogelijk.

6.2.12.1. *Optie 1, Donker gekleurd uiterlijk*

Een donker gekleurd uiterlijk van het voertuig werkt net als een zonnecollector en warmt op wanneer hij blootgesteld wordt aan zonlicht. Het voordeel van deze oplossing is dat het geen extra energie vraagt, echter hierbij is het nadeel ook meteen dat de temperatuur niet te controleren is. De kans dat dit door de grote hoeveelheid zonlicht op *Antarctica* uit de hand loopt en tot een oncontroleerbare hoge interne temperatuur leidt is groot (Cornelissen, 2014). Hiernaast zullen de temperaturen laag zijn wanneer er veel bewolking is. Tegenover deze hoge interne temperaturen staat wel dat *Antarctica* genoeg koelmogelijkheden heeft (temperatuur en wind).

Wanneer deze optie echter toegepast wordt op (delen van) het interieur zal het voertuig, bijvoorbeeld op het dashboard of de stoelen, toch opgewarmd worden maar dan in mindere mate. Hierom is deze oplossing niet meegenomen zoals hij oorspronkelijk bedoeld was, maar is hij meegenomen als oplossing in het voertuig. De oorspronkelijke bedoeling van deze oplossing zal uiteindelijk toch deels van toepassing blijven omdat de zonnecellen een donkere kleur hebben en ook zullen opwarmen als een zonnecollector, maar dan vele malen minder.

6.2.12.2. *Optie 2, Verwarming*

Verwarming van de interne ruimte is een oplossing die veel energie kost. Het is niet mogelijk deze hoeveelheid energie te berekenen doordat bijvoorbeeld het interne volume en de isolatiewaarde van het voertuig onbekend zijn. Daarom is het verstandiger deze waarde te baseren op soortgelijke voertuigen en gedane onderzoeken.

Uit een onderzoek van Fleetcarma is gebleken dat het overige vermogen dat nodig is voor bijvoorbeeld de verwarming van een Nissan Leaf bij temperaturen van -12 °C gemiddelde rond de 2600 Watt zal bedragen. Wanneer deze lijn geëxtrapoleerd wordt, is aannemelijk dat het overige vermogen bij bijvoorbeeld een temperatuur van -30 °C rond de 3000 Watt zal bedragen (Allen, 2014).

Omdat dit een grote hoeveelheid vermogen kost vergeleken met het verbruik van het voertuig, is dit geen rendabele oplossing en zal deze ook niet meegenomen worden in de morfologische matrix.

6.2.12.3. *Optie 3 & 4, Kleding*

Het dragen van speciale kleding die geschikt is voor zeer lage temperaturen is een oplossing die ieder expeditielid de kans geeft zelf de meest aangename temperatuur te bepalen en te controleren. Daarnaast rekening houdend met het feit dat lichaamswarmte de ruimte waarin de expeditieleden zich bevinden zal opwarmen, is het belangrijk dat de temperatuur gemakkelijk aanpasbaar is.

Omdat 'optie 4, lichaamswarmte' van enkel lichaamswarmte uitgaat maar dit ook een grote rol speelt in optie 3 zijn optie 3 en optie 4 gecombineerd. Omdat optie 1 geen extra energie vraagt maar uit ervaring (Cornelissen, 2014) daadkrachtig blijkt te zijn, vormen optie 1, 3 en 4 samen de oplossing voor de functie: beheersen interne temperatuur. Het enkel verwarmen van de ruimte met lichaamswarmte en een donker gekleurd interieur is mogelijk maar kan in bepaalde situaties niet voldoende zijn, daarom blijft het dragen/meenemen van speciale kleding noodzakelijk.



6.2.13. Functie 5.2. Voorkomen/verhelpen condensatie

Het verwarmen van de interne ruimte door lichaamswarmte zorgt voor meer comfort, maar zal ook onvermijdelijk zorgen voor condensvorming. Condens bestaat uit luchtdruppeltjes die neerslaan wanneer de fase overgang van damp (waterdamp in adem bijvoorbeeld) naar vloeistof plaatsvindt. Dit gebeurt als vochtige lucht afkoelt.

Condensatie kan normaliter niet meer kwaad dan dat het zicht verminderd wordt, maar wanneer condensatie plaatsvindt en deze waterdruppeltjes vervolgens bevroren als gevolg van de lage temperaturen, zal het volume van de druppels toenemen en zal het zicht blijvend afnemen. Ook kan deze ijsvorming mogelijk scheuren veroorzaken. Dit moet voorkomen worden en hier zijn de volgende oplossingen voor bedacht.

6.2.13.1. Optie 1, Meerdere lagen voorruit

Het temperatuurverschil verkleinen door een lucht of gas gevulde laag tussen de voorruit en een tweede ruit te plaatsen. Hierdoor neemt het grote verschil tussen de binnen- en buitenlucht af en zal geen condensatie plaatsvinden. Deze oplossing vraagt geen extra energie en zorgt voor een kleine toename in het gewicht door de tweede ruit.

6.2.13.2. Optie 2, Vocht absorberend kunststof

Er zijn kunststoffen op de markt die vocht absorberen en op een ruit te plakken zijn. Het voordeel van deze oplossing is dat hiervoor ook geen extra energie nodig is en de kunststof simpel te monteren is op het raam. Nadeel van deze oplossing is dat wanneer de temperatuur in het voertuig zal afnemen mogelijk de waterdruppels in de kunststof bevroren (wanneer niet afgevoerd), met als gevolg dat het zicht zal belemmeren en de kunststoflaag kan beschadigen. Het is onduidelijk wat er met deze vocht absorberende kunststof gebeurt bij lage temperaturen, daarom is deze oplossing niet meegenomen in de morfologische matrix. Verder onderzoek hiernaar zal voor toepassing vereist zijn.

6.2.13.3. Optie 3, Blazers op voorruit om temperatuurverschil te verkleinen

Een blazer op de voorruit zetten is wat men doet wanneer de voorruit van de auto beslaat in de winter. Deze blazer voorkomt net als optie 1 dat het temperatuurverschil tussen binnen en buiten dermate groot is dat waterdamp kan neerslaan op de ruit. Het verschil tussen de voorruit en de interne lucht word door de blazer minder groot gemaakt. Dit kost echter wel energie. Het grote voordeel van deze oplossing is dat hij bewezen en getest is.



6.3. Conclusie voor- en nadelen oplossingen voor functies

Tijdens het onderzoeken van de voor- en nadelen van de hiervoor behandelde oplossingen is voor sommige functies maar één oplossing of combinatie van oplossingen overgebleven. Deze oplossingen zijn hieronder weergegeven en zijn niet meegenomen in de morfologische matrix en beoordelingsmatrix in paragraaf 6.4. Dit omdat de morfologische matrix bedoeld is om de mogelijke keuze uiteen te zetten en bij deze functies geen keuze meer beschikbaar is. Deze oplossingen komen terug bij het vormen van de conceptrichtingen in hoofdstuk 7.

- Voor functie 2.2, managen opslag / afgifte, is Battery Management System nodig. Het exacte type kan pas bepaald worden als het volledige elektrische systeem ontworpen is.
- Voor functie 3.1, omzetten elektrische energie naar rotatie, is een aandrijving per wiel vereist. Dit voorkomt vermogen verliezen omdat geen overbrenging nodig zal zijn.
- Voor functie 3.3, overbruggen ijspleten / sneeuwbruggen, zijn rijplaten met een ankerpunt, hefboom en lier gecombineerd. Deze oplossingen samen kunnen vele obstakels overbruggen maar kunnen individueel weinig obstakels veilig overbruggen (Marine Live-Ice Automobile Expedition, 2014).
- Voor functie 3.5, verplaatsen over Sastrugi, zijn een grote klimhoek en bodemvrijheid gecombineerd. Beide oplossingen zijn nodig voor de veiligheid en het succesvol overbruggen van Sastrugi.
- Voor functie 4.2, besturen van richting en snelheid, is het stuur met een losse gas- en rempedaal inrichting als enige oplossing overgebleven. Deze optie vergt de minste training en is voor promotiedoeleinden het gemakkelijkst.
- Voor functie 5.1, beheersen interne temperatuur, zijn een donker gekleurd interieur, het dragen van speciale kleding en opwarming door lichaamswarmte gecombineerd. Een donker gekleurd interieur en lichaamswarmte zullen voor interne opwarming van het voertuig zorgen maar in sommige situaties kan het dragen van speciale kleding toch vereist zijn.

6.4. Morfologische matrix en beoordelingsmatrix

Op basis van de beargumenteerde keuzen zijn alle oplossingen die de morfologische matrix gehaald hebben en waarvan er twee of meer per functie overbleven, beoordeeld aan de hand van de wensen en de beoordelingscriteria. Deze wensen komen voort uit het programma van eisen (zie hoofdstuk 4) en beoordelingscriteria kunnen per functie verschillend zijn en voortkomen uit nieuwe inzichten na onderzoek van de oplossingen.

Een belangrijke kanttekening: in de hierboven staande tekst staat niet dat de technische oplossingen getoetst zullen worden aan de getelde eisen. Dit was wel aangegeven in het startdocument en is bij de invoeging van mogelijke technische oplossingen gedaan. Technische oplossingen die niet zouden kunnen voldoen aan de eisen zijn niet geplaatst in de morfologische matrix. Het is mogelijk dat er een verschil is in de mate waarin aan een eis voldaan wordt wanneer de oplossingen gecombineerd worden tot een conceptrichting. Dit zal later daarom ook getoetst worden.

Omdat niet alle wensen en beoordelingscriteria even zwaar wegen is samen met de opdrachtgever de wegingsfactor bepaald. Deze staan links in de keuzematrix. De keuzematrix is weergegeven op de volgende pagina en de beargumentering van de gegeven cijfers is weergegeven in bijlage vii.

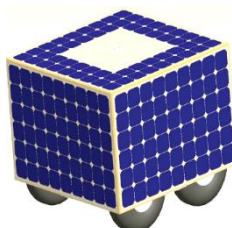
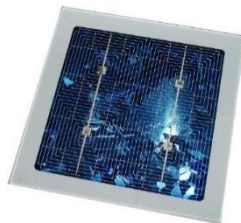
De morfologische matrix is gemaakt via de morfologiemethode van Zwicky (Siers, 2004) en is weergegeven in tabel 13. De uiteindelijke score, uitgedrukt in een percentage, is per oplossing tevens weergegeven in tabel 12.



Tabel 12, Keuzematrix voor morfologische matrix

		F1 Opvangen zonne-energie						F2 Opslaan/afgifte elektrische energie			F3 Verplaatsen					F4 Besturen voertuig		F5 Comfort bieden	
		F1.1 Opvangen zonlicht			F1.2 Omzetten zonlicht - elektrische energie			F2.1 Opslaan elektrische energie			F3.2 Omzetten rotatie naar translatie			F3.4 Dempen trillingen		F4.1 Corrigeren van richting		F5.2 Voorkomen condensatie	
Criteria ↓	Weegfactor	Optie 1	Optie 2	Optie 3	Optie 1	Optie 2	Optie 3	Optie 1	Optie 2	Optie 3	Optie 1	Optie 2	Optie 3	Optie 1	Optie 2	Optie 1	Optie 2	Optie 1	Optie 2
Zo veel mogelijk herbruikbaar/recyclebaar	4	3	3	2	1	3	3	2	3	3	3	2	3	2	3	3	3	2	2
Zo min mogelijk onderdelen	2	2	1	1	1	3	2	2	1	3	1	2	2	2	3	2	2	2	1
Zo hoog mogelijk rendement	5	3	2	3	2	3	3	3	2	2	x	x	x	3	2	x	x	x	x
Zo laag mogelijke gronddruk	4	x	x	x	x	x	x	x	x	x	3	3	3	x	x	x	x	x	x
Zo laag mogelijk gewicht	4	1	3	3	3	2	1	3	2	1	1	2	3	3	2	3	2	2	2
Zo veilig mogelijk	5	1	2	1	1	3	1	3	2	3	3	3	2	2	1	2	3	3	2
Bestand tegen omgeving en toepassing	5	1	3	2	1	3	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	2
Zo toegankelijk mogelijk	2	3	1	2	3	3	1	2	2	1	2	1	3	3	1	1	2	2	1
Invullen ↑ Wordt berekend ↓																			
Zo veel mogelijk herbruikbaar	12	12	12	8	4	12	12	8	12	12	12	8	12	8	12	12	12	8	8
Zo min mogelijk onderdelen	6	4	2	2	2	6	4	4	2	6	2	4	4	4	6	4	4	4	2
Zo hoog mogelijk rendement	15	15	10	15	10	15	15	15	10	10				15	10				
Zo laag mogelijke gronddruk	12										12	12	12						
Zo laag mogelijk gewicht	12	4	12	12	12	8	4	12	8	4	4	8	12	12	8	12	8	8	8
Zo veilig mogelijk	15	5	10	5	5	15	5	15	10	15	15	15	10	10	5	10	15	15	10
Bestand tegen omgeving en toepassing	15	5	15	10	5	15	15	10	10	10	15	15	15	15	15	15	15	15	10
Zo toegankelijk mogelijk	6	6	2	4	6	6	2	4	4	2	4	2	6	6	2	2	4	4	2
Totaal	93	51	63	56	44	77	57	68	56	59	64	64	71	70	58	55	58	54	40
Maximaal te behalen		81			81			81			78			81		66		66	
Percentage behaald		63,0	77,8	69,1	54,3	95,1	70,4	84,0	69,1	72,8	82,1	82,1	91,0	86,4	71,6	83,3	87,9	81,8	60,6
		Optie 1	Optie 2	Optie 3	Optie 1	Optie 2	Optie 3	Optie 1	Optie 2	Optie 3	Optie 1	Optie 2	Optie 3	Optie 1	Optie 2	Optie 1	Optie 2	Optie 1	Optie 2
		F1.1 Opvangen zonlicht			F1.2 Omzetten zonlicht - elektrische energie			F2.1 Opslaan elektrische energie			F3.2 Omzetten rotatie naar translatie			F3.4 Dempen trillingen		F4.1 Corrigeren van richting		F5.2 Voorkomen condensatie	

Tabel 13, Morfologische matrix, per functie verschillende oplossingen met behaalde score

Nr.	Hoofdfuncties	Deelfuncties	Technische oplossingen					
			OPTIE 1		OPTIE 2		OPTIE 3	
F1	Opvangen zonne-energie							
F1.1.		Opvangen zonlicht						
			Meebewegend zonnepaneel	63%	Vast gepositioneerde zonnecellen	78%	Zonnecellen positioneren op aanhanger	69%
F1.2.		Omzetten zonlicht – elektrische energie						
			Losse fotovoltaïsche cellen	54%	Flexibele fotovoltaïsche cel	95%	Fotovoltaïsche paneel	70%
F2	Opslag/afgifte elektrische energie							
F2.1.		Opslag elektrische energie						
			LiFePo4 batterij met stevige behuizing voor extreme toepassing	84%	Na-NiCl2 (Gesmolten zout batterij)	69%	Klep gereguleerde lood batterij voor extreme toepassing	73%

F3	Verplaatsen						
F3.2.		Omzetten rotatie naar translatie					
			Rupsbanden	82%	Off-road banden met extra lage druk	82%	Lichtgewicht ballonbanden
F3.4.		Dempen trillingen					
			Wiel draagarm met springveren en demper	86%	Damping in banden door lage druk in band	71%	
F4	Besturen voertuig						
F4.1.		Corrigeren van richting					
			Differentieel sturen door de wielen apart te controleren	83%	Stuur & en zoals in vele auto's gebruikt worden	88%	
F5	Comfort bieden						
F5.2.		Voorkomen / verhelpen condensatie					
			Meerdere lagen ruit waardoor de temperatuur overgang minder groot wordt	82%	Blazers op voorruit zodat het temperatuurverschil minder wordt en condens niet neerslaat	61%	

7. Conceptringen

7.1. Conceptringen uit combinaties

Vanuit de morfologische matrix zijn met de mogelijke oplossingen drie conceptringen gemaakt. Wiskundig gezien zijn er meer mogelijkheden, echter niet alle oplossingen kunnen gecombineerd worden, zoals weergegeven in tabel 14 op de volgende pagina.

De drie verschillende conceptringen zijn in de pagina's na tabel 14 uitgewerkt. Om de verschillen te verduidelijken zal in de tekst links van iedere conceptring ingegaan worden op de vergelijkbare en verschillende eigenschappen. Een oplossing die door het behalen van een lage score (<60%) in de beoordelingsmatrix niet voorkomt in de conceptringen, is het gebruik van losse fotovoltaïsche cellen. De beargumentering van deze keuze is weergegeven in bijlage vii. Oplossingen die in alle conceptringen voorkomen zijn weergegeven in paragraaf 6.3.

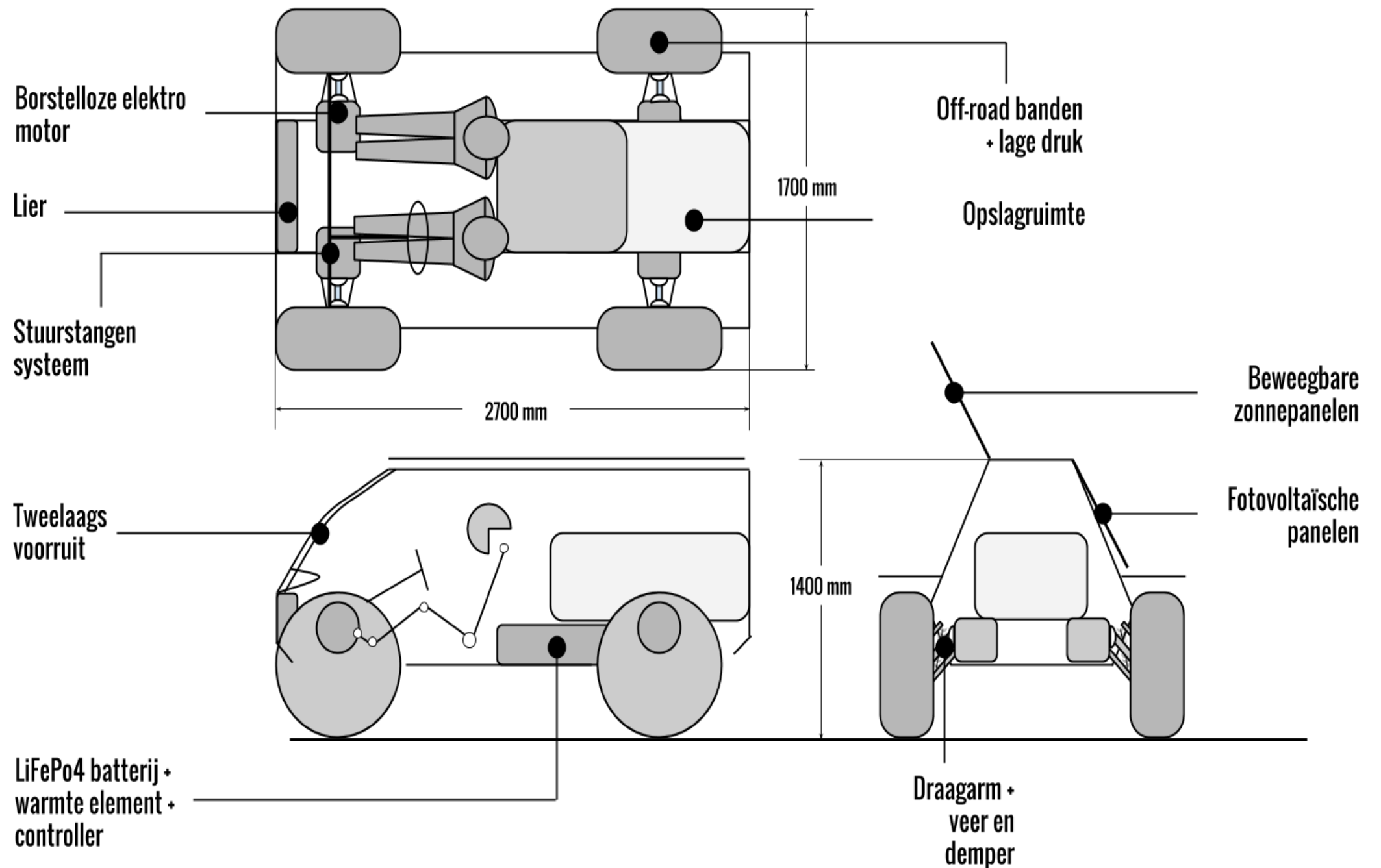
Opties nummer		F1.1 Opvangen zonlicht			F1.2 Omzetten zonlicht-elektrische energie			F2.1 Opslag elektrische energie			F2.2 Managen opslag/afgifte	F3.1 Elektrische energie naar rotatie	F3.2 Rotatie naar translatie				F3.3 Overbruggen ijsspleten	F3.4 Dempen trillingen		F3.5 Verplaatsen over Sastrugi	F4.1 Corrigeren van richting		F4.2 Corrigeren snelheid	F5.1 Beheersen interne temperatuur	F5.2 Voorkomen condensatie	
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	1	1	2	3	4	1+2	1	2	1+2	1	2	1	1+2+3	1	2
F1.1 Opvangen zonlicht	1				V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
	2				V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
	3				V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
F1.2 Omzetten zonlicht-elektrische energie	1							V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
	2							V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
	3							V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
F2.1 Opslag elektrische energie	1										V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
	2										V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
	3										V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
F2.2 Managen opslag/afgifte	1											V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
F3.1 Elektrische energie naar rotatie	1												V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
F3.2 Rotatie naar translatie	1															V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
	2															V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
	3															V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
	4															V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
F3.3 Overbruggen ijsspleten/sneeuwbruggen	1+																V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
	2																V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
F3.4 Dempen trillingen	1																			V	V	V	V	V	V	V
	2																			V	V	V	V	V	V	V
F3.5 Verplaatsen over Sastrugi	1+																			V	V	V	V	V	V	V
	2																			V	V	V	V	V	V	V
F4.1 Corrigeren van richting	1																						V	V	V	V
	2																						V	V	V	V
F4.2 Corrigeren snelheid	1																							V	V	V
F5.1 Beheersen interne temperatuur	1+																									
	2+																									
	3																								V	V
F5.2 Voorkomen/verhelpen condensatie	1																									
	2																									

Tabel 14, Overzicht van mogelijke combinaties, per functie

Conceptrichting 1

Dit is een voertuig dat met veel gelijkenissen toont met een auto. Dit voertuig heeft vier wielen, van Arctic Trucks, die individueel zijn aangedreven en de voorste twee wielen zijn te sturen door een stuurstangeninrichting. Voorwielsturing is gekozen, omdat het voertuig bij het zien van een obstakel direct moet kunnen uitwijken. Dit zal niet kunnen wanneer achterwielsturing gebruikt wordt. De aandrijvende elektromotoren zijn in het voertuig geplaatst om grote temperatuursverschillen tegen te gaan. De zonnepanelen zijn verspreid over de buitenkant van het voertuig. De hoek van de body van het voertuig staat loodrecht op de laagste hoek van de zon boven de horizon. Hiernaast zijn deze zonnepanelen kantelbaar voor een maximale opbrengst. De batterijen zijn in het midden en achterin het voertuig geplaatst voor een goede gewichtsverdeling en worden gecontroleerd en op temperatuur gehouden door een warmte-element. De wielafstand is bij deze conceptrichting groot, wat de stabiliteit van het voertuig ten goede komt. Helaas zorgt dit wel voor een grotere kans tot vastlopen van de onderkant.

- + Kantelbare zonnepanelen
- + Grote wielafstand
- Verhoogde kans op vastlopen
- Groot voertuig

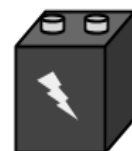


Conceptrichting 1

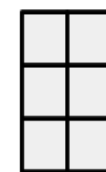
Voertuig op wielen, individueel aangedreven, LiFePo4 batterijen en beweegbare zonnepanelen



Bodemvrijheid van minimaal 0.3 meter
Om over Sastrugi heen te kunnen zonder vast te lopen



LiFePo4 batterij met verwarmingselement
Voor maximale power /gewicht verdeling en preventie van afkoeling



Polykristallijne cellen geplaatst in panelen
Voor het hoogste rendement ondanks eventuele bewolking



Twee rijplaten plus een lier aan voorkant
Om sneeuwbruggen of ijspleten te overbruggen



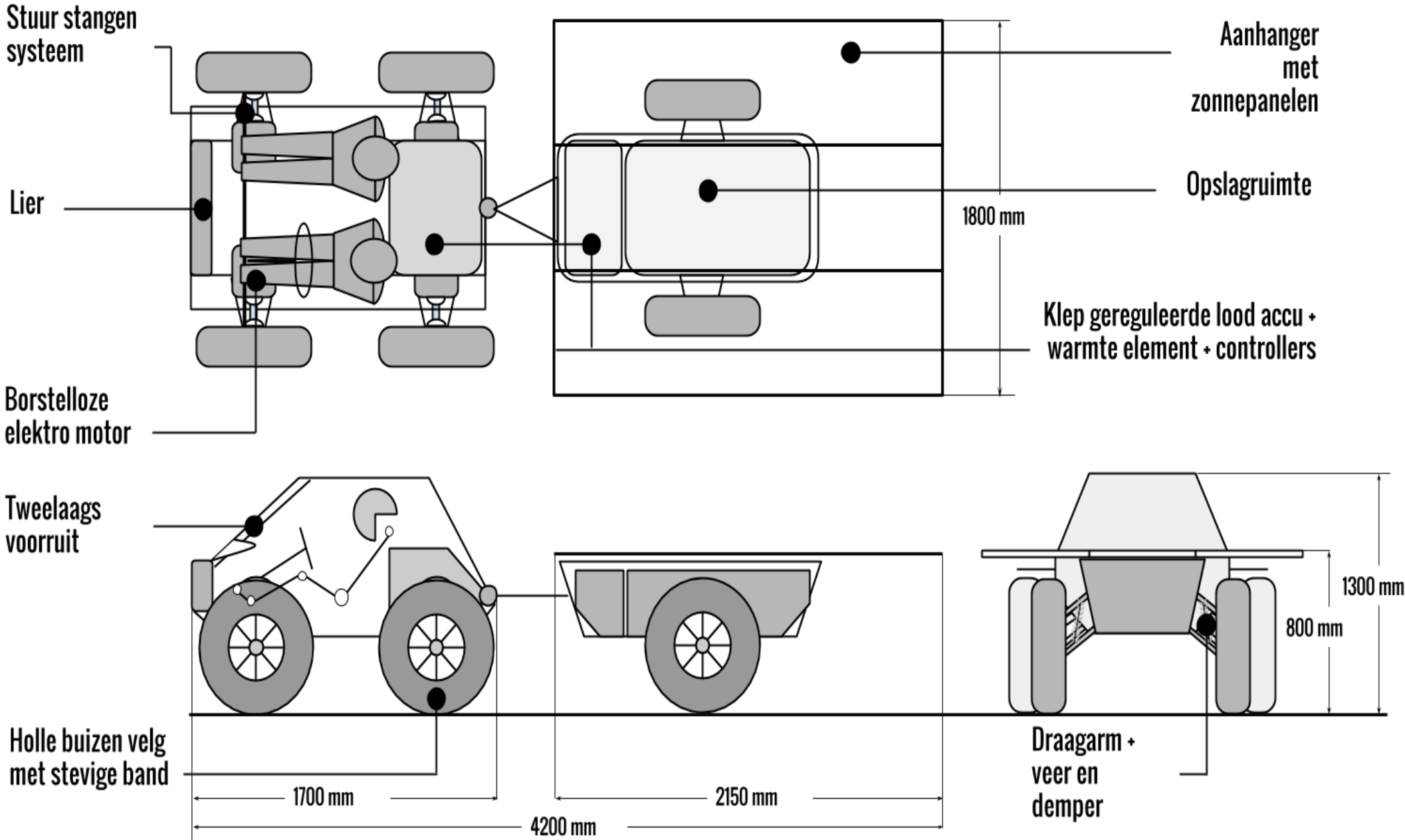
Banden van Arctic Trucks met grondruk van 0,13 kg/cm²
Om wegzakken te voorkomen

Figuur 40, Conceptrichting 1. Stijl overgenomen en aangepast van: (Stuart, Ralph, Freeman, Murray, & Wardle, 2009)

Conceptrichting 2

Deze conceptrichting bestaat uit twee compartimenten waarvan er een verwarmt is. Dit voertuig heeft zes ballon wielen, die kleiner en lichter zijn dan bij conceptrichting 1. Het voorste deel van het voertuig is het trekdeel en bestaat enkel uit vier individueel aangedreven wielen, een stuur en stuurstangeninrichting, zitplaatsen voor de expeditieleden en een accu ruimte. Bij deze conceptrichting is tevens voor een voorwiel stuurinrichting gekozen, omdat bij het zien van een obstakel direct uitgeweken moet kunnen worden. Ook zijn de aandrijvende elektromotoren in het voertuig geplaatst zodat minder temperatuurverschil zal optreden. Door de kleine ruimte en omdat de zijkanten van het voertuig ook extra geïsoleerd zijn met de zonnepanelen, is de temperatuur snel te regelen en zal weinig warmte ontsnappen. Het grote vermogen komt van de aanhanger waarop een groot oppervlak aan zonnepanelen geplaatst is. Om te voorkomen dat deze als gevolg van de wind instabiel wordt is aan de voorkant een extra accuopslag geplaatst en is opslagruimte beschikbaar. Bij zowel het voor als achter deel is het ontwerp van een slee terug te vinden, wat het vervoer en eventuele repatriatie vereenvoudigt.

- + Lage gronddruk
- + Gemakkelijk te repatriëren
- Niet snel te verlaten
- Gevoelig voor wind



Conceptrichting 2

Voertuig op lichtgewicht banden, individueel aangedreven, klep gereguleerde Pb accu en groot oppervlak aan panelen

R C

Bodemvrijheid van minimaal 0.3 meter
Om over Sastrugi heen te kunnen zonder vast te lopen

Klep gereguleerde Pb accu met verwarmingselement
Voor betrouwbare prestaties en preventie van afkoeling

Polykristallijne cellen geplaatst in panelen
Voor het hoogste rendement ondanks bewolking

Twee rijplaten plus een lier aan voorkant
Om sneeuwbruggen of ijspleten te overbruggen

Velg van holle buizen + stevige buitenband
Lichtgewicht maar toch sterk en met lage grondruk

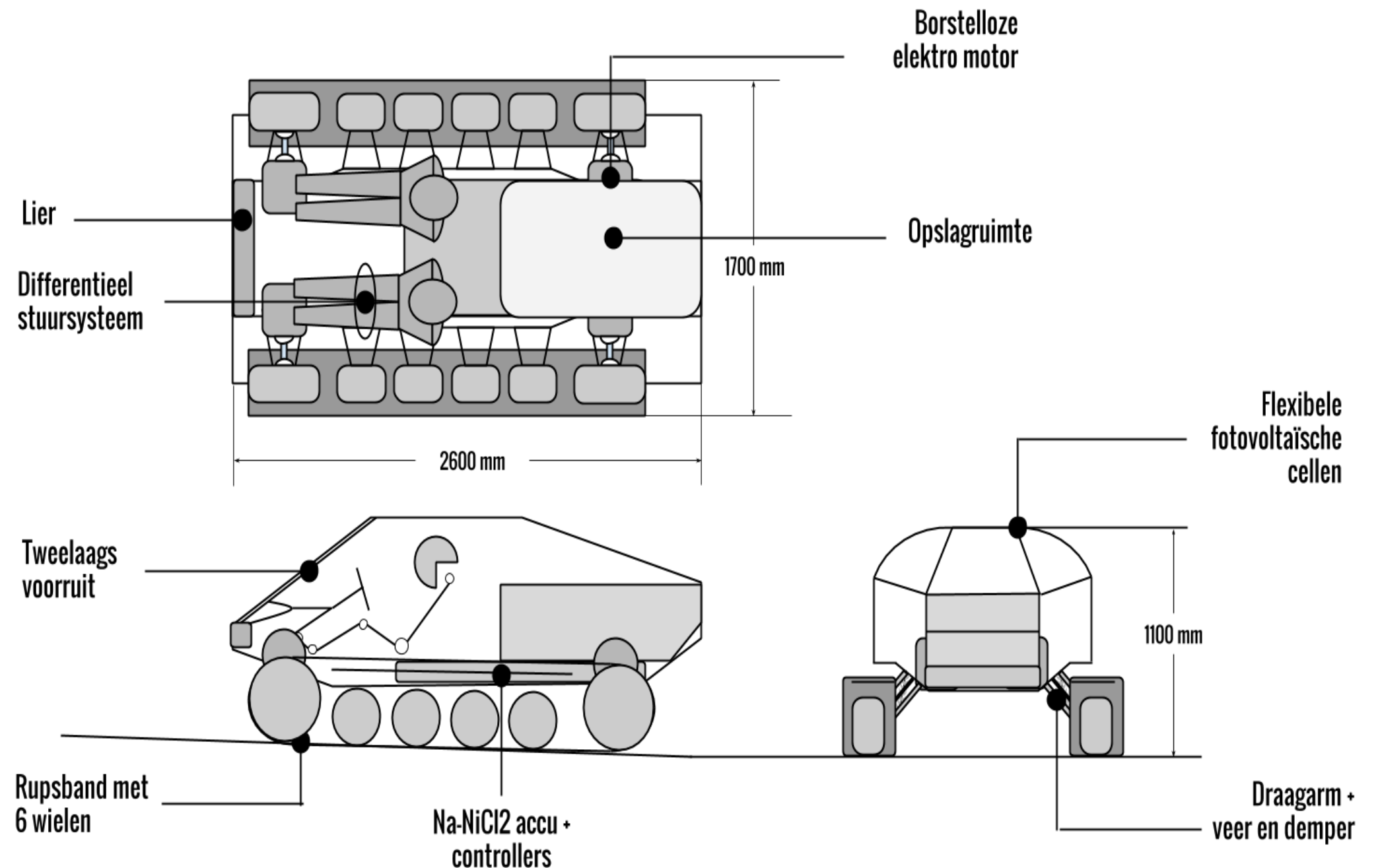
Figuur 41, Conceptrichting 2. Stijl overgenomen en aangepast van: (Stuart, Ralph, Freeman, Murray, & Wardle, 2009)

Conceptrichting 3

Conceptrichting 3 doet denken aan een tank maar is qua uitvoering vele malen lichter omdat hij uit een lichtgewicht body bestaat. Het voertuig heeft twaalf wielen waarvan er vier aangedreven zijn en twee rupsbanden. De overige acht wielen zorgen voor een gelijk verdeelde gronddruk en spanning in de rupsband. Door gebruik te maken van een rupsband zal veel grip verkregen worden op ruig terrein. De rupsbanden zijn geveerd door de wielen in de rupsband te voorzien van draagarmen en een veer plus demper. De aandrijvende elektromotoren zijn in het voertuig geplaatst, zodat deze geen last hebben van de kou.

Door gebruik te maken van de Na-NiCl₂ accu en deze te plaatsen in de ruimte onder de expeditieleden, zal automatisch een verwarmingseffect optreden van de ruimte. De zonnepanelen zijn bevestigd rondom het voertuig en bieden naast isolatie ook een groot oppervlak voor het opvangen van zonlicht. Ook is bij deze conceptrichting het ontwerp van een slede terug te vinden, wat het vervoer en eventuele repatriatie vereenvoudigt.

- + Veel grip
- + Lage gronddruk
- Lastig te repatriëren
- Lastig voor te slepen



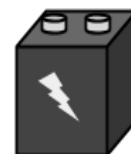
Conceptrichting 3

Voertuig op rupsbanden, 4 aangedreven tandwielen, Na-NiCl₂ accu, flexibele fotovoltaïsche cellen

RC



Bodemvrijheid van minimaal 0.3 meter
Om over Sastrugi heen te kunnen zonder vast te lopen



Na-NiCl₂ (zebra) accu met intern temperatuur systeem
Voor hoge prestaties en preventie van afkoeling



Polykristallijne cellen geplaatst in flexibele panelen
Voor hoog rendement en mooi uiterlijk



Twee rijplaten plus een lier aan voorkant
Om sneeuwbruggen of ijspleten te overbruggen



Rupsband met 4 geleidende en 2 aangedreven wielen
Goede grip en minimale gronddruk

Figuur 42, Conceptrichting 3. Stijl overgenomen en aangepast van: (Stuart, Ralph, Freeman, Murray, & Wardle, 2009)

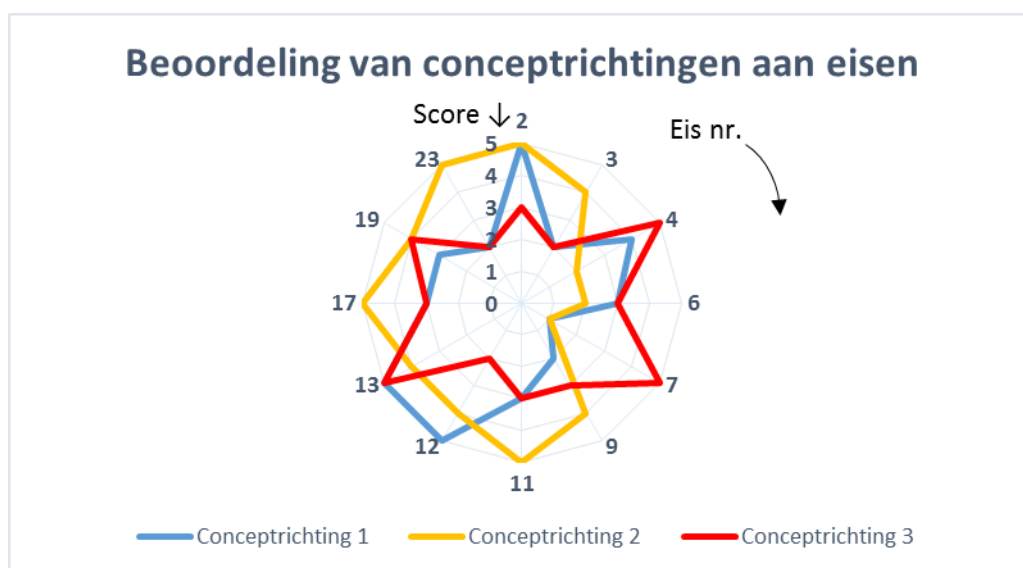
8. Beoordeling conceptrichtingen

Omdat bij iedere conceptrichting andere oplossingen en uitwerkingen van deze oplossingen zijn gebruikt, kunnen deze conceptrichtingen vergeleken worden met elkaar. Dit is tevens belangrijk voor het ontwerpproces, omdat nu wordt gekeken naar de toepassing van de oplossing in een ontwerp en niet zoals eerder gedaan is in paragraaf 6.1 naar enkel de soort oplossing.

Het vergelijken van de conceptrichtingen is gedaan aan de hand van een aantal van de eisen die gesteld zijn in het programma van eisen, zie hoofdstuk 4. Niet alle eisen zijn hierbij meegenomen, omdat sommige eisen niet te beoordelen zijn op de mate waarin verwacht wordt dat zal worden voldaan, maar enkel te beoordelen zijn met voldaan of niet voldaan. Het resultaat van deze tweede beoordeling is dat de beste en slechtste eigenschappen van iedere conceptrichting naar voren komen. Hiermee kan een definitieve conceptrichting gemaakt worden en kunnen eventuele aanbevelingen voor de toekomst gedaan worden.

In figuur 43 is de beoordeling van de concepten weergegeven. Hierbij is een score tussen de een en de vijf toegekend per eis, per conceptrichting. Hierbij is geen gebruik gemaakt van wegingsfactoren omdat niet één specifieke eis belangrijker is dan een andere. Er zal aan alle eisen voldaan moeten worden. De nummers van de eisen zijn komen overeen met de eisen uit het programma van eisen uit hoofdstuk 4.

In bijlage viii is de beoordelingsmatrix en beargumentering van de gegeven scores weergegeven.



Figuur 43, Beoordeling van conceptrichtingen, per eisen

Conceptrichting 1 scoorde 38 punten (63%), conceptrichting 2 scoorde 45 punten (75%) en conceptrichting 3 scoorde 40 punten (66%) van de totaal 60 punten. Hieruit blijkt dat conceptrichting 2 het dichtst in de buurt komt van een ideaal voertuig. Conceptrichting 2 scoort als enige op eis nummer 11, 17 en 23 het volledige aantal punten. Deze eisen hebben betrekking op transport, reparatiemogelijkheid en repatriatie van het voertuig. Conceptrichting 3 scoort als enige op eis nummer 7, die betrekking heeft op functioneren bij hoge windsnelheden, het volledige aantal punten. Hier scoren conceptrichting 1 en 2 het laagst.

Voor de definitieve conceptrichting kan gekozen worden om de drie conceptrichtingen te combineren tot een geheel nieuwe conceptrichting (helemaal opnieuw met de inzichten van de drie concepten); of om de hoogst scorende conceptrichting te gebruiken als basis en de positieve punten van de andere conceptrichtingen te gebruiken als verbeterpunten. Deze tweede optie scheelt in dit geval kostbare tijd maar is alleen mogelijk als een conceptrichting duidelijk boven de rest uitsteekt, wat conceptrichting 2 significant doet.

Omdat conceptrichting 2 bij de meeste eisen de hoogste beoordeling heeft (voor 75% voldoet aan de gestelde eisen; enkel op eis nummer 4, 6 en 7 onder gemiddeld scoort) is besloten om conceptrichting 2 als basis voor de definitieve conceptrichting te gebruiken.

Om conceptring 2 te verbeteren en aan te vullen met positieve punten van de andere conceptringen zijn uit bijlage viii de positieve punten van de conceptringen gehaald en weergegeven tabel 15. Tijdens het creëren van de definitieve conceptring zal er naar gestreefd worden om al deze positieve punten in het de conceptring mee te nemen.

Tabel 15, Hoogste beoordelingen per eis, per conceptring

Eis nr.	Conceptring 1	Conceptring 2	Conceptring 3
2	Zonnepanelen aanpasbaar aan de zon	Lichtgewicht en groot oppervlak	
3		Verspreiding van gewicht	
4	Grote wielbasis		Veel grip
6	Gestroomlijnde body		Gestroomlijnde body
7			Vaste zonnepanelen
9		Verdeling gewicht over twee delen	Groot grondoppervlak
11		Bestaat uit twee delen	
12	Lichtgewicht schokbestendige LiFePo4 batterijen	Gespreide opslag	
13	Zittende houding		Zittende houding
17		Simpele lichtgewicht banden	
19		Kleine ruimte	Gebruiken warmte van batterijen voor verwarming
23		Voertuig bestaat uit twee delen	



9. Definitieve conceptring

De definitieve conceptring is ontstaan door samenvoeging van de beste oplossingen van de verschillende conceptringen. Hierbij is conceptring 2 als basis gebruikt en is gestreefd om oplossingen van conceptring 1 en 3 toe te passen in deze conceptring, zodat deze nog beter zal voldoen aan de gestelde eisen.

9.1. Versie 1 – Definitieve conceptring

De eerste versie van de definitieve conceptring is weergegeven op de volgende pagina, in figuur 44. Uitleg over deze conceptring is links en onder in het figuur weergegeven.

Deze eerste versie van de conceptring bestaat uit twee losneembare delen waarbij het voorste deel van het voertuig is aangedreven (met vier wielen). Het gebruik van twee delen is gekozen boven het gebruik van een groot voertuig, omdat twee relatief kleine delen gemakkelijk verwarmd, getransporteerd of verplaatst kunnen worden. De gewichtsverdeling is 585 kg (voor) en 300 kg (achter). Deze gewichtsbepaling komt voort uit bijlage v en overleg met dhr. Vos (Fox Industries B.V.). De aandrijving vindt plaats door individueel aangestuurde borstelloze elektrische motoren, zodat een zo hoog mogelijk rendement in de overbrenging gehaald wordt. Om het benodigde vermogen te beperken is gebruik gemaakt van lichtgewicht banden die simpel te vervangen zijn. Mocht een band kapot zijn, dan is het een kwestie van lossnijden van de rubberen band en plaatsen en opblazen van de nieuwe band.

Het totale oppervlak aan zonnepanelen is 8,9 m² en bevat twee kantelbare panelen van ieder 2,2 m². Deze panelen zijn door een expeditielid handmatig te verplaatsen en in te stellen, maar zijn ook vast te zetten bij harde wind. Voor de positionering zullen verschillende standen aangegeven worden, zodat dit snel ingesteld kan worden. Een nadeel van deze optie is dat de expeditieleden het voertuig moeten verlaten, echter na enkele uren zitten is dit misschien juist prettig. Ook zal hierdoor de interne temperatuur dalen. Dit geeft waarschijnlijk geen probleem als het voertuig snel verlaten of betreden wordt, omdat binnen enkele seconden niet alle lucht ververst wordt, zodat geen groot temperatuurverschil op zal treden.

Deze eerste versie is vervolgens getest aan de hand van de eerder in paragraaf 3.1.1 en 5.2 gemaakte berekeningen. De hierbij gebruikte parameters zijn hieronder weergegeven in tabel 16 en komen uit figuur 44, bijlage iii, bijlage v en na overleg met dhr. Vos van Fox Industries B.V. (Vos, 2014).

Tabel 16, Parameters versie 1 - Definitieve conceptring

Voertuig parameter	Waarde
Gewicht (leeg)	650 kg
Gewicht (vol)	1000 kg
Geschat gewicht voorste deel	585 kg
Geschat gewicht aanhanger	300 kg
Wiel breedte	250 mm
Wiel diameter	800 mm
Aantal wielen	6
Minimale banddruk	3 Psi
Frontaal oppervlak	2,5 m ²
Oppervlak zonnepanelen voertuig links	0,8 m ²
Oppervlak zonnepanelen voertuig rechts	0,8 m ²
Oppervlak zonnepanelen voertuig boven	1,1 m ²
Oppervlak zonnepanelen aanhanger links	2,2 m ²
Oppervlak zonnepanelen aanhanger rechts	2,2 m ²
Oppervlak zonnepanelen aanhanger boven	1,0 m ²
Oppervlak zonnepanelen aanhanger achter	0,8 m ²
Azimut hoek zonnepanelen aanhanger	±74 graden

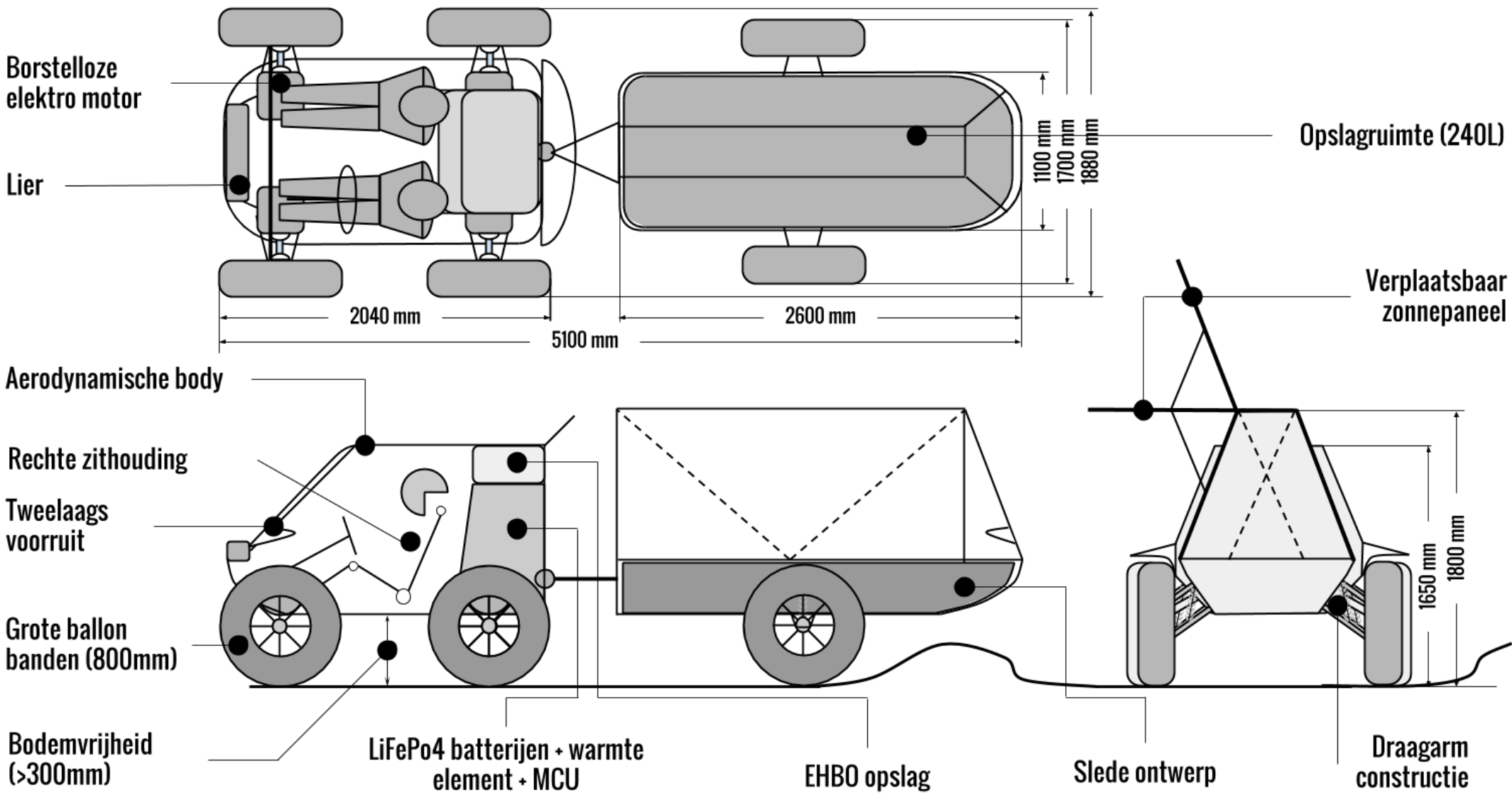
Met deze parameters zijn de berekeningen voor de verwachte rijsnelheid en gronddruk uitgevoerd (zie 9.1.1 en 9.1.2). Deze berekeningen zijn om een indicatie van de haalbaarheid van het voertuig te krijgen. Uitgebreidere berekeningen zullen later gedaan worden in paragraaf 9.3, wanneer blijkt dat dit ontwerp mogelijk is. De exacte berekening is gedaan in een parametrisch opgestelde Excelsheet. Deze sheets zijn weergegeven op de website goo.gl/tZvbg3 en zijn eerder in paragraaf 3.1.1 en 5.2 al behandeld.



Versie 1 - Definitieve conceptring

Deze eerste versie van de definitieve conceptring heeft als basis conceptring 2. Hierbij bestaat het voertuig uit twee delen voor makkelijker transport, en een lage gronddruk. Beide onderdelen hebben een gestroomlijndere vorm en hebben meer de vorm van een slede waardoor repatriatie gemakkelijk zal zijn. Ook is de zit houding van de expeditieleden rechter waardoor het voertuig sneller verlaten kan worden. Op de aanhanger zijn beweegbare zonnepanelen gemonteerd die voor een hogere opbrengst zullen zorgen omdat ze gericht kunnen worden op de zon. Deze panelen zijn ook vast te zetten wanneer te harde wind waait. Voor opslag van energie is het type LiFePo4 batterij gebruikt om zijn hoge energiedichtheid. De batterijen en warmte element bevinden zich in het eerste voertuig samen met de expeditieleden zodat warmte wederzijds gebruikt kan worden. Ook zijn hierdoor de batterijen en controles gemakkelijk bereikbaar.

- + Meerdere voertuig delen
- + Lage gronddruk
- + Gemakkelijk te repatriëren
- Instabiel door kleine wielafstand



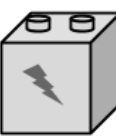
Versie 1 - Definitieve conceptring

Voertuig met twee delen, instelbare zonnepanelen en slede ontwerp

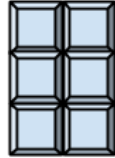
RC



Voorwiel gestuurde stuurinrichting
Zodat obstakels direct ontweken kunnen worden



LiFePo4 batterijen voor hoog energie/gewicht ratio
Voor toegankelijkheid en betrouwbare prestaties in koude omgevingen



Polykristallijne cellen geplaatst in panelen
Voor het hoogste rendement ondanks bewolking



Twee rijplaten plus een lier aan voorkant
Om sneeuwbruggen of ijspleten te overbruggen



Velg van holle buizen + stevige buitenband
Lichtgewicht maar toch sterk en met lage grondruk

Figuur 44, Versie 1 - Definitieve conceptring. Stijl overgenomen en aangepast van: (Stuart, Ralph, Freeman, Murray, & Wardle, 2009)

9.1.1. Vermogen uit de zon en de rijsnelheid

Voor deze berekening is uitgegaan van een gemiddelde hoeveelheid zonnestraling per vierkante meter. Voor links is dit 311 Watt/m², rechts 300 Watt/m², boven 374 Watt/m² en achter 303 Watt/m². Hierbij zal de wisseling van de oriëntatie van het zonnepaneel nog niet meegenomen worden.

Het resultaat van deze berekeningen was dat gemiddeld 700 Watt opgewekt wordt, als het voertuig met de omschreven oppervlakken, in de positie waarin het linker scherm van de aanhanger omhoog staat, en het zonnepaneel rendement 25% is. Dit vermogen samen met de uit paragraaf 5.3.1 gevraagde vermogen curve leidt tot een maximale snelheid van 1,8 m/s. Met deze snelheid zal in 25 uur de dagafstand van 164 km bereikt worden.

Een theoretisch rijtijd van 25 uur per dag is onmogelijk en een rijtijd die dicht bij de 24 uur komt is sowieso zeer krap omdat:

- Het voertuig geen slaapmogelijkheden biedt en er dus een slaapplek gemaakt zal moeten worden (tent);
- Hier geen rekening gehouden is met de soort terrein op *Antarctica*;
- Geen rekening gehouden is met de weersomstandigheden;
- Geen rekening gehouden is met tussenstops of rustpauzes;

Gewenst is hierom dat het voertuig meer vermogen zal krijgen, zodat aannemelijker is dat het voertuig de dagafstand zal volbrengen binnen een tijd onder de 24 uur.

9.1.2. Gronddruk

Een maximale gronddruk van 0,13 kg/cm² was geëist zodat het voertuig niet wegzakt en onnodig veel energie verbruikt (zie paragraaf 3.1.1). De gronddruk kan als gevolg van de bekende parameters berekend worden.

Het resultaat van deze berekening is dat het voorste deel van het voertuig een maximale gronddruk per band van 0,14 kg/cm² heeft. Dit is 0,01 kg/cm² meer dan geëist. Het achterste deel van het voertuig heeft een maximale gronddruk per band van 0,15 kg/cm², 0,02 kg/cm² teveel.

Geëist was een gronddruk van 0,13 kg/cm² en omdat beide delen een gronddruk hebben van meer dan 0,13 kg/cm² zal gezocht moeten worden naar een oplossing.

9.1.3. Conclusie berekeningen

Uit beide berekeningen komt dat versie 1 van de definitieve conceptrichting niet zal kunnen voldoen aan de gestelde eisen. Dit heeft tot gevolg dat niet te verwachten is dat het voertuig een succesvolle expeditie zal hebben. Hierom zullen aanpassingen nodig zijn. Voor het verhogen van het vermogen dat het voertuig krijgt zijn verschillende oplossingen mogelijk:

Tabel 17, Oplossingen om vermogen te vergroten

Oplossing	Voordeel	Nadeel
Uitbreiding zonnepanelen op aanhanger (in lengte)	Meer vermogen	Groter(e) gewicht, gronddruk en aanhanger, wat beiden leidt tot meer energieverbruik
Uitbreiding zonnepanelen op voorste voertuig	Meer vermogen	Groter(e) gewicht en gronddruk wat beiden leidt tot meer energieverbruik
Extra gebruik maken van het <i>Albedo</i> van de sneeuw door toevoeging zonnepanelen op schaduwkant	Meer vermogen, zelfde grootte	Hoger gewicht en gronddruk
Verhogen van aantal zonnepanelen op aanhanger	Meer vermogen	Groter gewicht, gronddruk en aanhanger, wat beiden leidt tot meer energieverbruik
Aanhanger toevoegen	Meer vermogen, lagere gronddruk	Hoger totaalgewicht, lengte en energieverbruik



Ook voor het verlagen van de gronddruk zijn verschillende oplossingen mogelijk:

Tabel 18, Oplossingen om de gronddruk te verlagen

Oplossing	Voordeel	Nadeel
Toevoegen extra banden	Verlaging van gronddruk	Extra weerstand
Verspreiden van gewicht	Verlaging van gronddruk	Extra gewicht moet ergens passen waar de gronddruk laag is

Voor het vergroten van het vermogen is gewenst dat de gronddruk hierdoor niet toeneemt, omdat de gronddruk al hoger is dan de gestelde eis. Ook is gewenst dat de delen van het voertuig niet groter worden in verband met transport, dit was juist een voordeel van conceptringing 2. Als gevolg van deze twee eisen komen de oplossingen 'het extra gebruik maken van *Albedo*' en 'het toevoegen van een extra aanhanger' als oplossingen naar voren. Deze oplossingen hebben een minimale invloed op de gronddruk en een groot effect op de hoeveelheid vermogen.

Het toevoegen van een aanhanger heeft invloed op de bestuurbaarheid wanneer met het overtuig achteruit gereden wordt. Wanneer hellingen beklommen moeten worden heeft het toevoegen van een aanhanger ook invloed omdat meer gewicht meegenomen zal moeten worden; echter een dergelijke aanhanger levert ook extra vermogen op. Een mogelijkheid zal dan ook zijn om de aanhangers los te koppelen en individueel te verplaatsen (mogelijk zelfs met de hand). Het rijden met meerdere aanhangers is ook eerder al gedaan tijdens een succesvolle Noordpool expeditie (Marine Live-Ice Automobile Expedition, 2014).

Het verlagen van de gronddruk is als gevolg van de oplossingen die naar voren komen bij het vergroten van het vermogen door beide oplossingen mogelijk. Door gebruik te maken van een aanhanger voeg je extra banden toe en kan het gewicht verspreid worden over de aanhangers.

Deze oplossingen zullen in versie 2 van de definitieve conceptringing uitgewerkt en wederom getest worden.



9.2. Versie 2, definitieve conceptring

De tweede en verbeterde versie van de definitieve conceptring is weergegeven in figuur 46. Uitleg over deze conceptring is links en onder in het figuur weergegeven. Hieronder zal ook enige toelichting gegeven worden.

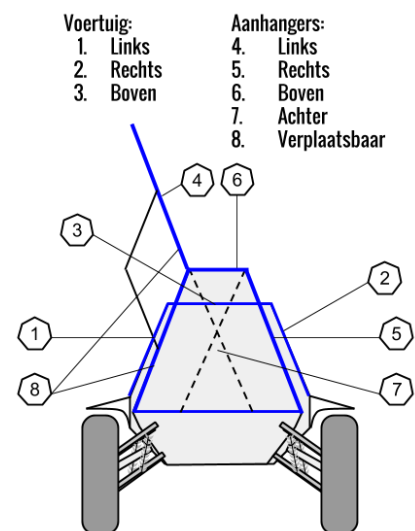
De definitieve conceptring bestaat uit drie los te maken delen waarbij het voorste deel (met vier wielen) is aangedreven. Er is gekozen voor het gebruik van drie delen omdat hierdoor het oppervlak aan zonnepanelen vergroot wordt en de gronddruk afneemt. Hiernaast is een relatief kleine ruimte gemakkelijk te verwarmen, gemakkelijker te transporteren en gemakkelijker door de expeditieleden te verplaatsen. De gewichtsverdeling is, van voor naar achter, 585 kilogram, 205 kilogram en 205 kilogram, en komt voort uit bijlage v en overleg met dhr. Vos (Vos, 2014). De onderverdeling van deze gewichten is weergegeven in figuur 50. Voor het verplaatsingsgemak is het slede-ontwerp in ieder deel van het voertuig, zowel voor als achter, terug te vinden.

De aandrijving vindt plaats door individueel aangestuurde borstelloze elektrische motoren, zodat een zo hoog mogelijk rendement in de overbrenging gehaald wordt. Om het benodigde vermogen te beperken is gebruik gemaakt van lichtgewicht banden die simpel te vervangen zijn. Deze banden zijn links en rechts van het voertuig in een lijn gepositioneerd zodat ze zich over elkaars spoor verplaatsen. De batterijen zijn van het LiFePo4 type en zijn op de geïsoleerde bodem van het eerste voertuig geplaatst. Dit verlaagt het zwaartepunt van het voertuig wat ten goede komt aan de wegligging. Daarnaast zijn de benodigde controllers geplaatst in het voertuig, waardoor deze van binnen, en eventueel van buiten via de nooduitgang toegankelijk zijn. Deze extra veiligheidsmaatregel achter in het eerste voertuig zorgt voor een snelle evacuatie.

Het totale oppervlak aan zonnepanelen komt neer op 23,1 m² (meer dan verdubbeling vergeleken met versie 1) en is verdeeld over acht vlakken, zoals aangegeven in figuur 45. Beide zijden van de aanhangers beschikken over een kantelbaar zonnepaneel dat gericht kan worden op de zon, maar ook vastgezet kan worden wanneer hij instabiel wordt door een te hoge windsnelheid. Dit had wel tot gevolg dat er een kant van de aanhangers ongebruikt bleef (ondanks het *Albedo*). Hiervoor zijn twee verplaatsbare zonnepanelen, per aanhanger, bedacht die in deze ruimte gezet kunnen worden, zowel links als rechts, boven en onder (zie nr. 8). Deze panelen vangen enkel diffuus zonlicht op en bestaan daarom uit amorfe zonnecellen (zie paragraaf 6.2.2). Deze cellen zorgen voor een hoger beschikbaar vermogen en maximaal gebruik van de beschikbare ruimte op de aanhangers.

Aan de voorzijde van het voertuig is een lier weergegeven en in de aanhangers is onder de zonnepanelen ruimte beschikbaar voor de opslag van rijplaten, reserve onderdelen en mee te nemen materiaal.

Voor het comfort van de expeditieleden is ook gedacht aan de slaapruijmt. Dit is mogelijk in het eerste voertuig, door de stoelen naar achter te kantelen. Een echt liggende slaapmogelijkheid is er ook, maar dan wel in de vorm van een luchtbed/veldbed in een tent die in de bagage meegenomen zal worden.

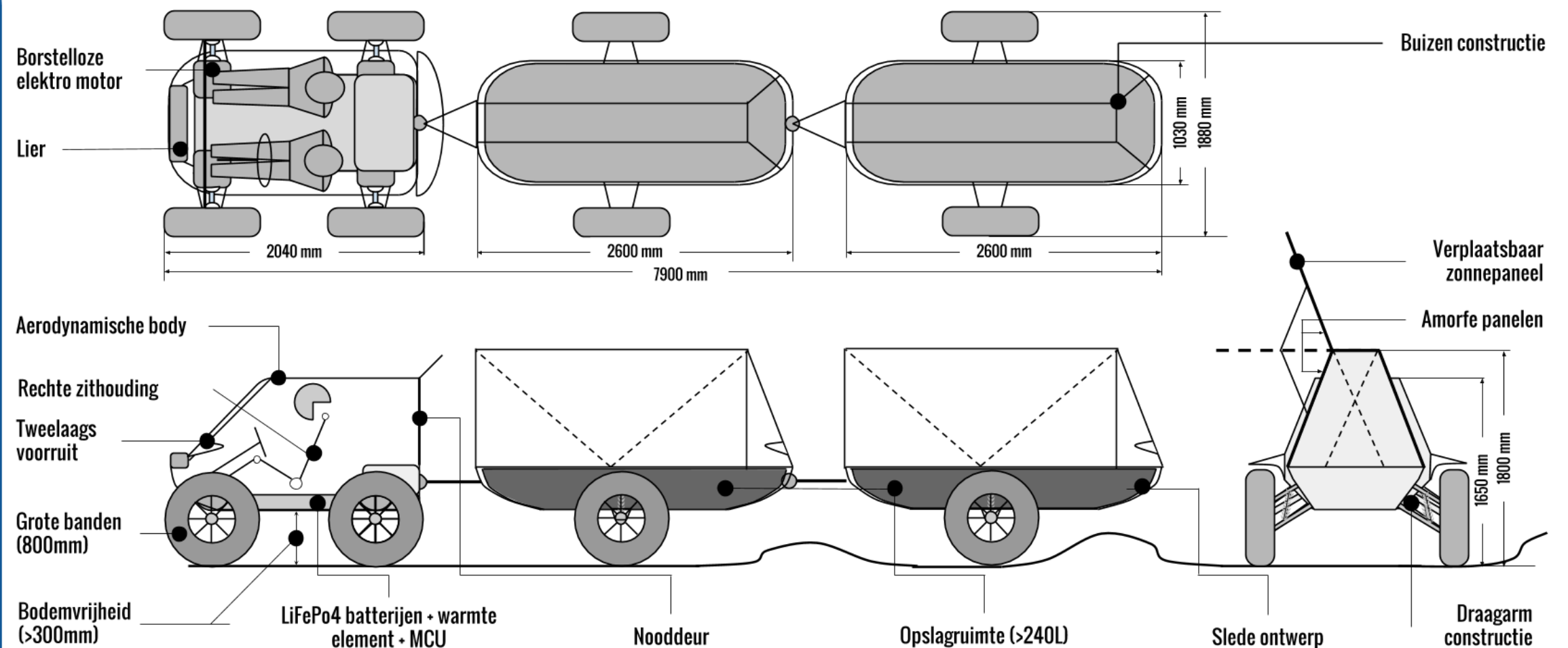


Figuur 45, Aantal en positie zonnepanelen

Versie 2 - Definitieve conceptrichting

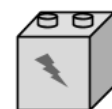
Deze tweede versie van de definitieve conceptrichting beschikt over drie delen voor gemakkelijk transport, een hoge vermogen opbrengst en goede spreiding van het gewicht. Deze laatste zorgt voor een minimale grondruk en afname van de grote van de aanhangers. Naast deze verandering is ook een tweede type zonnepaneel toegevoegd. Dit tweede type zonnepaneel is een amorf type en wordt in de schaduwzijde van de kantelbare panelen geplaatst. Dit kan zowel links als rechts. Hierdoor zal de opbrengst toenemen. Ook zijn de batterijen verplaatst van achter de bestuurders naar onder de bestuurders. Dit is gedaan zodat ruimte was voor een nooduitgang in het eerste voertuig. Hiernaast zal het zwaartepunt lager liggen en het rijgedrag fijner zijn. Nog een belangrijk verschil met versie 1 is dat de banden uitgelijnd zijn zodat ze over elkaars pad rijden en minder energie nodig zal zijn. Bovendien is voor eventuele repatriatie een dubbelzijdig slede ontwerp toegepast bij de aanhangers.

- Lage gronddruk
- Spreiding van het gewicht
- Gemakkelijk te repatriëren
- Maximale vermogen opbrengst
- Snel te verlaten
- Laag zwaartepunt vooraan
- Instabiel door kleine wielafstand



Definitieve conceptrichting

Voertuig met twee delen, instelbare zonnepanelen en slede ontwerp



Figuur 46, Versie 2 - Definitieve conceptrichting. Stijl overgenomen en aangepast van: (Stuart, Ralph, Freeman, Murray, & Wardle, 2009)

9.3. Test berekeningen definitief concept

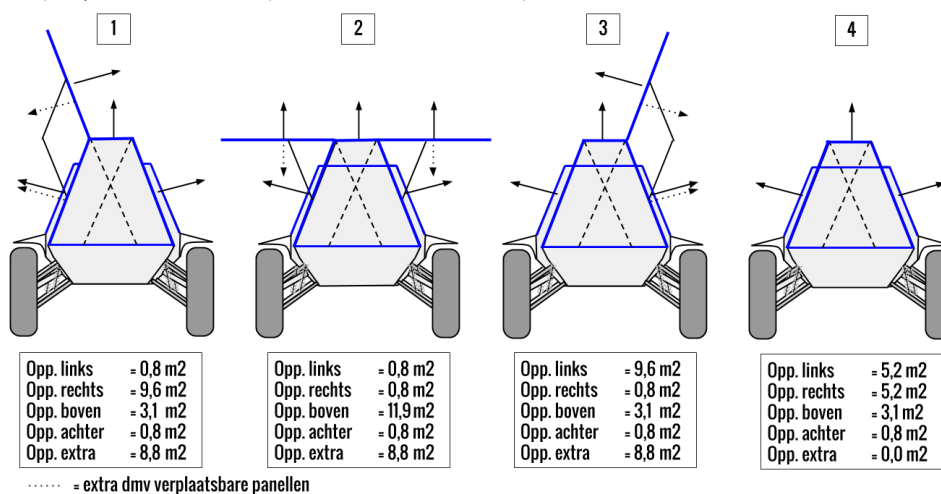
Om deze tweede definitieve conceptring te controleren en extra inzicht te geven in de haalbaarheid van deze conceptring zijn alle eerder gemaakte berekeningen voor deze conceptring herhaald. Dit is wederom gedaan door de voertuigparameters van deze conceptring in te voeren in de parametrisch opgestelde rekensheets. De voertuigparameters zijn hieronder weergegeven in tabel 19. De resultaten zijn weergegeven in de sub-paragrafen van paragraaf 9.3 samen met eventuele uitleg over de gebruikte data en definitieve uitkomsten.

Tabel 19, Voertuigparameters

Voertuig parameter	Waarde
Gewicht (leeg)	650 kg
Gewicht (vol)	1000 kg
Gewicht voorste deel	595 kg
Gewicht aanhangers (per stuk)	205 kg
Wiel breedte	250 mm
Wiel diameter	800 mm
Aantal wielen	8
Minimale banddruk	3 Psi
Frontaal oppervlak	2,5 m ²
Oppervlak zonnepanelen voertuig links	0,8 m ²
Oppervlak zonnepanelen voertuig rechts	0,8 m ²
Oppervlak zonnepanelen voertuig boven	1,1 m ²
Oppervlak zonnepanelen aanhangers links	4,4 m ²
Oppervlak zonnepanelen aanhangers rechts	4,4 m ²
Oppervlak zonnepanelen aanhangers boven	2,0 m ²
Oppervlak zonnepanelen aanhangers achter	0,8 m ²
Oppervlak zonnepanelen aanhangers extra L/R, B/O	8,8 m ²
Azimut hoek zonnepanelen aanhanger	±74 graden

9.3.1. Vermogen uit de zon

De uitleg achter de berekening voor het vermogen dat geproduceerd wordt door de fotovoltaïsche cellen is weergegeven in paragraaf 5.2. Doordat het oppervlak dat gericht is naar de zon wisselt per positie van de zonnepanelen, zijn er drie situaties geschetst, zie figuur 47. Wat niet wisselt is de gemiddelde hoeveelheid zonnestraling per vierkante meter (LOW95 is in dit geval, zie paragraaf 5.2.3). Voor links is dit 311 Watt/m², rechts 300 Watt/m², boven 374 Watt/m² en achter 303 Watt/m².



Figuur 47, Zonnepaneel oppervlakken, per oriëntatie van zon

Dit betekent per situatie, met een polykristallijn zonnecelrendement van 25%, amorf zonnecelrendement van 14% en een *Albedo* van 90% dat gemiddeld de volgende hoeveelheid vermogen opgewekt wordt (Hartmann, 1994; Azhar Ghazali & Abdul Rahman, 2012; Wiel, 2014):

Tabel 20, Opgewekte vermogens, per situatie

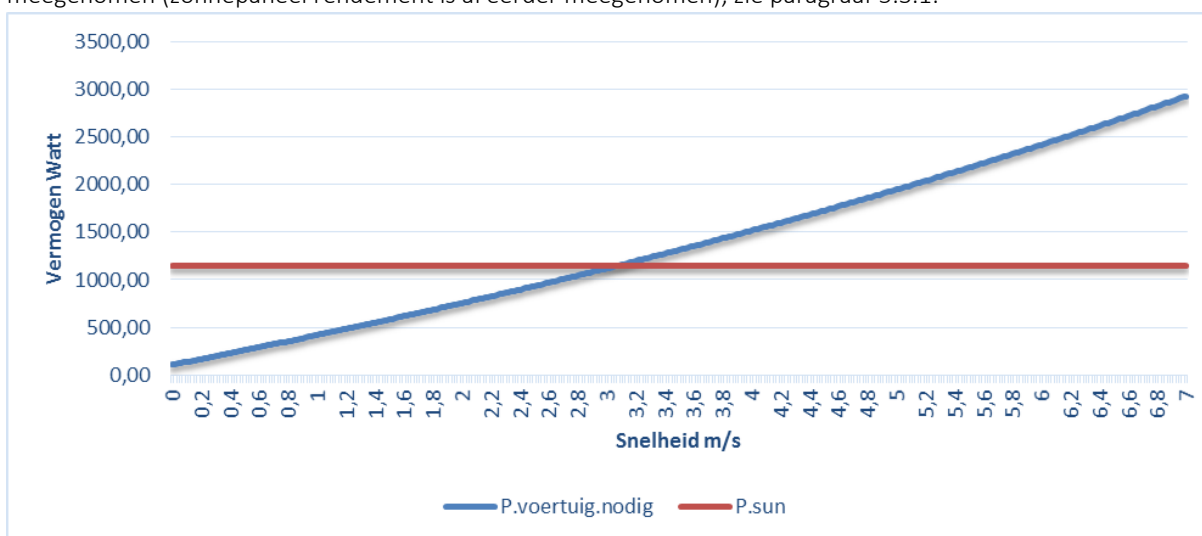
	Situatie 1	Situatie 2	Situatie 3	Situatie 4
Vermogen links	62 Watt	62 Watt	746 Watt	404 Watt
Vermogen rechts	720 Watt	60 Watt	60 Watt	390 Watt
Vermogen boven	290 Watt	1113 Watt	290 Watt	290 Watt
Vermogen achter	61 Watt	61 Watt	61 Watt	61 Watt
Vermogen extra	345 Watt	338 Watt	333 Watt	0 Watt
Totaal	1478 Watt	1636 Watt	1490 Watt	1145 Watt

Bovenstaande vermogens zijn gemiddelde, reële opbrengsten waarbij rekening is gehouden met een rij-situatie waarbij de azimuthhoek van de zon varieert gedurende de rit. Uit deze tabel zal het laagste vermogen (1145 Watt) gebruikt worden voor de berekening van de snelheid (waarbij $P_{\text{voertuig}} = P_{\text{zon}}$).

9.3.2. Gevraagd voertuigvermogen

Met de gegeven parameters en de formules van paragraaf 5.3 kan het vermogen dat het voertuig nodig heeft berekend worden. Dit is naast het vermogen dat de zonnepanelen opwekken van belang voor de snelheid waarmee gereden kan worden, zoals beschreven in paragraaf 5.3.2.

In figuur 48 is het gevraagde voertuigvermogen samen met het zonnepaneelvermogen uitgezet tegen de snelheid. Hierbij is ook het rendement van 92% van het elektrische systeem en 85% motor rendement meegenomen (zonnepaneel rendement is al eerder meegenomen), zie paragraaf 5.3.1.



Figuur 48, Definitief snelheid – benodigd vermogen diagram, per snelheid het benodigde en verkrijgbare vermogen

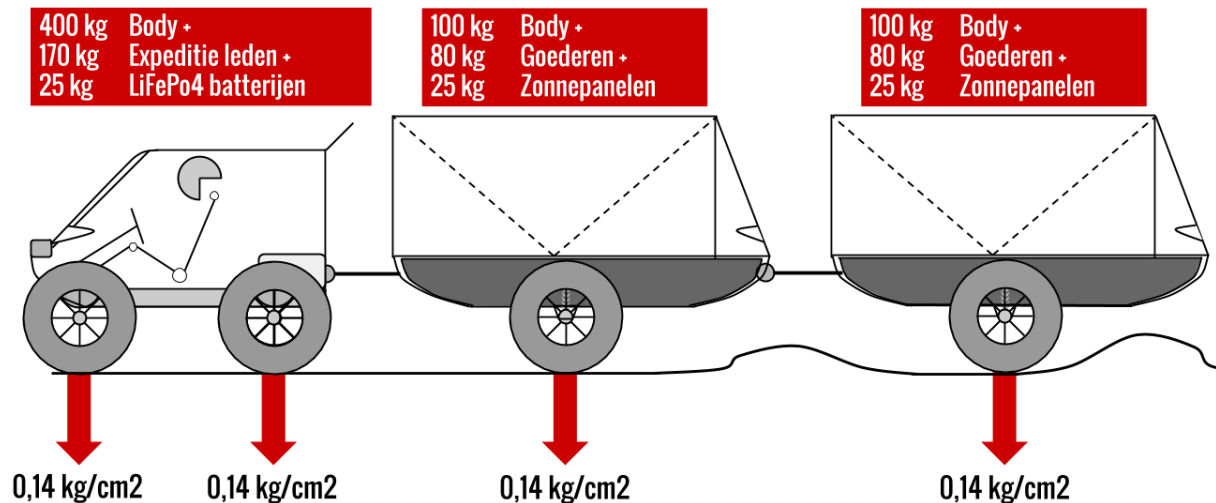
In figuur 48 is te zien dat het vermogen van het voertuig en het geleverde vermogen van de zon kruisen bij een snelheid van 3,1 m/s. Deze snelheid is ruim voldoende voor een dagafstand van 164 km. De minimale snelheid is 1,9 m/s en bij een snelheid van 3,1 m/s zou dit betekenen dat in vijftien uur de dagafstand bereikt wordt. Het overzicht van rij- en stopmoment is hiernaast weergegeven met een rood kruis voor het bereiken van de Geografisch Zuidpool.



Figuur 49, Rij- en stoptijden van de expeditie, per dag

9.3.3. Gronddruk

De gronddruk is van vele factoren afhankelijk en is bepalend voor het succes van de expeditie. Geëist was een gronddruk van $0,13 \text{ kg/cm}^2$ als gevolg van de onderzochte andere voertuigen in paragraaf 3.1.1 en bijlage iv. Met de zelfde berekeningen is de gronddruk van de definitieve conceptring berekend. Hiervoor is de gewichtsverdeling gemaakt zoals weergegeven in figuur 50. Bij deze berekening is uitgegaan van een gelijke gewichtsverdeling over de wielen, per compartiment.

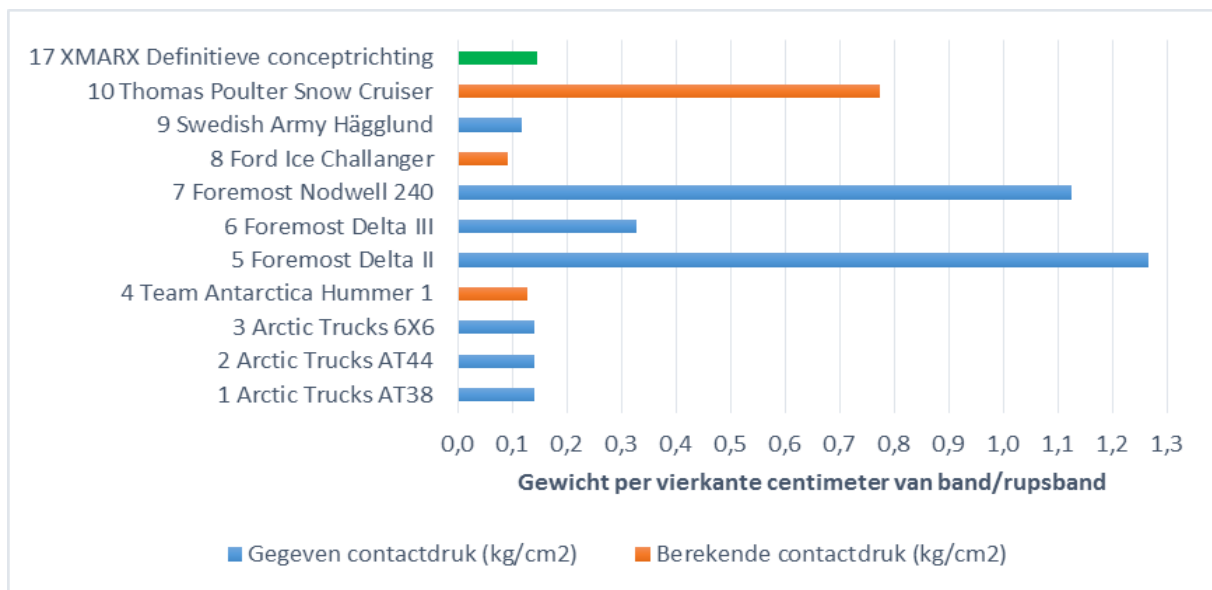


Figuur 50, Gewichtsverdeling definitieve conceptring, per voertuigonderdeel

De in figuur 50 weergegeven hoeveelheid kilogram aan batterijen is afhankelijk van de energiedichtheid van een batterij. Zoals in tabel 10 is weergegeven is de energiedichtheid van een LiFePo4 batterij 120 Wh/kg . Het maximale vermogen dat door het voertuig gevraagd wordt is in paragraaf 9.3.4 berekend en is 5840 Watt voor een tijdsduur van 30 minuten. Met andere woorden 2920 Watt uur , omdat het maar een half uur geleverd hoeft te worden. Als 2920 Wh gedeeld wordt door de energiedichtheid van de LiFePo4 batterij van 120 Wh/kg blijft enkel het gewicht van de hoeveelheid batterijen over: $\frac{2920 \text{ Wh}}{120 \text{ Wh/kg}} = 25 \text{ kg}$.

Met de in tabel 19 weergegeven parameters en de gewichtsverdeling zoals bovenin figuur 50 is weergegeven is de gronddruk berekend volgens de in bijlage iv gebruikte formules. Het resultaten van de berekening kwamen allen uit op $0,14 \text{ kg/cm}^2$ en zijn dus allemaal nog steeds $0,01 \text{ kg/cm}^2$ te hoog volgens de gestelde eis.

Het verminderen van deze gronddruk is niet gelukt doordat ook extra zonnepanelen toegevoegd zijn per aanhanger. Verwacht wordt echter dat dit geen grote problemen zal opleveren omdat de eis gesteld is aan de hand van een gemiddelde. Er zijn andere voertuigen geweest zoals de voertuigen van Arctic Trucks die recent ook met een gronddruk van $0,14 \text{ kg/cm}^2$ succesvolle expedities hebben gedaan (Arctic Trucks, 2010). Hieruit kan ook geconcludeerd worden dat de eerder gestelde eis van maximaal $0,13 \text{ kg/cm}^2$, genomen over het gemiddelde van verschillende voertuigen, te veilig was en aangepast kan worden naar $0,14 \text{ kg/cm}^2$. De gronddruk kan verbeterd worden door het gewicht te reduceren, de breedte of diameter van de band groter te maken of de minimale druk in de band te verlagen (kleiner dan drie Psi). In figuur 51 op de volgende pagina is de positie van de definitieve conceptring qua gronddruk weergegeven samen met de eerder berekende gronddrukken.



Figuur 51, Grondruk per (rups)band, positie van de definitieve conceptring, vergeleken met andere voertuigen op Antarctica

9.3.4. Motorvermogen voor verschillende situaties

Voor het bepalen van de beste motor is het noodzakelijk om enkele gegevens van deze motor te hebben. Deze zijn eerder al geschat en uitgelegd in paragraaf 6.2.5 en kunnen nu specifieker berekend worden omdat er meer specificaties van het voertuig beschikbaar zijn. De resultaten zijn weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel 21, Motor specificaties definitieve conceptring, per snelheid en hoek

Voertuig prestatie eisen/wensen						
Snelheid	Hellingshoek (+)	Duur	Berekend			
			n [rpm]	P [kW]	τ [Nm]	
7 km/h	1°	Constant	46	0,72	148	← Nominaal
10 km/h	1°	Constant	66	1,03	148	
13,3 km/h	1°	Constant	88	1,39	150	
15 km/h	1°	Constant	100	1,57	150	
20 km/h	1°	Constant	132	2,12	153	
7 km/h	10°	1 minuut	46	3,69	759	
7 km/h	16,7°	30 min	46	5,84	1202	
10 km/h	10°	1 minuut	66	5,27	759	
0 - 10 km/h	1°	3 sec	0 - 33	5,14	1479	
0 - 5 km/h	10°	2 sec	0 - 17	3,05	1758	

Omdat het maximaal gevraagde motorvermogen hoger ligt dan wat de zonnepanelen kunnen leveren, zal dit extra vermogen geleverd moeten worden door de batterij. Dit is ook goed mogelijk omdat de LiFePo4 batterijen in korte tijd veel vermogen kunnen leveren. Hierdoor zal het voertuig wel langzamer dan 3,7 m/s moeten rijden zodat de batterijen opladen, maar dit is mogelijk omdat het voertuig bijna 1,8 m/s sneller rijdt dan wat minimaal nodig is aan snelheid.



10. Conclusie

Uit dit onderzoek is gebleken dat *Antarctica* een omgeving is die erg veel van een voertuig en expeditieleiden vraagt. Eisen die gesteld worden aan het voertuig zijn bijvoorbeeld een maximale gronddruk van $0,13 \text{ kg/cm}^2$ of een bodemvrijheid van 300 mm. Op de route van Union Glacier naar de *Geografische Zuidpool*, die representatief is voor vele routes op *Antarctica*, krijg je te maken met een hoogteverschil van maar liefst 2141 meter. Ook constante ijzige winden vanuit het zuiden, temperaturen van -40°C en snelheden van gemiddeld 34,2 km/h tot windstoten ver boven de 50 km/h komen voor. Hiernaast zijn er ook geërodeerde sneeuw- en ijsheuvels, Sastrugi, die gemakkelijk tot een hoogte van 300 mm boven het oppervlak kunnen uitsteken.

Ondanks al de extreme kenmerken van *Antarctica* zal in de maand december in veertien dagen de tocht van 1150 kilometer heen en 1150 kilometer terug worden afgelegd. Deze tocht zal volledig in autonomie en aangedreven door de zon gebeuren. Doordat *Antarctica* onder de $66,5^\circ$ zuiderbreedte grens ligt, betekent dit dat er in de maanden september tot maart bijna constant zon is. De zon komt in de maand december tot een minimale hoogte van 17 graden en maximale hoogte van 23,44 graden boven de horizon. Het is echter te kort door de bocht om hieruit te concluderen dat *Antarctica* ideaal is voor zonne-energie. Dit komt doordat de hoeveelheid zonne-energie die op een zonnepaneel valt afhankelijk is van de oriëntatie van dit paneel, de bewolgingsgraad en het soort zonnepaneel.

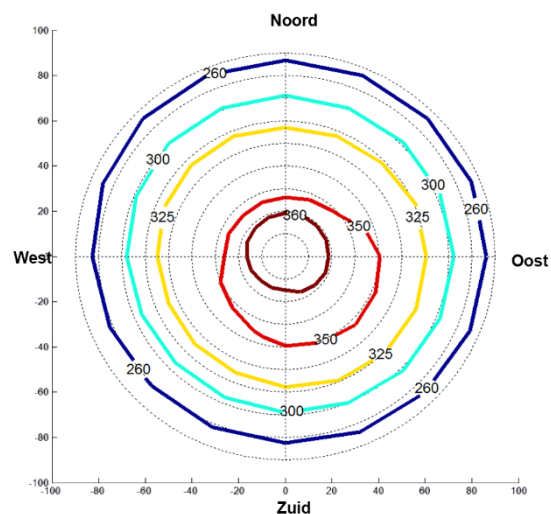
Na het onderzoek dat in deze scriptie is gedaan aan de hand van meetgegevens van de afgelopen tien jaar op *Antarctica*, kan met een zekerheid van 95% aangenomen worden dat het totale aantal uren dat het bewolkt is in december tussen de 25,6% en 32% zal liggen. Bij deze hoeveelheid bewolking is een polykristallijn zonnepaneel het meest geschikt. Dit is het gevolg van het feit dat een polykristallijn zonnepaneel een 36% hoger rendement heeft dan een amorf-zonnepaneel bij onbewolkte dagen en een maar 3% lager rendement heeft dan een amorf-zonnepaneel bij bewolkte dagen. Hiernaast is een polykristallijn zonnepaneel ook goedkoper dan een monokristallijn zonnepaneel en is het verschil in rendement minimaal.

Van dezelfde meetgegevens als waar de bewolgingsgraad mee is bepaald, is de gemiddelde hoeveelheid zonne-energie die per vierkante meter ontvangen wordt berekend. Samen met een complexe rekensheet van het Amerikaanse Ministerie van Handel is vervolgens het hiernaast weergegeven radardiagram gemaakt. Hierin is de minimale hoeveelheid zonne-energie met 95% zekerheid weergegeven, per oriëntatie van het zonnepaneel.

Naast het beschikbare vermogen is ook het gevraagde vermogen van groot belang voor de haalbaarheid van de expeditie. Dit kon pas definitief bepaald worden nadat keuze voor een definitieve conceptringing gemaakt was. Deze definitieve conceptringing is het gevolg van een ontwerpproces waarbij veertig verschillende oplossingen onderzocht en getest zijn. Hierna zijn de resterende oplossingen als integrale conceptringingen getest aan de hand van het programma van eisen, en is met de sterkste punten van iedere conceptringing een definitieve conceptringing ontwikkeld.

De definitieve conceptringing is de meest geschikte combinatie van technische (deel)oplossingen die een voertuig in volledige autonomie, aangedreven door zonne-energie, over een afstand van 2300 kilometer over *Antarctica* kan voortbewegen. Deze conceptringing heeft een zonnepaneel-oppervlak van 18 m^2 dat met 95% zekerheid minimaal 1473 Watt oplevert. Het voertuig zal zich hierdoor met een snelheid van 3,7 m/s voortbewegen. Dit betekent dat de expeditie-afstand van 2300 kilometer in veertien dagen te rijden is. Hierbij zijn de systeemrendementen van de zonnecellen (25%), het rendement van het elektrische systeem (92%) en het rendement van de elektromotoren (85%) meegenomen.

De definitieve conceptringing heeft een gronddruk per wiel van $0,14 \text{ kg/cm}^2$. Deze gronddruk is $0,01 \text{ kg/cm}^2$



Figuur 52, Low95 zonne-energie aanbod op Antarctica, per paneel-zenithoek en paneel-azimuthoek

hoger dan geëist is. Desondanks is de definitieve conceptring de meest geschikte keuze om de expeditie mee uit te voeren. Verwacht wordt dat dit geen grote problemen zal opleveren omdat deze eis gesteld is aan de hand van een gemiddelde. Er zijn andere voertuigen geweest zoals de voertuigen van Arctic Trucks die recent ook met een gronddruk van $0,14 \text{ kg/cm}^2$ succesvolle expedities hebben gedaan.

De resultaten van dit onderzoek wijzen uit dat de expeditie, samen met alle gestelde eisen, haalbaar lijkt. Er kan op meerdere manieren invulling gegeven worden aan het voertuig dat voldoet aan de gestelde eisen. De verwachte definitieve richting is in dit verslag uitgewerkt als de definitieve conceptring en is hieronder weergegeven. Door slim gebruik te maken van de positionering van de zonnepanelen en het type zonnepaneel is het maximale oppervlak aan zonnepanelen verkregen. Tevens is door een lichtgewicht en simpele constructie het gewicht geminimaliseerd en is het voertuig gemakkelijk te repareren. De slimme positionering van de batterijen draagt bij aan de ligging van het voertuig en minimaliseert de hoeveelheid energie die nodig is voor de verwarming. Tevens wordt lichaamswarmte en een donker gekleurd interieur gebruikt voor de verwarming en is door spreiding van het totaalgewicht een lage gronddruk bereikt.



Figuur 53, Photoview 360 rendering van definitief conceptontwerp op Antarctica



10.1. Discussie en aanbeveling

In deze scriptie is onderzoek gedaan naar of het haalbaar is om met een door zonne-energie aangedreven voertuig een 2300 kilometer lange expeditie op Antarctica te maken van Union Glacier naar de Geografisch Zuidpool en terug. Hieronder zullen de discussiepunten en aanbevelingen omtrent de definitieve conceptringing die uit het onderzoek voortvloeide besproken worden.

10.1.1. Terugkoppeling naar bevindingen/gebruikte resultaten

Een deel van de in paragraaf 3.1.1 en bijlage iv gebruikte gronddrukken, zijn aan de hand van een theoretische benadering van de gegevens van andere voertuigen uit *Antarctica* ontstaan. Hierbij is gezegd dat het exact berekenen van de grondruk afhankelijk is van vele parameters, en theoretisch slecht te benaderen is (Saarilahti, May 2012). Aan de hand van een gemiddelde berekening is vervolgens eis nummer 9 ontstaan: het voertuig moet een maximale grondruk van $0,13 \text{ kg/cm}^2$ hebben. Deze eis is uiteindelijk op $0,01 \text{ kg/cm}^2$ niet gehaald door de definitieve conceptringing. Desondanks wordt verwacht dat dit geen grote gevolgen heeft, omdat andere voertuigen ook met een maximale grondruk van $0,14 \text{ kg/cm}^2$ hebben gereden. Maar het is wel van belang wat de exacte invloed van een hogere of lagere grondruk zal zijn. Daarom zal dit nog onderzocht moeten worden.

Voor het berekenen van de beschikbare hoeveelheid zonne-energie in paragraaf 5.2 is gebruik gemaakt van een rekensheet van een departement van het Amerikaanse Ministerie van Handel, National Oceanic and Atmospheric Administration. Deze rekensheet is deels aangepast door de afstudeerder. Deze aanpassingen zijn bijvoorbeeld gedaan in het nulpunt vanaf waar de azimuthhoek gemeten wordt. Dit was in de originele rekensheet het noorden, maar is bij nader inzicht gedaan vanuit het oosten over het noorden. Dit was handiger in gebruik. De rekensheet is in de gemodificeerde vorm niet getest aan de praktijk, maar is wel vergeleken met data uit testen van het Solar Team Eindhoven (Wiel, 2014). Hierbij kwam de rekensheet nagenoeg overeen. In het vervolg van deze opdracht wordt aanbevolen de rekensheet te testen aan de hand van meer praktijkdata, zodat de sheet nog beter gevalideerd kan worden en waar nodig de uitkomsten in overeenstemming kunnen worden gebracht met de praktijk. Deze afstemming zal voor een nauwkeurigere berekening van de beschikbare hoeveelheid zonne-energie zorgen.

Onderzoek en testen zullen nodig zijn voor de berekening van de oriëntatiefactor van diffuus zonlicht, η_{diff} . Zoals in paragraaf 5.2.2 is aangegeven, is het onduidelijk in welke mate deze berekening rekening houdt met het *Albedo*, de reflectiefactor van het oppervlak. In dit onderzoek is daarom opzettelijk met een minimale schatting gerekend. Om meer duidelijkheid te krijgen over de invloed van het *Albedo* op de gemeten waarden zal verder onderzoek naar de manier van meten en de invloed hiervan vereist zijn.

De in dit onderzoek gebruikte elektrische rendementen (zie paragraaf 5.3) zijn verkregen uit verschillende en betrouwbare bronnen, maar zijn niet gegeven bij een temperatuur van bijvoorbeeld -45 graden Celsius. Naar mogelijke invloeden van deze temperatuur is bij enkele oplossingsrichtingen wel theoretisch onderzoek gedaan, maar praktijktesten zijn (nog) niet gedaan. Daarom is het belangrijk dat onderzocht wordt welke invloed een dergelijke temperatuur heeft op het rendement van deze oplossingsrichtingen. Als gevolg hiervan kan het benodigde vermogen fluctueren en zal dit aangepast moeten worden in de rekensheets. In de lijn der verwachting ligt dat het rendement zal toenemen, omdat bijvoorbeeld een zonnepaneel bij lage temperaturen een hoger rendement bereikt.

Gezien de korte periode van 91 dagen waarbinnen dit onderzoek plaats heeft gevonden, zijn niet alle mogelijke denkbare oplossingen voor de functies van het voertuig onderzocht. Doordat echter een breed scala aan oplossingen is bekeken, kan wel aangenomen worden dat een afdoende spectrum bedekt wordt door de bestudeerde oplossingen. Desondanks kan het zo zijn, dat andere oplossingen mogelijk blijken. Deze oplossingen zullen dan vergeleken moeten worden aan de hand van de eerste keuzematrix.

Een oplossing die specifiek extra onderzoek nodig zal hebben is de vocht absorberende kunststof. Van deze kunststof is onbekend wat het gedrag is bij temperaturen onder nul. Hierdoor is deze oplossing afgefallen.



Ook is door de beschikbare tijd niet dieper ingegaan op wensnummer 6.1, het verankeren van het voertuig tijdens stormen. Aanbevolen wordt dat dit verder uitgezocht en uitgewerkt worden in het vervolg van deze opdracht, zodat hier geen onverwachte problemen de kop opsteken. Hier worden geen grote problemen verwacht omdat er veel reeds bestaande toepassingen zijn waarbij dit al is gebruikt, bijvoorbeeld bij vliegtuigen die bij hoge windsnelheden verankert moeten worden om spontane opstijgen te voorkomen. Eveneens worden er diverse tentconstructies op *Antarctica* toegepast die met sjoer-systemen extreem weer kunnen weerstaan.

10.1.2. Vervolgstappen

Naar aanleiding van de tweede versie van de definitieve conceptrichting is de haalbaarheid van de expeditie aannemelijk gemaakt. De definitieve conceptrichting biedt zeer doeltreffende oplossingen voor alle gestelde eisen en wensen. Dit onder andere door de simpele, efficiënte en doeltreffende functievervulling van de onderdelen van het voertuig, waarbij de morfologisch matrix van Zwicky als model is gebruikt (Siers, 2004).

Voor het ontwikkelen van een definitief concept, waarbij aan alle details vorm is gegeven, zijn enkele vervolgstappen noodzakelijk. Deze vervolgstappen zullen hieronder toegelicht worden.

- In dit onderzoek is aangegeven dat de gewenste interne cabinettemperatuur nog niet bekend is (zie paragraaf 3.2.6). Deze temperatuur heeft invloed op de hoeveelheid isolatie en het vermogen van het verwarmingselement van de accu's. Hierom is van belang dat voor het vervolg van deze opdracht onderzocht wordt welke interne temperatuur gewenst is.
- In dit onderzoek zijn verschillende elektrische componenten niet tot in detail vorm gegeven. Bij sommigen is enkel de naam en werking hiervan beschreven. Aanbevolen wordt dat deze componenten in de onderstaande volgorde bepaald worden en dat continue controle van de eerder gemaakte keuzes plaatsvindt, omdat de keuzes elkaar kunnen beïnvloeden.
 - Motorkeuze: tijdens dit onderzoek is geen exacte motorkeuze gedaan. Wel is onderzocht in welke richting de geschikte motor gezocht moet worden. Dit is vermeld in paragraaf 6.2.5 en komt uit op een robuuste borstelloze drie fase aangestuurde AC motor. Ook zijn de gevraagde motorvermogens berekend. Voor verdere detaillering van de motorkeuze is van belang dat verschillende motoren vergeleken, doorgerekend en beoordeeld worden. Hierbij moet rekening gehouden worden met mogelijke krimp als gevolg van de lage temperaturen.
 - In dit onderzoek zijn enkele gegevens van de LiFePo4 batterijen, zoals het gewicht en de energiedichtheid, al besproken of berekend. De details van deze accu zijn echter nog niet vormgegeven omdat deze ook afhankelijk zijn van de exacte motorspecificaties. Daarom wordt aanbevolen dat na de exacte motorkeuze de details van de accu definitief vorm gegeven worden, inclusief de verwarming en isolatie hiervan. Hierbij zal rekening gehouden moeten worden met het berekende piekvermogen, de maximale ontladingssnelheid en de meest efficiënte werktemperatuur. Ook zal rekening gehouden moeten worden met de frequentie waarmee Sastrugi zal optreden. Dit is niet onderzocht in dit onderzoek en kan invloed hebben op de grootte en capaciteit van de accu's. Aanbevolen wordt om hiervoor gegevens van andere expedities of satellietbeelden te gebruiken. Hiernaast geeft de opdrachtgever aan dat bij de uitvoering van de expeditie een tactiek zal worden gevolgd waarbij op basis van nieuwe aardobservatietechnieken grote Sastrugi velden vermeden kunnen worden.
 - Naast de motor en de accu's zijn enkel de Motor Controle Unit, het *Battery Management Systeem* en het koppelcontrolesysteem in dit onderzoek benoemd. Omdat de definitieve eigenschappen hiervan afhankelijk zijn van de motor en accu's, wordt aanbevolen dat dit na de bovengenoemde twee stappen uitgezocht wordt.
 - Doordat na het volgen van de bovenstaande stappen een aantal eerder onbekende elektrische componenten vorm hebben gekregen, wordt aanbevolen dat nu pas het volledige elektrische systeem uitgewerkt wordt. Hierbij zal rekening gehouden moeten worden met eis nummer 12; het elektrisch systeem is volledig veilig. Hiervoor is ook aanbevolen dat een noodstopknop voor beide expeditieleden binnen handbereik geplaatst wordt.



- In dit onderzoek zijn oplossingen en de bijbehorende werkingsprincipes onderzocht en beoordeeld. De oplossingen die meegenomen zijn in de uiteindelijke versie van de definitieve concepttrichting zijn niet uitgewerkt tot op het niveau waarbij alle details van het ontwerp zijn vormgegeven. De exacte oplossingen die aanbevolen worden om als eerste in detail vorm te geven, zijn hieronder toegelicht. Verwacht wordt dat deze oplossingen de meeste uitdagingen op technisch gebied zullen bieden.
 - Bevestiging en ondersteuning van de kantelbare zonnepanelen. Dit is lastig omdat hij sterk, licht en door een persoon te bedienen moet zijn. Ook moet de bevestiging en ondersteuning bestand zijn tegen plotseling opstekende winden en moet aan de onderzijde van het kantelbare zonnepaneel een amorf zonnepaneel bevestigd kunnen worden. Aanbevolen wordt het gebruik van een simpele scharnier constructie met meerdere bevestigingspunten en een simpele, met één hand te bedienen, ondersteuning.
 - De wiel draagarm constructie. Deze constructie draagt het voertuig en vormt de verbinding met de wielen. Deze constructie zal bevestigd moeten worden aan het voertuig en zal bij het voorste voertuig aangedreven en sturend moeten zijn. Door de condities op *Antarctica* moeten deze verbindingen met de binnenzijde van het voertuig stuifsnееuw dicht zijn maar wel de mogelijkheid tot meebewegen bieden. Hiervoor is aanbevolen onderzoek te doen naar hoe andere voertuigen dit probleem hebben opgelost. Bij voertuigen die gebruikt zijn door Arctic Trucks en Astronomical Tours is dit principe ook toegepast (Astronomical Tours, 2003; Arctic Trucks, 2010).

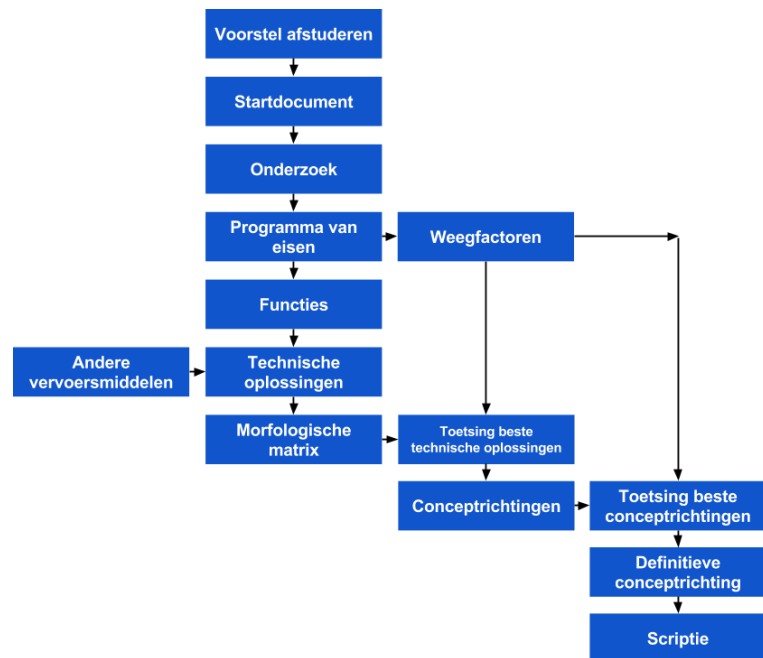
Ook heeft de wiel draagarm constructie een veer en demper tegen schokken en trillingen. Bij dit onderzoek zijn die niet onderzocht en bij de detaillering hiervan zal rekening gehouden moeten worden met de koude en ijzige omgeving van *Antarctica*. Hierbij is de draaicirkel ook van belang voor het ontwerp van de wiel draagarm constructie.
 - Bevestiging van aanhangers aan elkaar/aan het voorste voertuig. De bevestiging zal uiterst flexibel moeten zijn, maar ook bestand moeten zijn tegen lage temperaturen. Tijdens het verplaatsen over Sastrugi kan het voorkomen dat alle voertuigen zich onder een andere hoek bevinden. Voor deze uitdaging is aanbevolen om te kijken hoe dit bij andere voertuigen is opgelost (Arctic Trucks, 2010; Marine Live-Ice Automobile Expedition, 2014).



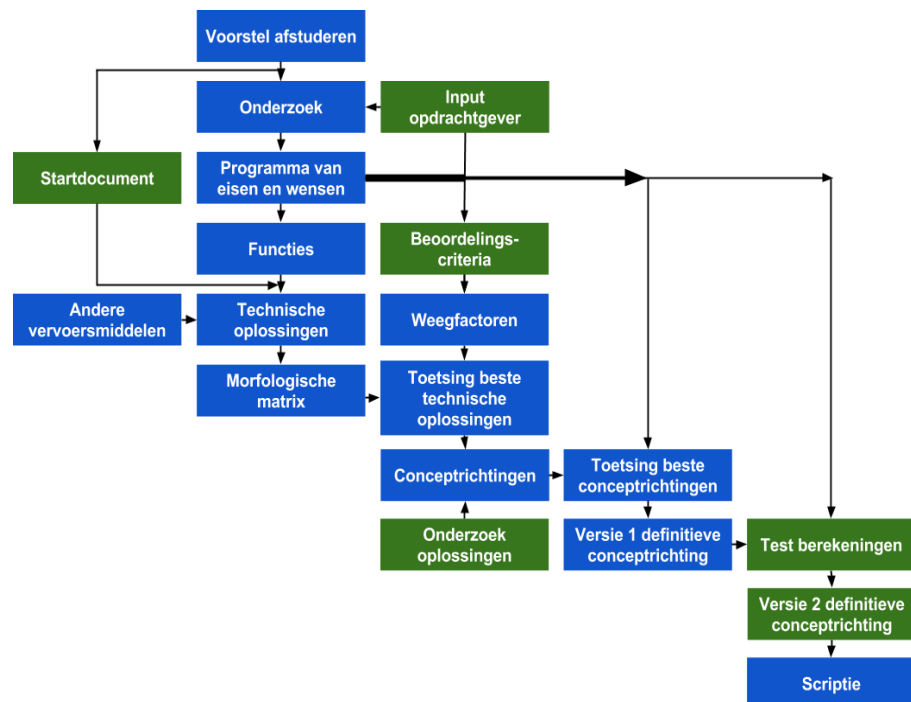
10.2. Procesevaluatie

De volledige planning en structuur van deze opdracht zijn van te voren bepaald. Doordat deze planning strak maar realistisch was, was hij in grote lijnen goed aan te houden. Het punt waar deze planning afweek was vooral in het begin, bij de feedback en aanvulling van het startdocument. Door dit oponthoud is het noodzakelijk geweest om meerdere processen parallel aan elkaar te laten lopen, wat vooral in het begin moeizaam te realiseren was. In deze periode zijn, net als met de schoolbegeleider, afspraken vooruit gepland omdat begeleiding en frequente communicatie noodzakelijk was.

De processtructuur van deze afstudeeropdracht was oorspronkelijk in het startdocument weergegeven zoals in figuur 54. Tijdens het doorlopen van dit proces zijn verschillende aanpassingen en toevoegingen gedaan als gevolg van nieuwe inzichten. Uiteindelijk is het proces, weergegeven in figuur 55, doorlopen. In dit figuur zijn de groene afbeeldingen de toegevoegde proces stappen.



Figuur 54, Schematische weergave van oorspronkelijk proces van afstuderen, per processtap



Figuur 55, Schematische weergave van uiteindelijke proces van afstuderen, per processtap



Geciteerde werken

- 4x4offroads. (2005). *South Pole Expedition - Getting There*. Opgehaald van 4x4offroads.com: <http://www.4x4offroads.com/south-pole-expedition-getting-there.html>
- AccuWeather. (2014, November 1). *Zuidpool, Antarctica*. Opgehaald van AccuWeather: <http://www.accuweather.com/nl/aq/amundsen-scott-south-pole-station>
- Adventure Network International. (2014, april 29). *Blue Ice Airfields*. Opgehaald van Adventure Network International: <http://www.adventure-network.com/blue-ice-airfields>
- Allen, M. (2014, januari). *Real-world range ramifications: heating and air conditioning*. Opgehaald van Fleetcarma: <http://www.fleetcarma.com/electric-vehicle-heating-chevrolet-volt-nissan-leaf/>
- Alles over zonnepanelen. (2012). *Test resultaten omvormers*. Opgehaald van Alles over zonnepanelen: <http://www.allesoverzonnepanelen.nl/omvormers/test-resultaten/>
- Antonucci, V. (2012). Battery Energy Storage technologies for . *Hydrogen – A competitive Energy Storage Medium to enable* (p. 27). Seville, Spanje: Department of Energy and Transportation .
- Arctic Trucks. (2010, december). *ARCTIC TRUCKS @ SOUTH POLE feat. Arctic Expedition AT44*. Opgehaald van Youtube: https://www.youtube.com/watch?v=E_nihtzZekY
- Astronomical Tours. (2003, november 18-26). *Vehicles in Antarctica: What to expect...* Opgehaald van Astronomical Tours: <http://www.astronomicaltours.net/Antarctica2/Vehicles.html>
- Australian Government. (2013, september 3). *Sunlight hours*. Opgehaald van Australian Government, Australian Antarctic Division: <http://www.antarctica.gov.au/about-antarctica/environment/weather>
- Azhar Ghazali, M., & Abdul Rahman, A. (2012). The Performance of Three Different Solar Panels for Solar Electricity Applying Solar Tracking Device under the Malaysian Climate. *Energy and Environment Research; Vol. 2, No. 1*, 1-9.
- Beststockpictures. (2009, juni 27). *Nature pictures ice cream bright white snow*. Opgehaald van Beststockpictures: <http://beststockpictures.toinspire.in/widescreen-wallpapers/nature-pictures-2>
- Bolonkin, A., & Cathcart, B. (2006, september 6). Antarctica: A Southern Hemisphere Windpower Station. p. 17.
- Brooklyn Public Library. (2012, mei 24). *Byrds Eye View*. Opgehaald van Brooklynology: <http://brooklynology.brooklynpubliclibrary.org/post/2012/05/24/Byrds-Eye-View.aspx>
- Bullis, K. (2007, mei 7). *Solar Power at Half the Cost*. Opgehaald van MIT Technology Review: <http://www.technologyreview.com/news/407893/solar-power-at-half-the-cost/>
- Central Intelligence Agency. (2014, april 1). *The World Factbook*. Opgehaald van Central Intelligence Agency: <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/xx.html>
- Collard, A. (2013). *Motor system for world's*. Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven.
- Collard, A. (2014, juli 7). (R. Creemers, Interviewer) Solar Team Eindhoven, Technische Universiteit Eindhoven.
- Cornelissen, M. (2014, maart). (R. Creemers, Interviewer) XMARX.
- Cornelissen, M., Rooijen, W. v., & Vermeer, S. (2001). *Bevlogen Over IJs*. Blaricum, Nederland: V+K Publishing.
- Europa Nu. (2014). *Nederland*. Opgehaald van Europa Nu: <http://www.europa-nu.nl/id/vgaxlcr1jzlc/nederland#p9>
- Hartmann, D. L. (1994). Global Physical Climatology. In D. L. Hartmann, *Global Physical Climatology* (p. 411). Florida: Academic Press.



- Het laatste continent. (2014). *Het continent - Geografie*. Opgehaald van Het laatste continent: <http://www.hetlaatstecontinent.be/continent/geografie.html>
- Holdman, W. (2000, november 17). *Utah Photography*. Opgehaald van Willieholdman: http://www.willieholdman.com/Utah_photography/view.asp?page=32&cat=all&pic=158020001711&se arch=favorite
- HP Wizard.com. (2014, juli 2). *Tire friction and rolling resistance coefficients*. Opgehaald van HPWizard.com: <http://hpwizard.com/tire-friction-coefficient.html>
- Intercel Energie B.V. (2014, juli 15). *pbq Lithium LiFePO4 serie*. Opgehaald van Intercel: <http://www.intercel.nl/overzicht/pbq-lithium-lifepo4-serie.html>
- International Polar Foundation. (2009). *News and Press*. Opgehaald van Antarcticstation: http://www.antarcticstation.org/news_press
- Jaya, B. (2013, april 21). *Harga Sparepart AC*. Opgehaald van Harga Sparepart AC: <http://sparepartac.harga123.com/wp-content/uploads/2013/04/sparepart-ac.jpg>
- Keyser de, M. (2014, June 11). (R. W. Creemers, Interviewer)
- Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut. (2014). *Gemiddelde temperatuur*. Opgehaald van Gemiddeld Gezien: <http://gemiddeldgezien.nl/het-weer/gemiddelde-temperatuur>
- Lenaerts, J., van den Broeke, M., Déry, S., van Meijgaard, E., van de Berg, W., Palm, S., & Sanz Rodrigo, J. (2012). Modeling drifting snow in Antarctica with a regional climate model. *Journal of geophysical Research Vol. 117*, 17.
- Lever, J. H., Streeter, A., & Ray, L. R. (2005). *Performance of a Solar-Powered Robot for Polar*. Hanover: Thayer School of Engineering.
- Marine Live-Ice Automobile Expedition. (2014, maart-april 5 -19). *MLAE-2014*. Opgehaald van Yemelya: http://www.yemelya.ru/diary2014_en.php?lnk=2014
- Masters, G. (2004). *Renewable and Efficient Electric Power Systems*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. Hoboken.
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu. (2014, juli 29). *Weer en gezondheid*. Opgehaald van Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut: http://www.knmi.nl/weer/weer_en_gezondheid/zonkracht.html
- National Renewable Energy Laboratory. (2014). *Best Research-Cell Efficiencies*. National Renewable Energy Laboratory.
- National Science Foundation; University of Wisconsin-Madison. (sd). *Antarctic Weather*. Opgehaald van IceCube: <http://icecube.wisc.edu/pole/weather>
- Panasonic. (2005, Augustus). *VRLA Overview*. Opgehaald van Panasonic: http://www.panasonic.com/industrial/includes/pdf/Panasonic_VRLA_Overview.pdf
- Paterson, W. (1994). *The Physics of Glaciers*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Produlog. (sd). *Verbetertechnieken*. Opgehaald van Produlog: <http://www.produlog.nl/Ontwerptechnieken>
- Rennie, B. (2014, february 12). Opgehaald van Whitevale Golf Club: http://whitevalegc.blogspot.nl/2014_02_01_archive.html
- Saari lahti, M. (May 2012). *Soil interaction model, appendix report No 5*. Helsinki: University of Helsinki, Department of Forest Resource Management.
- Schiebaan, L. (2013, mei 5). *Mono of poly kristallijn zonnepanelen*. Opgehaald van zonneenergie.eu: <http://zonneenergie.eu/mono-of-poly-kristallijn-zonnepanelen/>



- Scooter, D. (2011, november 27). *2008 Lotus Ice Vehicle Concept Car picture*. Opgehaald van Lotuscarchive: <http://lotuscarchive.blogspot.nl/2011/11/2008-lotus-ice-vehicle-concept.html>
- Shona. (2010, augustus 10). *Born To Be Wild*. Opgehaald van Kumilife: <http://kumilife.blogspot.nl/2010/08/born-to-be-wild.html>
- Siers, F. (2004). *Methodisch Ontwerpen*. Groningen/Houten: Wolters-Noordhoff.
- Solar4you. (2012, augustus 17). *Algemeen*. Opgehaald van Solar4you: <http://www.solar-4you.nl/alles-over-zonnepanelen/zonnepanelen/algemeen/verschil/>
- Stuart, M., Ralph, G., Freeman, T., Murray, G., & Wardle, G. (2009). *H-Point: The Fundamentals of Car Design & Packaging*. Design Studio Press: Culver City.
- Swiss World Cargo. (2014, juni 10). *LD-3-45 container*. Opgehaald van Swiss World Cargo: http://www.swissworldcargo.com/web/EN/about_swiss/fleetulds/ulds/Pages/nf-uld-pa-ld345.aspx
- The Engineering Toolbox. (2014, juli 1). *Drag Coefficient*. Opgehaald van The Engineering Toolbox: http://www.engineeringtoolbox.com/drag-coefficient-d_627.html
- The Engineering Toolbox. (2014, juli 1). *Electrical Motor Efficiency*. Opgehaald van The Engineering Toolbox: http://www.engineeringtoolbox.com/electrical-motor-efficiency-d_655.html
- The Mayfield Company. (2001). *Index to Coefficient of Drag for Many Vehicles*. Opgehaald van The Mayfield Company homepage: <http://www.mayfco.com/tbls.htm>
- ThinkQuest. (2007, december 21). *Landschap*. Opgehaald van Antarctica, het onbekende continent: <http://www.hetonbekendecontinent.nl/>
- Tin, T., Sovacool, B., Blake, D., Magill, P., El Naggar, S., Lidstrom, S., . . . Berte, J. (2010). *Energy efficiency and renewable energy under extreme conditions: Case studies*. Elsevier Ltd.
- Toyota. (2010, december). *Toyota Hilux Antarctica challenge - Video*. Opgehaald van Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=tOKmuT3fUBE>
- U.S. Department of Commerce. (2014, juli 1). *ESRL/GMD FTP Data Finder*. Opgehaald van Earth System Research Laboratory: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/dv/data/index.php?site=spo>
- U.S. Department of Commerce. (2014, juli 1). *Solar Calculation Details*. Opgehaald van Earth System Research Laboratory: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc/calcdetails.html>
- Vos, K. (2014). (R. Creemers, Interviewer) Dedemsvaart: Fox Industries B.V.
- Ward, P. (2014, June 11). *Antarctica Climate and Weather*. Opgehaald van Cool Antarctica: <http://www.coolantarctica.com>
- Weather Underground. (2013/2014, November - Januari 1-31). *Zuidpoolstation Amundsen-Scott, Antarctica*. Opgehaald van Weather Underground: <http://www.wunderground.com/cgi-bin/findweather>
- Weimer, D. (2010, september 3). *Sastrugi*. Opgehaald van Beyondthebackyard: <http://beyondthebackyard.com/tag/sastrugi/>
- Wet Bescherming Antarctica, Artikel 1 tot en met 38 ('s-Gravenhage juli 4, 2013).
- Wiel, J. (2014, juli 1). (R. Creemers, Interviewer) Solar Team Eindhoven, Technische Universiteit Eindhoven.
- WWF. (sd). *A unique heritage*. Opgehaald van WWF: http://wwf.panda.org/what_we_do/where_we_work/alps/area/



Bijlage I, Overzicht afbeeldingen en tabellen

Figuur 1, Voertuigen in tijdslijn.....	5
Figuur 2, Reeds bestaande voertuigen beoordeeld op brandstofsoort en bruikbaar terrein.....	12
Figuur 3, Route over Antarctica, representatief voor alle andere routes. Aangepast van: (Cornelissen, 2014)	14
Figuur 4, Gronddruk per (rups)band, per voertuig op Antarctica.....	16
Figuur 5, Stijghoek analyse, gemiddelde stijghoek van de expeditie over dezelfde route uit 2000/2001 (Cornelissen, 2014)	17
Figuur 6, Hoogte analyse, data van de expeditie over dezelfde route uit 2000/2001 (Cornelissen, 2014)	17
Figuur 7, Temperatuur analyse, gemiddelde temperatuur in Union Glacier & Amundsen-Scott (AccuWeather, 2014; Cornelissen, 2014).....	18
Figuur 8, Wind analyse, windrichting en windsnelheid, in november. Overgenomen van: (Lenaerts, et al., 2012).....	19
Figuur 9, Wind analyse, windrichting en windsnelheid, in december. Overgenomen van: (Lenaerts, et al., 2012).....	20
Figuur 10, Wind analyse, windrichting en windsnelheid, in januari. Overgenomen van: (Lenaerts, et al., 2012)	21
Figuur 11, Wind analyse, gemiddelde windsnelheid en windstoten (Weather Underground, 2013/2014; Cornelissen, 2014)	22
Figuur 12, Planning, tijdsindeling van de expeditie	23
Figuur 13, Expeditie slede "Last Degree" voor afmetingen. Overgenomen van: (Cornelissen, 2014)	25
Figuur 14, Vrachtcontainer LD3-45, voor luchttransport. Overgenomen van: (Swiss World Cargo, 2014)	25
Figuur 15, Levenscyclus, levensfase en uitleg per fase van het voertuig	27
Figuur 16, Princess Elisabeth, zero-emissie onderzoeksbasis van België. Overgenomen van: (International Polar Foundation, 2009)	35
Figuur 17, Schematische weergave zon, aarde en aardas, met seizoen indicatie. Aangepast van: (Central Intelligence Agency, 2014)	35
Figuur 18, Gemiddelde directe en diffuse zonne-energie, verkregen uit tien jaar metingen, per minuut, op Antarctica (U.S. Department of Commerce, 2014).....	37
Figuur 19, Oriëntatiefactor van paneel & positie zon overzicht waarbij de grootte van het paneel niet veranderd is en de hoek waarop hij staat wel.	38
Figuur 20, Hoeken en vectoren van paneel of zon, voor berekening van oriëntatiefactoren	39
Figuur 21, Gemiddelde zonne-energie aanbod, per paneel-zenithoek, per paneel- azimuth hoek, op Antarctica	40
Figuur 22, Low95 zonne-energie aanbod, per paneel-zenithoek, per paneel- azimuth hoek, op Antarctica	41
Figuur 23, Elektrisch rendement, standaard indeling van zonne-energie voertuigen, per onderdeel (Collard A. , 2014; Wiel, 2014)	43
Figuur 24, AC & DC stroom voorbeeld	43
Figuur 25, Benodigd vermogen - snelheid diagram, per snelheid het benodigd soort vermogen	44
Figuur 26, Invloed massa op benodigd vermogen, per massa het benodigd soort vermogen	44
Figuur 27, Snelheid – benodigd & beschikbaar vermogen diagram, per snelheid het benodigde en beschikbare vermogen	46
Figuur 28, Schematische weergave QFD-diagram. Overgenomen van: (Produlog, sd)	47
Figuur 29, Quality Function Deployment diagram, per eis en per technisch kenmerk gemaakte beoordeling.....	48
Figuur 30, Functieoverzicht van het voertuig, per hoofdfuncties en per sub-functies	49
Figuur 31, Mono-, polykristallijn en amorfe cellen. Aangepast van: (Solar4you, 2012).....	56
Figuur 32, Histogram van meetdata, per categorie het aantal metingen	57
Figuur 33, Percentage bewolkt in december, per jaar	57
Figuur 34, Benodigd motorvermogen, per snelheid, per hellingshoek	60
Figuur 35, Uitleg driefase AC aansturing.....	60
Figuur 36, Elektrisch systeem van het voertuig, per onderdeel	60
Figuur 37, Lotus Ice Vehicle. Overgenomen van: (Scooter, 2011).....	61
Figuur 38, Schematische weergave van oplossing 2 van functie 3.3.....	62
Figuur 39, Thomas Poulter engineer van de Snow Cruiser. Overgenomen van: (Brooklyn Public Library, 2012)	62
Figuur 40, Conceptrichting 1. Stijl overgenomen en aangepast van: (Stuart, Ralph, Freeman, Murray, & Wardle, 2009)	72



Figuur 41, Conceptring 2. Stijl overgenomen en aangepast van: (Stuart, Ralph, Freeman, Murray, & Wardle, 2009)	73
Figuur 42, Conceptring 3. Stijl overgenomen en aangepast van: (Stuart, Ralph, Freeman, Murray, & Wardle, 2009)	74
Figuur 43, Beoordeling van conceptringen, per eisen	75
Figuur 44, Versie 1 - Definitieve conceptring. Stijl overgenomen en aangepast van: (Stuart, Ralph, Freeman, Murray, & Wardle, 2009)	78
Figuur 45, Aantal en positie zonnepanelen	81
Figuur 46, Versie 2 - Definitieve conceptring. Stijl overgenomen en aangepast van: (Stuart, Ralph, Freeman, Murray, & Wardle, 2009)	82
Figuur 47, Zonnepaneel oppervlakken, per oriëntatie van zon	83
Figuur 48, Definitief snelheid – benodigd vermogen diagram, per snelheid het benodigde en verkrijgbare vermogen	84
Figuur 49, Rij- en stoptijden van de expeditie, per dag	84
Figuur 50, Gewichtsverdeling definitieve conceptring, per voertuigonderdeel	85
Figuur 51, Gronddruk per (rups)band, positie van de definitieve conceptring, vergeleken met andere voertuigen op Antarctica	86
Figuur 52, Low95 zonne-energie aanbod op Antarctica, per paneel-zenithoek en paneel-azimuthhoek	87
Figuur 53, Photoview 360 rendering van definitief conceptontwerp op Antarctica	88
Figuur 54, Schematische weergave van oorspronkelijk proces van afstuderen, per processtap	92
Figuur 55, Schematische weergave van uiteindelijke proces van afstuderen, per processtap	92
Figuur 56, Overzicht totale schatting gewicht van voertuig	102
Figuur 57, Zon declinatie	103
Figuur 58, Azimut – Hoek boven horizon (elevation)	103
Figuur 59, Gemiddelde hoogte van zon boven horizon op een dag	103
Figuur 60, Grafiek van Solar Team Eindhoven	103
 Tabel 1, Contactgegevens	11
Tabel 2, Verschillende ondergronden op Antarctica, met bijbehorende dichtheden (Paterson, 1994)	15
Tabel 3, Overzicht van de technische eisen en wensen	29
Tabel 4, Overzicht functionele eisen en wensen	32
Tabel 5, Overzicht milieu eisen en wensen	34
Tabel 6, Parameters voor de berekening van het benodigd vermogen van het voertuig	43
Tabel 7, Vermogen opbrengst bij verschillende zenithoeken van linker en rechter paneel	45
Tabel 8, Oplossingsmogelijkheden, per functies mogelijk oplossingen	50
Tabel 9, Parameters voor de benodigde vermogensberekening aanhanger	55
Tabel 10, Specificaties van accu's (Panasonic, 2005; Antonucci, 2012; Intercel Energie B.V., 2014)	58
Tabel 11, Berekend totaal motorvermogen, per snelheid, per hoek	59
Tabel 12, Keuzematrix voor morfologische matrix	68
Tabel 13, Morfologische matrix, per functie verschillende oplossingen met behaalde score	69
Tabel 14, Overzicht van mogelijke combinaties, per functie	71
Tabel 15, Hoogste beoordelingen per eis, per conceptring	76
Tabel 16, Parameters versie 1 - Definitieve conceptring	77
Tabel 17, Oplossingen om vermogen te vergroten	79
Tabel 18, Oplossingen om de gronddruk te verlagen	80
Tabel 19, Voertuigparameters	83
Tabel 20, Opgewekte vermogens, per situatie	84
Tabel 21, Motor specificaties definitieve conceptring, per snelheid en hoek	86
Tabel 22, Gegevens en afbeeldingen, per voertuigen	99
Tabel 23, Parameters uitkomsten contactdruk	101
Tabel 24, Verwachte mee te nemen spullen (Cornelissen, 2014)	102
Tabel 25, Argumentatie invulling keuzematrix	104
Tabel 26, Beoordelingsmatrix	105



Bijlage II, Verschillende terreinondergronden



Geplooid ijsveld. Overgenomen van: (Adventure Network International, 2014)



Gletsjer pleet. Overgenomen van: (Shona, 2010)



Harde sneeuw. Overgenomen van: (Rennie, 2014)



Losse sneeuw. Overgenomen van: (Holdman, 2000)



Verwaide sneeuw. Overgenomen van: (Beststockpictures, 2009)



Sastrugi velden. Overgenomen van: (Weimer, 2010)



Zandachtige sneeuw. Overgenomen van: (Jaya, 2013)



Bijlage III, Gegevens en afbeeldingen van andere voertuigen

Tabel 22, Gegevens en afbeeldingen, per voertuigen

Nr.	Eigenaar	Type	Brandstof	Website	Afbeelding
1	Arctic Trucks	AT38	Fossiel	http://www.arctictrucks.com/pages/4699	
2	Arctic Trucks	AT44	Fossiel	http://www.arctictrucks.com/pages/4700	
3	Arctic Trucks	6X6	Fossiel	http://www.arctictrucks.com/pages/4701	
4	Team Antarctica	-	Zonne-energie	http://www.teamAntarctica.nl/	
5	Foremost	Delta II	Fossiel	http://www.foremost.ca/products/delta-2	
6	Foremost	Delta III	Fossiel	http://www.foremost.ca/products/delta-3	
7	Foremost	Nodwell 240	Fossiel	http://www.foremost.ca/products/nodwell-240	
8	Ford	Ice Challenger	Fossiel	http://www.southpolestation.com/trivia/00s/ford.html	
9	Swedish Army	Hägglund	Fossiel	http://en.wikipedia.org/wiki/Bandvagn_206	



10	Thomas Poulter	Snow Cruiser	Fossiel	http://en.wikipedia.org/wiki/Antarctic_Snow_Cruiser		
11	Nuon	Nuna 2	Zonne-energie	http://www.nuonsolarteam.nl/nuna/nuna2/#facts		
12	Solar Team Eindhoven	Stella	Zonne-energie	http://www.solarteameindhoven.nl/nl/pages/#!project		
13	Solar Impulse	HB-SIA	Zonne-energie	http://nl.wikipedia.org/wiki/Solar_Impulse		
14	Clearpath	Grizzly	Elektrische energie	http://www.clearpathrobotics.com/grizzly/		
15	NASA	Grover	Zonne-energie	http://www.nasa.gov/content/nasa-s-polar-robotic-ranger-passes-first-greenland-test/#.U4h1cfl_sQE		
16	Arctic Foundation together with Belorussia partners	6x6 wheel-drive cross-country vehicles with extra-low-pressure tires	????	http://www.ec-arctic.ru/eng/history/history/		

Bijlage IV, Berekening gronddruk

In het rapport van M. Saarlilahti worden verschillende manieren om het contactoppervlak tussen band en ondergrond te berekenen besproken (Saarlilahti, May 2012). Omdat deze manieren erg wisselende resultaten opleveren is de gemiddelde waarde van deze resultaten berekend. Dit was 0,14 m². De formules 3.5.3, 3.8.6 en 3.11.3 kwamen het dichtst in de buurt van deze waarde. Uit deze formules kwam formule 3.8.6 het dichtst bij het gemiddelde. De basis van deze formule is afkomstig van Godbole, Alcock & Hettiaratchi (1993).

De formule is als volgt:

$$A = \pi * \delta * \sqrt{d * b} \quad (18)$$

Waarbij geldt:

$$\delta = b * 0,67 * \left(\frac{P_t * d * b}{w} \right)^{-0,8} \quad (19)$$

De parameters bij deze formule zijn:

A	=	Contactoppervlak	(m ²)
δ	=	Afwijking	(m)
d	=	Diameterband	(m)



b	=	Breedteband	(m)
P _i	=	Druk in band	(kPa)
W	=	Kracht per band	(kN)

Vervolgens kan door middel van het gewicht van het voertuig en het aantal wielen bepaald worden welke contactdruk optreedt. Dit kan door de formule:

$$P_c = \frac{m}{C_1 * A} \quad (20)$$

De parameters bij deze formule zijn:

P _c	=	Berekende contactdruk	(kg/cm ²)
m	=	Gewicht	(kg)
C ₁	=	Aantal banden	
A	=	Contactoppervlak	(m ²)

De uitkomst van deze berekening en de gebruikte parameters zijn weergegeven in tabel 23. Ook is de gegeven contactdruk weergegeven voor de gebruikte voertuigen.

Tabel 23, Parameters uitkomsten contactdruk

Type	m (kg)	b (m)	d (m)	C ₁	P _i (kPa)	Geven contactdruk (kg/cm ²)	A (m ²)	P _c (kg/cm ²)
1 Arctic Trucks AT38	2160				20,68	0,14		
2 Arctic Trucks AT44	2250			4,00	13,79	0,14		
3 Arctic Trucks 6X6	2600				13,79	0,14		
4 Team <i>Antarctica</i> Hummer 1	1200	0,39	0,97	4,00	20,68		0,23	0,13
5 Foremost Delta II	10969					1,27		
6 Foremost Delta III	13300					0,33		
7 Foremost Nodwell 240	11793					1,12		
8 Ford Ice Challenger	4672	0,56	1,12	6,00	13,79		0,84	0,09
9 Swedish Army Hägglund	4500					0,12		
10 Thomas Poulter Snow Cruiser	34000	0,82	3,05	4,00	103,42		1,10	0,77

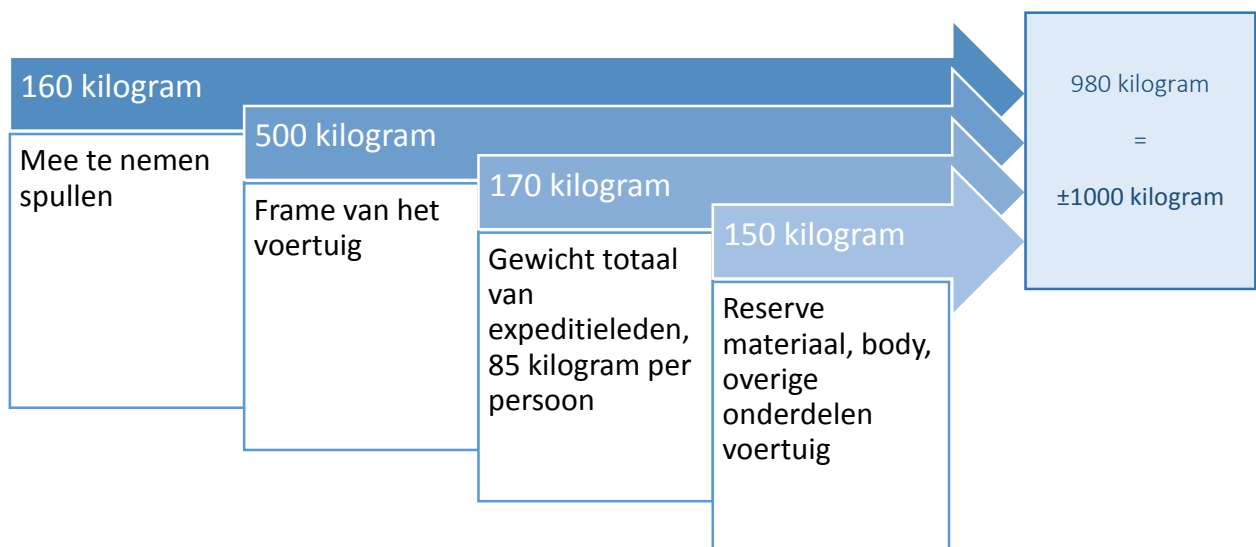


Bijlage V, Gewicht mee te nemen spullen en schatting voertuiggewicht

Tabel 24, Verwachte mee te nemen spullen (Cornelissen, 2014)

Bagage	Gewicht (kg) per dag	Subtotaal gewicht (kg)	Totaal gewicht (kg)
Eten	1,4	42	84
Overige		30	30
Slede		8,7	17,4
Brandstof	0,3	9	9
Slaapzak + bed		4	8
Tent		5,5	5,5
Kookset		3	3
EHBO-kit		2	2
		Totaal	158,9

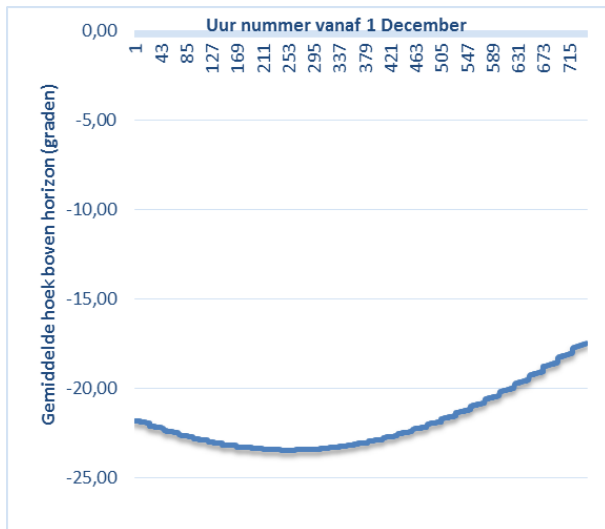
Uit het bovenstaande overzicht is te zien dat voor een expeditie van twee weken een minimaal gewicht van 160 kilogram mee genomen moet worden. Voor het totaal geschatte gewicht van het voertuig is het onderstaande figuur gemaakt.



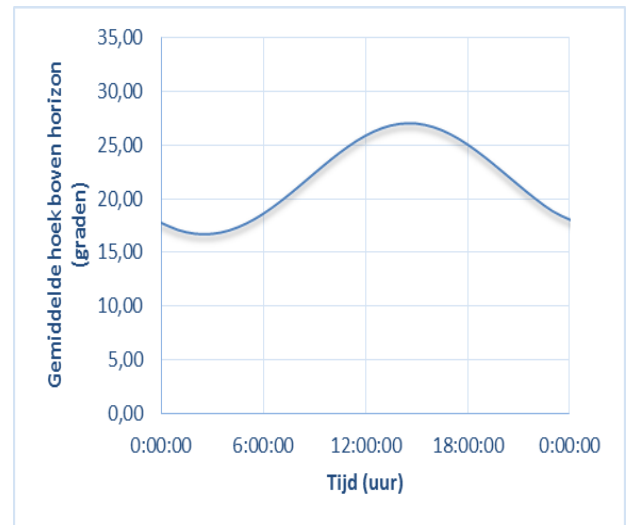
Figuur 56, Overzicht totale schatting gewicht van voertuig



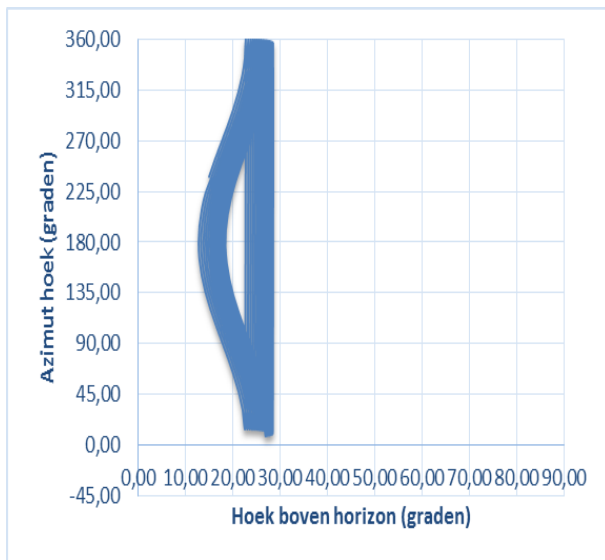
Bijlage VI, Grafieken uit rekensheet NOAA



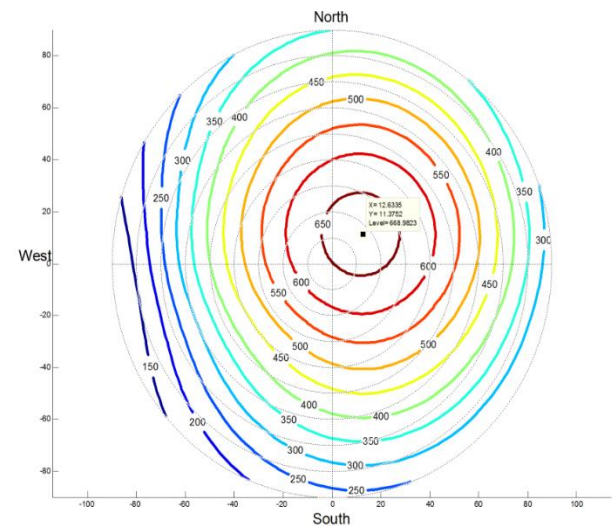
Figuur 57, Zon declinatie



Figuur 59, Gemiddelde hoogte van zon boven horizon op een dag



Figuur 58, Azimut – Hoek boven horizon (elevation)



Figuur 60, Grafiek van Solar Team Eindhoven

Bijlage VII, Argumentatie invulling keuzematrix

Tabel 25, Argumentatie invulling keuzematrix

Nr.	Technische oplossingen		
	OPTIE 1	OPTIE 2	OPTIE 3
F1	Opvangen zonne-energie		
F1.1.	Weinig onderdelen (4) Hoogst mogelijke rendement/m ² - Dient niet als wand - Niet veilig in wind (zijwind = vlieger)	Dubbele functie, wand & collector - Niet toegankelijk - Veel onderdelen (6)	Gemakkelijk groot oppervlak mogelijk Lichtgewicht mogelijk - Veel onderdelen - Instabiel en vatbaar voor wind
F1.2.	Laag gewicht per onderdeel (<0,2kg) - Zelf maken elektrische aansluitingen - Snel te beschadigen, niet bestand tegen lage temperatuur	Volledig herbruikbaar, losneembare panelen Hoog rendement (>23%) - Gemiddeld gewicht (1,8kg)	Volledig herbruikbaar, losneembare panelen Hoog rendement (>20%) - Hoog gewicht (2,5kg)
F2	Opslaan/afgifte elektrische energie		
F2.1.	Licht gewicht (<4,5kg) Veilig (interne stop) Tot 100% diep ontladen Milieuvriendelijker - Slecht toegankelijk	Redelijk toegankelijk - Veel onderdelen (10) - Hoge operationele temperatuur	Volledig herbruikbaar Veilig (interne stop) - Zwaar (40kg) - Milieuvriendelijk
F2.2.	Afhankelijk van batterijkeuze en verdere specificatie door elektrisch engineer		
F3	Verplaatsen		
F3.1.	Borstelloze AC of DC motor, per wiel aparte motor		
F3.2.	Zeer lage gronddruk (0,09Kg/cm ²) Herbruikbaar - Zwaar (>40kg) - Deels ontoegankelijk	Herbruikbaar Veilig (dik rubber) - Ontoegankelijk - Redelijk zwaar (>20kg)	Weinig onderdelen Laag gewicht (<10kg) Gemakkelijk vervangbaar - Minder veilig - Veel losse onderdelen, wel simpel
F3.3.	Combinatie van optie 1, rijplaten en optie 2, ankerpunt met hefboom en lier		
F3.4.	Lichtgewicht (<5kg) Zeer toegankelijk - Gemiddeld aantal onderdelen - Slecht herbruikbaar	Dubbele functie Weinig onderdelen - Minder veilig (klapband) - Minder controleerbaar	
F3.5.	Combinatie van optie 1, klimhoek en optie 2, bodemvrijheid		
F4	Besturen voertuig		
F4.1.	Weinig onderdelen (<5) Dubbel gebruik van onderdelen - Toegankelijkheid is slecht - Extra controle unit	Herbruikbaar Direct controleerbaar door bestuurder Mechanisch - Veel onderdelen (10)	Relatief weinig onderdelen Vergt zware constructie - Scharen een gevaar - Intern slecht toegankelijk
F4.2.	Optie 1 enige optie, gas- en rempedaal		
F5	Comfort bieden		
F5.1.	Combinatie van optie 1, zwart interieur, optie 3, kleding en optie 4, lichaamswarmte		
F5.2.	Vraagt geen elektrische energie Simpel te realiseren - Werkt niet als er geen zon op schijnt	Bied extra veiligheid tegen de zon Afneembaar Mechanisch Herbruikbaar - Veel onderdelen	Herbruikbaar Lichtgewicht - Minder toegankelijk - Veel kleine onderdelen - Vraagt vermogen



Bijlage VIII, Beoordelingsmatrix en argumentatie

Tabel 26, Beoordelingsmatrix

Eis nr.	Eis	Conceptrichting 1	Conceptrichting 2	Conceptrichting 3
2	Het voertuig moet een afstand van 2300 kilometer kunnen afleggen	5	5	3
3	Het voertuig moet ijsspleten en sneeuwbruggen overbruggen	2	4	2
4	Het voertuig moet zich verplaatsen over Sastrugi van 0,3 meter hoog en golflengte van twee meter	4	2	5
6	Het voertuig moet bestand zijn tegen windstoten van maximaal 120 km/h	3	2	3
7	Het voertuig moet volledig functioneren tot windsnelheden van 50 km/h	1	1	5
9	Het voertuig moet een maximale gronddruk van 0,13 kg/cm ² hebben	2	4	3
11	Het voertuig moet passen in een zeecontainer van 12032x 2345x 2385 mm	3	5	3
12	Het voertuig moet een veilig elektrisch systeem hebben	5	4	2
13	Het voertuig moet binnen enkele seconden verlaten kunnen worden door de expeditieleden	5	4	5
17	Het voertuig moet op locatie te repareren zijn	3	5	3
19	In het voertuig moet thermisch comfort zijn voor de expeditieleden	3	4	4
23	Het voertuig moet volledig te verwijderen zijn van <i>Antarctica</i>	2	5	2

Bijlage I



Tabel 27, Argumentatie beoordelingsmatrix

Eis nr.	Beargumentering 1	Beargumentering 2	Beargumentering 3
2	Maximaal vermogen omdat zonnepanelen aangepast kunnen worden aan stand van zon	Lichtgewicht en een groot oppervlak aan zonnepanelen	Corrigeren van richting en voortbewegen kost veel energie en oppervlak van zonnepanelen is niet erg groot
3	Grote afstand tussen wielen zorgt voor een goede gewichtsverdeling maar omdat het voertuig uit een geheel bestaat vergt dit een krachtige lier om het voertuig te verplaatsen	Verspreiding van het gewicht is goed mogelijk door het voertuig en aanhang los te koppelen waardoor de kans groter wordt dat de overkant gehaald wordt	Lage gronddruk zorgt voor gemakkelijk overbruggen van sneeuwbruggen maar het verplaatsen over ijsbruggen vereist een krachtige lier omdat rupsbanden lastig voort te slepen zijn, zelfs al kunnen zij vrij roteren
4	Door vier onafhankelijk aangestuurde wielen en een vergeleken met conceptring 2 grote wielbasis zal het verplaatsen over Sastrugi gemakkelijk gaan	Een kleine wielbasis zorgt voor een oncomfortabele rit over Sastrugi omdat het voertuig iedere helling opgaat met beide wielen en dus een stuk minder horizontaal blijft	Omdat rupsbanden veel grip hebben en de Sastrugi deels zullen absorberen in de vering van de onderste 4 wielen zal het verplaatsen over Sastrugi gemakkelijk en comfortabel zijn
6	Door een alleen van voren gestroomlijnde body en beweegbare zonnepanelen is de kans aanwezig dat het voertuig omgeblazen wordt bij een windstoot vanaf de zijkant	Omdat deze oplossing een groot vlak met zich meedraagt en dit gemakkelijk vatbaar is voor een windstoot is de kans groot dat hij omgeblazen wordt	Het voertuig is vanaf de voorkant gestroomlijnd echter vanaf de zijkant niet. Hierdoor is de kans dat het voertuig omgeblazen wordt aanwezig
7	De beweegbare zonnepanelen kunnen waarschijnlijk niet meer omhoog staan (als een windscherm) waardoor minder zonlicht opgevangen wordt	De zonnepanelen op de aanhanger kunnen gaan klapperen en mogelijk kapot gaan bij deze windsnelheden. Hierdoor wordt er minder zonlicht omgezet	Omdat alle zonnepanelen bevestigd zijn op het voertuig kan het voertuig volledig functioneren, ook bij harde wind
9	Omdat alles zich in één voertuig bevindt dat op vier wielen staat is de gronddruk per wiel groot	Omdat het gewicht verdeeld is over twee delen en tevens verdeeld is over zes wielen is de verwachte gronddruk zeer laag	Ondanks dat alle gewicht zich in één voertuig bevindt, is de verwachte gronddruk laag omdat dit voertuig is uitgerust met twee rupsbanden
11	Doordat de body van het voertuig een grote inhoud heeft zal hierdoor veel ruimte in beslag genomen worden. Daarnaast is het verkleinen van de body niet mogelijk, alleen het verwijderen van de banden is mogelijk voor het versmallen van het voertuig	Omdat het voertuig bestaat uit twee delen is het voertuig gemakkelijk in een kleine container te vervoeren. Wanneer de zonnepanelen opklapbaar zijn, heeft het voertuig een zeer kleine inhoud	Doordat de body van het voertuig een grote inhoud heeft, zal hierdoor veel ruimte in beslag genomen worden. Daarnaast is het enkel mogelijk om de rupsbanden af te nemen zodat het voertuig in breedte afneemt
12	Het voertuig heeft lichtgewicht en schok- en stootbestendige LiFePo4 batterijen die gecontroleerd zijn door een warmte element. Daarnaast is het elektrische compartiment goed bereikbaar via de opslagruimte	Een deel van de batterijen is opgeslagen in de aanhanger wat eventuele gevaarlijke situaties voor de expeditieleden zal voorkomen. Hiernaast vergt dit wel een extra warmte-element en dus energie	Het grote oppervlak van de Na-NiCl ₂ batterijen onder de bestuurder zorgt voor warmte ontwikkeling maar is slecht toegankelijk bij problemen



13	Doordat de expeditieleden rechtop in het voertuig zitten en het voertuig een grote deur kan hebben aan iedere kant is het aannemelijk dat het voertuig snel verlaten kan worden	Door een compact voertuig te ontwerpen waarbij de expeditieleden tevens meer liggen dan zitten is het minder aannemelijk dat het voertuig snel verlaten kan worden	Doordat het voertuig een grote deur kan hebben aan iedere kant is het aannemelijk dat het voertuig snel verlaten kan worden
17	Vooraf het vervangen van de wielen wordt een lastige klus. Ten eerste omdat de wielen zwaar zijn en ten tweede omdat het voertuig zwaar is (bestaat uit een geheel) en dus ook sterk materiaal nodig is	De wielen, specifiek de banden, zijn lichtgewicht en gemakkelijk te vervangen en het voertuig is tevens licht omdat het gewicht verdeeld is over het voor- en achterdeel	Rupsbanden zijn zwaar en er wordt constant druk door het voertuig op uitgeoefend. Tevens is het voertuig zwaar (bestaat uit een geheel) en dat zal het vervangen van of de rupsbanden of de wielen in de rupsband lastig maken
19	Doordat een grote ruimte verwarmd moet worden is het minder snel op temperatuur en zal de interne temperatuur minder opgewarmd worden door de expeditieleden en/of het warmte element	Een kleine ruimte is snel opgewarmd en gemakkelijk qua temperatuur te controleren. Daarom is het zeer aannemelijk dat er thermisch comfort zal zijn in dit voertuig	Het gebruik van Na-NiCl ₂ batterijen onder de vloer zorgt voor een toename van de interne temperatuur; dit zal het thermische comfort ten goede komen
23	Het verwijderen van de banden en het verplaatsen van de body van het voertuig is een zware klus omdat al het gewicht zich in dit ene voertuig bevindt. Hiervoor zullen meerdere personen en/of voertuigen nodig zijn	Doordat het voertuig uit twee delen bestaat, beide gebaseerd op het ontwerp van een slede, is het voertuig na verwijderen van de banden gemakkelijk te verwijderen van <i>Antarctica</i>	Het verwijderen van de rupsbanden en ophanging zodat het voertuig op zijn body kan glijden over <i>Antarctica</i> is een grote klus en zal dus door meerdere personen uitgevoerd moeten worden

