

Sustainable Urban Vehicle 2016

Gekwantificeerd Groen



Thomas Hjortnaes
Haagse Hogeschool te Delft
Afstudeerscriptie
1/6/2012

Sustainable Urban Vehicle 2016

Gekwantificeerd Groen

Colofon

Opdracht	Afstudeerproject HBO
Auteur	Thomas Hjortnaes
Contact	thomas.hjortnaes@gmail.com
Opdrachtgever	Expertisecentrum Haagse Hogeschool TIS Delft
Bedrijfscoach	Dhr. ir. P. Menger Mol
1 ^{ste} assessor	Dhr. T.A.P. van der Schyff
2 ^{de} assessor	Dhr. F. van Steijn
Locatie	Haagse Hogeschool Delft Rotterdamseweg 137 2628 AL Delft
Datum	01/06/2012
Afstudeer periode	06/02/2012 – 01/06/2012

Voorwoord

Voor u ligt het eindrapport van mijn afstuderen bij het Expertisecentrum. Het is de eerste keer dat ik een project van deze grote alleen voltooi. Het is een zeer leerzame ervaring geweest en ik ben dan ook tevreden met wat ik bereikt heb. Vooraf was ik onzeker omtrent de verloop van dit project vanwege de onbepaalde aard ervan. Veel randvoorwaarden zijn gaanderweg bepaald wat ervoor zorgde dat de onderzoeksvraag met de opdracht mee is gegroeid.

Ik heb deze afstudeerstage bij het Expertisecentrum als positief ervaren. Ik wil graag de vaste medewerkers en leden van The HydroCruisers, die daar werkzaam zijn, bedanken voor hun hulp bij dit project. Zonder iemand te vergeten wil ik nu graag enkele mensen persoonlijk bedanken.

Ten eerste wil ik mijn afstudeerbegeleider van de Haagse Hogeschool bedanken, dhr. T.A.P. van der Schyff. Onze gesprekken hebben ervoor gezorgd dat ik niet lang heb vastgezeten. Naast de professionele feedback vond ik onze gesprekken over techniek e.d. zeer interessant.

Ten tweede wil ik mijn bedrijfscoach van het Expertisecentrum, dhr P. Menger, bedanken voor zijn bijdrage aan dit rapport. De twee wekelijkse meeting vergaderingen zijn zeer behulpzaam en leuk geweest. Ik hoop dat het rapport een bijdrage levert aan het ontwikkelen van een groenere mindset binnen de Living Labs van het Expertisecentrum.

Ten derde wil ik dhr. J. Brouwer bedanken voor de regelmatige vergaderingen. We hebben een leuk resultaat geboekt in de 17 weken waarin we tegelijk aan de opdracht hebben gewerkt.

Ten vierde wil ik mijn ouders, vriendin, huisgenoten en vrienden bedanken voor hun feedback en steun gedurende deze afstudeerstage.

Ik wens u als lezer veel plezier met het doorlezen van mijn afstudeerrapport.

Thomas Hjortnaes

01/06/2012

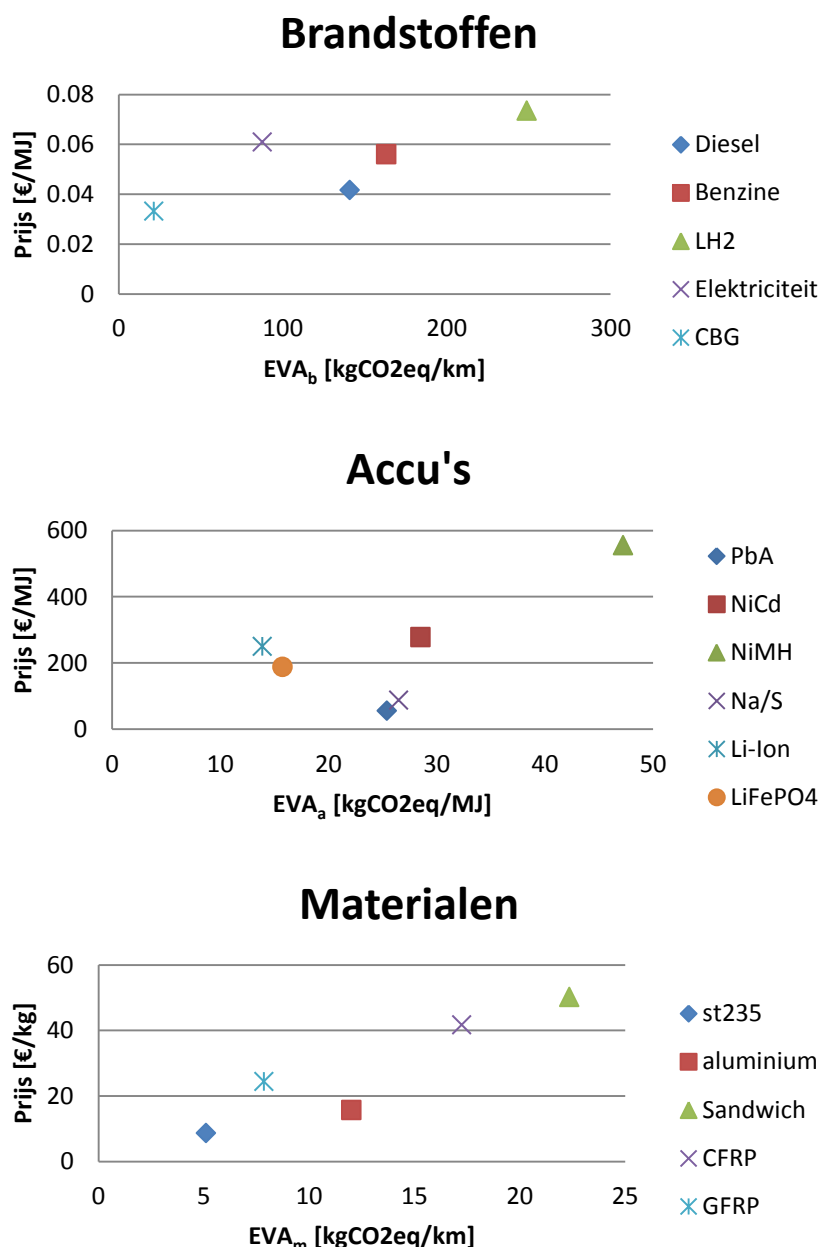
Delft

Samenvatting

In opdracht van het Expertise centrum zal in 2016 een Sustainable Urban Vehicle gebouwd worden. Het is de bedoeling dat er gekwantificeerde groene concepten ontwikkeld worden alvorens een prototype gemaakt kan worden.

In dit vroege stadium van het project is gekeken naar de belasting van brandstof, accu's en materialen op het milieu. Middels een Life Cycle Assessment (LCA) is onderzocht hoe de verschillende brandstoffen, accu's en materialen onderling aan elkaar gerelateerd zijn op Ecologische VoetAfdruk (EVA) en prijs.

Onderstaande grafieken laten voor de onderzochte brandstoffen, accu's en materialen zowel de prijs als de EVA naast elkaar zien.



Figuur 0-1 EVA en prijs van de beste concepten op het gebied van Brandstoffen, accu's en materialen.

Met behulp van de volgende formule is de totale EVA van een voertuig te berekenen.

$$EVA_m * m + EVA_b * V * s_n + EVA_a * P = EVA$$

Gebaseerd op de markt en de LCA resultaten zijn eisen opgesteld waaraan de Sustainable Urban Vehicle (SUV) moet voldoen. Hierbij is de Toyota Aygo als bovengrens gekozen omdat dit binnen de gekozen markt een populair voertuig is en omdat dit voertuig zuinig is ten opzichte van andere auto's in dezelfde gewichtsklasse. Met deze eisen zijn voor de verschillende onderdelen in een SUV oplossingen bedacht. Met uitzondering van brandstof, accu en materiaal hebben de subsystemen weinig tot geen invloed op het uiteindelijke concept. De beoordeling van alle subsystemen is gebeurd aan de hand van enkele criteria waarvan prijs en EVA de belangrijkste rol speelt. Dit resulteert in 3 beste concepten. Onderstaande tabel geeft deze schematisch weer.

Tabel 0-1 De drie richtingen waar binnen de concepten zijn ontwikkeld.

	EVA	Prijs
Groen concept	☆☆	-
Groen-euro concept	☆	☆
Euro concept	-	☆☆

Wat opvalt is dat CBG, staal en Li-Ion in alle conceptringen als beste resultaat bij alle richtingen naar voren komen. Hierbij moet wel onthouden worden dat de LCA resultaten een momentopname van vandaag zijn. Zowel CBG als staal zijn producten die een hoge mate van volwassenheid van ontwikkeling hebben bereikt. Waterstof en elektriciteit zullen beiden vergelijkbaar scoren met CBG wanneer deze uit windenergie worden opgewekt. De mate van volwassenheid van elektriciteit ligt verder dan bij Waterstof waardoor een tijdlijn ontstaat waarin brandstof op dit moment zit. De keuze in materiaal en accu is afhankelijk van het financiële beleid van het project.



Figuur 0-2 Tijdlijn van beste concepten afhankelijk van hun mate van technologische volwassenheid.

Om bij te dragen aan de ontwikkelingen, die in de loop van de volgende 10 tot 15 jaar gaan plaats vinden is het belangrijk om niet te kiezen voor een brandstofvorm die een te hoge of lage maat van volwassenheid heeft bereikt. Elektriciteit is om deze reden op korte termijn het meest interessant om voor een Sustainable Urban Vehicle project te gebruiken als aandrijvingsbron.

Tegelijkertijd met het project is een tweede doel ontstaan. Dit doel is het introduceren van een methode om groen te ontwerpen. Vanaf heden zal binnen het Expertisecentrum meer nadruk gelegd worden op het maken beslissingen op basis van duurzaamheid.

Inleiding

Het expertise centrum is een afdeling binnen de Haagse Hogeschool, waar vanuit de Living Labs (prestige projecten) worden aangestuurd. Naast een ondersteuning bieden aan het team van studenten dat werkzaam is aan een Living Labs, zorgt het voor bedrijfsopdrachten voor de jongere studenten. Het Sustainable Urban Vehicle project is een voorbeeld van een nieuwe Living Labs dat binnen de komende vier jaar uitgewerkt zal worden.

Op dit moment staat het Sustainable Urban Vehicle project in zijn kinderschoenen en dat betekent dat dit de periode is waarin de randvoorwaarden van het project moeten worden vastgesteld. Deze afstudeerscriptie houdt zich dan ook voornamelijk bezig met het vaststellen van het fundament voor deze Living Labs. In de komende jaren zullen andere studenten verder bouwen op dit fundament zodat er uiteindelijk eind 2016 een prototype gebouwd is.

Dit rapport geeft de resultaten van de opdracht: Ontwerp enkele concepten voor een Sustainable Urban Vehicle in het gebied Haaglanden voor het jaar 2016. Om dit op te lossen is de belangrijkste vraag om te stellen: Hoe kan het expertise centrum duurzaamheid kwantificeren? Wat verder uitvouwt in; Wie zijn betrokken bij het project? Voor welke bedrijven wordt dit georganiseerd? Hoe is dit bedrijf georganiseerd? Hoe ziet Haaglanden eruit? Wat is de regelgeving wanneer een stedelijke auto ontworpen wordt? Wat zijn de randvoorwaarden voor de auto? Wat is sustainable? Wanneer is het dan sustainable?

In de markt wordt veel gesproken van duurzaamheid, maar de resultaten gaan vaak niet zonder kritiek en scepticisme rond. Transparantie en volledig gekwantificeerde data is van uiterst belang om goede plannen te maken voor onze toekomst. Door een life cycle assessment uit te voeren op verschillende materialen, brandstoffen en accu's is in kaart te brengen hoe belastend een voertuig is tijdens productie, gebruik en recycling. Door dit te vergelijken met een referentiemodel is te zien hoe groen het project daadwerkelijk zal zijn.

Dit rapport begint met een korte omschrijving van de opdracht, het bedrijf en de verwachte resultaten. Gevolgd hierop zal de voorverkenning besproken worden, waarin onder andere de emissiedata van materialen, brandstoffen en accu's terug te vinden zijn. Daarna zijn de eisen en wensen van de SUV beschreven. Dit wordt gevolgd door de ontwerpfase waarin voor alle subsystemen oplossingen bedacht zijn en tenslotte wordt het beste resultaat besproken.

Inhoudsopgave

Voorwoord	i
Samenvatting	ii
Inleiding	iv
Inhoudsopgave	v
Symbolen en woordenlijst	vi
Figurenlijst	vii
Tabellenlijst	vii
Grafiekenlijst	vii
Formulelijst	vii
1 Projectomschrijving	1
1.1 Bedrijfsomschrijving	1
1.1.1 Opdrachtgever: De Haagse Hogeschool; Het expertisecentrum	1
1.1.2 Living labs	1
1.1.3 Bedrijfsprojecten	2
1.2 Expertisecentrum	2
1.3 Doel van de opdracht	2
1.4 Opdrachtomschrijving	2
1.5 Hoofdvraag en Deelvragen	3
1.6 Verwachte resultaten	3
2 Voorverkenning	4
2.1 Brainstorm	4
2.1.1 Voertuig - Algemeen	4
2.1.2 Concept kar	4
2.1.3 Materiaaltype	5
2.1.4 Energievorm	5
2.2 Marktanalyse	5
2.3 Externe organisaties, Wetgeving en Normen	6
2.3.1 RDW	6
2.3.2 NCAP EURO	6
2.3.3 Mobiliteitsfonds	6
2.3.4 Normen	7
2.4 Life Cycle Assessment (LCA)	7
2.4.1 Randvoorwaarden	8
2.4.2 Onderzoek	10
2.4.3 Resultaten	13
2.5 Octrooionderzoek	17
3 Pakket van Eisen	18
3.1 Auto karakteristieken	18
3.2 Duurzaamheid karakteristieken	19
4 Conceptfase	20
4.1 Concept categorieën	20
4.2 Kesselring criteria	21
4.3 Concepten	22
4.3.1 Constructie	22
4.3.2 Aandrijflijn	23
4.4 Morfologische kaart	24
4.5 Beste concepten	24
Conclusie	28
Aanbevelingen	30
<i>Behoud en controle van data</i>	30
<i>Uitbreiding LCA onderzoek</i>	30
<i>Rendement</i>	31
Bibliografie	32
Bijlagen	Zie bijgevoegd Document

Symbolen en woordenlijst

BEV	: Battery Electric Vehicle
CBG	: Compressed Biogas (Biogas)
CCGT	: Combined Cycle Gas Turbine (het proces waarbij een reeks warmtemachine die hitte omzetten in arbeid en vervolgens in elektriciteit met behulp van generatoren)
CCS	: Carbon Capture & Storage (Opvangen en Opslag van CO ₂)
Cen ely	: Central Electrolysis (Electrolyse in een centrale)
CFRP	: Carbon Fibre Reinforced Polymers
CH ₂	: Compressed Hydrogen (Gecomprimeerd waterstof gas)
CNG	: Compressed Natural gas (Aardgas)
CO ₂	: Koolstofdioxide
DME	: Dimethyl Ether
DOD	: Depth of Discharge (Hoe ver een accu afgeladen kan worden zonder capaciteits verlies)
Elec	: Elektriciteit
E-REV	: Enhanced Range Electric Vehicle
EtOH	: Ethanol
EU-mix	: Elektriciteit van diverse bronnen in EU
EVA	: Ecologische Voetafdruk
FCEV	: Fuel Cell Electric Vehicle
GHG	: Greenhouse gas
H ₂	: Diwaterstof
HHS	: Haagse Hogeschool
ICE	: Internal Combustion Engine (verbrandingsmotor)
ISO	: International Standards Organization
Kesselring	: Methode om aan de hand van criteria concepten te toetsen
LCA	: Life Cycle Assessment
LH ₂	: Liquefied Hydrogen (Vloeibare Waterstof)
LiFePO ₄	: Lithium IJzer Fosfaat Accu
Li-Ion	: Lithium Ion Accu
liq	: Liquefaction (Proces waarbij een gas vloeibaar gemaakt wordt)
MeOH	: Methanol
NaS	: Natrium Sulfaat Accu
NEN	: Nederlandse Normalisatie-instituut
NiCd	: Nikkel Cadmium Accu
NiMH	: Nikkel Metaal Hydride Accu
PbA	: Lood Zuur batterij (Meest conventionele auto accu)
PHEV	: Plugin Electric Vehicle
RDW	: Rijksdienst voor het wegverkeer
SUV	: Sustainable Urban Vehicle
Syn-Diesel	: Synthetische Diesel
TTW	: Tank to Wheel
WTT	: Well to Tank
WTW	: Well to Wheel

Figurenlijst

Figuur 0-1 EVA en prijs van de beste concepten op het gebied van Brandstoffen, accu's en materialen.....	ii
Figuur 0-2 Tijdlijn van beste concepten afhankelijk van hun mate van technologische volwassenheid.	iii
Figuur 1-1 Organogram van de HHS	1
Figuur 2-1 Kaart van de haaglanden (ANWB, 2012)	5
Figuur 2-2 Projectgrens van LCA.....	8
Figuur 2-3 Octrooi zoek stappenplan	17

Tabellenlijst

Tabel 0-1 De drie richtingen waar binnen de concepten zijn ontwikkeld.	iii
Tabel 2-1 Conversiefactoren van emissie naar CO ₂ eq (Edwards & Larive, 2011)	7
Tabel 2-2 grootheden en eenheden van materiaal, brandstof en accu's.	8
Tabel 2-3 Materiaalsoorten beschouwd in de LCA	10
Tabel 2-4 Energievormen beschouwd in de LCA	11
Tabel 2-5 Accu typen beschouwd in de LCA	12
Tabel 3-1 Eisen voor de te ontwerpen concepten	18
Tabel 4-1 Criteria tabel.....	21
Tabel 4-2 Berekend gewicht van accu's bij gelijk vermogen	26
Tabel 0-1 Mogelijke oplossingen voor de situaties vandaag, morgen en overmorgen.....	29

Grafiekenlijst

Grafiek 2-1 EVA _m per kg materiaal.....	13
Grafiek 2-2 Prijs (in euro's) per kg materiaal	13
Grafiek 2-3 Totale EVA _b (WTT) van verschillende brandstof productie methoden (achter iedere brandstoftype staan transport en productie methoden afgekort)	14
Grafiek 2-4 EVA: WTW = WTT+TTW [gCO ₂ /km] exclusief productie van de centrales	15
Grafiek 2-5 EVA _b : WTW = WTT + TTW van gemiddeld verbruik inclusief productie van de centrales	15
Grafiek 2-6 Prijs (in euro's) per MJ brandstof	16
Grafiek 2-7 Prijs per MJ accu.....	16
Grafiek 2-8 EVA _a per MJ accu type	16
Grafiek 4-1 Kesselring resultaten van de materialen staal, aluminium en CFRP (biaxiaal)	25
Grafiek 4-2 Kesselring resultaten van de brandstoffen waterstof, elektriciteit en CBG	25
Grafiek 4-3 Kesselring resultaten van NiMH, Li-Ion en LiFePO ₄ accu.....	26
Grafiek 4-4 Totale EVA gebruik bij levensduur van 10 jaar van 3 verschillende brandstoffen op dit moment	27
Grafiek 4-5 Totale EVA gebruik bij levensduur van 10 jaar van 3 verschillende brandstoffen bij windenergie	27

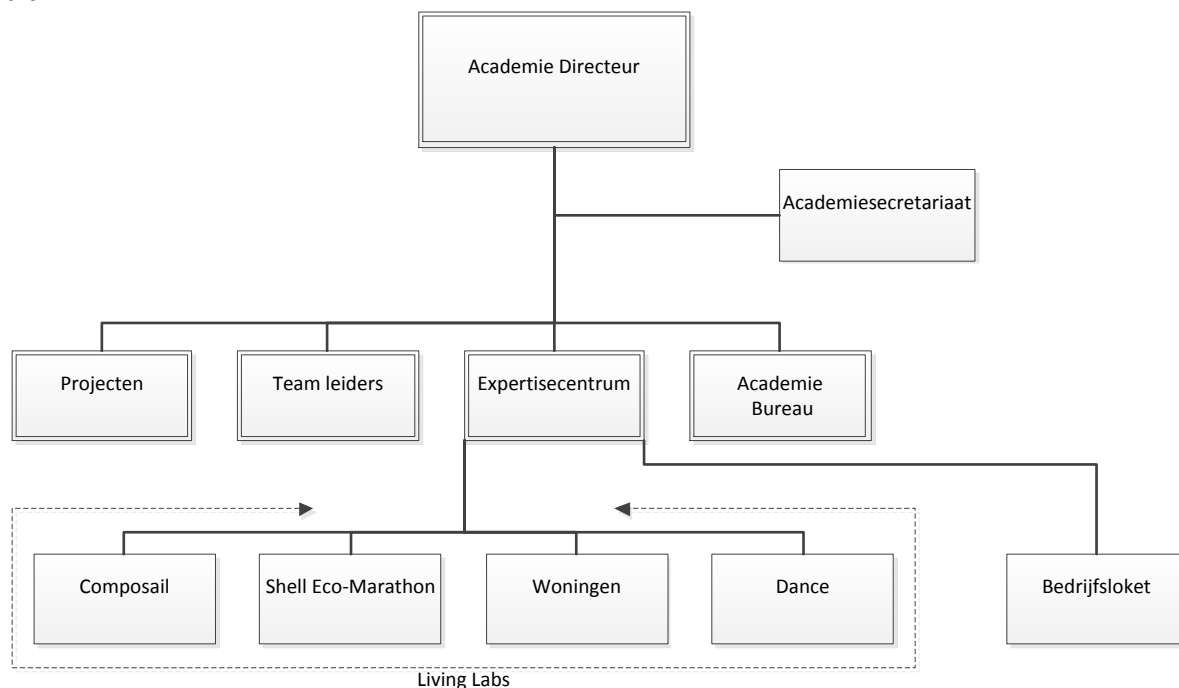
Formulelijst

2-1 EVA _b WTW (WTT+TTW).....	14
4-1 Totale EVA.....	26

1 Projectomschrijving

1.1 Bedrijfsomschrijving

Onderstaande organogram geeft de indeling van de HHS weer met daarin het expertisecentrum. De Shell Eco-Marathon en daarmee The Hydrocruisers is een prestigie project dat onder deze afdeling valt.



Figuur 1-1 Organogram van de HHS

1.1.1 Opdrachtgever: De Haagse Hogeschool; Het expertisecentrum

Het expertisecentrum heeft twee functies, het initiëren/begeleiden van projecten en de functie bedrijfsloket. Loketfunctie, het expertisecentrum geeft bedrijven de mogelijkheid om op projectmatige basis, groepen studenten aan hun voorgestelde problemen te laten werken. De afstudeeropdracht zal plaats vinden bij het team van The HydroCruisers (THC) dat het project Shell Eco-marathon uitvoert, met als doel een eigen Living Lab te worden binnen het expertise centrum. De opdrachtgever is dhr. P. Menger.

1.1.2 Living labs

De HHS te Delft is ervan overtuigd dat, aanvullend op de bedrijfsprojecten, studenten in uitdagende multidisciplinaire projecten hun competenties, die afgestemd zijn op die gesteld door de Haagse Hogeschool (HHS), kunnen ontwikkelen. Deze grootschalige projecten worden uitgevoerd volgens het ontwerp van de "Living Labs", waarbij multidisciplinaire studententeams ter grootte van tien tot twintig personen in wisselende samenstellingen werkzaam zijn. Sponsoring, die wordt aangeleverd door de HHS, het bedrijfsleven en de overheid, zorgt voor de liquide middelen, kennis en materialen om het project in stand te houden. Naast de studenten, sponsors en docenten zijn er ook experts betrokken bij het project. Deze experts bestaan uit oud-medewerkers van de hogeschool en oud-student-teamleden. De bijdrage die zij leveren is geheel op vrijwillige basis.

De reeds gerealiseerde Living Labs zijn die van "Composail" en "Shell Eco-marathon". De Living Labs "Dance", "Studentenwoningen", "Siemens Burton Challenge", "Sustainable Urban Vehicle" en andere zijn in ontwikkeling.

1.1.3 Bedrijfsprojecten

In de bedrijfsprojecten gunnen opdrachtgevers uit het bedrijfsleven opdrachten aan (meestal) mono-disciplinaire teams van studenten. De opdrachten komen voort uit de persoonlijke contacten die docenten met het bedrijfsleven hebben. Bedrijven die met hun vragen niet de weg naar de HHS Delft kennen komen terecht bij het Expertisecentrum van de HHS Delft. Het Expertisecentrum treedt in dit geval op als makelaar tussen de betreffende bedrijven en de opleidingen.

1.2 Expertisecentrum

Het expertisecentrum heeft een missie en visie waarin de toekomst van Living Labs is opgenomen.

Missie:

“Ontwerp, bouw en introduceer in 2016 een Sustainable Urban Vehicle (SUV) voor de Haaglanden”

Visie:

“Vandaag wordt veel transport uitgevoerd door middel van fossiele brandstoffen. Behalve dat deze vorm van brandstof schadelijk is voor het milieu, is de bron ervan eindig. Persoonlijke stedelijke mobiliteit wordt steeds belangrijker en hierbij is hernieuwbare energiebron van groot belang.”

Principes:

De missie is alleen te behalen door dat men zich houdt aan de volgende principes;

1. Er zullen gevalideerde cijfers gebruikt moeten worden voor analyses en uitspraken
2. Budgetten bepalen de afwegingen in het project, namelijk; Financieel, CO2-emissie en gewicht.

1.3 Doel van de opdracht

Het doel van de opdracht is om een basis door middel van concepten op te leveren waarmee in de loop van 4 jaar een SUV ontwikkeld kan worden. Deze basis geeft een beeld van de haalbaarheid en uitvoerbaarheid van het project. Er moet een duidelijk beeld komen van de ecologische, financiële en materiaaleigenschappen die bepalen hoe de SUV eruit komt te zien. Dit beeld zal beperkt worden op Materiaal, Brandstof en Accu.

1.4 Opdrachtomschrijving

De opdracht bestaat uit het opstellen van enkele concepten voor een marktconforme SUV dat er in de loop van 4 jaar één voertuig ontwikkeld en gebouwd kan worden door studenten van De Haagse Hogeschool (HHS) op basis van de technologie die in het Expertisecentrum reeds aanwezig is of volgens het vigerende beleid ontwikkeld gaat worden. Door de EVA rechtvaardig te kwantificeren is duurzaamheid reëel toetsbaar. De ontwikkelde concepten zullen aan de hand van de Ecologische voetafdruk (EVA) en nog te bepalen criteria getoetst worden (Kesselring), waardoor het beste concept ontstaat. Dit concept zal aan de hand van technische onderbouwing gevalideerd worden.

De volgende onderdelen zullen in het eindverslag behandeld worden

- Vooronderzoek (zie hoofdstuk 2 en 3);
 - Brainstorm;
 - Normen en wetgevingsonderzoek;
 - Ergonomieonderzoek;
 - Life cycle assessment (LCA) om duurzaamheid te kwantificeren;
 - Businessplan (ontwikkeld door Jarno Brouwer);
 - Pakket van Eisen voor de concepten.
- Concepten (Methodisch Ontwerpen) (zie hoofdstuk 4)
 - Concepten
 - Morfologische kaart
 - Conceptkeuze aan de hand van opgestelde criteria(Kesselring)
- Technische Dossier (Zie Bijlage N)
 - Berekening van volume, massa, EVA en prijs verandering bij ontwerpen volgens gelijke criteria en met verschillende materialen.

1.5 Hoofdvraag en Deelvragen

Uit de missie, visie en principes volgen de hoofdvraag die leidt tot de deelvragen.

De opdracht is vergelijkbaar met de missie van The HydroCruisers en het Expertise Centrum, namelijk: Ontwerp enkele concepten voor een Sustainable Urban Vehicle (SUV) voor de regio Haaglanden die voor het jaar 2016 ontwikkeld en gebouwd kan worden.

Uit deze opdracht volgt de hoofdvraag en deze luidt: Hoe kan het Expertise Centrum duurzaamheid kwantificeren ?

De deelvragen zijn als volgt:

1. Wie zijn betrokken bij het project?
2. Voor welke bedrijven wordt dit georganiseerd?
3. Hoe is dit bedrijf georganiseerd?
4. Hoe ziet Haaglanden eruit?
5. Wat is de regelgeving wanneer een stedelijke auto ontworpen wordt?
6. Wat zijn de randvoorwaarden voor de auto?
7. Wat is sustainable?
8. Wanneer is het dan sustainable?

1.6 Verwachte resultaten

Gebaseerd op de technieken waar de grote spelers (autofabrikanten, Oliemaatschappijen, Overheden etc.) zich mee bezighouden is de verwachting dat de beste brandstofvorm waar in de toekomst op gereden wordt waterstof. Deze brandstof is immers emissievrij tijdens verbruik in het voertuig. Bij waterstof is de energiedichtheid 3 keer hoger dan benzine wat het een ideale vervanger maakt van conventionele brandstoffen. Wel wordt gezegd dat het elektrolyse proces (methode van waterstof opwekking) veel energie verbruikt, maar verwacht wordt dat dit niet kan opwegen met het zero-emissie verbruik van het voertuig. Het tweede voordeel van waterstof is dat het een relatief jonge energievorm is binnen de transportsector en dat het daarom veel potentie heeft in de verdere ontwikkeling.

Bij materialen is de verwachting dat CFRP de beste waarde met zich meebrengt omdat een lichter product met dezelfde stijfheid te realiseren valt. Des te lager de massa des te lager de belasting op de motor en zodanig een zuinigere auto.

Er heerst veel scepticisme rond het groene karakter van accu's, terwijl de autofabrikanten deze bestempelen als de weg naar een groen transportmiddel. Verwacht wordt dat Li-Ion accu's vrij belastend voor het milieu zijn, maar dat dit slecht kan opwegen tegen de capaciteit per eenheid van massa, waardoor de Li-Ion accu als groenste naar voren zal komen. Een hogere massa betekent immers dat meer vermogen noodzakelijk is en dan gaat het totale verbruik omlaag.

2 Voorverkenning

In dit hoofdstuk wordt de analyse fase die vooraf aan het onderzoek is gegaan besproken. Eerst worden de belangrijkste onderdelen bij het ontwerpen van een voertuig onderzocht. Een korte marktanalyse bepaald enkele van de randvoorwaarden voor het te ontwerpen concept. Externe organisaties zijn beschouwd om hun relevantie voor het project kenbaar te maken. Tenslotte is een Life cycle assessment uitgevoerd op materialen, brandstoffen en accu's om in kaart te brengen hoe belastend een voertuig kan zijn. De relevantie van een octrooionderzoek wordt als laatste verklaard.

2.1 Brainstorm

Door middel van brainstormen is een beeld van de verschillende aspecten van een voertuig in het algemeen in kaart gebracht. Onderstaande onderwerpen zijn naar voren gekomen bij het brainstormen

2.1.1 Voertuig - Algemeen

Onderstaande onderdelen zijn van belang bij het ontwerpen van een voertuig:

- Design (auto)
- Gebruiksvriendelijkheid
- Ergonomie
- Type
- Doelgroep
- Energievorm
- Energieopslag

Type, design, doelgroep en energievorm zijn verder uitgewerkt. In bijlage A is de uitgewerkte brainstormsessie te zien.

2.1.2 Concept kar

Elk subsysteem zal als een black box gedefinieerd worden. Veel onderdelen zullen in de loop van de volgende 4 jaar ontwikkeld worden en vallen buiten de randvoorwaarden voor dit afstuderen. De volgende subsystemen bestaan voor het ontwerp:

- Cockpit
- Dak
- Deuren
- Remsysteem
- Besturing
- Aandrijving
- Wielen
- Vering
- Koplampen
- Achterlichten
- Gebruik

Per subsysteem zijn oplossingen genoemd waar aan gedacht kan worden bij het exact definiëren van een subsysteem. Belangrijk om niet te vergeten is dat er ontworpen moet worden met de RDW eisen als richtlijn. Zie bijlage A voor de uitgewerkte brainstormsessie.

Uit bovenstaande lijst heeft de aandrijving coherentie met het onderdeel energieform van paragraaf 2.1.4. Veel van deze onderdelen zullen gedurende de ontwerpfasen als black box gezien worden. Een onderdeel dat studenten in de loop van de volgende 4 jaar zullen uitwerken.

2.1.3 Materiaaltype

De materiaaltype brainstorm dient ervoor om een inventarisatie van alle soorten materialen te hebben.

- Staal
- Balsalite (hout)
- Aluminium
- Composieten
- Schuim

Veel meer materialen zijn op de markt verkrijgbaar, maar deze komen het meest voor in de auto-industrie. In bijlage A is de uitgewerkte brainstormsessie terug te vinden.

2.1.4 Energievorm

Aandrijving en energieopslag zijn belangrijk bij de ontwikkeling van een SUV. De gevonden energievormen worden met elkaar vergeleken met behulp van LCA uitgevoerd door derden in paragraaf 2.4, zodat het concept gebaseerd is op de beste techniek. De verschillende energievormen zijn;

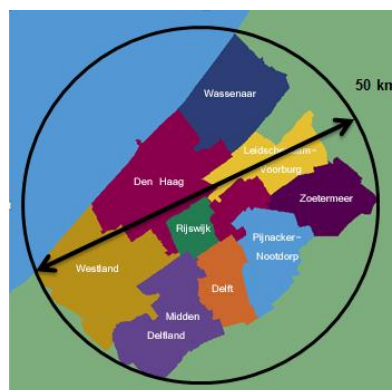
1. Energievorm
 - Waterstof
 - Elektriciteit
 - Wind
 - Zonne-energie
 - Bio-ethanol (E85)
 - Benzine
 - Diesel
2. Energieopslag
 - Lead-acid Accu
 - Li-Ion Accu
 - Lithium IJzer Fosfaat Accu
 - Natrium-Sulfate Accu
 - Nickel-Cadmium accu
 - Nickel Metal Hydride Accu

In bijlage A is de uitgewerkte brainstorm terug te vinden.

2.2 Marktanalyse

In het rapport van Jarno Brouwers is een marktanalyse terug te vinden met betrekking tot dit rapport. De markt bepaalt veelal de richting voor het te ontwerpen product. Het expertisecentrum heeft als verder doel om alle dergelijke projecten als bouwpakketten te lanceren, waarbij de eindgebruiker zelf zijn auto in elkaar zet. Het beleid dat hoort bij een dergelijke kitcar kan bij andere leveranciers onderzocht worden. Een marketingplan en financieel beleid zal op deze markt afgestemd moeten worden.

De haaglanden is de markt waarin het product gelanceerd wordt. Onderstaande figuur geeft aan hoe groot dit gebied is en tegelijk ook de afstand dat de SUV moet kunnen rijden. Dit is ten minste 2x50km, omdat een passagier moet van de ene uithoek naar de andere uithoek en weer terug kunnen rijden. Verder is gekeken in het CBS naar het aantal km dat per jaar gereden wordt voor de kleine gewichtsklasse. Dit komt uit op ongeveer 10000km per jaar. (CBS, 2012)



Figuur 2-1 Kaart van de haaglanden (ANWB, 2012)

In de huidige markt is duurzaamheid gedefinieerd als een combinatie van kwaliteit, emissie en prijs. Deze drie aspecten bepalen de drie richtingen voor concepten. Er zullen drie richtingen uitgewerkt worden. Concept 1 heeft een lage emissie hoog in het vaandel, Concept 2 zal afweging zijn tussen prijs en emissie en bij concept 3 zal de prijs het belangrijkste zijn. In hoofdstuk 4 zal dit weer naar voren komen bij de beoordeling van de concepten.

Verschillende partijen, zoals bijvoorbeeld sponsors, fondsen e.d., zullen verbonden moeten worden aan de ontwikkeling van een SUV. Een van de partijen waarmee samengewerkt gaat worden is Car2Cloud. Dit is een bedrijf dat zich bezighoudt met de ontwikkeling van een interactief communicatie netwerk tussen de bestuurder en zijn omgeving. Een voorbeeld van een dergelijk netwerk is een systeem waarmee de bestuurder via een Heads-up-screen te zien krijgt hoe lang het licht nog op rood blijft staan. Grote autofabrikanten, zoals Ford in samenwerking met Buglabs (Ford & Buglabs, 2012), zijn al bezig met deze ontwikkeling.

2.3 Externe organisaties, Wetgeving en Normen

In dit hoofdstuk worden de organisaties, de wetgeving en de normen die betrekking hebben op de ontwikkeling van een voertuig gepresenteerd. De volgende onderdelen zullen kort beschreven worden. De RDW, Euro NCAP, Mobiliteitsfonds (Regio Haaglanden) en normen

2.3.1 RDW

Op de website van de RDW beschrijven ze zichzelf als volgt:

“De RDW is een uitvoeringsorganisatie die valt onder de verantwoordelijkheid van het ministerie van Infrastructuur en Milieu. De RDW is de Nederlandse toelatingsautoriteit voor voertuigen: personenauto’s, bedrijfswagens, vrachtwagens, etc. In feite alle voertuigen die u in Nederland en ook daarbuiten op de openbare weg tegenkomt. Ze moeten immers allemaal voldoen aan de vereiste veiligheids- en milieuaspecten. De RDW ziet er op toe dat dat ook inderdaad het geval is.” (RDW, 2012)

In de opdracht wordt gesproken over een “Sustainable Urban Vehicle”. Het woord “Urban” bepaalt dat de SUV aan de eisen van de RDW moet voldoen om als een legaal product gelanceerd te worden.

De RDW verzorgt 2 soorten keuringen; de APK keuring en een keuring op mechanische aspecten, zoals stijfheid en veiligheid. Per subsysteem gelden andere regels waar rekening mee gehouden moet worden bij het ontwerpen van dat onderdeel. Er zal dan ook uitgezocht worden welke regels gelden. Bijlage B laat de verschillende categorieën zien waar op gelet wordt tijdens de veiligheidskeuring

2.3.2 NCAP EURO

Euro NCAP is een organisatie die crash-tests organiseert voor voertuigen. Het is een onafhankelijke organisatie die veiligheid beoordeelt. Veel grote merken maken gebruik van deze organisatie om een rating van veiligheid te krijgen. De organisatie kiest zelf welke auto’s getest worden, vanwege een gelimiteerd hoeveelheid geldmiddelen. Leden van Euro NCAP financieren de organisatie door van een auto te voorzien. Het is niet wettelijk verplicht om deze rating te halen. Om de tests uit te voeren moeten meerdere voertuigen geleverd worden. (NCAP EURO, 2012)

2.3.3 Mobiliteitsfonds

Het mobiliteitsfonds is een fonds van de regio Haaglanden die zorgt voor financiering voor de ontwikkeling van nieuwe voertuig met als doel de infrastructuur te verbeteren of aan te passen. Het ontwikkelen van concepten voor een prototype voor een duurzame stedelijk voertuig valt hieronder. In deze categorie is een subsidieregeling van 50% van de volledige uitgave mogelijk. (Stadsgewest Haaglanden, 2010) Het is van belang hiervoor een begroting en beleid in kaart gebracht te hebben.

2.3.4 Normen

Bij het ontwikkelen van een voertuig zijn er veel normen waar rekening mee gehouden moet worden. Deze normen bespreken de standaard waar verschillende onderdelen van een voertuig aan moet voldoen. Onderstaand staat een lijst weergegeven met enkele normen die van toepassing zijn bij het ontwikkelen van een prototype.

- **ISO 14040** – Environmental management - Life Cycle Assessment - Requirements and Guidelines
- **NEN-EN 1999-1-1 Eurocode 9**: Ontwerp en berekening van aluminiumconstructies - Deel 1-1: Algemene regels
- **NEN-EN 1999-1-2 Eurocode 9**: Ontwerp en berekening van aluminiumconstructies - Deel 1-2: Ontwerp en berekening van constructies bij brand
- **NEN-EN 1993-1-8 Eurocode 3**: Ontwerp en berekening van staalconstructies - Deel 1-8: Ontwerp en berekening van verbindingen
- **NEN-EN 14181** Emissies van stationaire bronnen - Kwaliteitsborging van geautomatiseerde meetsystemen
- **NEN-EN-ISO 6385** Ergonomische beginselen bij het ontwerpen van werksystemen
- **NEN 3140** Bedrijfsvoering van elektrische installaties - Laagspanning
- **ISO xxxxx** Road vehicles (ISO standard, 2011)¹

Voor ontwerp van een auto wordt voornamelijk gebruik gemaakt van ISO normen. Er bestaan ontzettend veel verschillende normen waar rekening mee gehouden dient te worden. In veel gevallen is het eenvoudiger om onderdelen in te kopen als zelf ontwikkelen.

2.4 Life Cycle Assessment (LCA)

Om een “Sustainable Urban Vehicle” te ontwikkelen moet er eerst een duidelijk beeld zijn van de impact dat een materiaalsoort, energievorm en accu heeft op het milieu. Per genoemde materiaalsoort, energievorm en accu zal de belasting op het milieu bepaald worden aan de hand van publicaties. Na normaliseren van de gegevens kunnen deze vergeleken worden. In de brainstormsessies zijn van elk onderdeel de varianten te vinden. In de ISO14040-14044 staat het doel van de LCA weergegeven:

“The goal of LCA is to compare the environmental performance of products in order to be able to choose the least burdensome. The term ‘life cycle’ refers to the notion that for a fair holistic assessment the raw material production, manufacture, distribution, use and disposal (including all intervening transportation steps) need to be assessed. This then is the ‘life cycle’ of the product. The concept can also be used to optimize the environmental performance of a single product (ecodesign) or that of a company” (ISO14040, 2006)

Elke emissie gas kan uitgedrukt worden in CO₂ equivalenten. Wanneer gesproken wordt over CO₂eq dan wordt dus een samenstelling van gassen bedoeld. Vermindering van fijn stof gassen (CH₄, N₂O) heeft een veel grotere invloed op de emissie belasting. Onderstaande tabel geeft voor enkele gassen de omrekeningsfactoren per gas weer.

Tabel 2-1 Conversiefactoren van emissie naar CO₂eq (Edwards & Larive, 2011)

GHG	t CO ₂ eq / t
CO ₂	1
Methane (CH ₄)	23
Nitrous Oxide (N ₂ O)	296

Na voltooiing van het prototype in 2016 is het van belang om opnieuw de EVA te bepalen. Deze kan dan vergeleken worden met het referentiemodel, Aygo 2005, om de duurzaamheid van de SUV te bepalen. Paragraaf 0 laat het referentiemodel zien met al zijn details.

¹ De kruisjes representeren een hele reeks aan normen die gevonden kunnen worden door het woord ‘Road Vehicles’ op te zoeken.

2.4.1 Randvoorwaarden

Om de LCA goed uit te voeren is een projectgrens noodzakelijk. Deze projectgrens bepaald welke onderdelen van een productie meegenomen worden voor het bepalen van de ecologische voetafdruk (EVA) van het concept. Deze LCA bekijkt 3 subsystemen vanwege de gelimiteerde tijd.

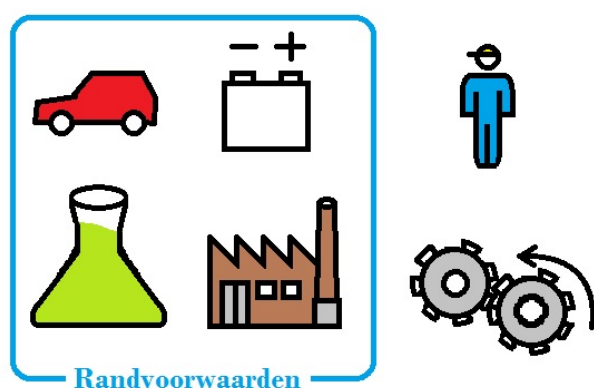
Het onderzoek beperkt zich tot de volgende onderdelen van het productieproces:

- Productie van ruwe materialen
- Verwerking van ruwe grondstof naar halffabricaten
- Productie en transport van energie (Well-to-Tank (WTT) & Tank-to-Wheel (TTW) & Well-to-Wheel (WTW))
- Productie van accu's

De reden dat accu's bekeken worden is omdat wanneer elektrisch gereden komt deze belasting erbij. Voor brandstof is gebruik gemaakt van de transport gegevens zoals aangegeven in de bron. (Edwards & Larive, 2011)

In de analyse zullen enkele onderdelen buiten beschouwing gelaten worden, namelijk:

- Het energieverbruik van de productie
- De productie van de machines die gebruikt worden in de vervaardiging van zowel de energievorm als de vervaardiging. Vanwege de variatie in de maat van fabrieken
- Transport van materiaal zullen buitenbeschouwing blijven vanwege het ontbreken van eenduidige data.
- Vervaardiging van materiaal naar eindproduct zal buitenbeschouwing blijven omdat de exacte stappen per product onbekend zijn.



Figuur 2-2 Projectgrens van LCA

Om geen verwarring te creëren zal de EVA van de verschillende onderdelen met de volgende grootheden en eenheden omschreven worden.

Tabel 2-2 grootheden en eenheden van materiaal, brandstof en accu's.

Naam	Type	EVA	Prijs
EVA_m	Materiaal	$\frac{\text{kg CO}_2\text{eq}}{\text{kg materiaal}}$	$\frac{\text{€}}{\text{kg}}$
EVA_b	Brandstof	$\frac{\text{kg CO}_2\text{eq}}{\text{MJ}}$	$\frac{\text{€}}{\text{MJ}}$
EVA_a	Accu	$\frac{\text{kg CO}_2\text{eq}}{\text{MJ}}$	$\frac{\text{€}}{\text{MJ}}$

2.4.1.1 Referentiemodel

Als referentiemodel is er gekozen voor een Toyota Aygo omdat dit een klein populair stedelijk voertuig is en in verhouding tot andere benzine voertuigen een zuinig brandstofverbruik heeft. In bijlage C is een lijst van met alle karakteristieken terug te vinden. Deze waarden zijn gebruikt om enkele technische aspecten te berekenen.

Onderstaande figuur geeft een gestandaardiseerde materiaalverdeling van auto's weer. Om materialen met elkaar te vergelijken is aangenomen dat SUV volgens deze verdeling gebouwd wordt.

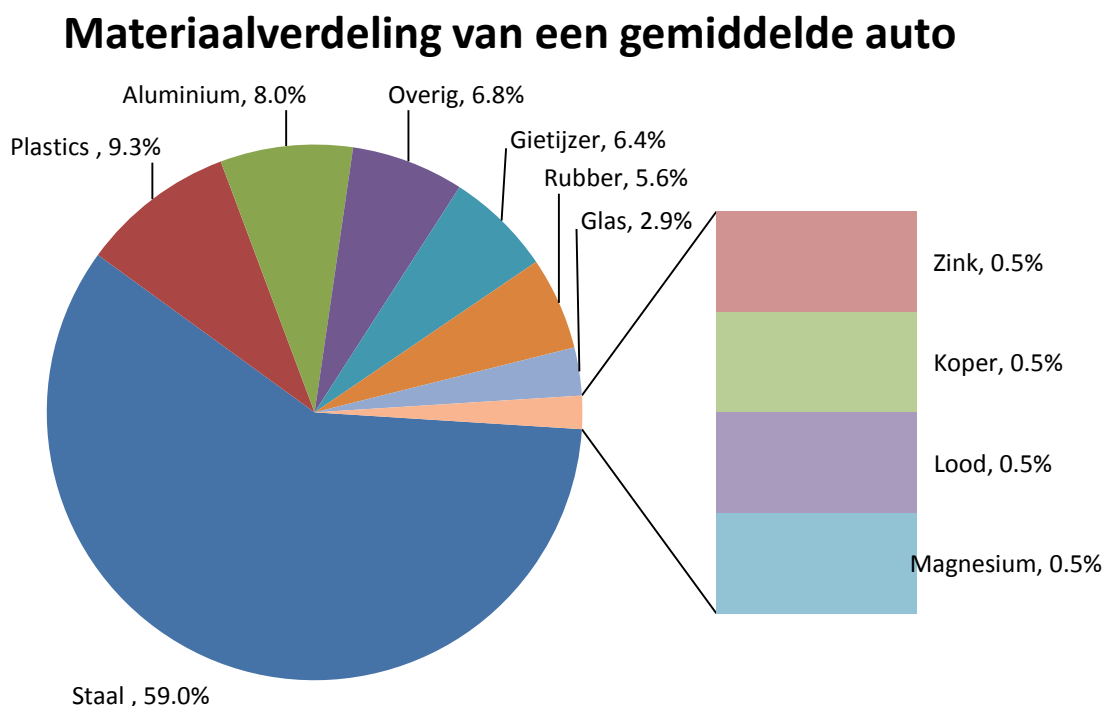


Figure 2-1 Materiaal verdeling van de gemiddelde auto (Kanari, 2011)

2.4.2 Onderzoek

Onderstaande paragrafen bespreken de uitstoot van enkele materialen, brandstoffen en accu's weer.

2.4.2.1 Materialen

Dit paragraaf behandelt per materiaaltipe de last dat het materiaal uitoefent op het milieu. Alle data voor materialen komt uit een database dat bijgehouden wordt door het bedrijf Granta design. (CES edupack, 2011). De EVA zal uitgedrukt worden in gCO₂eq per kg. De onderzochte materialen zijn staal, aluminium, composieten, hout en enkele schuimen. De onderzochte materialen zijn beperkt gebleven omdat er ontzettend veel varianten van deze materialen bestaan. In bijlage D zijn de gegevens van materiaal terug te vinden.

Tabel 2-3 Materiaalsoorten beschouwd in de LCA

	Voordelen	Nadelen	Toepassingen
Staal	Goedkoop, stijf, goed recyclebaar	Zwaar,	Chassis,
Aluminium	Licht, goed recyclebaar	Duur, slechte hechting aan composieten,	Spaceframe, Sandwich onderdeel (GLARE)
Composieten	Erg licht, heel stijf	Erg duur, niet hervormbaar, slecht recyclebaar, kan slecht tegen trekkrachten en lijnspanning.	Monocoque, spaceframe
Hout	Wanneer dit mee gelamineerd wordt kan hier bevestigingspunten in gemaakt worden zonder stijfheid te verliezen.	Kan slecht tegen trekkrachten in de transversale richting, Kan slecht tegen buigkrachten.	Sandwich materiaal
Schuim	In combinatie met composiet zorgt dit voor gewichtsvermindering en stijfheid vergroting, Gemakkelijke hechting aan composieten	Niet herbruikbaar na fabricage, slecht recyclebaar	Sandwich materiaal

2.4.2.2 Energievorm

Deze paragraaf behandelt per energievorm de last van de ruwe productie en verbruik per MJ. De emissie per energievorm zal in g CO₂eq per MJ uitgedrukt moeten worden om onderling vergelijkbaar te worden. (Edwards & Larive, 2011) (Milieu Centraal, 2012) (Wikimobi, 2012). In bijlagen E zijn de emissie van de productie van brandstof inclusief transport en verbruik terug te vinden. Daarnaast is voor enkele brandstoffen ook de productie van de fabriek meegenomen. Deze gegevens zijn ook terug te vinden in bijlage E.

Tabel 2-4 Energievormen beschouwd in de LCA

	Voordelen	Nadelen
Waterstof	Hoge energiedichtheid; Emissie van 0 bij verbruik. Tankbaar net als conventionele brandstof	Veel elektriciteit nodig voor elektrolyse; Waterstof atoom is te klein om goed op te slaan in een vat; Explosie gevaar. Hoge kosten
Elektriciteit	Lage emissie bij groene stroom; Emissie van 0 bij verbruik; Lage energieverlies ten opzichte van ICE.	Accu's nodig voor opslag. Lastig te "tanken"; Capaciteit nog te laag.
Conventionele brandstof	Goedkoop; Goed verkrijgbaar; Infrastructuur aanwezig; Gemakkelijk tankbaar.	Eindige voorraad; hoge emissies bij verbranding. Lage rendement van ICE.
Ethanol	Vergelijkbaar met Conventionele brandstof	Hoge kosten
Methanol	Vergelijkbaar met Conventionele brandstof	Hoge kosten
CBG (biogas)	Kleine ombouw van verbrandingsmotor (ICE) nodig om te verbranden; goedkope brandstof; gemaakt van planten die CO ₂ opnemen. Lage fijnstof uitstoot	Weinig innovatie mogelijk; Te grote vraag kan negatief zijn voor wereld voedselvoorraad.
CNG (Aardgas)	Gemakkelijk tankbaar; Goedkope brandstof; infrastructuur aanwezig	Eindige voorraad; hoge emissie waarvan relatief hoge fijnstof uitstoot; lage energiedichtheid
LPG	Goedkope brandstof; gemakkelijk tankbaar; infrastructuur aanwezig	Lage energiedichtheid
Biodiesel	Vergelijkbaar met conventionele brandstof. Lagere uitstoot; minder fijnstof uitstoot	Duur; lagere energiedichtheid.

2.4.2.3 Energieopslag

Een batterij is een spanningsbron die wordt gebruikt voor de omzetting van opgeslagen chemische energie in elektrische energie en vice versa. De theoretische leeftijd van een accu is 800 cyclussen. Wanneer gekeken wordt naar duurzaamheid is het van belang om de ecologische voetprint van ieder toepasbare batterij uit te zoeken. De PbA accu zit in elke auto met een Internal Combustion Engine (ICE). Voor een bereik van 280 km is voor een familie auto een 40 kWh batterij nodig wat vertaald in 1.5ton wegende PbA accu. Slechts als referentiemodel is deze dan ook opgenomen in de lijst. Laag gewicht is noodzakelijk voor de Battery Electric Vehicle (BEV). (Ltd, 2005). Verder is een hoge Depth of Discharge (DOD) wenselijk. Dit is de mate die aangeeft hoeveel een accu afgeladen kan worden. De EVA zal uitgedrukt worden in g CO₂eq per MJ.

Tabel 2-5 Accu typen beschouwd in de LCA

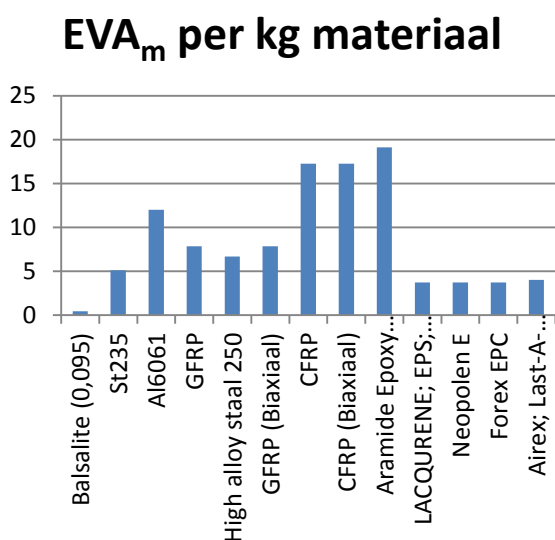
	Chemische naam	Voordeel	Nadeel
Loodzuur accu	PbA	Capaciteit per kg (---)	Prijs (+++)
Nickel Cadmium	NiCd	Capaciteit per kg (--)	Prijs (+)
Nickel metaal hydride	NiMH	Capaciteit per kg (-)	Prijs (---)
Sodium Sulfaat	NaS ²	Capaciteit per kg (+)	Prijs (++)
Lithium Ion	Li-Ion	Capaciteit per kg (++)	Prijs (-)
Lithium IJzer Fosfaat	LiFePO ₄	Capaciteit per kg (+++)	Prijs (--)

² NaS accu's worden alleen ter referentie meegenomen in de LCA vanwege giftige gasvorming bij schade; (Kiehne, 2003)

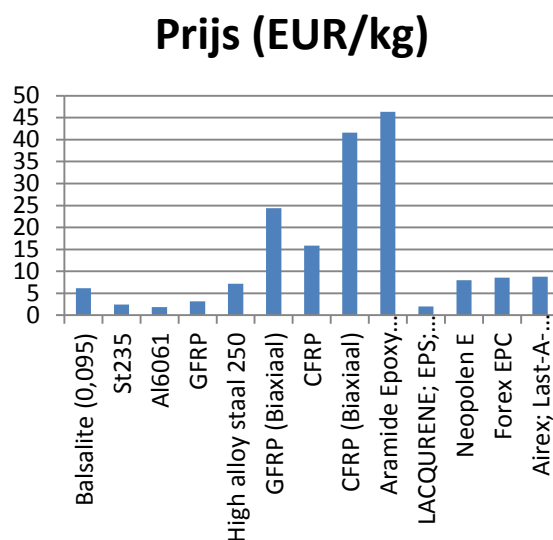
2.4.3 Resultaten

2.4.3.1 Materiaaltype

Onderstaande grafiek geeft per materiaal de hoeveelheid $kg\ CO_2eq/kg$ materiaal. Aramide-epoxy (KEVLAR®) komt hierbij naar voren als het meest belastend per eenheid van gewicht en st235 als het minst belastend per kg materiaal. Wel moet onthouden worden dat bij toepassing van staal het gewicht veel hoger is als bij toepassing van een composiet. Bijvoorbeeld: De dichtheid van staal is immers $7850\ kg/m^3$ en dat van KEVLAR® $1380\ kg/m^3$. Een voertuig zal bij gelijke afmetingen gemaakt van staal ongeveer 4 keer meer wegen dan van KEVLAR®. De houten (Balsalite) en polymeren (Lacquirene, Neopolen E, Forex EPC en Airex) scoren lager dan St235 maar deze kunnen niet vergeleken worden met de composieten en metalen. Deze worden immers niet gebruikt. De prijzen van de materialen zijn koers prijzen van de ruwe materialen.



Grafiek 2-1 EVA_m per kg materiaal



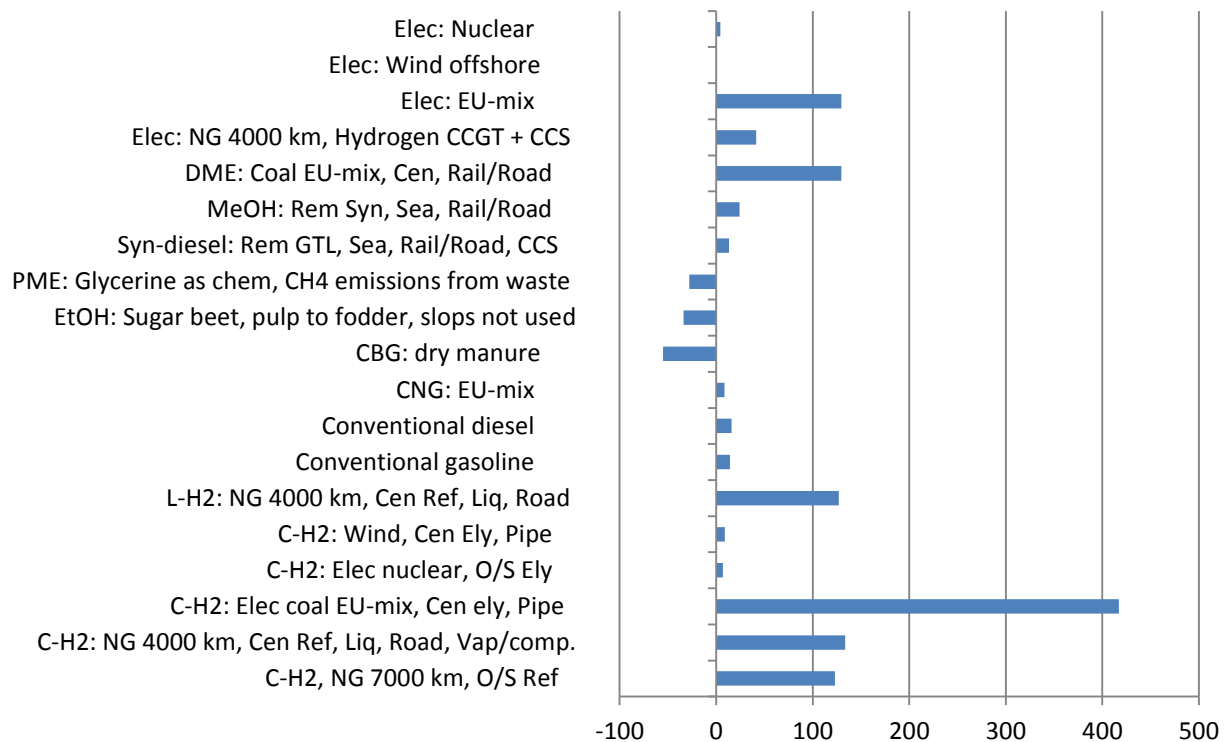
Grafiek 2-2 Prijs (in euro's) per kg materiaal

De exacte gebruikte waarden zijn terug te vinden in Bijlage D. In Bijlage N is een extra onderzoek terug te vinden waarin de invloed van ontwerpen met verschillende materialen wordt besproken. Twee ontwerpen gemaakt van verschillende materialen zullen andere dimensies hebben bij een constante doorbuiging. Dit resulteert in een volume en massa die niet een op een te vergelijken is. Er is onderzocht wat voor een invloed vier 3 verschillende soorten belastingen hebben op de volume, massa, prijs en EVA_m verandering.

2.4.3.2 Energievorm

Grafiek 2-1Grafiek 2-3 geeft de EVA_b per energievorm van de productie weer. Voor enkele energievormen met de daarbij horende productiemethoden is weergegeven hoe groot de EVA_b is vóór het verbruik. In bijlage E zijn de daadwerkelijke waarden te vinden. In de grafiek is te zien dat windenergie geen CO₂ produceert, maar hierbij moet rekening gehouden worden met de productie van de windmolens en de onregelmatigheid van de windintensiteit. Dit is een niet-continue energievorm. Groene stroom opgewekt door Kerncentrales lijkt een goede optie, maar deze energievorm brengt andere milieuproblemen met zich mee. Conventionele brandstoffen zoals benzine en diesel scoren tijdens de productie laag, maar deze stoten gedurende het verbruik veel meer CO₂eq uit. Onderstaande grafiek geeft voor verschillende auto types de EVA_b per MJ gebruikte energie, de bijbehorende data is terug te vinden in bijlage E b)

EVA_b: (WTT) gCO₂/MJ



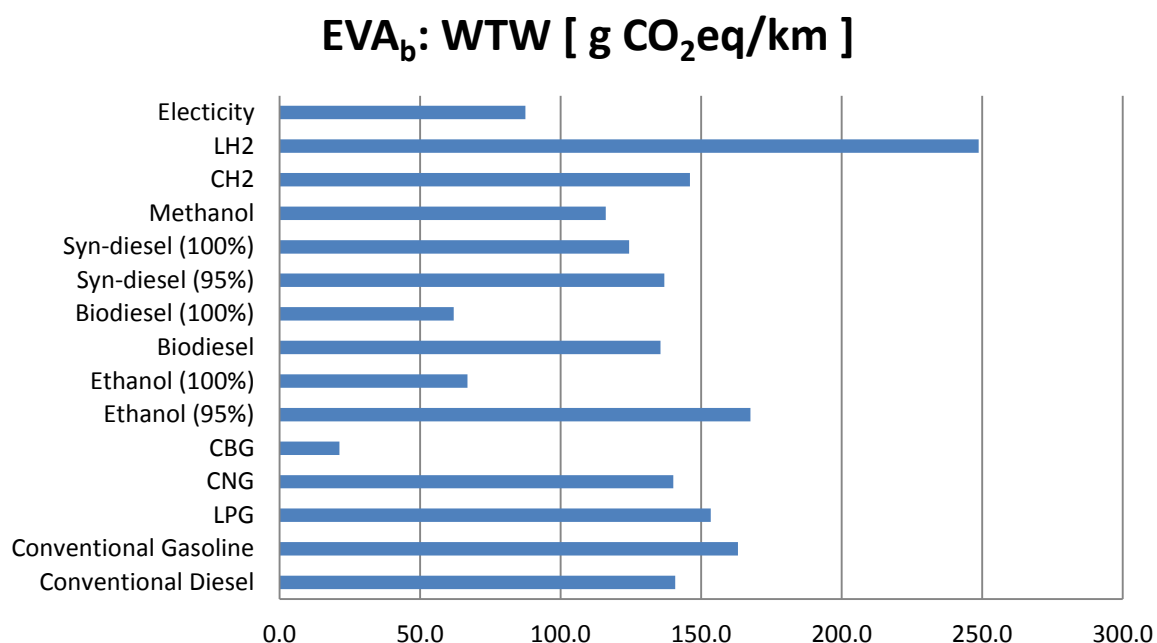
Grafiek 2-3 Totale EVA_b (WTT) van verschillende brandstof productie methoden (achter iedere brandstoftype staan transport en productie methoden afgekort)

Volgens de volgende formule is per km uitgerekend wat het totale verbruik is.

$$\begin{aligned}
 \text{EVA GHG} \left(\frac{\text{gCO}_{2eq}}{\text{km}} \right) &= \text{TTW GHG} \left(\frac{\text{gCO}_{2eq}}{\text{km}} \right) + \frac{\text{TTW energie} \left(\frac{\text{MJ}_f}{100\text{km}} \right)}{100} * \text{WTT GHG} \left(\frac{\text{gCO}_{2eq}}{\text{MJ}_f} \right) \quad 2-1
 \end{aligned}$$

Tank to Wheel (TTW) energie, Tank to Wheel Greenhouse Gas (TTW GHG) zijn terug te vinden in Bijlage E b).

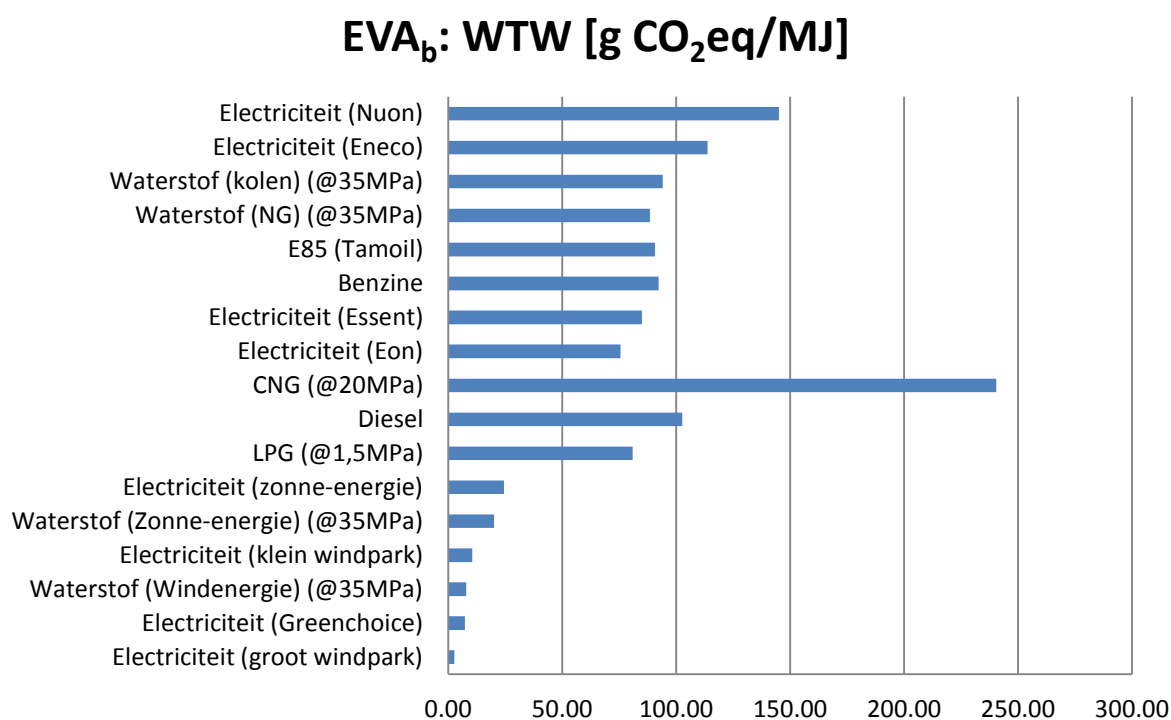
Grafiek 2-4 geeft de EVA_b WTW. De bijbehorende data staat in bijlage E c).



Grafiek 2-4 EVA: WTW = WTT+TTW [gCO₂/km] exclusief productie van de centrales

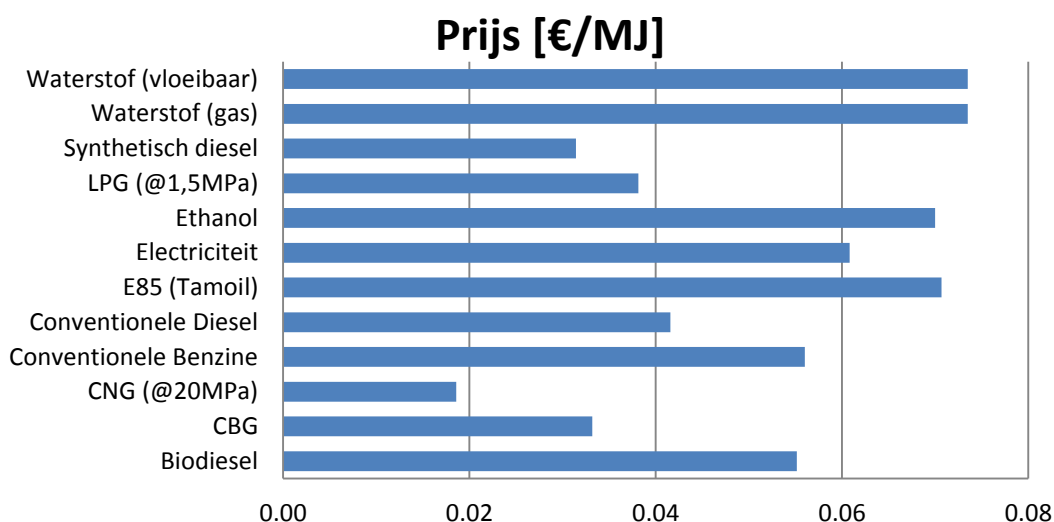
De waarde uit Grafiek 2-4 zijn gemiddelden van alle productie methoden waarbij extremen waarden afgeschaafd zijn.

Alle energievormen zijn belastend voor het milieu. Om dit te laten zien zijn er resultaten van verschillende publicaties weergegeven in de onderstaande grafiek. Als we kijken naar de eerdere genoemde windenergie waarbij de WTW EVA_b gelijk aan 0 is, valt op dat per MJ geproduceerde emissie tussen de 2,7 en 11g ligt. Vanwege het ontbreken van eenduidige resultaten is besloten de productie van de 'fabriek' niet mee te nemen.



Grafiek 2-5 EVA_b : WTW = WTT + TTW van gemiddeld verbruik inclusief productie van de centrales

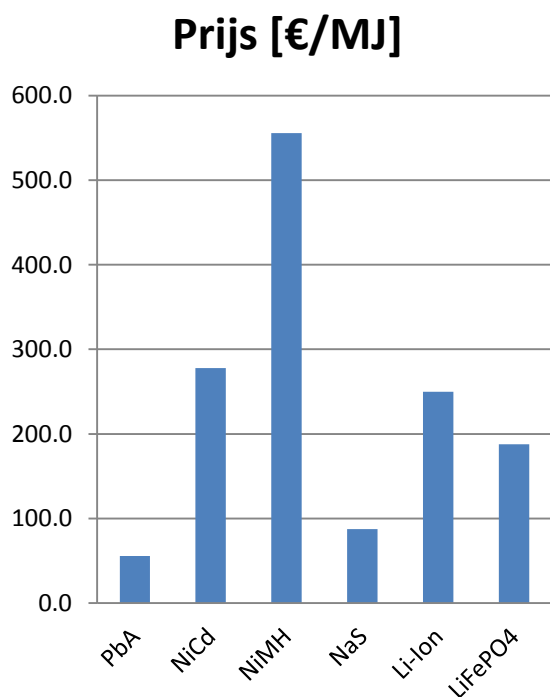
De Grafiek 2-6 geeft de prijs per MJ voor de verschillende brandstoffen.



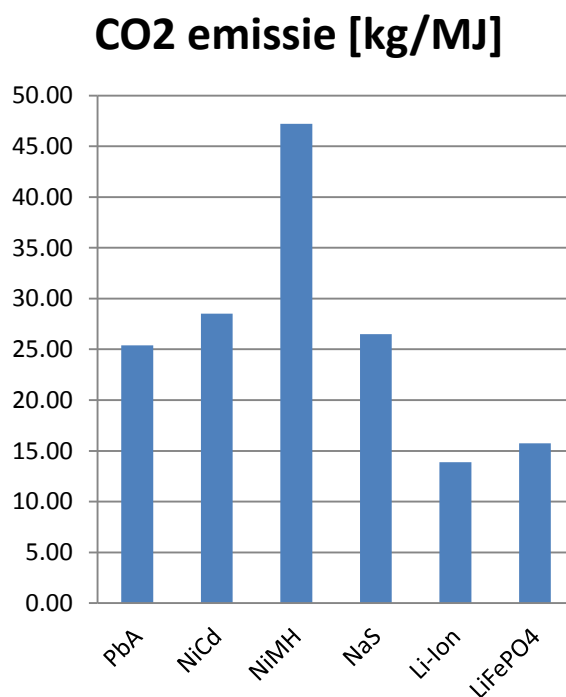
Grafiek 2-6 Prijs (in euro's) per MJ brandstof

2.4.3.3 Energieopslag

PbA accu's worden in alle auto's toegepast om te dienen als startaccu. Li-Ion en LiFePO4 accu's laten de hoogste potentie zien qua capaciteit en emissie per MJ. Onderstaande grafieken geven per accu type de emissie en prijs per kg. (E-motive BV, 2010). Uiteindelijk is de beste EVA_a, Capaciteit, gewicht verhouding de beste oplossing om groen te zijn. In bijlage F is de bijbehorende data terug te vinden



Grafiek 2-7 Prijs per MJ accu



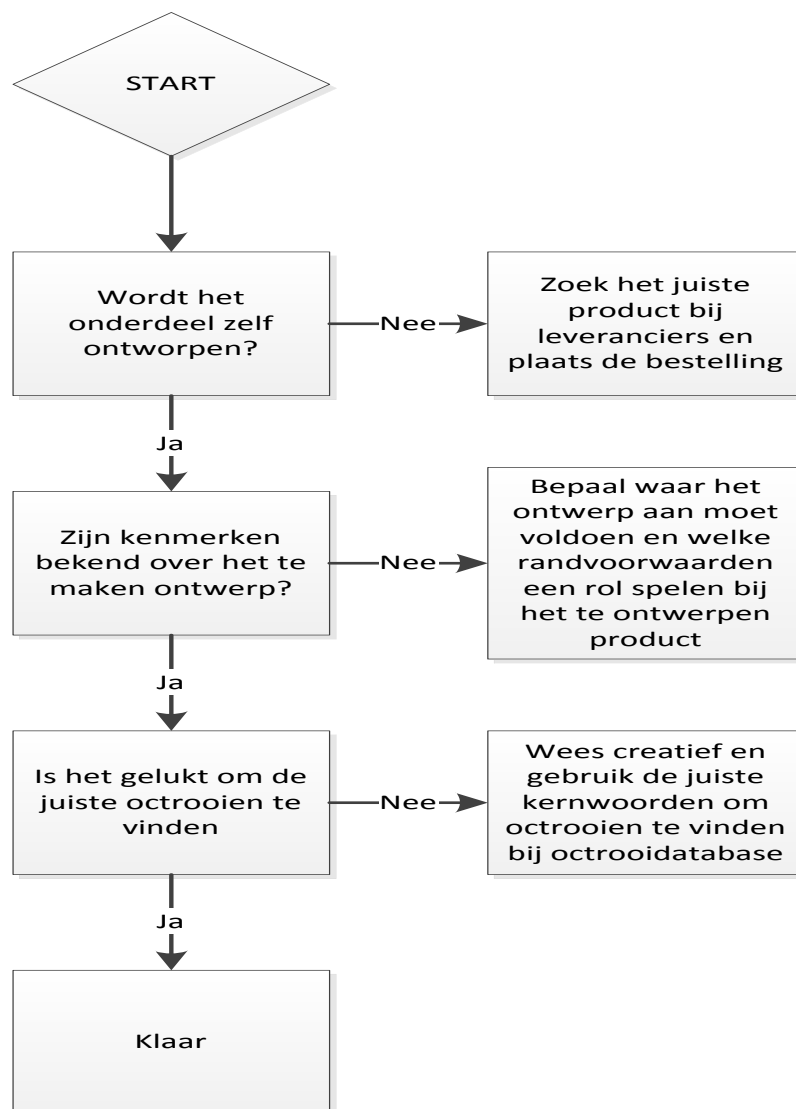
Grafiek 2-8 EVA_a per MJ accu type

2.5 Octrooionderzoek

Octrooionderzoek is in dit stadium van het project niet van toepassing. Bij het verder uitwerken van de subsystemen en ontwerp daarvan is dit een vitaal onderdeel om ervoor te zorgen dat er geen diefstal gepleegd wordt.

Bij de bouw van een prototype zullen veel onderdelen ingekocht worden waardoor octrooi problemen niet kunnen ontstaan.

Per subsysteem moet volgens het volgende stappenplan octrooionderzoek gedaan moeten worden.



Figuur 2-3 Octrooi zoek stappenplan

3 Pakket van Eisen

3.1 Auto karakteristieken

De concepten zullen aan een set van eisen en wensen moeten voldoen. Deze eisen zijn zoals eerder genoemd gerelateerd aan het referentiemodel, de Toyota Aygo, de wetgeving en aan verdere gestelde randvoorwaarden. (Carspector, 2008) Afhankelijk van de eisen en wensen zullen concepten worden bedacht. De concepten zijn terug te vinden in Hoofdstuk 4 en bijlage J

Tabel 3-1 Eisen voor de te ontwerpen concepten

Gestelde eisen aan de te maken auto		
Categorie	Detaillering	
	Actieradius	2x 50km ³
	Zitplaatsen	2 (naast of achter elkaar)
Prestaties		
	Acceleratie 0-100km/u	17,6 seconde ⁴
	Snelheid	100km/u ⁵
	Maximale remweg	76,0 m ⁶
	Vermogen	19,30 kW ⁷
Gewicht & afmetingen		
	Gewicht	Onder 880kg
	Draaicirkel	9,4meter
	Bagageruimte	Samsonite klein, koffer van vliegtuigafmetingen
	Lengte	<12 m ⁸
	Breedte	<4 m ⁸
	Hoogte	<2,55 m ⁸
Aanvullende eisen		
	4 wielen	
	Vering	
	Ruitenwissers	
	Verlichting	
	Veiligheidsgordel	
	Automaat	
	Car2Cloud	Een samenwerking met de Kennis Alliantie om een interactief systeem in de auto te implementeren.

³ Zie Hoofdstuk 2.2 voor uitleg

⁴ Acceleratie iteratief berekend afhankelijk van vermogen om een helling op te rijden.

⁵ Snelweg rijden is geen eis, maar wel mogelijk op maximale snelheid

⁶ Remweg berekening is gebaseerd op remmen met een de-acceleratie van 8 m/s en een snelheid van 100km/u

⁷ Vermogen is berekend aan de hand van gestelde acceleratie snelheid. Deze berekening is terug te vinden in bijlage I

⁸ APK afmetingen gesteld door RDW (RDW, 2012)

3.2 Duurzaamheid karakteristieken

De concepten moeten op het gebied van duurzaamheid voldoen aan de volgende eisen.

Table 3-1 Eisen voor de te ontwerpen concepten op het gebied van Duurzaamheid

Duurzaamheid eisen	
EVA_m productie (Materiaal en recycling) lager dan de Toyota Aygo	< 3711 kg CO ₂ eq (volgens de gestandaardiseerde materiaal verdeling)
EVA_b Aandrijving (Benzine) lager dan de Toyota Aygo	< 2323,3 kg CO ₂ eq per jaar
EVA_a accu afhankelijk van type brandstof en zodanig de capaciteit gelijk aan dat van een startaccu of een opslagaccu	Startaccu: 0,48 kW Opslagaccu: 19,30 kW
Goedkoper dan Toyota Aygo	< €7990,-

4 Conceptfase

De conceptfase beschrijft de totstandkoming van de verschillende ontwerpen. Eerst is het ontwerp opgedeeld in subsystemen, vervolgens is per subsysteem enkele concepten bedacht. De concepten zijn opgenomen in een morfologische kaart. Per concept is een waarde berekend aan de hand van criteria, waaruit 3 concepten ontstaan. Uit deze 3 concepten zal 1 gekozen worden die het beste concept is.

4.1 Concept categorieën

Bij het ontwerpen komen een groot aantal onderdelen naar voren waar op gelet moet worden. In paragraaf 1 is een brainstorm sessie terug te vinden die is gehouden in een vroeg stadium van het project. Deze brainstorm bevat al een eerste verdeling van de verschillende concepten. Hieronder staan de uiteindelijke subsystemen van een SUV concept opgesomd. De subsystemen zijn geclusterd naar overeenkomende functionaliteit.

1. Constructie
 - a. Materialen
 - b. Cockpit
 - c. Dak
 - d. Deuren
 - e. Koplampen
 - f. Achterlichten
 - g. Wielen
 - h. Vering
2. Aandrijflijn
 - a. Brandstof
 - b. Accu
 - c. Besturing
 - d. Aandrijving
 - e. Gashendel
 - f. Remsysteem
 - g. Stuurkolom

Per categorie zal met de criteria uit paragraaf 4.2 de beste oplossing bepaald worden.

4.2 Kesselring criteria

Om de verschillende concepten te evalueren zijn er criteria opgesteld waar het beste concept uit naar voren komt. Via deze criteria worden de gestelde eisen en wensen aan de SUV getoetst bij ieder concept. Alle concepten zijn onafhankelijk van elkaar besproken. Per subsysteem zijn verschillende criteria van toepassing. Onderstaande tabel geven de criteria met de daarbij horende vragen en score.

Tabel 4-1 Criteria tabel

Criteria	Score				
	5	4	3	2	1
Complexiteit	Innovatief	->			Simpel
Prijs	Laag	->			Hoog
EVA	Heel weinig	->			Veel
Gewicht	Licht	->			Zwaar
Stijfheid	Stijver	->			Slapper
Haalbaarheid	Veel	->			Geen
Capaciteit	Hoogste	->			Laagste
Energie efficiëntie	Efficiënt	->			inefficiënt
Onderwijs	Interessant	->			Saai

- **Complexiteit**
Hoe lastig is het ontwerp om te ontwikkelen? Hoe lastig is het implementeren van dit ontwerp? Is het een ontwerp dat toepasbaar is op de rest van het systeem? Hoe is de uitvoerbaarheid van de onderhoud van het ontwerp?
- **Prijs**
Is het ontwerp in verhouding tot de andere concepten duur of juist goedkoop?
- **EVA**
Wat is de ecologische voetafdruk ten opzichte van de andere ontwerpen?
- **Gewicht**
Hoeveel weegt het ontwerp ten opzichte van de rest?
- **Stijfheid**
Hoe stijf is het materiaal? Hoe ver is de doorbuiging van het materiaal met vergelijkbare dimensies?
- **Haalbaarheid**
Hoe gemakkelijk is het product verkrijgbaar?
- **Capaciteit**
Hoe hoog ligt de capaciteit van de accu? Wat is de energiedichtheid van de brandstof?
- **Energie efficiëntie**
Hoe zuinig is het ontwerp?
- **Onderwijs**
Is het ontwerp onderwijs technisch interessant? Kunnen studenten zichzelf ontplooiën bij de ontwikkeling ervan?

Om zo goed mogelijk te kunnen voldoen aan de markt zullen er verschillende product richtingen naast elkaar onderzocht worden. De richtingen hebben respectievelijk de volgende namen gekregen Concept 1 (groen), Concept 2(groen en prijs) en Concept 3 (prijs). Per richting geldt een andere volgorde van prioriteit van de criteria, vanwege de afzonderlijke interesse. In de bijlage M zijn de scores terug te vinden.

4.3 Concepten

De verschillende oplossingen zijn in onderstaande paragrafen terug te vinden met een korte omschrijving. Eerst komen de oplossingen voor het constructie onderdeel en daarna van de aandrijflijn.

4.3.1 Constructie

4.3.1.1 Materialen

Enkele materialen onderzocht in het hoofdstuk 2.4 worden hier nogmaals genoemd. De 5 meest conventionele materialen zijn opgenoemd. Staal, aluminium, composieten en sandwich materialen. De sandwich materiaal is een combinatie van CFRP met FOREX schuim. Vanwege de combinatie van materialen wordt aangenomen dat dit product een hogere EVA produceert en een hogere gewicht. De criteria die de concepten beoordelen zijn Prijs, EVA, Stijfheid, Gewicht en Onderwijs.

4.3.1.2 Cockpit

Er bestaan op de huidige markt drie vormen van cockpits, namelijk de monocoque, de spaceframe en de conventionele chassis/carrosserie combinatie.

De spaceframe is een ondersteunende structuur waarbij de zijpanelen niet nodig zijn om belastingen te dragen. De structuur is een samenstelling van kokerprofielen en geperste plaatdelen die vervolgens bekleed worden met zijpanelen. De panelen kunnen van een lichtgewicht materiaal gemaakt worden en dienen niet gelast te worden op de structuur. Een latere versie spaceframes wordt gemaakt van aluminium extrusie profielen die aan elkaar gelast worden. Dit is een dure oplossing vanwege de aanschaf van extrusie profielen.

De monocoque werkt omgekeerd ten opzichte van de spaceframe. Hierbij zijn het dak, de dakpilaren en achterbumper de onderdelen, die de meeste belastingen dragen. De romp van een vliegtuig is een voorbeeld van een monocoque. Monocoque's zijn zwaarder dan spaceframes tenzij de wielbasis open is.

De conventionele chassis/carrosserie combinatie bestaat uit een dragende chassis met daarop een carrosserie dat de vorm bepaald. De chassis wordt gebruikt om de aandrijflijn, wielophanging en carrosserie in op te hangen. De criteria die de concepten beoordelen zijn Complexiteit, Prijs, Gewicht en Onderwijs.

4.3.1.3 Dak

De cabrio, coupe en cabrio coupe zijn 3 type daken die op een auto geïnstalleerd kunnen worden.

De cabrio is een open dak bedekt met een zachte dakbedekking, die open kan bij lekker weer. Een open dak brengt extra structuur stevigheid met zich mee en daarmee een zwaarder voertuig.

De coupe is een gesloten dak verwerkt in de structuur van het frame. Het dak kan meer dragen wat resulteert in een lichtere auto.

De cabriocoupe is een combinatie van de cabrio en de coupe. Het is een dak dat open kan maar wel een dragende structuur en harde buitenpanelen bevat. Vanwege het complexe systeem bewegingssysteem zal dit onderdeel zwaar en duur zijn. De criteria die de concepten beoordelen zijn Complexiteit, Prijs, Gewicht en Onderwijs.

4.3.1.4 Achterlichten en koplampen

Twee typen koplampen worden behandeld. De LED lamp en een conventionele lamp. Er zal niet verder ingegaan worden op deze lamp, omdat de goedkoopste oplossing is het inkopen van lampen van een bestaande type. Bij achterlichten en koplampen moet gelet worden op de LUX. De RDW stelt bepaalde eisen hieraan. De criteria die de concepten beoordelen zijn Complexiteit, Prijs, Gewicht, Energie-efficiënte en Onderwijs.

4.3.1.5 Vering

Om te zorgen voor een comfortabele rit zijn er verschillende soorten vering op de markt, namelijk McPhersons vering (veersysteem waarbij alle wielen onafhankelijk van elkaar kunnen veren),

hydraulische vering en luchtkussen vering. De criteria die de concepten beoordelen zijn Complexiteit, Prijs, Gewicht en Onderwijs.

4.3.2 Aandrijflijn

4.3.2.1 Brandstof

In het hoofdstuk 2.4 zijn veel verschillende brandstoffen met hun EVA en prijs benoemd. Op dit moment worden conventionele brandstoffen het meest toegepast vanwege de prijs, verkrijgbaarheid en de hoge energie intensiteit. De eindige bron en de milieubelastende vorm van deze brandstof heeft als gevolg dat er gekeken wordt naar alternatieven. Vele alternatieven zijn op dit moment aanwezig. Bijna alle alternatieven hebben één ding gemeen en dat is het ontbreken van gemakkelijke distributie aan de klant en hoge kosten. Uitzonderingen hierop zijn elektriciteit en biobrandstof. De criteria die de concepten beoordelen zijn Prijs, EVA, Haalbaarheid en Onderwijs.

4.3.2.2 Accu

Er zijn verschillende typen batterijen op de markt die gebruikt kunnen worden om energie aan de elektromotor over te brengen of als startaccu te dienen. Een startaccu wordt gebruikt om een ICE op gang te krijgen. De oplossingen zijn PbA, NiCd, NiMH, NaS, Li-Ion en LiFePO₄. In het hoofdstuk 2.4 zijn de prijs, capaciteit en EVA van de batterijen besproken. De criteria die de concepten beoordelen zijn Prijs, EVA, Gewicht, Capaciteit, Energie-efficiëntie en Onderwijs.

4.3.2.3 Brandstofcel

Dit is een conceptonderdeel dat alleen wordt toegepast in het geval dat de brandstof waterstof is. In de bijlage K staat dat alleen de PEM brandstofcel gebruikt kan worden voor voertuigen. Andere brandstofcellen zijn genoemd ter referentie van de specificaties. Geen brandstofcel is ook als concept genoemd omdat waterstof ook verbrand kan worden in een ICE. De criteria die de concepten beoordelen zijn Complexiteit, Prijs, EVA, Capaciteit en Onderwijs.

4.3.2.4 Besturing

Net als bij het remsysteem bestaat dit onderdeel uit een mechanisch/hydraulisch systeem en een elektrische/hydraulisch systeem genaamd drive-by-wire. Er zal niet verder op details ingegaan worden. De criteria die de concepten beoordelen zijn Complexiteit, Prijs, Gewicht en Onderwijs.

4.3.2.5 Aandrijving

Vijf verschillende concepten zijn benoemd, waarvan vier elektromotoren zijn en één ICE. ICE is niet verder gespecificeerd omdat deze veelal brandstof afhankelijk zijn. De vier elektromotoren zijn In-wheel, asynchrone, synchrone en gelijkstroommotor. Er zal niet verder op details ingegaan worden. In bijlage L zijn enkele elektromotoren terug te vinden met bijbehorende eigenschappen. De criteria die de concepten beoordelen zijn Complexiteit, Prijs, Gewicht, Energie-efficiëntie en Onderwijs.

4.3.2.6 Remsysteem

In de moderne auto wordt gebruik gemaakt van 2 systemen. Een mechanisch/hydraulisch of een elektrisch/hydraulisch systeem. De tweede heet ook wel brake-by-wire genoemd. Deze systemen zullen niet verder uitgedetailleerd worden. De criteria die de concepten beoordelen zijn Complexiteit, Prijs, Gewicht en Onderwijs.

4.3.2.7 Stuurkolom

Voor de Stuurkolom geldt voor zowel de conceptvariaties als detaillering hetzelfde als bij het remsysteem. De criteria die de concepten beoordelen zijn Complexiteit, Prijs, Gewicht en Onderwijs.

4.3.2.8 Gashendel

Net als bij het remsysteem en de stuurkolom is een onderverdeling gemaakt tussen een elektrisch/hydraulisch en een mechanisch/hydraulisch systeem. Er zal niet ingegaan worden op details omtrent het gashendel subsysteem. De criteria die de concepten beoordelen zijn Complexiteit, Prijs, Gewicht en Onderwijs.

4.4 Morfologische kaart

De Morfologische kaart met alle oplossingen voor subsystemen zijn terug te vinden in de bijlage J.

4.5 Beste concepten

De winnaars van de concepten zijn dikgedrukt weergegeven in de kesselring resultaten. Uiteindelijk is gekozen om de concepten niet te toetsen aan de criteria Haalbaarheid en Onderwijs. Er is onvoldoende data aanwezig om een uitspraak te kunnen doen over de haalbaarheid van materiaal, brandstof of accu's. Onderwijs is een criteria dat op ieder gebied hoog zal scoren omdat elk subsysteem interessante onderwerpen heeft om van te kunnen leren. Onderstaande tabel geeft per richting de winnende concepten naast elkaar weer met daarbij horende scores. In combinatie met het business model van J. Brouwers kan de juiste richting gekozen worden die de doelgroep het beste benaderd.

Table 4-1 Beste concepten totale scores

	Concept 1	Score	Concept 2	Score	Concept 3	Score
Constructie						
Materialen	Conventioneel Staal	38	Staal	42	Staal	38
Cockpit	Spaceframe	20	Spaceframe	20	Spaceframe	20
Dak	Coupe	24	Coupe	24	Coupe	24
Koplampen	Conventioneel	35	Conventioneel	35	Conventioneel	35
Achterlichten	Conventioneel	35	Conventioneel	35	Conventioneel	35
Vering	McPhersons	21	McPhersons	21	McPhersons	21
Aandrijflijn						
Brandstof	CBG	23	CBG	25	CNG	21
Accu	Li-Ion	47	Li-Ion	39.5	LiFePO4	39
Brandstofcel	Geen	38	Geen	38	Geen	38
Aandrijving	ICE	22	ICE	22	ICE	22
Gashendel	Drive by Wire	13	Drive by Wire	13	Drive by Wire	13
Remsysteem	Brake by Wire	13	Brake by Wire	13	Brake by Wire	13
Stuurkollom	Steer by Wire	13	Steer by Wire	13	Steer by Wire	13
Totale score		342		340.5		332

Met de eindresultaten naast elkaar gelegd is de eerst volgende vraag die gesteld moet worden als volgt; Voldoet elk resultaat aan de gestelde eisen van de SUV?

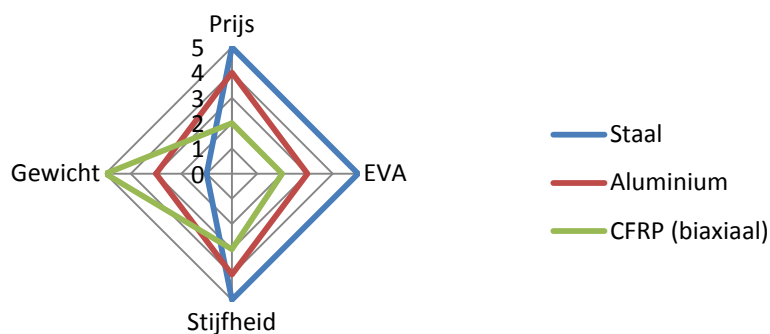
Op dit moment kan slechts een benadering gemaakt worden over wat de totale EVA uiteindelijk zal worden. Voor de drie richtingen is uitgerekend wat de EVA zal zijn na productie, een gebruik van 10 jaar en recycling. Wanneer de SUV rijdt op CBG dan is de accu grote gebaseerd op de PbA van de Aygo en anders is dit de capaciteit zoals berekend in de bijlage I. Voor productie is verondersteld dat ze gebouwd worden met een gelijke materiaal verdeling.

Het valt op dat Staal en de gassen CBG en CNG bij de drie richtingen als de beste keuze naar voren komen. Een belangrijk argument tegen zowel Staal als CBG en CNG zijn de innovatiemogelijkheden. Zowel CBG als CNG worden middels een ICE omgezet in verplaatsing wat een hoge maat van volwassenheid heeft bereikt.

Er bestaan diverse soorten staal op de markt, die allemaal twee eigenschappen gemeen hebben en dat zijn de lage kosten het hoge gewicht van het materiaal. Een hoog gewicht creëert een nadeel

voor het verbruik van een motor. Waardoor materialen als aluminium en CFRP (biaxiaal) een lichtere variant opleveren. Aluminium en CFRP zijn alleen per kg materiaal meer belastend voor het milieu en per kg een stuk duurder. Grafiek 4-1 laat deze 3 materialen met hun scores zien.

Materiaal

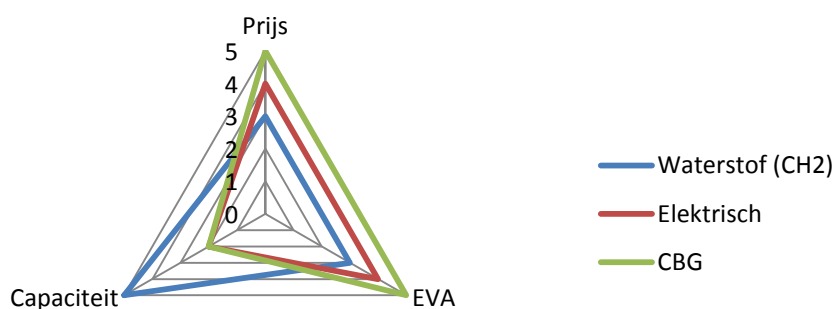


Grafiek 4-1 Kesselring resultaten van de materialen staal, aluminium en CFRP (biaxiaal)

CBG zelf is een relatief jonge energievorm binnen de transportsector, waarbij aan het productieproces nog veel te verbeteren valt. Het grootste nadeel van CBG en de fossiele variant CNG is dat het verbrandt moet worden om er op te rijden. Verbrandingsmotoren zijn net als staal een uitontwikkelde techniek.

De composieten en de brandstoffen waterstof en elektriciteit zijn technieken die nog een lang ontwikkelingstraject voor zich hebben liggen. Bij de brandstoffen zullen waterstof en elektriciteit voornamelijk verbeterd moeten worden op het productieproces. Wanneer deze brandstoffen worden opgewekt uit volledig groene stroom, scoren ze vergelijkbaar met CBG. Grafiek 4-2 laat een web-diagram zien voor de 3 brandstoffen, die als beste variant naar voren komen.

Brandstof



Grafiek 4-2 Kesselring resultaten van de brandstoffen waterstof, elektriciteit en CBG

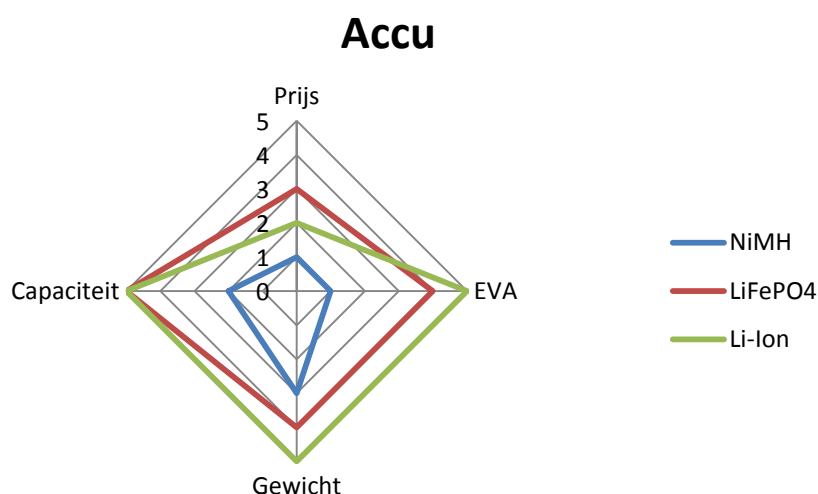
Bij accu's is het vooral belangrijk om te kiezen voor capaciteit. Wanneer er gereden wordt op elektriciteit is de winst aan gewicht en capaciteit bij Lithium accu's van grote invloed op het verbruik waardoor wanneer er gereden wordt op groene stroom de auto vergelijkbare emissies vertoont na 10 jaar verbruik. Tabel 4-2 geeft per accu het gewicht en de EVA_a voor een capaciteit van 19,3 kWh⁹.

⁹ Berekend vermogen zoals besproken in Hoofdstuk 3.1

Tabel 4-2 Berekend gewicht van accu's bij gelijk vermogen

gewicht van de accu's			
batterij	vermogen	gewicht [kg]	EVA _a [kg CO2eq]
Lithium IJzer Fosfaat	19,3 kWh	85.79324602	1094
Lithium-Ion	19,3 kWh	77.21392142	965
Natrium Sulfide	19,3 kWh	128.689869	1840
Nikkel Metal Hydride	19,3 kWh	241.2935044	3282
Nikkel Cadmium	19,3 kWh	257.3797381	1982
Lead-acid	19,3 kWh	551.5280101	1765

Grafiek 4-3 laat voor accu's de behaalde scores zien. NiMH is toegevoegd aan de diagram om te laten zien hoe de 3 accu's, die het meest worden toegepast in Elektrische voertuigen, het beste scoren.



Grafiek 4-3 Kesseling resultaten van NiMH, Li-Ion en LiFePO4 accu

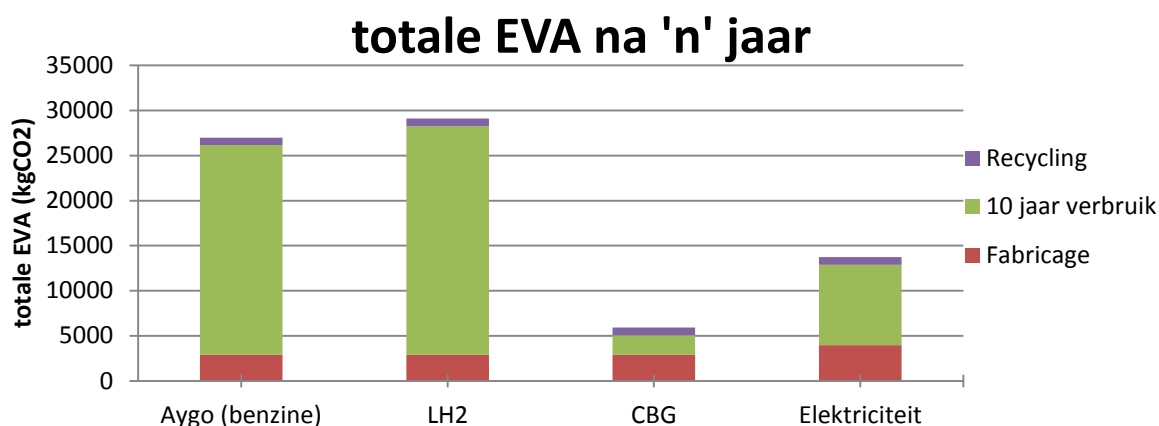
Bij Grafiek 4-5 is van de drie bovengenoemde brandstoffen is de totale EVA bepaald na 10 jaar. Er is aangenomen dat alle SUV concepten volgens de materiaal verdeling uit hoofdstuk 2.4.2.1 gebouwd zijn en allemaal 880 kg wegen. Dit is gedaan omdat de materiaal verdeling anders wordt afhankelijk van het ontwerp. Bovendien heeft het type brandstof de meeste invloed op de totale EVA in 10 jaar. Verder is het gebruik gebaseerd op de waarde die terug te vinden is in paragraaf Marktanalyse2.2, namelijk 10190km per jaar. Bij Elektriciteit is een accu vermogen van 69,5 MJ opgeteld bij de fabricage en bij de verbrandingsmotor is dit gelijk aan 1,73 MJ.

Met behulp van bovenstaande gegevens en onderstaande grafiek is dan de totale EVA te berekenen.

$$EVA_m * m + EVA_b * V * s_n + EVA_a * P = EVA \quad 4-1$$

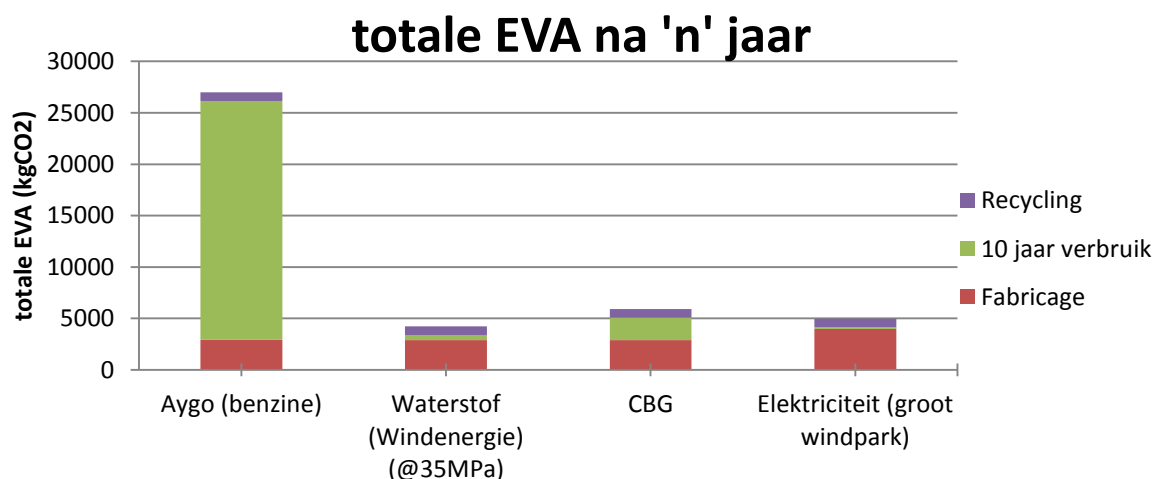
Waarbij

EVA _m	EVA van de productie plus EVA van het recyclen [kg CO2eq/kg]
m	massa van het voertuig [kg]
EVA _b	EVA van de brandstof [kg CO2eq/MJ]
V	verbruik van de auto[km/MJ]
S _n	totale afstand in 'n' jaar [km]
EVA _a	EVA van de accu [kg CO2eq/MJ]
P	benodigde vermogen van de accu afhankelijk van het type motor [MJ]
EVA	Totale uitstoot van een voertuig [kg CO2eq]



Grafiek 4-4 Totale EVA gebruik bij levensduur van 10 jaar van 3 verschillende brandstoffen op dit moment

In Grafiek 4-5 is te zien wat de totale productie van de brandstoffen Elektriciteit en Waterstof op windenergie. Op dit moment worden deze brandstoffen nog opgewekt uit aardgas of kolen, waardoor dit niet representatief voor de huidige situatie is. Verwacht wordt dat in de toekomst de productie van deze bronnen deze richting uit gaat. Op het moment dat deze brandstoffen uit windenergie opgewekt kunnen worden zijn ze vergelijkbaar met CBG.



Grafiek 4-5 Totale EVA gebruik bij levensduur van 10 jaar van 3 verschillende brandstoffen bij windenergie

Op het moment dat ze vergelijkbaar zijn geworden, wordt de leeftijd van de techniek belangrijker. Een CBG voertuig maakt gebruik van een ICE (verbrandingsmotor) wat een techniek is die een hoge mate van volwassenheid heeft. Elektriciteit zet energie om met een ontzettend hoog rendement en daarnaast heeft de accu een lagere maat van volwassenheid. Waterstof en de techniek die daarvoor nodig is het jongste van de drie. Er moet nog veel gebeuren voordat waterstof een bruikbare energiebron genoemd kan worden.

Conclusie

Dit rapport geeft het ontwerpproces dat doorlopen is om concepten op te stellen voor een Sustainable Urban Vehicle (SUV) weer. Er is per materiaaltype, brandstoftype en accu type gekeken naar hoe belastend het is op het milieu. Om te zorgen voor een marktconform product is behalve emissie ook de prijs een belangrijk aspect geweest. Zodanig zijn er voor 3 richtingen oplossingen bedacht. Deze richtingen leggen de focus op 3 verschillende gebieden, namelijk EVA, prijs en een combinatie van EVA en prijs. Het project is bedoeld voor studenten om van te kunnen leren, maar de criteria onderwijs is overbodig aangezien iedere techniek educatief kan zijn.

Alle concepten zijn getoetst aan verschillende criteria die per richting een eigen prioriteit hebben.

Uit de Kesselring resultaten komt naar voren dat de beste oplossing een voertuig gemaakt van staal en rijdend op CBG is. Van de 3 concept richtingen scoort "Concept 1" het hoogst wanneer de drie oplossingen naast elkaar gelegd worden.

Na afweging van deze resultaten is gebleken dat brandstoffen als elektriciteit en waterstof op groene stroom niet mogen ontbreken uit deze lijst, vanwege de innovatiemogelijkheden.

De hoeveelheid ontwikkelingen die moeten plaatsvinden voordat waterstof een gemakkelijk toepasbare brandstof is, is veel groter dan bij elektriciteit. Ongeacht welke brandstof gekozen wordt moet er een afweging gemaakt worden van welke materialen de SUV gemaakt moet worden. Deze afweging is tussen gewicht EVA en veiligheid.

Kijkend naar de oplossingen zijn er 3 scenario's te noemen waar uit gekozen kan worden. Hierbij is niet het materiaal of de accu's doorslaggevend, maar de brandstof waarop wordt gereden. De brandstoffen die als het beste uit het onderzoek naar voren komen zijn in te delen in tijd. CBG is op dit moment een rendabele brandstof, die gebruik maakt van huidige geoptimaliseerde technieken. Zodra groene stroom een groter aandeel bijdraagt aan de wereld energie vraag zullen elektriciteit en waterstof een betere optie zijn als brandstof.



Tabel 0-1 geeft per punt in tijd aan welke onderdelen het beste passen bij de belangrijkste oplossingen. Per tijdstip is de keuze in materiaal het onderscheidende element.

Tabel 0-1 Mogelijke oplossingen voor de situaties vandaag, morgen en overmorgen

	'Vandaag'		
Onderdeel	Concept 1	Concept 2	Concept 3
Brandstof	CBG	CBG	CBG
Motor	ICE	ICE	ICE
Brandstofcel	Geen	Geen	Geen
Accu	Lithium start accu	Lithium start accu	Lithium start accu
Materiaal	Staal	Aluminium	CFRP (biaxiaal)

	'Morgen'		
Onderdeel	Concept 1	Concept 2	Concept 3
Brandstof	Elektriciteit	Elektriciteit	Elektriciteit
Motor	Inwheel	Inwheel	Inwheel
Brandstofcel	Geen	Geen	Geen
Accu	Lithium accu's	Lithium accu's	Lithium accu's
Materiaal	Staal	Aluminium	CFRP (biaxiaal)

	'Overmorgen'		
Onderdeel	Concept 1	Concept 2	Concept 3
Brandstof	Waterstof	Waterstof	Waterstof
Motor	Inwheel	Inwheel	Inwheel
Brandstofcel	PEMFC	PEMFC	PEMFC
Accu	Lithium Startaccu	Lithium Startaccu	Lithium Startaccu
Materiaal	Staal	Aluminium	CFRP (biaxiaal)

Bij het kiezen voor een groen project wat vandaag gebouwd moet worden is de verstandigste keuze om voor CBG te kiezen. Grootchalig en dus op langer termijn is dit niet de oplossing. Als we kijken naar de techniek van 'Morgen' is het gemakkelijk innovatief te zijn en dus is het een leerzamer proces dan kiezen voor de techniek van 'Vandaag'. Het kiezen voor de techniek van 'Overmorgen' is een te vroege stap om te nemen vanwege de grote innovatie die moet plaats vinden voordat het een rendabele brandstof wordt.

Keuze van materiaal is voornamelijk afhankelijk van de financiële mogelijkheden die passen bij dit project.

Aanbevelingen

Uit de conclusie is meer duidelijkheid ontstaan wat betreft de invloed aan de ene kant emissie en de andere kant kostprijs. Om ervoor te zorgen dat het Expertise centrum verder kan gaan in de ontwikkelingen omtrent dit onderwerp is het van belang om de volgende onderzoeken uit te voeren.

Behoud en controle van data

Een LCA is een momentopname, wat betekent dat er regelmatig nagelopen moet worden wat de 'nieuwe' EVA waarden zijn van verschillende materialen, brandstoffen en accu's. Het is van belang om ieder jaar nieuwe waarden te definiëren. Het zoeken van deze gegevens moet volgens de methode beschreven in dit document bepaald worden. Hierbij gelden de volgende eenheden en grootheden.

Grootheden	Naam	EVA	Prijs
EVA_m	Materiaal	$\frac{\text{kg CO2eq}}{\text{kg materiaal}}$	$\frac{\text{€}}{\text{kg}}$
EVA_b	Brandstof	$\frac{\text{kg CO2eq}}{\text{MJ}}$	$\frac{\text{€}}{\text{MJ}}$
EVA_a	Accu	$\frac{\text{kg CO2eq}}{\text{MJ}}$	$\frac{\text{€}}{\text{MJ}}$

$$EVA_m * m + EVA_b * V * s_n + EVA_a * P = EVA$$

Uitbreiding LCA onderzoek

Uitbreiden van de LCA is noodzakelijk om het totale groene plaatje van de SUV te kunnen verantwoorden. Met het bepalen van de emissie van materialen (productie en recycling), brandstof en accu is slechts een klein deel van het volledige voertuig bekeken. Verdere onderzoek zorgt meer elementen die invloed hebben op het berekenen van de totale EVA.

Onderhoud

De LCA zal uitgebreid moeten worden met een waarde voor onderhoud. In een periode van 10 jaar zal een voertuig meerdere malen voor onderhoud naar de werkplaats gaan. Voor een dergelijke toevoeging is het van belang het onderzoeksgebied op te delen in klein en groot onderhoud. Deze onderhoud kan overgenomen worden van de monteurs.

Live data verzamelen

Brandstof emissie is opgedeeld in 3 onderdelen, namelijk productie van de fabriek, productie van de brandstof en gebruik van de brandstof. Op productie van de fabriek en de brandstof is weinig invloed uit te oefenen, maar het verbruik kan wel goed gemonitord worden. Wanneer in 2016 de SUV gebouwd is, is het van belang om de werkelijke emissie uit te rekenen. Deze werkelijke emissie kan opgeteld worden bij de emissie van brandstofproductie om de reële uitstoot in kaart te brengen.

EVA data verzamelen van ingekochte onderdelen

Om de exacte EVA te berekenen zal van alle onderdelen bij bestellen gevraagd moeten worden naar de EVA van zowel productie, gebruik als recycling. Dit zal leiden tot een lijst met alle onderdelen bij elkaar met de exacte emissie in kaart gebracht.

Uitzoeken maat van EVA van referentiemodel

Het grote probleem met een Reële EVA is dat de SUV de eerste zal zijn. Het is dus van belang dat het referentiemodel op dezelfde manier volledig wordt doorgerekend. Alleen dan kan bewezen worden dat de SUV 2016 beter voor het milieu is.

Rendement

Detailering van de productieproces zorgt ervoor dat er een beter begrip ontstaat van de mogelijkheden van een brandstof, materiaal en accu waardoor een betere toekomstvisie bedacht kan worden.

Rendement van productieprocessen

Rendement in de productieprocessen van de brandstoffen en een voorspelling van hoe de toekomst inspeelt op een dergelijke brandstof is van belang om een goede keuze te kunnen maken tussen de verschillende brandstoffen.

Rendement van onderdelen in een voertuig voor gekozen brandstof

Het rendement van de verschillende onderdelen die zorgen voor de aandrijving is dit onderzoek niet meegenomen. Het rendement bepaalt hoe goed de brandstof omgezet kan worden naar de wielen. Deze omzetting zorgt ervoor dat brandstoffen beter vergeleken kan worden met elkaar. Met dit gegeven kan van de beste brandstoffen een keuze gemaakt worden gebaseerd op verbruik in km/MJ, wat gerelateerd staat aan de mate van uitstoot.

Bibliografie

- Staal & co2. (2008). Opgeroepen op 02 16, 2012, van Bouwen met staal: <http://www.bouwenmetstaal.nl/index.php?page=staal-en-co2>
- CES edupack. (2011). UK.
- ANWB. (2012). *Haaglanden*. Opgeroepen op 02 20, 2012, van Anwb: http://www.google.nl/imgres?q=haaglanden&um=1&hl=nl&sa=N&biw=1440&bih=754&tbn=isch&tbnid=_pRN5UfLri5bIM:&imgrefurl=http://anwb.patch.eu/shared/faq.php&docid=z0KjKuVUcJr4pM&imgurl=http://anwb.patch.eu/shared/..%25255Cimages%25255CChaaglanden.png&w=503&h=464
- Boston Consultancy Group. (2010). *Batteries for Electric Cars; Challenges, Opportunities and the Outlook to 2020*. Boston: Boston Consultancy Group.
- Boureima, F. e. (2009). *Comparative LCA of electric, hybrid, LPG and gasoline cars in Belgian Context*. Stavanger, Norway: EVS24.
- Carspector. (2008). *Toyota Aygo (2005)*. Opgeroepen op 2 24, 2012, van CarSpector: <http://carspector.com/car/toyota/010970/>
- CBS. (2012). *Centraal Bureau Statistiek*. Opgeroepen op 02 15, 2012, van www.CBS.nl
- Cettinkaya, E. e. (2012). Life cycle assessment of various hydrogen production methods. *Hydrogen Energy*, 2071-2080.
- den Boer, L. e. (2008). *Strudie naar TRansport Emissies van Alle Modaliteiten*. Delft: CE Delft.
- Dincer, I. e. (2011). Sustainability aspects of hydrogen and fuel cell systems. *Energy for Sustainable Development*, 137-146.
- ECN. (2004). *waterstof*. Opgeroepen op 03 2012, van factsheet energy technologies: <http://www.ecn.nl/units/ps/themes/energy-and-emission-scenarios/technological-development-and-learning/factsheets-energy-technologies/waterstof/>
- Edwards, R., & Larive, J.-F. (2011). *Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context*. Brussels: Concawe; Eucar; European Commission JRC.
- E-motive BV. (2010). *accu's*. Opgeroepen op 03 02, 2012, van e-motive drive for future: http://www.e-motive.nl/?page_id=18
- Ford & Buglabs. (2012). Opgeroepen op 04 12, 2012, van BugLabs: <http://www.buglabs.net/>
- Hofstrand, D. (2012). *Fuel conversion work sheet*. Opgeroepen op 03 13, 2012, van Ecotec Systems: http://ecotec-systems.com/Resources/FUEL_CONVERSION_WORK_SHEET.pdf
- Houses of parliament; . (2011). *Carbon Footprint of Electricity Generation*. United Kingdom: Parliamentary office of Science & Technology.
- Hussain, M. e. (2007). A preliminary life cycle assessment of PEM fuel cell powered automobiles. *Applied thermal Engineering*, 2294-2299.
- IAI. (2012). *Greenhouse gases*. Opgeroepen op 02 16, 2012, van International Aluminium Institute: <http://www.world-aluminium.org/Sustainability/Environmental+Issues/Greenhouse+gases>
- ISO standard. (2011). *43: Road vehicles engineering*. Opgeroepen op 03 19, 2012, van International Standards for Business, Government and Society: http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_ics/catalogue_ics_browse.htm?ICS1=43
- ISO14040. (2006). Environmental management - Life Cycle Assessment - Requirements and Guidelines. *International standard*.
- Kanari, N. e. (2011). *End-of-Life Vehicle Recycling in the European Union*. Opgeroepen op 03 09, 2012, van TMS: <http://www.tms.org/pubs/journals/JOM/0308/Kanari-0308.html#ref4>
- Khan, F. e. (2005). Life Cycle Assessment of wind-fuel cell integrated systems. *Renewable Energy*, 157-177.
- Kiehne, H. (2003). *Battery Technology Handbook*. New York; Basel: Marcel Dekker Inc.
- Ltd, W. C. (2005). *M Power UK*. Opgeroepen op 2 23, 2012, van Battery and Energy Technologies: <http://www.mpoweruk.com>
- Lysen, E. e. (2006). *Opslag van elektriciteit: Status en toekomstperspectief voor Nederland*. Utrecht: Utrecht Centrum voor Energie-onderzoek.
- M. Granovskii, e. a. (2006). Life cycle assessment of hydrogen fuel cell and gasoline vehicles. *International Journal of Hydrogen Energy* 31, 337-352.
- Menkveld, M. (2004). *Energietechnologieën in relatie tot transitiebeleid*. ECN.
- Milieu Centraal. (2012). *Factsheet nieuwe brandstoffen januari 2012*. Milieu Centraal.
- MIT Electric Vehicle Team. (2008). *Wheel to Well analysis of EVs*. Boston: MIT.
- NCAP EURO. (2012). *Over ons*. Opgeroepen op 03 14, 2012, van NCAP: http://nl.euroncap.com/home_nl.aspx
- RDW. (2012). *APK keuring*. RDW.

- RDW. (2012). *Wat is de RDW?* Opgeroepen op 02 06, 2012, van RDW:
http://www.rdw.nl/nl/over_de_rdw/watisderdw/Pages/default.aspx
- Sherry, B. (2008). *The Cleanest Cars: Well-to-wheels emissions comparisons*. America: New Society Publishers.
- Spath, P. L. (2001). *Life Cycle Assessment of Hydrogen Production via Natural Gas Steam Reforming*. Colorado: National Renewable Energy Laboratory (NREL).
- Spath, P. L. (2004). *Life cycle assessment of Renewable Hydrogen Production via Wind/Electrolysis*. Colorado: National Renewable Energy Laboratory (NREL).
- Stadsgewest Haaglanden. (2010). *Mobiliteitsfonds*. Opgeroepen op 03 16, 2012, van Stadsgewest Haaglanden:
<http://haaglanden.nl/documenten/1640/07%20BESLUIT%20%20Gewijzigde%20artikelen%20%20Mobiliteitsfonds.pdf>
- Sullivan, J.L. et al. (2012). *A Review of Battery Life-Cycle Assessment*. Center for Transportation Research.
- Supple, D. (2007, 04 15). *Units & Conversions fact sheet*. Opgeroepen op 03 08, 2012, van MIT Energy Club: http://web.mit.edu/mit_energy
- Umair, S. e. (2006). *Environmental Impacts of Fiber Composite Materials*. Stockholm: Royal Institute of Technology.
- van der Voet et al. (2009). Life Cycle Assessment and Life Cycle Costing of Bioethanol from sugarcane in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43-56.
- Vestas. (2006). *Life cycle assessment of electricity produced from onshore sited wind power plants based on Vestas V82-1.65 MW turbines*. Vejle, Denmark: Vestas.
- Wikimobi. (2012). *W2W: Biomassa land, Vergisten, Destilleren, Ethanol, Verbrandingsmotor*. Opgeroepen op 03 02, 2012, van Wiki duurzame mobiliteit:
http://wikimobi.nl/wiki/index.php?title=W2W:_Biomassa_land,_Vergisten,_Destilleren,_Ethanol,_Verbrandingsmotor
- Zamel, N. e. (2006). Life cycle assessment of vehicles powered by a fuel cell and by internal combustion engine for Canada. *Journal of Power Sources*, 297-310.

Bijlagen

De bijlagen zijn terug te vinden in een ander document.