



Visie op de groene weg

Metaal Kathedraal

Analyserapport – Quest semester 6

Florian Bonants, Matthias Hoogenboom, Alexander Geijssel, Melvin Kroon, Jonathan Hummelen, Aksel Meijerink en Niels van Kouwen

Colofon

Versie	Datum	Omschrijving
1.0	Juni 2019	Onderzoeksrapport
Classificatie	Onderzoek aanpak	
Project	Visie op de groene weg	
Onderwijsinstelling	Hogeschool Utrecht	
Instituut	Engineering & Design	
Studenten	Florian Bonants, Alexander Geijssel, Matthias Hoogenboom, Jonathan Hummelen, Niels van Kouwen, Melvin Kroon en Aksel Meijerink	
Opleiding	Werktuigbouwkunde en Technische bedrijfskunde	
Onderdeel	Quest	
Code	TEWT-VWPROJS6-18	
Startdatum	5 februari 2019	
Beoordelaar	Brenda de Zeeuw	
Inleverdatum	27 juni 2019	
Beoordeling		
Plaats	Utrecht	

Distributielijst – Dit document is verspreid aan:

Naam	Functie	Onderneming	Datum
Brenda de Zeeuw	Begeleider project	Hogeschool Utrecht	27 juni 2019
Mireille Stout	Tweede beoordelaar	Hogeschool Utrecht	27 juni 2019
Maureen Baas	Hemelbewaarder	Metaal Kathedraal	27 juni 2019

Contactinformatie

Naam	Student nr.	Opleiding	E-mail
Florian Bonants	1687266	TBK	Florian.bonants@student.hu.nl
Jonathan Hummelen	1705469	TBK	Jonathan.hummelen@student.hu.nl
Niels van Kouwen	1699619	TBK	Niels.vanKouwen@student.hu.nl
Melvin Kroon	1703326	TBK	Melvin.Kroon@student.hu.nl
Aksel Meijerink	1702149	TBK	Aksel.meijerink@student.hu.nl
Alexander Geijssel	1697244	WTB	Alexander.geijssel@student.hu.nl
Matthias Hoogenboom	1699646	WTB	Matthias.hoogenboom@student.hu.nl

Voorwoord

Dit adviesrapport is een rapport geschreven naar aanleiding van een projectopdracht van Metaal Kathedraal. Metaal Kathedraal is een sociaal culturele broedplaats waarbij mensen wordt getoond hoe men om kan gaan met de kennis, kunde en kracht van de aarde.

De belanghebbenden van de opdracht zullen vooral geïnteresseerd zijn in de onderzoeken die gedaan zijn tijdens de duur van dit project. De onderzoeken zullen terug te vinden zijn in deel drie, vanaf pagina. Voor de mensen die graag de uitkomst willen weten kunnen de aanbeveling/conclusie lezen.

De werkgroep is dank verschuldigd aan de opdrachtgever mevrouw M. Baas (Initiatiefnemer & Hemelbewaarder, Sociaal Cultureel maatschappelijke Ecologische Broedplaats) voor haar visie op dit project en voor de casus van de opdracht, projectbegeleider mevrouw B. de Zeeuw voor de goede steun en inbreng tijdens dit project en mevrouw E. Eweg voor steun tijdens het opstarten van het project.

Utrecht, Juni 2019.

Florian Bonants
Alexander Geijssel
Matthias Hoogenboom
Jonathan Hummelen
Niels van Kouwen
Melvin Kroon
Aksel Meijerink

Samenvatting

De Metaal Kathedraal is een samenwerking aangegaan met de Hogeschool Utrecht om een groene weg te realiseren. Aangezien de huidige openbare wegen de circulaire en zelfherstellende mogelijkheden van de aarde verhinderen. Het is nodig dat er onderzoek wordt gedaan naar aanpassingen aan de huidige infrastructuur om de negatieve bijdrage aan het milieu terug te dringen.

De wens van de opdrachtgever is om na te denken over op welke manier een weg gecreëerd kan worden die meer aansluit bij de kennis en kunde van de aarde. Er moet gebruik gemaakt worden van kenmerken van de aarde en die niet bijdragen aan de verwoesting van de aarde.

Hiervoor is de volgende hoofdvraag opgesteld: *“Welke mogelijkheden met één uiteindelijk compleet concept zijn er om een duurzame weg te creëren die aansluit bij de kennis, kunde en kracht van de natuur?”*

Om hier antwoord op te kunnen geven zijn verschillende onderzoeken uitgevoerd. Het project is gefocust op een Nederlandse weg. Met behulp van dit onderzoek wordt duidelijk wat een weg is. Als dit duidelijk is, kan worden gekeken naar de eigenschappen en aspecten van deze weg, om vervolgens deze onderwerpen te verduurzamen of aan te passen om de circulariteit van de aarde te bevorderen.

Tijdens het onderzoek is er uitgegaan van een toplaag, middelste laag en onderste laag. Voor ieder van deze lagen is onderzoek uitgevoerd om erachter te komen welke van de voor de projectgroep bekende technieken/ontwikkelingen het beste passen bij de wensen van de opdrachtgever.

Het document sluit af met het afwegen van de onderzoeken tegen de eisen en wensen van de opdrachtgever in een morfologisch overzicht. Er zijn confrontatiematrixen gebruikt om de onderzoeken naast elkaar te leggen.

Dit leverde uiteindelijk de volgende twee concepten op:

Concept 1 is een wegdek waarbij olifantsgras is verwerkt. Olifantsgras zorgt voor de binding in het wegdek. En vervangt hiermee de schadelijke bitumen die nu in het wegdek zitten. Voor dit concept zijn er bedrijven benaderd die dit eventueel kunnen aanleggen.

Concept 2 is een wegdek van mycelium. Dit is een bepaalde schimmel die verwerkt kan worden in het wegdek. De schimmeldraden binden zich waardoor er een sterke structuur ontstaat.

Inhoudsopgave

Colofon	2
Voorwoord.....	3
Samenvatting	4
1 Inleiding.....	9

Deel 1: Probleemoriëntatie

2 Oriëntatie	12
2.1 Aanleiding en achtergrond	12
2.2 Bedrijfsbeschrijving	12
2.3 Probleemstelling.....	12
2.4 Wens van de opdrachtgever.....	12
2.5 Scope	13
3 Analyse	14
3.1 Functieboom.....	14
3.2 Deelvragentabel	15
3.3 Ontwerpcriteria	16
3.4 Onderzoek	17
4 De termen ‘circulair’ en ‘duurzaam’.	18
4.1 Grondstoffen	18
4.2 Productieproces.....	18
4.3 Transport.....	19
4.4 Toepassing.....	19
4.5 Onderhoud en levensduur	19
4.6 Conclusie.....	19

Deel 2: Voorbereiding op het onderzoek

5 Totaalplaatje.....	21
5.1 Fijnstofplanten.....	21
5.2 Olifantsgras	22
5.3 De omgeving.....	22
5.4 Waterstofgas.....	22
5.5 Bandenslijtage.....	23
5.6 Vangrail	23
5.7 Geluidswal	23

5.8	<i>PV-panelen op auto's</i>	23
5.9	<i>Conclusie</i>	24
6	De huidige weg in Nederland	25
6.1	<i>Autoweg</i>	25
6.2	<i>Autoweg in de context</i>	26
6.3	<i>Onderhoud aan de weg</i>	26
6.4	<i>Huidige weg Metaal Kathedraal</i>	26
6.5	<i>Conclusie</i>	28

Deel 3: Onderzoeken

7	De top laag	30
7.1	<i>Plastic Road</i>	30
7.1.1	Nadelen Plastic Road	31
7.1.2	Afval in Nederland	31
7.1.3	Conclusie	32
7.2	<i>Mycelium</i>	32
7.3	<i>Solar Road</i>	33
7.3.1	Eigenschappen Solar Road	33
7.3.2	Ervaringen met de Solar Road.....	33
7.3.3	Conclusie	34
7.4	<i>Grasfalt</i>	35
7.4.1	Waarom olifantsgras?	35
7.4.2	Mogelijke toepassingen olifantsgras.....	36
7.5	<i>Voegovergangen</i>	36
7.5.1	SN multi joint	36
7.5.2	SN prismo joint.....	36
7.5.3	Flexibele Polyflex Advanced PU	37
8	De middelste laag	38
8.1	<i>Betonggranulaat</i>	38
8.2	<i>Asfaltgranulaatcement</i>	38
8.3	<i>Olifantsgras</i>	39
9	De onderste laag	40
9.1	<i>Bodemonderzoek Metaal Kathedraal</i>	40
9.2	<i>Zandbed</i>	40
9.2.1	Het gewone zandbed	41
9.2.2	Verbeterd zandbed	41
9.2.3	Stabilisatie laag in verbeterd zandbed	41
9.3	<i>Klei</i>	41
9.4	<i>Veen</i>	42
10	Relevante manieren energie opwekken	43
10.1	<i>Energieopwekking in het wegdek</i>	43

10.1.1	SolarRoad.....	43
10.1.2	Piëzo-elektriciteit.....	43
10.1.3	Icoon Afsluitdijk.....	44
10.1.4	Glowing lines.....	45
10.1.5	Gravity Energy.....	45
10.2	<i>Energieopwekking buiten het wegdek.....</i>	46
10.2.1	Wind opvangen langs de weg voor elektra.....	46
10.2.2	Leidingen kort onder het asfalt.....	46
10.2.3	Solar Highways.....	47
10.2.4	Duurzame lantaarnpalen.....	48
10.2.5	Solar Bench.....	48
10.3	<i>Relevante manieren fijnstofvermindering.....</i>	49
10.3.1	Uitstootvrije auto's.....	49
10.3.2	Fijnstoffilters.....	49
10.3.3	Lucht filterende planten.....	49
10.4	<i>Veiligheid bewaren op de weg.....</i>	50

Deel 4: Ontwerp en keuze

11	De gewenste situatie	52
11.1	<i>Eisen gewenste situatie</i>	52
11.1.1	Draagvlak bieden.....	52
11.1.2	Energie opwekken.....	52
11.1.3	Comfort bieden.....	52
11.1.4	Een ademende weg.....	52
11.1.5	Veiligheid garanderen.....	52
11.1.6	Circulariteit.....	53
11.1.7	Kracht en kunde van de natuur.....	53
11.2	<i>Morfologische kaart</i>	53
11.3	<i>Confrontatiematrixen.....</i>	54
11.3.1	De toplaag.....	54
11.3.2	De middelste laag.....	56
11.3.3	De onderste laag.....	57
11.4	<i>Opwekken van energie.....</i>	58
11.4.1	Energie opwekken in wegdek.....	58
11.4.2	Energie opwekken bij/naast het wegdek.....	59
12	Concepten	60
12.1	<i>De technische weg.....</i>	60
12.2	<i>De Mycelium-weg.....</i>	62
13	Maakbaarheid en testbaarheid	63
13.1	<i>Maakbaarheid.....</i>	63
13.2	<i>Testbaarheid.....</i>	63
14	Conclusie en aanbeveling.....	65
14.1	<i>Conclusie.....</i>	65
14.2	<i>Aanbeveling.....</i>	65

15	Bronnenboek	67
16	Bijlage 1: Contactgegevens bedrijven grasfalt	72

1 Inleiding

Een manier waarop de mens gebruik maakt van de aarde is infrastructuur. Overal liggen straten en snelwegen van asfalt in combinatie met of van beton. Dit zijn beide materialen die schadelijk zijn voor de natuur. Ze kosten beide veel energie om te produceren, te onderhouden en af te breken. De ambitie van Metaal Kathedraal is dan ook om een weg te ontwerpen die goed samenwerkt met de aarde.

De Metaal Kathedraal is een samenwerking aangegaan met de Hogeschool Utrecht om een groene weg te realiseren. Aangezien de huidige openbare wegen de circulaire en zelfherstellende mogelijkheden van de aarde verhinderen, is het een logische stap om onderzoek te doen naar een nieuwe weg die dit niet verhindert.

Het belang van dit project ligt volgens de Metaal Kathedraal bij de hele wereld. De Metaal Kathedraal gelooft dat energieverbruik moet verduurzamen met de kennis, kunde en kracht van de aarde. In de huidige situatie gebeurt dit volgens de Metaal Kathedraal niet. De term *duurzaam* wordt in hun optiek niet door iedereen begrepen.

Dit adviesrapport beantwoordt de volgende hoofdvraag: *Welke mogelijkheden met één uiteindelijk compleet concept zijn er om een duurzame weg te creëren die aansluit bij de kennis, kunde en kracht van de natuur?*

De projectgroep heeft onderzoek gedaan naar het verduurzamen van het wegdek volgens de filosofie van de Metaal Kathedraal. Dit is voornamelijk uitgevoerd met behulp van deskresearch. Het onderzoek richt zich voornamelijk op het wegdek en minder op de randzaken van een weg zoals lampen, vangrail en matrixborden. Hierbij wordt het eindresultaat een advies waarin aangegeven hoe de meest duurzame en realiseerbare weg op dit moment gebouwd kan worden.

Het adviesrapport is ingedeeld in vier delen. In deel één wordt de probleemoriëntatie beschreven.

In deel twee wordt de voorbereiding op de onderzoeken uit de deelvragen uitgewerkt. De onderzoeken zullen worden uitgevoerd, mede op basis van de wensen van de opdrachtgever. Het eerste aandachtspunt is dat de nieuwe weg geen schade mag toebrengen aan de aarde. In het kader van het onderzoek worden hiervoor de termen *duurzaam* en *circulair* gebruikt. Deze termen zijn in het eerstvolgende hoofdstuk uitgewerkt. Ook wordt in dit deel bepaald wat de specifieke klantwensen, specificaties en belangrijkste aandachtspunten zijn van het duurzame wegdek. Deze eigenschappen zijn uitgewerkt in een pakket van eisen.

In deel drie worden de onderzoeken op basis van deelvragen uitgewerkt. De onderzoeken zullen worden uitgevoerd, mede op basis van de wensen van de opdrachtgever en de eisen die gesteld zijn vanuit de Hogeschool.

De meest uitgesproken wens van de opdrachtgever is dat de weg ademend, of waterdoorlatend is. In functionele termen zal dat als volgt worden omschreven: een wegdek die voldoende water en zuurstof doorlaat, zodat de grond onder het wegdek niet verstikt, oftewel na afbraak van het wegdek hergebruikt kan worden. Of er een wegdek ontworpen kan worden die deze functionaliteit kan bezitten, zal blijken uit de verschillende onderzoeken die zijn uitgevoerd en onderstaand zijn uitgewerkt.

In het kader van het onderzoek zoals beoogd volgens de Hogeschool Utrecht zijn er verschillende aspecten van de technische weg onderzocht. Zo zal erin worden gegaan op het opwekken van energie, duurzaamheid en de technische mogelijkheden van de (nieuwe) weg.

Aangezien met behulp van de onderzoeksvraag over de huidige weg in Nederland duidelijk wordt waaruit de weg bestaat en wat de problemen hiermee zijn, kunnen duurzame en circulaire oplossingen worden onderzocht. Deze oplossingen worden per laag van de weg uitgewerkt.

In deel vier worden de conclusies van het onderzoek beschreven. Op basis van de hiervoor beschreven onderzoeken, zullen de verschillende opties naast elkaar gelegd worden. De opties worden vergeleken met verschillende methodieken en overzichten.

Het eerste type overzicht is een morfologische kaart. Het doel van een morfologisch overzicht is in de ontwerpmethodologie het onderzoeken van alle mogelijke oplossingen van een complex probleem. Aan de hand van het overzicht, zullen de verschillende opties met elkaar vergeleken worden.

Het vergelijken wordt uitgevoerd door middel van verschillende confrontatiematrix, uitgevoerd per laag van het wegdek. De confrontatiematrix wordt in deze context gebruikt om een score toe te kennen aan de verschillende opties. De toegekende scores zullen onderbouwd worden onder de matrix. Op deze manier wordt verwacht, een zo goed mogelijk eindproduct te ontwikkelen.



Deel 1

Probleemoriëntatie

In dit deel wordt de probleemoriëntatie beschreven. Het gaat in op het huidige probleem, de aanleiding, de kern en de scope van het onderzoek. Daarnaast zijn verschillende deelvragen opgesteld waar het onderzoek op gebaseerd is. De beantwoording van deze deelvragen zal stapsgewijs leiden tot het uiteindelijke ontwerp.

Daarnaast is invulling gegeven aan de klantwensen die zijn opgesteld in het plan van aanpak. Deze klantwensen zijn gespecificeerd in termen voor de ontwerper: de zogenaamde ontwerpcriteria. De criteria bieden meer houvast aan hoe de weg van de toekomst gevormd zal worden. Deze eigenschappen zijn uitgewerkt in een tabel met verschillende klantenwensen en ontwerpcriteria.

2 Oriëntatie

In de oriëntatiefase wordt gekeken naar het probleem en de grenzen die het project omkaderen. De opdrachtomschrijving van Metaal Kathedraal wordt omschreven naar een nieuwe projectomschrijving en een probleemstelling. De omschrijving bevat ook randvoorwaarden en eisen die gesteld worden aan de nieuwe weg. Zodra de projectgrenzen in kaart zijn gebracht, kan een aanpak en planning worden opgesteld.

2.1 Aanleiding en achtergrond

Een manier waarop de mens gebruik maakt van de aarde is infrastructuur. Overal liggen straten en snelwegen van asfalt in combinatie met of van beton. Dit zijn beide materialen die schadelijk zijn voor de natuur: ze kosten veel energie om te produceren, te onderhouden en af te breken. De ambitie van Metaal Kathedraal is dan ook om een weg te ontwerpen die goed samenwerkt met de aarde en dus duurzaam en circulair is.

Metaal Kathedraal is een samenwerking aangegaan met de Hogeschool Utrecht om een groene weg te realiseren. Aangezien de huidige openbare wegen de circulaire en zelfherstellende mogelijkheden van de aarde verhinderen, is het een logische stap om onderzoek te doen naar een nieuwe weg die dit níet verhindert.

2.2 Bedrijfsbeschrijving

Het gebouw van Metaal Kathedraal in Leidsche Rijn was oorspronkelijk de Rooms-katholieke Onze-Lieve-Vrouw-ten-Hemelopnemingkerk van de buurtschap Oudenrijn bij De Meern. (Reliwiki, 2018) Metaal Kathedraal is een ecologisch culturele broedplaats die ruimte biedt aan kunstenaars om te onderzoeken en te ontdekken. Metaal Kathedraal biedt een podium en organiseert programma's die een link hebben naar cultuur, maatschappij of actualiteit. Maureen Baas is een van de initiatiefnemers van Metaal Kathedraal en noemt het volgende "Metaal Kathedraal is een mini-economie die geheel zelfvoorzienend kan worden, een klein Utopia. Iedereen die een droom wil realiseren, is hier welkom." (Huet, 2015)

De visie van Metaal Kathedraal is dat de wereld een levend organisme is, een circulair systeem, en dat dit zo behouden moet blijven. De missie van dit bedrijf is daarom om de waarden hiervan zichtbaar en ervaarbaar te maken. (Baas, 2019)

2.3 Probleemstelling

De volgende hoofdvraag is opgesteld:

"Welke mogelijkheden met één uiteindelijk compleet concept zijn er om een duurzame weg te creëren die aansluit bij de kennis, kunde en kracht van de natuur?"

Deze hoofdvraag is niet SMART opgesteld, omdat deze vraag is vastgesteld op basis van de doelstelling van dit project zoals de opdrachtgever dat genoemd heeft.

2.4 Wens van de opdrachtgever

De wens van de opdrachtgever is om na te denken over op welke manier een weg gecreëerd kan worden die meer aansluit bij de kennis en kunde van de aarde. Er moet gebruik gemaakt worden van kenmerken van de aarde en die niet bijdragen aan de verwoesting van de aarde. Op deze manier brengt de weg de aarde geen schade toe, aldus de opdrachtgever. De opdrachtgever heeft uit meerdere gesprekken een

aantal punten doorgenomen waar de projectgroep aan kan denken en meekunnen nemen in het onderzoek.

De eisen en wensen van de opdrachtgever zijn verwerkt in de deelvragentabel van hoofdstuk 2.6. De opdrachtgever heeft geen specifieke technische eisen gesteld waaraan de weg moet voldoen. De ontwerpcriteria zijn daarom vastgesteld aan de hand van de wensen van de opdrachtgever en de functieboom van een weg. Deze functieboom is uitgewerkt in hoofdstuk 3.1, figuur 1.

2.5 Scope

De scope is bepaald aan de hand van de eisen van de opdrachtgever. Het wordt aangegeven met behulp van de functies uit de functieboom. Een functie wordt omschreven *als de werking van een bepaald voorwerp of onderdeel*. (Ensie, 2010) Naar de volgende functies zal in deze opdracht onderzoek gedaan worden:

- Het opwekken van energie
- Het laten ademen van de weg
- Het bieden van draagvlak

Er wordt onderzocht welke bestaande technieken, mogelijkheden en kansen gebruikt kunnen worden om tot het meest complete concept te komen.

De focus van de opdracht is gericht op het wegdek en het opwekken van energie, daarom wordt niet direct onderzoek gedaan naar de volgende functies:

- Het bieden van comfort
- Het bieden van veiligheid

3 Analyse

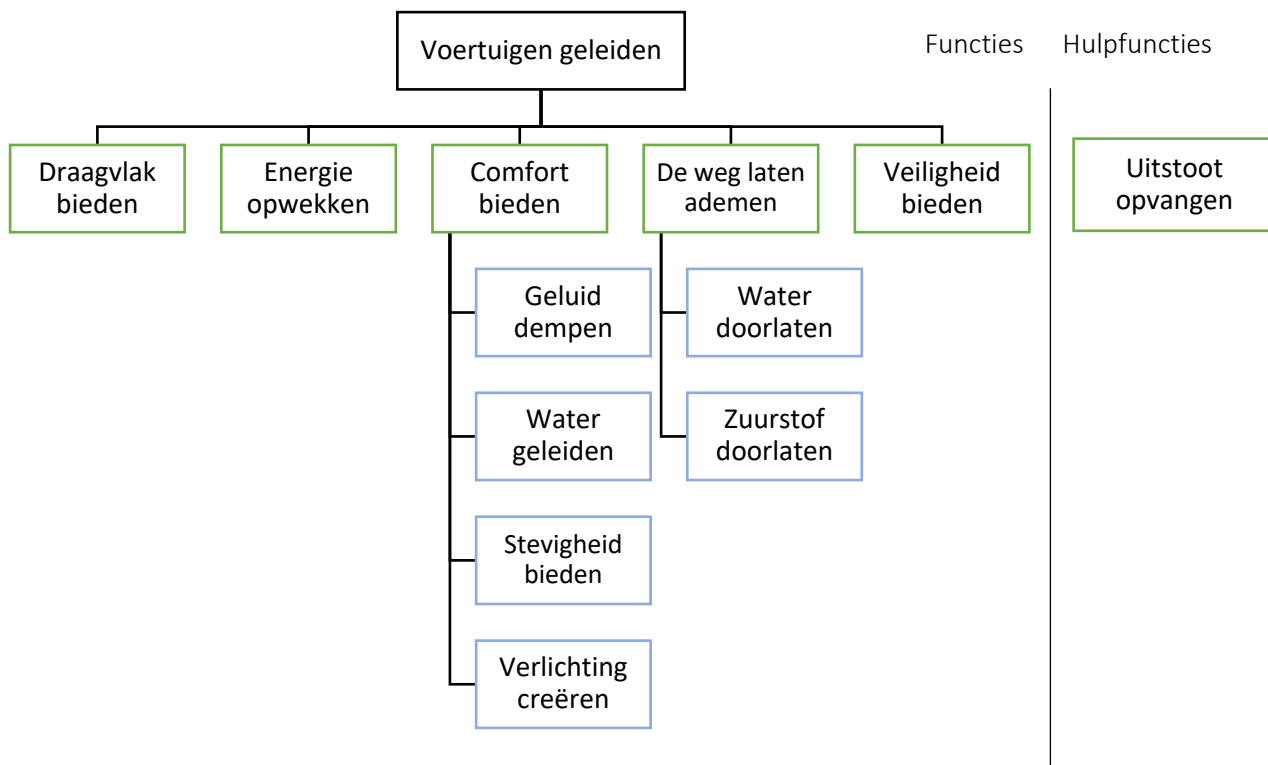
In de analysefase draait het voornamelijk om onderzoek. Een functieboom wordt gegeven van een duurzame weg en aan de hand hiervan zijn onderzoeksvragen opgesteld. Ook naar de wensen en eisen worden gekeken. Met behulp van de onderzoeken komen oplossingen van de deelproblemen naar voren.

3.1 Functieboom

In figuur 1 is de functieboom weergegeven. Bovenaan staat de hoofdfunctie van de weg; *voertuigen geleiden*. Deze hoofdfunctie wordt gerealiseerd met behulp van deelfuncties.

Draagvlak bieden is één van die deelfuncties. Met deze functie wordt het wegdek en alle bijbehorende facetten bedoeld waar voertuigen overheen rijden en die dit wegdek ondersteunen. Een andere deelfunctie is *energie opwekken*. Hiermee worden alle aspecten van de duurzame weg bedoeld waarmee energie kan worden opgewekt en/of energie bespaard kan worden. De deelfunctie *comfort bieden* is onderverdeeld in verdere deelfuncties: *geluid dempen*, *water geleiden*, *stevigheid bieden* en *verlichting creëren*. De deelfunctie *weg laten ademen* bestaat uit de functies *water doorlaten* en *zuurstof doorlaten*. De laatste deelfunctie is *veiligheid bieden*. Deze functie is van belang, omdat de veiligheid van de weggebruikers gegarandeerd moet kunnen worden.

De weg heeft ook een hulpfunctie. Deze hulpfunctie is *uitstoot opvangen*. De opdrachtgever heeft aangegeven om ook naar oplossingen te kijken om de uitstoot van auto's die op de weg rijden op te vangen. Hierdoor worden de schadelijke effecten op het milieu vermindert.



Figuur 1: Functieboom.

3.2 Deelvragentabel

Op basis van de probleemstelling, de wens van de opdrachtgever en de scope is een deelvragentabel uitgewerkt. De gestelde vragen in de tabel zullen in het vervolg van het rapport worden beantwoord.

Het eindresultaat van de studenten zal een adviesrapport zijn met hierin verschillende concepten en oplossingen voor de wens van de opdrachtgever. Voor de verschillende concepten en oplossingen zijn onderzoeken gedaan naar producten die de aarde geen schade berokken. Hierbij is rekening gehouden met de wens van de opdrachtgever. De opdrachtgever wenste een oplossing die bio-oplossingen bevatte. In de context van het onderzoek wordt onder bio-oplossingen verstaan: gebruik maken van dieren, planten, bacteriën of andere levende wezens voor de ontwikkeling van nieuwe producten. (VIB, 2018)

Nr.	Deelvraag	Doel
1	Wat houden de term 'circulair' en 'duurzaam' in en hoe wordt dit vertaald naar de weg?	De opdrachtgever heeft als wens een circulaire en duurzame weg. Met behulp van dit onderzoek wordt duidelijk wat deze termen precies inhouden.
2	Hoe ziet het totaalplaatje van een duurzame en circulaire weg van de opdrachtgever eruit?	De opdrachtgever heeft een gewenst totaalplaatje van de nieuwe weg. Door dit in kaart te brengen ontstaat een duidelijk beeld wat de opdrachtgever precies wil.
3	Hoe ziet de huidige 50 km/u weg in Nederland eruit?	Het project is gefocust op een Nederlandse weg waar 50 km/u wordt gereden. Door hiernaar te kijken, kunnen aspecten naar voren komen die verbeterd kunnen worden.
4	Hoe ziet de weg bij Metaal Kathedraal eruit?	De opdrachtgever heeft aangegeven dat de nieuwe weg bij de Metaal Kathedraal moet komen te liggen. Met behulp van dit onderzoek moet duidelijk worden hoe deze locatie er uit ziet.
5	Hoe kunnen de verschillende lagen waaruit de weg bestaat worden verduurzaamd en/of circulair worden gemaakt?	Aangezien met behulp van de onderzoeksvraag over de huidige weg in Nederland duidelijk wordt waaruit de weg bestaat en wat de problemen hiermee zijn, kunnen duurzame en circulaire oplossingen worden onderzocht.
6	Welke relevante manieren zijn er om energie op te wekken?	Aangezien de opdrachtgever als wens heeft dat de met behulp van aspecten van de weg energie worden opgewekt, is het van belang verschillende opties hiervoor in kaart te brengen. Ook wordt gekeken naar manier om energie op te wekken die naast de weg kunnen worden geplaatst, en dus niet direct met de weg te maken hebben.
7	Hoe kan de milieu-impact van de uitlaatgassen van auto's worden beperkt?	De opdrachtgever heeft aangegeven dat het van belang is de milieu-impact veroorzaakt door de uitstoot van de auto's te verminderen. Met behulp van dit onderzoek wordt duidelijk welke manier er zijn om dit te realiseren.

Tabel 1: Deelvragentabel.

3.3 Ontwerpcriteria

In dit hoofdstuk zijn de klantwensen die in het plan van aanpak zijn opgesteld omgezet in ontwerpcriteria. Ontwerpcriteria zijn een specifiekere omschrijving van de wens van de klant. Voor de ontwerper wordt zo duidelijker waar de nieuwe, duurzame weg aan moet voldoen. De klantwensen en de bijbehorende ontwerpcriteria zijn onderstaand uitgewerkt.

Nr.	Wens	Ontwerpcriteria	Bron
1	De weg en/of randzaken rond de weg bieden de mogelijkheid om energie op te wekken.	-	-
2	De weg en/of randzaken rond de weg bieden de mogelijkheid om fijnstof op te vangen.	-	-
3	Er is geen maximumbudget vastgesteld. De weg mag dus in principe zoveel kosten als nodig.	-	-
4	De weg moet ontworpen worden, zodat het mogelijk is deze bij de Metaal Kathedraal te bouwen.	De weg moet in totaal 7.5 meter breed worden en aan weerszijden van de autoweg een fietspad hebben.	Onderzoek 'huidige weg Metaal Kathedraal'
5	De weg is zo duurzaam mogelijk.	De weg maakt gebruik van materialen en/of functies die het milieu zo min mogelijk belasten.	Onderzoek "De termen circulair en duurzaam"
6	De weg is zo circulair mogelijk.	De weg maakt gebruik van materialen en/of functies die aansluiten bij de kennis en kunde van de aarde	Onderzoek "De termen circulair en duurzaam"
7	De weg moet draagvlak bieden.	De weg moet minimaal een belasting van 50 ton kunnen dragen. Dit is het maximale wat er op een weg kan rijden.	(evofendex, 2019)
8	De weg moet zo goed mogelijk kunnen ademen.	De materialen waaruit de weg bestaat moeten de mogelijkheid bieden om lucht en water door te laten.	De opdrachtgever
9	De weg moet hemelwater van de weg kunnen geleiden.	De weg heeft een afschot van 2.5%.	(Algemene weg, 2011)
10	De weg en/of randzaken rond de weg zorgen voor verlichting.	De weg en of randzaken rond de weg zorgen voor een verlichting van 0,378 W/Cd/m ² /m ² . Dit is verlichtingsklasse ME4a	(Volkshuisvesting, 2010)

11	De weg en/of randzaken rond de weg zorgen voor een lage geluidslast	Het verkeerslawaai is niet meer dan 48 dB.	(rijkswaterstaat, 2019)
12	De weg moet grip bieden voor de voertuigen die gebruik maken van de weg	De weg heeft een stroefheidswaarde van ≥ 0.45 .	(Algemene weg, 2011)

Tabel 2: Ontwerpcriteria.

3.4 Onderzoek

Zoals eerder beschreven is de volgende hoofdvraag opgesteld:

“Welke mogelijkheden met één uiteindelijk compleet concept zijn er om een duurzame weg te creëren die aansluit bij de kennis, kunde en kracht van de natuur?”

Om deze hoofdvraag te beantwoorden worden onderzoeken uitgevoerd. In *tabel 1 deelvragentabel* zijn deze deelvragen weergegeven. Bij elke onderzoeksvraag is het doel van de vraag geformuleerd. Zie hoofdstuk 3.2 voor de deelvragentabel.

4 De termen ‘circulair’ en ‘duurzaam’.

In dit hoofdstuk wordt de vraag ‘*wat houden de termen ‘circulair’ en ‘duurzaam’ in en hoe kan dit vertaald worden naar de weg?*’ beantwoord.

Het woord ‘circulair’ wordt gebruikt op verschillende gebieden. Zo wordt gesproken over een circulaire economie, recycling, duurzaamheid, cirkelredenering. De samenhang tussen deze termen is dat iets in een ‘loop’ of cirkel zit en telkens weer terugkomt. In de bouw wordt circulair vaak aangeduid als materialen volledig hergebruikt kunnen worden (Encyclo, sd).

Maar dit is niet de manier waarop Metaal Kathedraal circulair ziet. Hun mening is dat deze kijk nog steeds gaat over eindige grondstoffen, daarmee wordt op termijn toch nog schade toegebracht aan de aarde. Metaal Kathedraal ziet circulair als iets wat natuur eigen is en op termijn op kan gaan in de natuur. Op deze manier brengt het geen schade toe aan de aarde (Baas, 2019).

Er moet dus een duidelijk verschil gemaakt worden tussen recycling en circulair. Een volledige circulaire weg volgens Metaal Kathedraal staat nog ver van de huidige manier van het bouwen van een weg. Recycling staat voor hergebruik, eventueel in combinatie met duurzamer gebruik van grondstoffen.

Een product is duurzaam als de benodigde grondstoffen en de verwerking hiervan is uitgevoerd op een manier die het milieu en de natuur zo min mogelijk belast. Het is hierbij van belang om naar de hele levenscyclus te kijken. De volgende aspecten zijn van belang.

4.1 Grondstoffen

Sommige grondstoffen zijn eindig. Naarmate de tijd verstrijkt worden steeds meer van deze grondstoffen gebruikt en wordt het schaars. Voorbeelden hiervan zijn aardolie, zand en metaalerts. Naast eindige grondstoffen zijn er ook hernieuwbare grondstoffen. Van deze materialen kan de voorraad in een korte periode worden aangevuld (Trindade, sd). Voorbeelden van deze hernieuwbare grondstoffen zijn biomassa’s zoals hout, suikerbieten en maïs, maar ook algen, insecten en zeewier. Deze hernieuwbare grondstoffen hebben een deel van het aardoppervlak nodig om te kunnen groeien. Aangezien het aardoppervlak eindig is, moet goed worden gekeken naar de landbouwmethodes om duurzaam hout, suikerbieten en maïs et cetera te produceren.

Het gebruik van duurzame hernieuwbare grondstoffen is van groot belang bij een weg. De grondstoffen die momenteel worden gebruikt voor een weg in Nederland zijn eindig (zie onderzoek ‘hoe ziet de huidige weg in Nederland eruit?’). De weg kan worden verduurzaamd door deze eindige grondstoffen te vervangen door hernieuwbare grondstoffen.

4.2 Productieproces

Ook moet gekeken worden naar het productieproces waar de grondstof wordt verwerkt. De grondstoffen die worden gedolven/geoogst moeten worden verwerkt tot fabricaten. Een voorbeeld hiervan is aardolie: in het huidige asfalt worden bitumen gebruikt, een op aardolie gebaseerde substantie. Na het destilleren van aardolie blijft een restproduct over. Dit restproduct zijn bitumen. Deze bitumen worden bij het aanleggen van de weg verwarmd tot ongeveer 170 graden om het zodoende te laten smelten (zie onderzoek 5 ‘hoe ziet de huidige weg in Nederland eruit?’). Dit kost dus veel energie. Een duurzamere grondstof is een grondstof die minder energie nodig heeft tijdens het gehele productieproces.

4.3 Transport

De grondstoffen moeten worden vervoerd naar de gewenste fabriek voor het productieproces. Vanuit de fabriek wordt het vervolgens weer verder getransporteerd naar de consument of een tussenleverancier. Het vervoeren van de grondstoffen kost energie. Hoe verder de grondstoffen vervoerd worden, hoe meer energie het kost. De milieu- en natuurimpact wordt verlaagd als de hernieuwbare grondstoffen in de buurt worden verbouwd en geoogst kunnen worden.

4.4 Toepassing

Het toepassen van een product kan ook impact hebben op het milieu en de natuur. Bij het gebruik van brandstof ontstaan schadelijke dampen. Deze dampen zijn brandbaar en slecht voor de gezondheid. Een product is duurzaam als het tijdens het gebruik geen schadelijke stoffen uitstoot of andere negatieve effecten voor het milieu genereert.

4.5 Onderhoud en levensduur

Naarmate de tijd verstrijkt degraderen bepaalde grondstoffen. Een voorbeeld hiervan zijn bitumen in het huidige wegdek. Over een lange periode worden bitumen in het asfalt bros en kunnen delen van de weg afbreken. Zie voor verdere toelichting het onderzoek *De huidige weg in Nederland* in hoofdstuk zes. De plekken waar het asfalt afbreekt, moeten onderhouden worden. Dit kost veel energie en veel grondstoffen die de verouderde grondstoffen vervangen.

De degradatietijd verschilt per grondstof. Een grondstof is duurzamer als de levensduur langer is. Hierbij moet rekening worden gehouden met de milieu-impact tijdens het onderhoud.

4.6 Conclusie

Een product is duurzaam als de benodigde grondstoffen en de verwerking hiervan is uitgevoerd op een manier die het milieu en de natuur zo min mogelijk belast. Het is hierbij van belang om naar de hele levenscyclus te kijken. Een product is duurzaam als:

- De grondstoffen hernieuwbaar zijn. Van deze materialen kan de voorraad in een korte periode worden aangevuld (Trindade, sd). Voorbeelden zijn biomassa's zoals hout, suikerbieten en maïs, maar ook algen, insecten en zeewier.
- Het productieproces zo min mogelijke schade veroorzaakt voor het milieu.
- De grondstoffen uit de buurt komen. Het vervoeren van de grondstoffen kost namelijk energie. Hoe verder de grondstoffen vervoerd moet worden, hoe meer energie het kost. Het is dus nuttig om grondstoffen te gebruiken die dicht in de buurt van de plek waar de grondstoffen uiteindelijk gebruikt zullen worden vandaan komen.
- De toepassing niet schadelijk is. Een product is duurzaam als het tijdens het gebruik hiervan geen schadelijke stoffen uitstoot of andere negatieve effecten voor het milieu genereert.
- De levensduur zo lang mogelijk is. De degradatietijd verschilt per grondstof. Een grondstof is duurzamer als de levensduur langer is en het dus minder snel degradeert. Hierbij moet rekening worden gehouden met de milieu-impact tijdens het onderhoud.



Deel 2

Vorbereidingen op het onderzoek

In dit deel wordt de voorbereiding op de onderzoeken uit de deelvragen uitgewerkt. De onderzoeken zullen worden uitgevoerd, mede op basis van de wensen van de opdrachtgever.

Het eerste aandachtspunt is dat de nieuwe weg geen schade mag toebrengen aan de aarde. In het kader van het onderzoek worden hiervoor de termen *duurzaam* en *circulair* gebruikt. Deze termen zijn in het eerstvolgende hoofdstuk uitgewerkt.

5 Totaalplaatje

Hoe ziet het totaalplaatje van een duurzame en circulaire weg van de opdrachtgever eruit? Dat is de vraag die in dit hoofdstuk beantwoord zal worden. De opdrachtgever heeft een gewenst totaalplaatje van de nieuwe weg en de daarbij passende omgeving. De getoonde eigenschappen zijn zodanig gebaseerd op haar wensen. Deze wensen zijn uitgewerkt in het pakket van eisen, te vinden in hoofdstuk drie van het vorige deel.

Het totaalplaatje is een weergave van mogelijke toepassingen van duurzame oplossingen in en rondom het wegdek. Om het totaalplaatje te schetsen moeten meerdere aspecten benaderd worden. Het doel van dit hoofdstuk is om de lezer te laten zien wat er in de toekomst mogelijk zal zijn voor het wegdek en de maatschappij en omgeving daar omheen op het gebied van duurzaamheid. De toepassingen zijn mede gebaseerd op de wetenschap van kennis, kunde en kracht van de natuur.

5.1 Fijnstofplanten

Fijnstofplanten zijn planten die fijnstof uit de lucht kan halen. Deze fijnstof is meestal afkomstig door het rijden van de auto's. In de ideale situatie zullen de auto's rijden op duurzame energie en hierdoor zullen de fijnstofplanten ook overbodig zijn. Natuurlijk kan de transitie niet op een dag plaatsvinden en daarom zal voor de ideale situatie fijnstofplanten naast de weg kunnen groeien om zo een duurzaam effect mee te geven.

Daarnaast is Amsterdam sinds 2016 aan het experimenteren met dergelijke fijnstofplanten.

“In Amsterdam komt een proef met een plant die “verslaafd” is aan fijnstof om de luchtkwaliteit in stadsdeel zuid.”

In de President Kennedylaan aan de zuidkant van de stad wordt 10 dagen lang een testopstelling met planten en een transparante windtunnel geplaatst op groenstroken. In de opstelling wordt een extra harige variant van kamperfoelie met grotere bladen geplant. De plant wordt een ‘green junkie’ genoemd omdat het relatief veel fijnstof uit de lucht haalt. De plant is op natuurlijke wijze gecultiveerd door plantenveredelaar MyEarth.” (stad, 2019)

Uit het onderzoek is geconcludeerd dat de lepelplant de meeste stoffen uit de lucht filtert. (NASA, 2015) Daarentegen kan deze plant niet het hele jaar buiten staan en vangt het meer stoffen op dan nodig. (Groenrijk, n.d.) De meeste geschikte plant vangt fijnstof op, heeft een groot oppervlak en kan het gehele jaar buiten staan zonder onderhoud. Dan wordt de keuze bepaald op: bamboe. (National Aeronautics and Space Administration, 1989)

5.2 Olifantsgras

Olifantsgras is een plant die voor vele doeleinden gebruikt kan worden. De cellulose van de plant is bruikbaar voor bioplastics of biobrandstoffen. De vezels die in de plant zitten zijn bruikbaar voor de productie van kleding, spaanplaat, papier en biobeton. Het voordeel van dit gras is dat het extreem snel groeit. Daarnaast hoeft het gras maar één keer ingezaaid worden en is er nauwelijks onderhoud nodig. Daarnaast is het gewas opgewassen tegen vorst. Dit komt doordat het gewas oorspronkelijk in de bergen voorkwam.

Het gewas hoeft niet met bestrijdingsmiddel worden ingespoten. Dit zorgt ervoor dat het een ideale leefplek is voor wormpjes en torretjes. Dit zorgt voor een grotere biodiversiteit op de bodem (trouw, 2019).



Figuur 2: Olifantsgras (tasboomkwekerij, 2019).

Het gewas levert ook een aandeel voor de aanleg van grasfalt. Uit olifantsgras kan de stof lignine opleveren. Deze stof kan de huidige stof bitumen vervangen in het asfalt. Bitumen is een van de vervuilendste stoffen waaruit het reguliere asfalt is opgebouwd. De stof is gebaseerd op aardoliebasis. Het voordeel van lignine is dat dit een stof is die niet afkomstig is uit een fossiele brandstof en dus ook geen uitputting zal geven (grasfalt, 2019). Door de ontwikkelaar zijn zeven speerpunten opgesteld.

- Zet zeer effectief CO₂ om in biomassa;
- Olifantsgras neemt tot vier keer meer CO₂ op dan bomen;
- Per hectare olifantsgras, dat goed is voor 3,2 ton lignine, wordt per jaar 26,4 ton CO₂ opgenomen;
- Goede opbrengst zonder bemesting; tot ca. 20 ton per hectare per jaar;
- Alleen onderhoud tijdens het eerste en tweede jaar;
- Vanaf jaar twee tot twintig te oogsten met volle opbrengst;
- Door op het juiste moment te oogsten blijven de nutriënten achter in het wortelstelsel en wordt de bodem niet uitgeput.

5.3 De omgeving

In de ideale situatie zullen de benodigde materialen voor het wegdek in de buurt of zelfs naast de weg kunnen groeien. Dit zijn grondstoffen zoals olifantsgras en fijnstofplanten. De maatschappij hieromheen zal in de ideale schets de techniek moeten leren om het wegdek te kunnen realiseren. Dit zorgt ervoor de mens zich minder hoeft te verplaatsen over het land en vervolgens minder energie zal verbruiken. Er zullen duurzame tankstations geplaatst moeten worden denk hierbij aan het rijden op waterstofgas of elektrisch rijden. Hierbij moet wel gezegd worden dat de accu's van de huidige elektrische auto's niet afbreekbaar zijn en dus daarom ook niet recyclebaar. Dit zal daarom op dit moment geen goede optie zijn voor de toekomst.

5.4 Waterstofgas

In de ideale situatie zal elk brandstofvoertuig zich moeten kunnen voortbewegen op duurzaam gewonnen waterstof. Daarnaast worden er in de huidige situatie experimenten gedaan met het winnen van waterstof met behulp van zonlicht en algen. Hierdoor zal minder energie nodig zijn om de waterstof

te creëren. Daarnaast zullen voor de ideale situatie de brandstofbenzinepompen vervangen moeten worden door waterstoftanks. Hierbij moet wel goed gekeken worden hoe de waterstof wordt opgeslagen en hoe het waterstofgas getransporteerd wordt. Waterstofgas is een stof die bekend staat om zijn licht ontvlambaarheid. Voor een realistische toepassing hiervan zal nog grondiger onderzoek gedaan moeten worden (engineersonline, 2019).

5.5 Bandenslijtage

Bij de slijtage van de banden zullen er zich veel microplastics losmaken van de band en in de openlucht terecht komen. Deze microplastics worden opgenomen door kleine organismen, doordat hun voedsel is verontreinigd met de microplastics. Deze dieren staan onderaan de voedselketen en worden zo door organismen hoger in de voedselketen gegeten. Hierdoor zullen de plastics zich blijven ophopen wat schadelijk kan zijn voor het dierenrijk. Niet alleen het dierenrijk, maar de mensen ondervinden hier ook schade aan doordat deze microplastics ook voorkomen in ons voedsel. In de ideale situatie zal er een band ontwikkeld worden die nauwelijks of niet slijt. Daarnaast zal het slijtage stof van de banden van biologisch afbreekbaar materiaal gemaakt moeten worden. Hierdoor zal het materiaal van de banden verandert moeten worden naar een duurzamer materiaal. Dit zal voor een ideale schets verder onderzocht moeten worden (plasticsoupfoundation, 2019).

5.6 Vangrail

Huidige vangrails zijn gemaakt van verzinkt staal. Het zinkt kan na verloop van tijd met het regenwater intrekken in de grond, Dit zorgt voor een verontreinigde bodem (rijkswaterstaat, 2019).

Als duurzamer alternatief, zal de houten vangrail geïntroduceerd kunnen worden. Deze vangrails worden al voornamelijk op enkele N-wegen toegepast. Voor snelweg toepassing zal dit verder onderzocht moeten worden om de ideale situatie te schetsen.

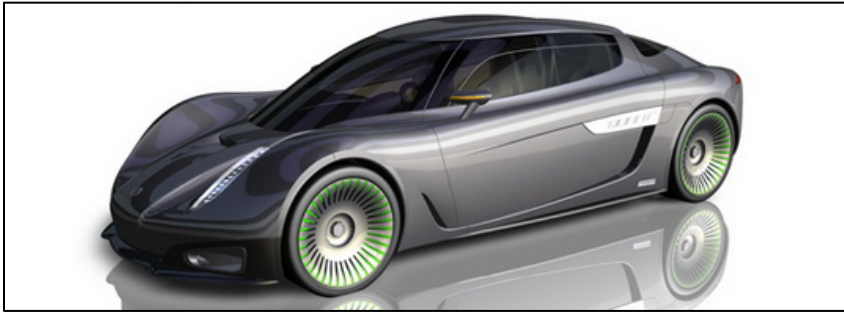
Daarnaast zal er een plan moeten gemaakt worden om dit hout te vernieuwen. Hout is een stof die niet kan uitputten mits goed gebruik. Er zal voor de ideale situatie een bomenpark kunnen worden aangelegd om de vangrails hernieuwbaar te kunnen plaatsen zonder ontbossing (eurorail, 2019).

5.7 Geluidswal

Momenteel worden geluidswallen vaak gemaakt van glas of ander materiaal. In de ideale situatie kan de geluidswal bedekt worden met pv panelen. Op een aantal plekken in Nederland zullen deze zonnepanelen op geluidswallen geplaatst worden. Onder andere de gemeente Utrecht heeft een project lopen om een geluidswallen te verduurzamen (utrecht, 2019).

5.8 PV-panelen op auto's

In de ideale situatie kunnen auto's beplakt worden met zonnepaneel folie. Het folie kan voor de toekomst energie opwekken die mogelijk geleid kan worden naar een accu. Zo zullen alle auto's energie kunnen opwekken. Het bedrijf Koenigsegg heeft een model Quantum ontwikkeld die mogelijk hiervoor de oplossing kan bieden (zie onderstaande afbeelding).



Figuur 3: Auto met zonnepaneelfolie (zonnepaneelfolie, 2019)

5.9 Conclusie

Om een ideale omgeving te creëren zal het wegdek alleen niet genoeg zijn. Er zijn talloze onderzoeken gedaan naar het verbeteren van de wegen en alles wat er omheen is op het gebied van duurzaamheid en circulariteit. Dit verslag zal een van de vele andere onderzoeken zijn die ingaan op de verbetering van de duurzaamheid in wegen. In de ideale situatie zullen vele van dit soort bestaande onderzoeken gecombineerd kunnen worden. Dit hoofdstuk gaf een overzicht over een aantal goede toepasbare oplossingen.

Dit hoofdstuk heeft dus niet gediend als onderzoek binnen het huidige project, maar is opgesteld om de lezer te laten beleven hoe groot het totale onderzoek is, hoe complex het is om al deze onderzoeken samen te voegen, wat een beeld van de toekomst kan zijn en waar in het totaalplaatje het project van de studenten zich bevindt.

6 De huidige weg in Nederland

Het project is gefocust op een Nederlandse weg. Met behulp van dit onderzoek wordt duidelijk wat een weg is, met de daarbij horende onderdelen. Als dit duidelijk is, kan worden gekeken naar de eigenschappen en aspecten van de weg, om vervolgens deze onderwerpen te verduurzamen of aan te passen om de circulariteit van de aarde te bevorderen. Het doel van het Quest-project is om een autoweg te innoveren. Hierbij wordt gekeken naar duurzame aspecten, zoals het gebruik van duurzame en of circulaire materialen en het gebruik van energieopwekkende technieken. Maar nu heerst de vraag: wat wordt bedoeld met een autoweg en wat zijn de eigenschappen ervan?

6.1 Autoweg

Een autoweg is een strook, bestaande uit voornamelijk asfalt en/of beton, dat geschikt is voor wegverkeer. Het Wegennet definieert een weg als volgt: “verkeersbanen die een functie vervullen ten behoeve van het afwikkelen van het openbare verkeer en die derhalve naar hun aard of functie een grote, onbepaalde publieksgroep dienen” (Uitspraken, 2008).

Het wegdek speelt een belangrijke rol in de Nederlandse samenleving. Nederland heeft namelijk een van de dichtst vertakte wegennetten van de wereld. Van dit totale wegennet is 130.000 kilometer verhard (Asfalt en Wegenbouw, sd). Dit is een significant deel van het totale oppervlak en aangezien Nederland al relatief dichtbevolkt is, is het van belang is om deze grond zo efficiënt en duurzaam mogelijk te benutten. Zo is bijvoorbeeld in België veertien procent van het oppervlak verhard en niet waterdoorlatend (Willemen Innoveert Met Waterdoorlatend Asfalt, 2018).

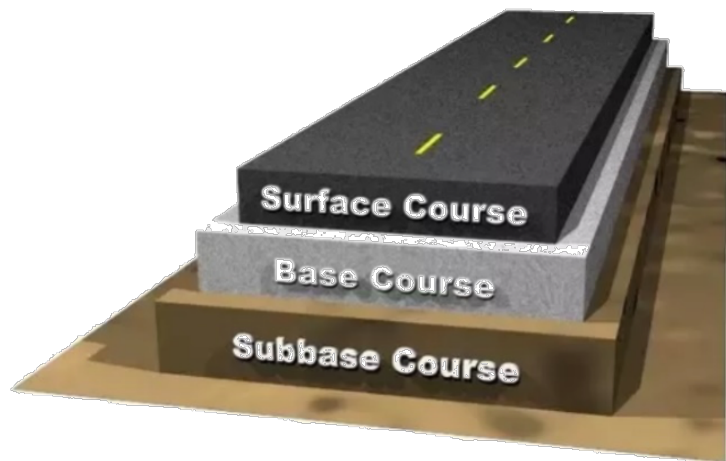
Een weg bestaat over het algemeen uit 3 lagen bovenop de aanwezige grond, zoals te zien is in figuur 4. De lagen in een autoweg zijn van boven naar beneden gerangschikt op het draagvermogen.

De bovenste laag, de *surface course* genoemd, komt in contact met het wegverkeer en deze laag moet geschikt zijn om wrijving van het verkeer te weerstaan, het water af te voeren, zo min mogelijk weerstand te bieden en zo min mogelijk geluid te maken als het wegverkeer eroverheen rijdt.

Voor deze laag wordt in Nederland voornamelijk zeer open asfaltbeton (ook wel: ZOAB) gebruikt. ZOAB bestaat uit een mengsel van stenen, zand, vulstof en bitumen. Een kenmerkende eigenschap wat dit asfaltbeton is dat het een hoog percentage holle ruimte heeft, ongeveer twintig procent (ZOAB, sd). Door deze holtes kan het water stromen. Het stroomt vervolgens aan de zijkant weer uit de weg.

De laag onder de bovenste laag wordt ook wel *base course* genoemd. Deze laag dient als fundament voor de deklaag. Het biedt stevigheid tegen de druk die op de weg wordt uitgeoefend door het wegverkeer. Deze tweede laag bestaat voornamelijk uit menggranulaat.

De laag onder de base course wordt de *subbase course*. Dit is de onderste laag en wordt dus boven op de aanwezig aarde geplaatst. Deze laag dient als versteviging van de weg en het verspreidt de druk over een groter oppervlak. Het bestaat voornamelijk uit zand en granulaat.



Figuur 4: Lagen in een weg (Kumar, 2014)

6.2 Autoweg in de context

Gedurende het Quest-project wordt gefocust op een autoweg waar met een snelheid van 50 km/u wordt gereden. Het doel is namelijk om een autoweg te ontwerpen die voor Metaal Kathedraal in Leidsche Rijn wordt gebouwd. Het ultieme plan van de opdrachtgever is om het uit te breiden tot een weg van Metaal Kathedraal naar de Uithof.

6.3 Onderhoud aan de weg

De wegen in Nederland moeten worden onderhouden. Dit onderhoud slaat op het bovenste wegdeel, de surface course. Deze laag kan voor een groot deel gerecycled worden. De bitumen vormen bij dit recyclen wel een probleem. De bitumen in de deklaag verouderen en worden bros, wat zorgt voor scheuren en het losraken van stenen. Dit kan vervolgens niet worden opgewarmd en opnieuw worden gebruikt, aangezien de kwaliteit van de bitumen niet terugkeert (Moezelaar, 2017). De bestaande bitumen worden momenteel voor zo'n 50 procent gerecycled. Het overige deel wordt vervangen door verse bitumen.

De verwerkingstemperatuur van het meest voorkomende asfalt in Nederland, ZOAB, ligt rond de 170 graden. De snelheid waarmee het asfalt kan worden aangelegd varieert tussen de zes en tien meter per minuut. In Nederland wordt jaarlijks zo'n vijftien miljoen ton asfalt verwerkt. Dit asfalt bestaat voor ongeveer vijf procent uit bitumen, wat resulteert in een jaarlijks verbruik van 750.000 ton bitumen (biobased engineered bio-bitumen, 2017). Deze bitumen zijn ook verantwoordelijk voor de hoogste uitstoot van de uitgestoten broeikasgassen binnen het productieproces van asfalt. De overige massapercentages van grondstoffen waaruit asfalt bestaat, is 57% stenen, 30% zand en 7.5% vulstof (Hopman, 2006).

Al de grondstoffen waaruit asfalt bestaat zijn in principe van natuurlijke herkomst. De bitumen komen tegenwoordig uit olieraffinaderijen waar het wordt geproduceerd met behulp van destillatie van speciaal geselecteerde ruwe aardolie. Deze ruwe aardolie bestaat voor 50 tot 80 procent uit bitumen. Bij het productieproces worden de vluchtige bestanddelen, zoals benzine en gasolie uit de ruwe aardolie gescheiden. Uiteindelijk blijft het zwaarste bestandsdeel, bitumen, als reststof over (We Focus B.V., 2014).

6.4 Huidige weg Metaal Kathedraal

Het doel van dit onderzoek is om duidelijk krijgen hoe de weg bij de Metaal Kathedraal eruitziet, zodat bij de uitwerking van het concept hier rekening mee gehouden kan worden.



Figuur 5: Breedte weg Rijksstraatweg.

Het wegdek is na de meting bepaald op 7,5 meter breed. De fietspaden zijn beide 1,5 meter breed.

Een normale auto is 1,6 tot 2 meter breed en zal in principe niet hoeven uit te wijken op de fietspaden. Het wegdek zal voor het ontwerp de mogelijkheid moeten geven om dit wel te doen.



Figuur 6: Aanzicht Metaal Kathedraal.

Op bovenstaande afbeelding is te zien hoe Metaal Kathedraal is gelegen aan de weg. Voor afritten zal de weg ook geschikt moeten zijn tegen zware voertuigen. Daarnaast staan in enkele zijstraten glasbakken. Dit geeft als teken dat er mogelijk zwaarbeladen afvalwagens door de straten rijden.



Figuur 7: 50km/uur weg.

De Rijksstraatweg is een 50 km/u weg, het wegdek zal moeten voldoen aan de wettelijk vastgestelde bepalingen van een 50km/u weg (Dienst Beheer Infrastructuur, 2012).



Figuur 8: Wegversmallingen

Daarnaast zijn er wegversmallingen te zien, die ook toegepast moeten kunnen worden in de vernieuwde situatie. Deze wegversmalling zorgt ervoor dat weggebruikers gestimuleerd worden om zich aan de wettelijke snelheid te houden.

6.5 Conclusie

Een autoweg is een strook die voornamelijk uit asfalt en/of beton bestaat. Deze strook is geschikt om wegverkeer overheen te laten rijden. Aangezien Nederland dichtbevolkt is en het wegdek maar liefst 130.000 km lang is, is het van belang om deze grond zo efficiënt en duurzaam mogelijk te gebruiken. Een autoweg bestaat uit drie lagen: de bovenste laag bestaat voornamelijk uit ZOAB en moet geschikt zijn om wrijving van het verkeer te weerstaan, het water af te voeren, zo min mogelijk weerstand te bieden en zo min mogelijk geluid te maken als het wegverkeer erover heen rijdt. De twee lagen hieronder bestaan voornamelijk uit granulaat en hebben als functie de druk over een groot oppervlak te verspreiden.

De bovenste laag bestaat uit een mengsel van stenen, zand en bitumen. Deze bitumen zijn verantwoordelijk voor de hoogste uitstoot van broeikasgassen tijdens het productieproces van asfalt. Deze bitumen worden voor 50 % gerecycled. Het overige deel wordt vervangen door nieuwe bitumen. Dit is dus niet circulair en duurzaam. De grondstoffen waaruit asfalt bestaat zijn stenen, zand, vulstof en bitumen en deze nemen respectievelijk 57, 30, 7.5 en 5.5 massapercentage in beslag.



Deel 3

Onderzoek

In dit deel worden de onderzoeken op basis van de deelvragen uitgewerkt. De onderzoeken zullen worden uitgevoerd, mede op basis van de wensen van de opdrachtgever en de wettelijke eisen die worden gesteld aan een wegdek in Nederland (Dienst Beheer Infrastructuur, 2012).

De meest uitgesproken wens van de opdrachtgever is dat de weg ademend, of waterdoorlatend is. In functionele termen zal dat als volgt worden omschreven: een wegdek die voldoende water en zuurstof doorlaat, zodat de grond onder het wegdek niet verstikt, oftewel na afbraak van het wegdek hergebruikt kan worden. Of er een wegdek ontworpen kan worden die deze functionaliteit kan bezitten, zal blijken uit de verschillende onderzoeken die zijn uitgevoerd en onderstaand zijn uitgewerkt.

In het kader van het onderzoek zijn er verschillende aspecten van een duurzame en technische weg onderzocht. Zo zal erin worden gegaan op het opwekken van energie, duurzaamheid en de technische mogelijkheden van de (nieuwe) weg.

Aangezien met behulp van de onderzoeksvraag over de huidige weg in Nederland duidelijk wordt waaruit de weg bestaat en wat de problemen hiermee zijn, kunnen duurzame en circulaire oplossingen worden onderzocht. Deze oplossingen worden per laag van de weg uitgewerkt.

7 De top laag

De bovenste laag komt in contact met het wegverkeer en deze laag moet geschikt zijn om wrijving van het verkeer te weerstaan, het water af te voeren, zo min mogelijk weerstand te bieden en zo min mogelijk geluid te maken als het wegverkeer erover heen rijdt.

Voor deze laag wordt in Nederland voornamelijk zeer open asfaltbeton (ZOAB) gebruikt. ZOAB bestaat uit een mengsel van stenen, zand, vulstof en bitumen. Een kenmerkende eigenschap wat dit asfaltbeton is dat het een hoog percentage holle ruimte heeft, namelijk ongeveer 20% (ZOAB, sd).

Deze laag kan voor een groot deel gerecycled worden. De bitumen vormen bij dit recycleren wel een probleem. Bitumen in de deklaag verouderen en worden bros, wat zorgt voor scheuren en het losraken van stenen. Dit kan vervolgens niet simpelweg worden opgewarmd en opnieuw worden gebruikt, aangezien het niet goed genoeg meer is (Moezelaar, 2017). Bestaande bitumen worden momenteel voor zo'n vijftig procent gerecycled. Het overige deel wordt vervangen door verse bitumen. De huidige weg is dus niet circulair en duurzaam.

7.1 Plastic Road

Het idee van de Plastic Road stamt uit 2013: twee jonge medewerkers van KWS, de twee na grootste wegenbouwer van Nederland, kregen het idee om een plastic weg te bouwen. In deze weg moesten holle ruimtes komen waarin leidingen en kabels gemakkelijk kunnen worden geplaatst. Naast deze leidingen en kabels kan deze ruimte ook gebruikt worden om water in op te slaan. Dit idee is weergegeven in *figuur 9: Plastic Road in Zwolle*.

De Plastic Road bestaat uit voorgefabriceerde modules. Deze modules zijn gemaakt van gerecycled plastic en het is erg licht van gewicht. Bij het produceren van de Plastic Road, is gebruik gemaakt van 22.000 gerecyclede koffiebekers. Doordat de modules voorgefabriceerd zijn, is een nieuwe weg veel sneller aan te leggen. Ter vergelijking met een asfaltweg is het twee tot drie keer sneller aan te leggen.

Het materiaal waar de weg uit bestaat is polypropyleen. Dit is een kunststof dat in België wordt geproduceerd door het bedrijf Total. Dit materiaal wordt vervolgens verwerkt tot voorgefabriceerde modules door het bedrijf Wavin. De Plastic Road is een weg met een significant mindere CO₂-voetafdruk dan de huidige wegen, dankzij de langere levensduur en de gereduceerde benodigde inspanning om de weg te maken en aan te leggen. KWS is er ook van overtuigd dat de weg 50 jaar meegaat zonder noemenswaardig onderhoud



Figuur 9: Plastic Road in Zwolle (Tissink, 2018)

(Tissink, 2018). Nadat de Plastic Road niet meer geschikt is om als weg te dienen, kan het product door de shredder worden gehaald en kunnen de grondstoffen worden verwerkt tot een nieuwe weg. Volgens KWS is dit een bijna eindeloze cyclus.

Momenteel wordt de Plastic Road als fietspad gebruikt. In Zwolle en Giethoorn is de Plastic Road als fietspad inmiddels aangelegd. De weg in Zwolle is te zien in *figuur 9*. Een worteldoek wordt onder de Plastic Road geplaatst. Dit worteldoek wordt op een ondergrond geplaatst, en dient ter bescherming

tegen onkruid, maar laat de grond wel ademen. Het aanleggen van deze weg bleek een succes nadat duidelijk werd dat de verschillende modules sneller dan gedacht werden geplaatst.

7.1.1 Nadelen Plastic Road

De Plastic Road is op het moment nog relatief duur, de reden is dat de productiehoeveelheid momenteel te laag is. Bij een grote opdracht is het investeren in een matrijs voor de Plastic Road rendabel.

Een ander probleem met de Plastic Road is dat het momenteel ongeschikt is voor zwaardere voertuigen. De draagcapaciteit is 5 ton, wat ongeveer evenveel is als het gewicht van 5 auto's. De weg is dus eventueel geschikt voor lichtere personenauto's, maar voor vrachtwagen is deze weg geen optie. De producenten van de Plastic Road zetten zich momenteel in om de draagcapaciteit van de weg te verhogen, zodat het ook geschikt wordt voor zwaardere voertuigen. De weg zou er dan uit komen te zien zoals in figuur 6 is weergegeven.



Figuur 10: Plastic Road voor zwaardere voertuigen (KWS, 2018)

7.1.2 Afval in Nederland

In Nederland is het scheiden en recyclen streng gereguleerd, waarbij het afval wordt verwerkt binnen Europa. Anders is het met bedrijfsafval, dat moet worden verwerkt door erkende afvalbedrijven, maar deze bedrijven zijn niet gebonden aan het verwerken binnen Europa. De afvalbedrijven konden het afval verkopen aan het landen in het Midden-Oosten of Azië, die het vervolgens recycleden. Maar sinds januari 2018 koopt China geen afval plastic meer in uit Europa en is de verkoop naar landen buiten Europa ingestort. Daardoor zit Europa, dus ook Nederland, met een overschot aan (plastic-) afval, zoals te zien is in figuur 11.



Figuur 11: Enorme berg afval afvalhandelaar Kras in Volendam (Vries & Reijn, 2018)

Door deze ontwikkeling komt er meer plastic bij het restafval terecht en wordt het verbrand door de Nederlandse afvalverwerkers. Dit is goedkoper dan eerst het afval sorteren en dan recyclen. Met het verbranden van meer plastic, komt meer warmte vrij. Nederlandse afvalverwerkers geven aan dat de groeiende hoeveelheid plastic in het restafval niet goed is, want zij kunnen het minder snel verwerken dan eerder. Het groeiende aandeel van plastic in het afval is dus een probleem. (Vries & Reijn, 2018) (NOS, 2018)

De bergen met plastic afval groeien, maar er gebeurt nog te weinig met het recyclen van het plastic. In het teken van duurzaamheid is het dus veel beter om meer te doen met het plastic afval. Daarom moeten toepassingen gevonden worden waar het plastic gebruikt kan worden. Eén van de toepassingen is de Plastic Road.

7.1.3 Conclusie

De Plastic Road is een weg bestaande uit gerecycled plastic. Dit plastic, polypropyleen genaamd, wordt gebruikt om modules te fabriceren, die vervolgens op een snelle en efficiënte manier kunnen worden gebruikt om een weg aan te leggen. De weg heeft holle ruimtes, waarin kabels kunnen lopen en water kan worden opgeslagen. Met behulp van deze weg kan de huidige plastic afvalberg op een nuttige manier worden toegepast. Het plastic afval dat in de afgelopen jaren naar Azië is gestuurd voor verdere verwerking is namelijk tot een halt gekomen, aangezien grote afvalinkopers zoals China hiermee gestopt zijn.

Dit concept kan worden gebruikt om als fietspad te dienen, zoals in Zwolle en Giethoorn. Het is momenteel nog niet geschikt voor zwaardere voertuigen, maar de producenten hebben aangegeven dat ze bezig zijn met het optimaliseren van de draagcapaciteit. In de toekomst wordt het wel geschikt voor deze zwaardere voertuigen.

7.2 Mycelium

Een van de duurzame alternatieven om in de toekomst op te rijden is een wegdek van mycelium. Een ondergrond die nu recent is ontwikkeld zijn tegels van mycelium. Deze tegels zijn opgebouwd uit een netwerk van schimmelwortels, deze wortels zijn op het blote oog niet te zien. Wanneer er veel van deze wortels geconcentreerd op een plek binden zorgt dit voor een sterke, maar lichte schimmel structuur. Deze structuur kan geschikt zijn voor bouw materiaal en ook voor tegels. Verstening is in de westerse wereld een groter probleem aan het worden. Mycelium is uitermate geschikt om op duurzame manier tegels of bouwstenen van te maken. Daarnaast zijn deze tegels duurzaam te produceren, zijn water doorlatend en is gemakkelijk te recyclen. (sparlcampus, 2019) Deze schimmels groeien op organische afvalstoffen. In de huidige situatie is hiervoor nog wel meer onderzoek nodig om de tegel toepasbaar te maken voor een weg. De basis hiervoor is er en onderzoekers zijn overtuigd van de mogelijkheden van de mycelium tegel.



Figuur 12: Mycelium tegel (kunstkieken, 2019)

7.3 Solar Road

De Solar Road is een weg waarbij de bovenste laag asfalt is vervangen door PV-panelen. Deze PV-panelen zetten de stralingsenergie van de zon om in elektriciteit. Deze elektriciteit kan vervolgens als groene stroom worden verkocht en gebruikt worden door huishoudens en bedrijven et cetera. In figuur 13 is een Solar Road weergegeven.



Figuur 13: Voorbeeld SolarRoad (Ryan, 2018)

7.3.1 Eigenschappen Solar Road

De Solar Road bestaat uit drie lagen. Deze lagen worden, respectievelijk van bovenste naar onderste laag, de Road Surface Layer, Electronic Layer en Base Plate Layer genoemd.

De Road Surface Layer is de bovenste laag. Deze laag moet een hoge sterkte hebben en doorschijnend zijn. De laag moet ook ruw genoeg zijn om grip te bieden voor de passerende voertuigen. Het wegdek moet doorschijnend zijn zodat het zonlicht de fotonvoltaïsche cellen kan bereiken. Fotonvoltaïsche cellen zijn beter bekend als PV-cellen. De cellen worden gebruikt om het zonlicht te converteren naar elektriciteit.

De Electronic Layer is de middelste laag. In deze laag zijn microprocessors geïmplementeerd. Deze microprocessors worden gebruikt om de lading op het wegdek te detecteren en het warmte-element aan te sturen. Door het gebruik van de warmte-elementen zal de sneeuw dat op het wegdek valt smelten. Ook zijn er intelligente Ledlampen geïmplementeerd in de elektronische laag. Deze intelligente lampen worden aangestuurd door de microprocessors, waarbij ze alleen oplichten als voertuigen over de weg rijden. De lampen kunnen ook gebruikt worden om waarschuwingen op het wegdek te tonen als bijvoorbeeld te hard wordt gereden.

De onderste laag, de Base Plate Layer genaamd, distribueert de elektriciteit en de data-signalen van het internet en telefoon et cetera naar de huizen en bedrijven. Deze onderste laag is weerbestendig zodat het de elektronische laag erboven kan ondersteunen in zijn functie.

7.3.2 Ervaringen met de Solar Road

De SolarRoad is een concept dat wereldwijd is toegepast. Zo ook in China. De één kilometer lange zonneweg die hier is gebouwd, is weergegeven in figuur 14. De ingenieurs die aan de weg hebben gewerkt, beweren dat de weg 1 gigawatt per jaar kan genereren, genoeg om 93 Amerikaanse huishoudens van stroom te voorzien (PATEL, 2017). De kosten hiervan zijn relatief hoog. Het kost 458 dollar per vierkante meter, tegenover 5 dollar per vierkante meter voor een normale asfaltweg.



Figuur 14: Zonneweg in China (PATEL, 2017)



Figuur 15: Helling zonnepanelen inclusief efficiëntie (Richting en invalshoek, 2014)

Een ander nadeel van de zonneweg is dat de panelen niet in de optimale hoek ten opzichte van de zon zijn geplaatst. De optimale hoek verschilt per tijd van het jaar, maar over het algemeen werkt het PV-paneel het efficiënt als het onder een hoek van 36 graden is geplaatst. De panelen die verwerkt zijn in de zonneweg liggen plat op de weg, praktisch gezien dus horizontaal. Dit heeft als gevolg dat de capaciteit van de panelen niet optimaal wordt benut. Het plat liggen van de panelen kan uiteindelijk resulteren in een vermogensverlies van maar liefst 60 procent (Solar Roadways: An Engineering FAILURE, 2017).

In Nederland is ook een zonneweg gebouwd. Deze zogenaamde SolaRoad ligt in Krommenie.

Na een maand ondervond het fietspad al problemen; de bovenste bescherming laag raakte los als gevolg van ongunstige weercondities. De bovenste laag is vervolgens vervangen door een beter geschikt materiaal, dat momenteel nog getest wordt.

De kosten die gemaakt zijn om de SolaRoad aan te leggen ligt rond de 4 miljoen euro en hiermee is 3.000 kilowatt aan energie opgewekt. Dit is genoeg om een huishouden een jaar lang van stroom te voorzien. Aangezien de kosten voor een kilowatt in Nederland 2 euro is, kan met het geld dat de SolaRoad heeft gekost 520.000 kilowatt worden gekocht. Dit is genoeg stroom om 173 huishoudens een jaar lang te voorzien (Huntington, 2016).

Toch zijn de verwachtingen voor de toekomst van dit product volgens TNO positief. (TNO, 2019) De verwachte elektriciteitsopbrengst per 100 meter SolaRoad ligt nu rond de 300.000 kWh per jaar. Als deze techniek overal toegepast zou worden in Nederland (140.000 km) zou dit genoeg op kunnen leveren voor 9 miljoen elektrische auto's.

7.3.3 Conclusie

De SolarRoad is een weg waarbij de bovenste laag asfalt is vervangen door PV-panelen. Deze PV-panelen zetten de stralingsenergie van de zon om in elektriciteit. De Road Surface Layer is de bovenste laag. Deze laag moet een hoge sterkte hebben en doorschijnend zijn zodat het zonlicht de fotonvoltaïsche cellen kan bereiken. De Electronic Layer is de middelste laag. In deze laag zijn microprocessors geïmplementeerd. De onderste laag, de Base Plate Layer genaamd, distribueert de elektriciteit en de data-signalen.

De SolarRoad is een concept dat wijdverbreid is toegepast. Zo is er een zonneweg in onder andere Nederland en China gebouwd. Bij beide wegen bleek dat de energieopbrengst kostentechnisch gezien niet efficiënt is. Een kilometer Solar Road kost al snel enkele miljoenen. Ook bleken er materiaal technisch problemen te ontstaan. Een ander groot probleem van het concept is dat de panelen niet in de optimale hoek ten opzichte van de zon staan, dat uiteindelijk kan resulteren in een vermogensverlies van maar liefst 60 procent. Toch zijn de verwachtingen voor de toekomst van dit product volgens (TNO, 2019) positief. De verwachte elektriciteitsopbrengst per 100 meter SolaRoad ligt nu rond de 300.000 kWh per jaar.

7.4 Grasfalt

Grasfalt is een innovatief asfaltmengsel waarbij bitumen zijn vervangen door het bio-based bindmiddel lignine dat afkomstig is uit olifantsgras. Grasfalt zorgt voor:

- Besparing van fossiele grondstoffen.
- Twintig procent CO₂-reductie door de lagere productietemperatuur van grasfalt. Namelijk 130 °C in plaats van 170 °C. Dit betekent een besparing van ruim twee kubieke meter gas per ton asfalt.
- Duurzame opslag van CO₂ door olifantsgras.

Olifantsgras zorgt voor:

- Zet zeer effectief CO₂ om in biomassa.
- Olifantsgras neemt tot vier keer meer CO₂ op dan bomen.
- Per hectare olifantsgras, dat goed is voor 3.2 ton lignine, wordt per jaar 26,4 ton CO₂ opgenomen.
- Goede opbrengst zonder bemesting; tot circa twintig ton per hectare per jaar.
- Alleen onderhoud tijdens het eerste en tweede jaar.
- Vanaf het tweede tot 20-25 jaar te oogsten met volle opbrengst.
- Door op het juiste moment te oogsten blijven de nutriënten achter in het wortelstelsel en wordt de bodem niet uitgeput.

Grasfalt is volop in ontwikkeling: in het huidige grasfalt wordt 50 procent van schadelijke bitumen vervangen door lignine uit olifantsgras, maar er wordt gestreefd naar 100 procent. (NTP, 2018)

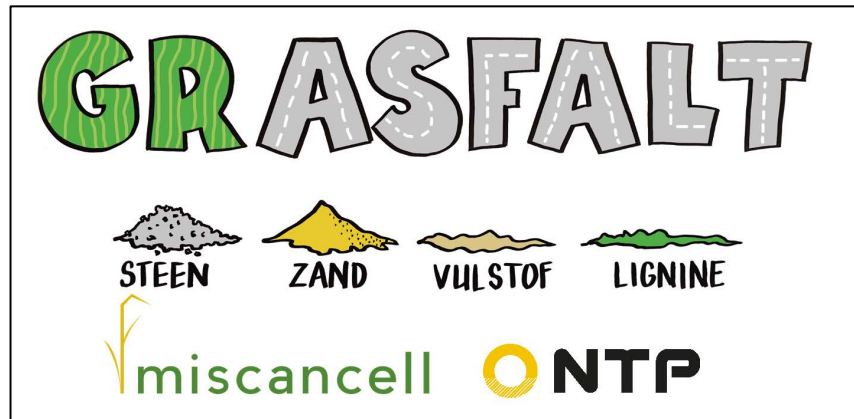
7.4.1 Waarom olifantsgras?

Olifantsgras, wordt ook wel het *groene goud* genoemd. Het groeit als kool, heeft de energetische waarde van steenkool en heeft nauwelijks onkruidbestrijding, insecticide, irrigatie of bemesting nodig. Tevens kunnen er bouwmaterialen, papier, bio-plastics of biobrandstoffen van gemaakt worden.

Het gewas is sterk, buigzaam en bevat weinig vocht, zodat het niet eerst gedroogd hoeft te worden voor verdere verwerking en dat scheelt veel energie. De planten hebben een jaar nodig om zich te vestigen maar daarna kan er ieder jaar ongeveer 20 ton olifantsgras per hectare geoogst worden.

Het gewas wordt zo'n vier meter hoog waardoor er geen onkruidbestrijding hoeft te worden gebruikt, andere planten hebben simpelweg geen kans om het olifantsgras te verdringen. Ook insecticiden hoeven niet gebruikt te worden, bemesting is niet nodig en irrigatie evenmin. Het gewas heeft namelijk maar zo'n 650 millimeter regen per jaar nodig en in Nederland valt bijna altijd meer dan dat. (PBL, 2015)

Extra voordeel, olifantsgras kan ook heel goed verbouwd worden onder de aanvliegroutes van Schiphol en heeft als bijkomend voordeel dat het ganzen weert. De vogels, die in groten getale in de buurt van Schiphol neerstrijken om te foerageren, houden namelijk niet van dit gewas waardoor er minder dieronvriendelijk gans-werende middelen hoeven worden ingezet om botsingen met vliegtuigen te voorkomen. (Maartje, sd)



Figuur 16: Eigenschappen Grasfalt

7.4.2 Mogelijke toepassingen olifantsgras

Olifantsgras kan dus toegepast worden op de toplaag, als bindmiddel. Dat is de vorm zoals het bij Grasfalt gebruikt wordt.

Een andere toepassing van olifantsgras is het verwerken in de middenlaag, als vervanging of ondersteuning van het betongranulaat. Hiermee blijft de verstevigde werking van het wegdek en voorkomt de spoorvorming.

7.5 Voegovergangen

Onderstaand zijn drie toepassingen weergegeven voor geluidloze voegovergangen. Deze voegovergangen zullen het mogelijk maken om de weg modulair te plaatsen.

7.5.1 SN multi joint



De standaard bitumineuze voeg ook wel, SN Multi-joint, is een flexibele voegovergang constructie die bestaat uit gemodificeerde bitumen en aggregaten. Deze voegovergang kan in allerlei wegen worden toegepast. Bij deze toepassing is er nauwelijks last van geluidsoverlast voor de omgeving. Deze voegovergang zou mogelijk een functie kunnen bieden voor het kliksysteem in de modulaire weg. Daarnaast is de voegovergang wel waterdicht. (Smits Neuchatel, sd)

Figuur 17: SN multi joint

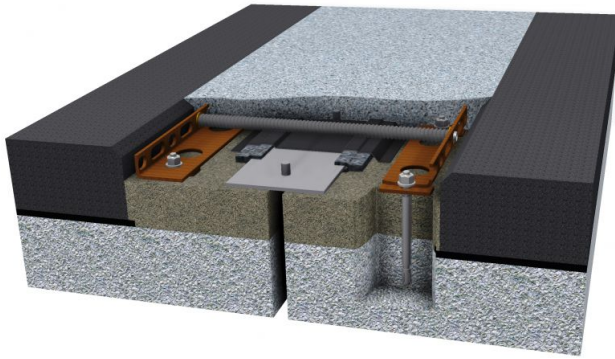
7.5.2 SN prismo joint



De SN prismo joint is een duurzame voegovergang. Daarnaast is deze voegovergang uitermate geschikt voor een duurzaam gebruik, omdat het nauwelijks zorgt voor geluidshinder en de voegovergang gaat langer mee dan 10 jaar. (Smits Neuchatel, sd)

Figuur 18: Voegovergangen.

7.5.3 Flexibele Polyflex Advanced PU



Deze voegovergang is zoals de vorige twee uitermate geschikt als duurzame voegovergang. Het geeft voor de maatschappij geen geluidshinder. Deze voegovergang is gemaakt van kunststof en zorgt ervoor dat de constructie beschermt blijft tegen water. De kunststof is opgewassen tussen lage en hoge temperaturen van (-50 en 70 graden). (Smits Neuchatel, sd)

Figuur 20: Flexibele Polyflex Advanced PU

8 De middelste laag

De laag onder de bovenste laag. Deze laag dient als fundament voor de deklaag. Het biedt stevigheid tegen de druk die op de weg wordt uitgeoefend door het wegverkeer. Deze middelste laag bestaat momenteel voornamelijk uit menggranulaat. In dit onderzoek komen de mogelijkheden naar voren om deze laag te verduurzamen.

8.1 Betongranulaat

Betongranulaat is geschikt als verharding voor onder straatwerk. Het heeft een hogere constructieve waarde dan enkel een bed van straatzand en is dus uitermate geschikt voor relatief zwaarbelaste oppervlakten en verminderd spoorvorming. Betongranulaat is harder dan puingranulaat en is daarom voornamelijk geschikt voor zware belasting.

Betongranulaat wordt geproduceerd door het breken van betonpuin. Betongranulaat is een samenstelling van minimaal 90% beton en hardsteen waarvan de korrels een droge dichtheid bezitten van ten minste 2.100 kg/m³, en maximaal 10% overige steensoorten waarvan de korrels een droge dichtheid bezitten van ten minste 1.600 kg/m³.

Betongranulaat bestaat dus uit hergebruikt bouw materiaal. Weliswaar bestaat het granulaat uit beton. Beton is een kunstmatig steenachtig materiaal, dat als bouw materiaal wordt gebruikt. Het moderne beton is samengesteld uit het bindmiddel cement en uit een of meer toeslagmaterialen zoals zand, grind of steenslag. Cement heeft de eigenschap dat het door toevoeging van water verhardt. Voornamelijk zand is geen oneindige grondstof en kan moeilijk teruggewonnen worden.

8.2 Asfaltgranulaatcement

Asfaltgranulaat is de laag bovenop het zandbed. Het heeft dezelfde functie als het hierboven beschreven betongranulaat. Het is dus geschikt als verharding voor onder straatwerk. Het heeft een hogere constructieve waarde dan enkel een bed van straatzand en is dus uitermate geschikt voor relatief zwaarbelaste oppervlakten en verminderd spoorvorming.

Asfaltgranulaatcement (voorheen: breekasfaltcement, BRAC) is een homogeen mengsel van asfaltgranulaat, cement, natuurlijk zand en water. Het asfaltgranulaat wordt verkregen door het breken van asfaltpuin of het frezen (en daarna breken) van bitumineuze wegverhardingen. Asfaltgranulaatcement is van oorsprong teerhoudend.

Asfaltgranulaat kan zowel op het werk gemaakt worden als in een fabriek gemengd. Als het op het werk gemaakt wordt worden componenten afzonderlijk in lagen aangebracht, waarna het gemengd wordt tot een homogene laag.

Teerhoudend asfaltgranulaat mag sinds 2001 niet meer worden toegepast en volgens het Besluit Bodemkwaliteit ook niet worden hergebruikt. Waardoor thermische reiniging noodzakelijk is.

In asfaltgranulaatcement wordt als bindmiddel bitumen gebruikt. Hoewel bitumen qua massapercentage het minst belangrijke ingrediënt is van een asfaltmengsel, is juist het gebruik van bitumen kenmerkend in vergelijking met bijvoorbeeld beton, dat geen bitumen maar cement als bindmiddel bevat. Bitumen is een viskeuze vloeistof die van nature voorkomt in ruwe aardolie. Zoals bekend is aardolie een oprakende grondstof van de aarde en daarom is het gebruik ervan niet duurzaam. Daarentegen kunnen bitumen volledig hergebruikt worden.

8.3 Olifantsgras

De twee hiervoor beschreven opties zijn gangbare materialen die gebruikt kunnen worden voor de middelste laag. Een alternatief hiervoor is olifantsgras. Zoals al eerder beschreven, het is een plant die voor vele doeleinden gebruikt kan worden. Het is ontwikkeld tot grasfalt wat de bovenste laag zou kunnen zijn van een weg. Maar het kan dus ook als versteviging van de middelste laag gebruikt worden.

Het bedrijf 'Vibers' heeft beton uit olifantsgras ontwikkeld, dit zou gebruikt kunnen worden in de laag als versteviging. Een voordeel van dit soort beton is dat dit geen cement bevat, want cement heeft een grote CO₂ uitstoot. De stevigheid wordt geboden door de lignine die in het olifantsgras zit. (Maartje, sd)

9 De onderste laag

In dit hoofdstuk worden de onderzoeken van de onderste laag van een wegdek uitgewerkt. Deze laag moet stevigheid en ondersteuning bieden aan de lagen bovenop. Allereerst is een bodemonderzoek uitgewerkt bij Metaal Kathedraal. Hieruit blijkt welk type ondergrond in de buurt van Metaal Kathedraal is. In dit hoofdstuk zal ook worden uitgewerkt of deze ondergrond van toepassing kan zijn.

9.1 Bodemonderzoek Metaal Kathedraal

Om een wegdek te kunnen leggen is er een ondergrond nodig. Voor een ondergrond, oftewel de onderste laag, kunnen drie verschillende typen ondergronden gebruikt worden: klei, veen en zand. Rondom de Metaal kathedraal ligt klei en veen. Op de kaart is dit te zien. Het rode puntje is de locatie van Metaal kathedraal. Daaromheen ligt klei (groen) en veen (bruin).



Figuur 21: Bodemkaart rondom Metaal Kathedraal (Provincie Utrecht, 2019)

9.2 Zandbed

Voor een goede verspreiding van de wegbelasting is een goede, stevige ondergrond nodig. Naast de verticale belasting van voornamelijk de voertuigen, zijn er horizontale krachten in het wegdek. Deze verticale belasting treedt op door de massa die drukt op de dwarshelling in het straatwerk. Daarnaast zal dit komen door de stotende krachtwerking van de massa, de remkracht en het acceleratievermogen van zwaardere motorvoertuigen. Deze krachten worden afgezet op het bestratingswegdek, dit is het wegdek waarop de voertuigen met hun banden de grond raken. Om voorkoming van het schuiven van het wegdek te voorkomen zal een stabiele ondergrond noodzakelijk zijn. (Vaan, 2019)

Het zandbed heeft de volgende functies:

- Het dient als een dragende laag voor de top laag;
- Het zorgt voor spreiding van de belasting en lasten (uiteindelijk naar de bodem/ondergrond);
- Het biedt weerstand aan blijvende vervorming zoals het voorkomen van oneffenheden, onvlakheden en spoorvorming;
- Het werkt als een drainerende laag voor de neerslag in de richting van het grondwater;
- Het zorgt ervoor dat de capillaire werking van het grondwater geen schade kan aanrichten.

Er zijn drie verschillende zandbedden: het gewone zandbed, het verbeterde zandbed en een stabiliserende laag in het verbeterde zandbed.

De kunst van Straatbouw & Straatwerk heeft uitgezocht wat de technische specificaties zijn van de verschillende soorten zandbedden. Deze onderzoeken zijn in de volgende drie alinea's verdeeld (Vaan, 2019).

9.2.1 Het gewone zandbed

De grondsoort zand is als volgt gedefinieerd: zand is een natuurlijk loskorrelig afzettingsgesteente, dat bestaat uit een mengsel van voornamelijk minerale deeltjes. De korrelgrootte van deze deeltjes ligt tussen 0,063 (63µm) en 2 mm. Bij het gewone zandbed wordt als funderingslaag een laag zand toegepast dat aan de genormeerde kwaliteitseisen voldoet, weinig leem bevat en heel goed kan worden verdicht. De laagdikte is minimaal 400mm. Een uitzondering hierop vormt het gewone zandbed voor eenvoudige tuinverhardingen en zonder zware verkeersbelasting. Hiervoor kan een zandbed met een dikte van 150 tot 300 mm worden aangehouden (Betonhuis, 2018).

9.2.2 Verbeterd zandbed

Een verbeterd zandbed wordt toegepast bij zwaarder belaste plaatsen in de straat waar extra stabilisatie nodig is zoals in bochten waar wringend verkeer rijdt en waardoor het raakvlak van de band een draaiende beweging ten opzichte van het straatwerk maakt. Ook op kruispunten en plaatsen waar sterk wordt geremd of opgetrokken wordt. Door de toevoeging van brekerzand - met een hoekige korrel - aan het normale beddingzand ontstaat een veel stabielere zandbed. Aan de korrelverdeling van brekerzand worden hogere eisen gesteld. De mengverhouding met het normale beddingzand is: 1 deel brekerzand op 3 delen beddingzand (Betonhuis, 2018).

9.2.3 Stabilisatie laag in verbeterd zandbed

Als de verkeersbelasting nog hogere eisen stelt aan de stabilisatie kan slakkenzand worden toegevoegd. (Hoogoven)slakkenzand is een granulaat of gebroken slak. De korrels van het zandbed verstenen zich door de hydraulische werking van het slakkenzand met elkaar. Intensief mengen met het beschikbare beddingzand is noodzakelijk in de mengverhouding 1 deel slakkenzand op 3 delen beddingzand. Dit geeft aan de bovenste laag van 20 cm voldoende stabiliteit. Het mengsel kan vooraf geprepareerd - in droge vorm - worden aangebracht, dan wel mix-in-place door middel van bodemfreen met de bestaande zandlaag worden gemengd. In geval van zeer zwaar verkeer of extreme belastingen kan toevoeging van (droge) cement aan de bovenste laag worden overwogen. Het cement dient dan te worden toegevoegd in de verhouding 1:15 à 1:25 (dit komt overeen met 10 à 20 kg cement per m²). Het droge mengsel dient door trillen te worden verdicht, waarna de stabilisatie/verstening door regenwater of sproeien geleidelijk (na weken) tot stand komt. Het zal duidelijk zijn dat de bestrating tijdens de uitharding periode van een dergelijke stabilisatie laag nog niet volledig door zwaar verkeer belast mag worden (Vaan, 2019)

9.3 Klei

Klei kan ook uitstekend worden gebruikt als stevige ondergrond voor de toplagen. Klei heeft vanuit zichzelf een stevige structuur die uitermate geschikt is als onderlaag. Een groot nadeel van klei is de erodeerbaarheid van het materiaal. Wanneer er water onder het wegdek komt zal de klei eroderen en zo wordt het wegdek beschadigd. (dreamstime, 2019)

9.4 Veen

Veen kan net als klei gebruikt worden als stevige ondergrond. Veen en klei hebben beide het nadeel bij droogte dat er scheuren zullen ontstaan in de onderste laag. Hierdoor kunnen verzakkingen ontstaan. Veen en Klei worden in huidige wegen vaak gebruikt. (gelderlander, 2018)

10 Relevante manieren energie opwekken

Aangezien de opdrachtgever als wens heeft dat de met behulp van aspecten van de weg energie wordt opgewekt, is het van belang verschillende opties hiervoor in kaart te brengen. Het zijn verschillende manieren die zijn op te delen in twee onderdelen, in de weg en naast/bij de weg.

10.1 Energieopwekking in het wegdek

Het opwekken van energie kan verwerkt worden in het wegdek zelf en kent hier een aantal manieren voor. De manieren die onderzocht worden, zijn de SolarRoad, Piëzo-elektriciteit, Gravity energy, de e-tegel, glowing lines en de asphalt solar collector.

10.1.1 SolarRoad

De SolarRoad is een in 2014 geïntroduceerde innovatie waarbij zonnepanelen in een fietspad geïntegreerd zijn. Deze weg is in een aantal pilotversies getest om te ontdekken wat de werkelijke opbrengst is en of het wegdek de omstandigheden op de weg aan kan.

Op 7 maart 2019 zijn op twee locaties in Noord- en Zuid-Holland het zonnewegdek geplaatst, de eerste stap richting grootschalige toepassing op autowegen. Echter zijn op 13 maart, nog geen week later, tijdens reguliere inspectie twee gaten gevonden in het wegdek. Daardoor is er als gevolg ook water onder het wegdek terecht gekomen. In figuur 22 zijn deze gaten in het wegdek te zien. De verwachting is dat het komt vanwege de grote krachten die een bus op de weg levert (SolarRoad BV, 2019).



Figuur 22: SolarRoad gaten na één week gebruik (SolarRoad BV, 2019)

In hoofdstuk 7.5 is meer achtergrondinformatie over de SolarRoad te vinden. In dit onderzoek komt naar voren dat de SolarRoad kostentechnisch gezien niet efficiënt is. Zo is er een zonneweg in onder andere Nederland en China gebouwd. Een kilometer SolarRoad kost al snel enkele miljoenen. Ook bleken er materiaal-technisch problemen te ontstaan. Een ander groot probleem van het concept is dat de panelen niet in de optimale hoek ten opzichte van de zon staan, dat uiteindelijk kan resulteren in een vermogensverlies van maar liefst 60 procent. Toch zijn de verwachtingen voor de toekomst van dit product volgens TNO positief. De verwachte elektriciteitsopbrengst per 100 meter SolarRoad ligt nu rond de 300.000 kWh per jaar.

10.1.2 Piëzo-elektriciteit

Een piëzokristal geeft elektriciteit af als er druk op wordt uitgeoefend. Op dit moment wordt door Professor Dr. Beatriz Noheda onderzoek gedaan om de kristallen in te zetten voor het opwekken van energie op grootschalig niveau. Op dit moment worden piëzokristallen ingezet in bijvoorbeeld aanstekers van gasfornuizen. Het piëzo-elektrisch effect is het verschijnsel dat kristallen van bepaalde materialen onder invloed van druk, bijvoorbeeld door buiging, een elektrische spanning produceren en andersom.

Toch is er een probleem die de piëzokristallen op dit moment met zich meebrengen. De beste kristallen bestaan voor een gedeelte uit lood. Lood is een giftige en niet-milieuvriendelijke stof. Het onderzoek van Dr. Beatriz Noheda is erop gericht om piëzo-elektriciteit te creëren, zonder de inzet van lood.

10.1.2.1 Andere mogelijke stoffen

Buiten de al genoemde stoffen zijn er vele andere kristallen die piëzo-elektriciteit vertonen, waaronder analoge structuren van kwarts en keramische stoffen met de perovskietstructuur.

Ook polymeren als rubber, wol, haar, hout, en zijde vertonen een zekere mate van piëzo-elektriciteit. De polymeer polyfluoretheen geeft een effect dat zelfs veel groter is dan dat van kwarts. Een piëzo-elektrisch kristal is vaak gebaseerd op barium -, lood - of magnesiumverbindingen.

Uit het onderzoek van Dr. Noheda zal moeten blijken welke stof het beste kan worden ingezet voor de toepassing op het wegdek.

10.1.2.2 Toepassing van piëzo-kristallen: de E-tegel

Op een basisschool in Deventer zijn tegels aangelegd die licht geven als kinderen erop springen. Het is de eerste keer dat de e-tegel wordt toegepast en getest in de praktijk. De e-tegel is bedacht en ontwikkeld door Tauw en straatmeubilairspecialist Grijsen park en straatdesign. (Tauw, sd) Het licht dat zichtbaar wordt, ontstaat door het piëzo-effect.

10.1.2.3 N34

Tauw en Universiteit Twente deden al eerder proeven met het omzetten van trillingen in energie met behulp van piëzotechniek. Een proefproject op de N34 bij Hardenberg werd eerder dit jaar afgerond. In dat project is aangetoond dat het lokaal opwekken van elektriciteit door middel van trillingen mogelijk is. Op de N34 zijn de trillingen van het wegverkeer omgezet in elektriciteit door piëzoelementen onder het wegdek aan te brengen. De piëzotechniek is nu verder ontwikkeld en geïntegreerd in een stoeptegels van roestvast staal.

Als de testresultaten goed zijn, neemt Grijsen de e-tegel nog dit jaar in productie (Tauw, sd).

10.1.3 Icoon Afsluitdijk

Dit is een project om elektriciteit en licht op een mooie manier te gebruiken, geen manier om het op te wekken.

Icoon Afsluitdijk is een designinnovatieproject met tijdelijke en permanente werken voor de 32 km lange iconische dijk, dat geleid wordt door Daan Roosegaarde en zijn team van ontwerpers, technici en ontwikkelaars. Aan ontwerper Daan Roosegaarde is gevraagd een bijdrage te leveren aan de iconische waarde van de dijk onder de naam 'Icoon Afsluitdijk'. Met een subtiele laag die licht en duisternis en verleden en toekomst met elkaar verbindt, versterkt Roosegaarde de schoonheid van de dijk en maakt hij nieuwe koppelingen tussen mens en landschap, verleden en toekomst, duister en licht, poëzie en functionaliteit.

Roosegaarde heeft diverse internationale awards gewonnen in de design- en kunstwereld en is onder meer tentoongesteld in het Rijksmuseum in Amsterdam, Tate Modern in London en openbare ruimtes over de hele wereld. Interactie, innovatie en schoonheid staan centraal in wat hij omschrijft als 'techno-poëzie' (De Afsluitdijk, 2017).

10.1.4 Glowing lines

Glowing Lines is een concept van Daan Roosegaarde, een Nederlandse designer. Het idee is dat in het wegdek een soort glow in the dark lijnen zijn verwerkt. Deze functioneren naast de normale veiligheidslijnen ook al straatverlichting in de nacht. Het idee is dat ze overdag opladen door middel van zonne-energie en dit dan s' avonds weer loslaten in de vorm van straatverlichting (Studio Roosegaarde, 2013). Zie rechts het figuur voor een voorbeeld van het glowing lines concept.



Figuur 23: Glowing lines concept

Het concept is al in werking op de N329 in Oss, waarbij getest wordt in hoeverre het idee werkt. Dit wordt in samenwerking gedaan met Heijmans.

Daarnaast kunnen de lijnen net als de normale lantaarnpaal gestuurd worden in wanneer het licht aan of uit moet. Hiermee ontstaat in de lijnen nog een mogelijke sturing te zien in het figuur rechts, het kunnen veranderen van dichte lijn naar gestippelde.



Figuur 24: Verandering lijn concept

10.1.5 Gravity Energy

Gravity energy komt op het volgende neer: efficiënte energie uit zwaartekracht. Onderstaand wordt dit aan de hand van een kort artikel toegelicht.

Energie opwekken uit maar de kleinste beweging of het minste zuchtje wind, het klinkt de opwekkers van groene stroom over de hele wereld als muziek in de oren. Ze zullen voor inspiratie echter naar ons landje moeten komen, want een Nederlander heeft uitgevonden hoe je energie kunt opwekken uit zwaartekracht.

Architect Jan-jaap Ruijsenaars laat met een simpel systeem een gewicht net in onbalans liggen. Zo gaat het object zelf op zoek naar balans, ofwel: bewegen. Dat heeft natuurlijk alles met de zwaartekracht te maken.

Bij elke beweging komt energie vrij, legt de architect uit. Als je de energie van het balanceren van het gewicht dus kunt vangen, kan je daarmee stroom opwekken. In dit geval heeft Ruijsenaars een zogenaamde Piezo generator aan zijn opstelling gehangen, hier wordt de energie naartoe getransporteerd. Deze generator zorgt ervoor dat mechanische druk wordt omgezet in elektrische energie.

Hier wordt de elektrische lading in opgebouwd als gevolg van de spanning uit de onbalans. Volgens de uitvinder kan dit apparaatje een gedeelte van de energie ook weer worden gebruikt om het gewicht weer instabiel te maken. Zo blijf je dus stroom opwekken.

Aan *Reuters* vertelde de architect: „Ik probeerde iets te bedenken waarbij zwaartekracht het ene moment wel aanwezig was en het andere moment niet. Dan weer wel en dan weer niet, want als je eenmaal verandering in iets hebt, kun je daar energie uit halen.”

De opbrengst van deze uitvinding zou, eenmaal doorontwikkeld, enorm kunnen zijn. Volgens Ruijsenaars is zijn uitvinding bijvoorbeeld veel efficiënter dan andere manieren voor het opwekken van

groene stroom. Zonne-energie zou namelijk 20 procent efficiëntie halen, windenergie 45, maar de energie uit zwaartekracht is wel tot 80 procent efficiënt. (Vliet, 2016)

10.2 Energieopwekking buiten het wegdek

In deze paragraaf worden de opties uitgewerkt voor het opwekken van energie buiten het wegdek. Hierbij wordt bijvoorbeeld gebruik gemaakt van de warmte die vrijkomt door de wrijving van de auto's, de wind die auto's creëren.

10.2.1 Wind opvangen langs de weg voor elektra

Het Turkse bedrijf Deveci Tech is de uitvinder van een windturbine die zij de 'ENLIL' hebben genoemd. Hierbij wordt gebruikt gemaakt van een verticale as die draait op het moment dat wind door de turbine blaast. De toepassing is dat een turbine naast de weg wordt geplaatst, waarbij de wind die passerend verkeer veroorzaakt, wordt omgezet in elektriciteit. Daarnaast is een zonnepaneel op de top van de turbine toegevoegd als extra bron van energie.

Het bedrijf claimt dat deze turbines één Kilowatt per uur genereren. Deveci Tech is bezig om deze techniek verder te ontwikkelen en om andere modellen te ontwikkelen die geschikter zijn op andere locaties. (Deveci Tech, sd) (Enlil Vertical Axis Wind Turbine, 2018) (Deveci Tech's vertical wind turbine uses traffic to generate electricity, 2018)

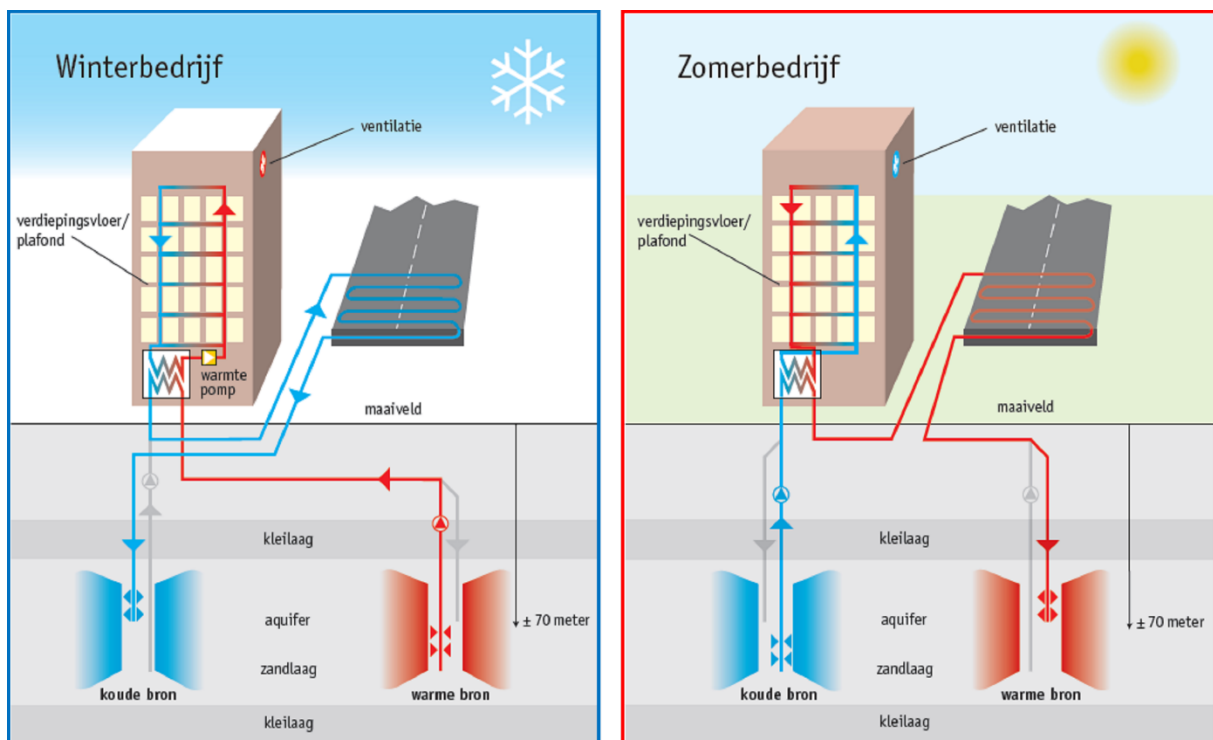
10.2.2 Leidingen kort onder het asfalt

Een van de manieren om duurzaam gebruik te maken van het asfalt is, door energie uit het wegdek te halen. In dit geval is de energie in de vorm van warmte. Door kleine leidingen te plaatsen van geleidend materiaal vlak onder het asfalt zal dit warmte opleveren. Doordat de zon urenlang op het asfalt schijnt, wordt dit asfalt warmer dan de omgevingslucht. Het water wat zo wordt opgevangen kan direct worden gebruikt door de warmtepomp. Daarnaast zal het koele water in de buizen ervoor zorgen dat het asfalt niet te warm wordt en dit zal het spoorvormen en scheuren in de weg reduceren. Daarnaast kan het in de winter gebruikt worden als verwarmingselement. Door warmwater door de buizen te laten stromen zal het asfalt opwarmen en hierdoor zal er geen sneeuw op de weg blijven liggen.



Figuur 25: Aanleggen leidingen voor onder het asfalt. (kodi, huni)

Door deze techniek slim toe te passen zal het wegdek langer meegaan. (kodi, huni)



Figuur 26: Interne leidingen

Hierboven weergegeven een technische toepassing die realistisch kan zijn in de huidige situatie. (nederland, 2019)

10.2.3 Solar Highways

Een optie voor windbescherming is een project van Rijkswaterstaat, waarbij de windschermen ook zonne-energie opwekken. Dit concept is in theorie erg rendabel vanwege de in totaal 782 kilometers aan geluidsschermen in Nederland (Heijmans, 2017). Echter zijn de resultaten lager dan verwacht, waardoor het project niet verder is ontwikkeld. De simulaties vanuit Heijmans gaven aan dat het concept in theorie een factor 9 meer stroom te kunnen leveren.

Het geeft dus aan dat dit concept veel potentie heeft maar nog veel nadelen. De opbrengst is nog te laag en het gemakkelijk aanbrengen van graffiti heeft forse impact op de opbrengst (SEAC, 2017). Daarbij is het plaatsen van geluidsschermen geen vereiste bij een 50 km/h weg zoals degene die onderzocht wordt.

10.2.4 Duurzame lantaarnpalen

Met behulp van duurzame lantaarnpalen kan ook energie worden opgewekt. Lantaarnpalen worden gebruikt om veiligheid te bieden door licht te geven als het donker is. Ze verbruiken dus stroom. Momenteel is Rijkswaterstaat bezig met het ontwikkelen van een bio-based lantaarnpaal op zonne-energie. De bedoeling hiervan is om energie te besparen en kosten te drukken (Biobased-lantaarnpaal op zonne-energie, sd).

De lantaarnpaal is gemaakt van een combinatie van biohars en natuurvezels. De hars bestaat voor 30 % uit plantaardige grondstoffen. De gehele lantaarnpaal is voor 65% bio-based. De lantaarnpaal is volledige afhankelijk van zonne-energie en er hoeven dus geen stroomkabels worden aangelegd. Ook wordt gebruik gemaakt van ledverlichting, wat een duurzame methode is om licht te geven. Dit hele concept is te zien in figuur 27.

Momenteel wordt verder onderzoek gedaan naar de mogelijkheden om te kijken of de lantaarnpaal voldoet aan de kwaliteits- en veiligheidseisen. Een testversie van de lantaarnpaal is geplaatst op de verzorgingsplaats Westkop. Rijkswaterstaat kijkt samen met de aannemer waar en wanneer de eerste reeks lantaarnpalen kunnen worden geplaatst.



Figuur 27: Duurzame lantaarnpaal.

10.2.5 Solar Bench

De naam zegt het al, een zitbankje met een zonnepaneel erin verwerkt. Het concept is simpel maar werkt. De bank vangt het licht op van de zon en zet dit om naar elektriciteit, vanwege het feit dat er geen hoek in zit is het rendement wel lager dan bij een normaal zonnepaneel. Echter is het een uitnodigende bank omdat elektriciteit gelijk geleverd kan worden aan uw telefoon, laptop of elektrische fiets. Ook zitten er usb-poorten in de bank en levert de bank ook gratis wifi. Alle specifieke details zijn te vinden in de brochure (Inframarks, 2018) en in de onderstaande afbeelding is het concept te zien.



Figuur 28: Een werkende Solar Bench.

10.3 Relevante manieren fijnstofvermindering

Om de weg zo energie neutraal mogelijk te maken is het ook nodig de uitstoot van de auto's te filteren. In een ideale wereld rijdt elke persoonsauto op elektriciteit of waterstof maar op de huidige Nederlandse weg is maar 1,4% elektrisch of plug-in hybride (CBS, 2018). Dit maakt dus dat 98,6% van de persoonsauto's slechte uitstoot heeft op de wereld.

Deze schadelijke uitstoot van auto's bestaat uit het welbekende CO₂ en fijnstof, die beide slechte impact hebben op uw gezondheid en die van de planeet. De slechte impact die CO₂ heeft op de planeet is welbekend en het is dan ook van groot belang dit zo veel mogelijk te verminderen. Fijnstof en haar gevolgen daarentegen zijn onbekender. Het is bijvoorbeeld een van de stoffen die bijdraagt aan de groeiende smog in druk bewoonde delen van het land. Daarnaast geeft volgens het ministerie van volksgezondheid blootstelling aan fijnstof een gemiddelde levensduurverkortung van 9 maanden (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, 2017).

Bij een optimale weg van de toekomst hoort dan ook een manier van filteren van de CO₂ en fijnstof die de weg uitstoot. Dit kan op verschillende wijzen, het eisen van alleen uitstootvrije auto's op de weg, het plaatsen van fijnstoffilters aan de zijkanten van de weg of het planten van lucht filterende planten.

10.3.1 Uitstootvrije auto's

Het alleen toelaten van uitstootvrije auto's op de weg is een onmogelijke taak voor een groep technische ontwerpers, dit is de taak van de regering in het land. Hier kan dan ook voor het ontwerpproces niets uit gehaald worden.

10.3.2 Fijnstoffilters

Het plaatsen van fijnstoffilters is normaliter iets voor ziekenhuizen, fabrieken en andere uitstotende of juist steriele plekken. Dit komt omdat hiervan de luchtstroom op een manier gestuurd wordt dat het door de filters moet, waardoor de lucht gefilterd kan worden. (CO₂label, 2017) zegt hier het volgende over: "Iedereen praat over fijnstof filters en Hepa filters maar realiseer goed dat er veel prestatieverschillen zijn. Check altijd de prestatieklasse:

- » Filterklasse EU 5 t/m EU9: groffe stofdeeltjes, pollen, bouwstof, zand, cementstof
- » Filterklasse EU 10: schimmelsporen
- » Filterklasse EU11 t/m EU12: kattenallergenen, dieselloet, ziektekiemen, bacteriën, antrax
- » Filterklasse EU13 t/m EU14: tabaksrook, asbest
- » Ulpa filterklasse EU15 t/m EU16: smog, gas, pesticiden"

Dit geeft al een beeld van verschillende soorten fijnstoffilters, waaruit blijkt dat voor de smog en gassen die de auto's uitstoten de hoogste filterklassen vereisen. Hiermee komt dus het probleem van fijnstoffilters aan de weg naar voren, de kosten. Ook komt de lucht die gefilterd moet worden niet perse door de filters heen. De uitstoot kan niet gestuurd worden omdat de weg in open lucht is. Hierdoor is het effect van de filters dus ook miniem en zal het dus zeer inefficiënt zijn om luchtfilters te plaatsen aan de weg.

10.3.3 Lucht filterende planten

Het filteren van fijnstof is dus eigenlijk alleen mogelijk wanneer deze lucht door de hoogste filterklasse van een luchtfilter heen wordt gestuurd. Dit maakt het dus

10.4 Veiligheid bewaren op de weg

Ook de veiligheid van de weg is van belang, de grip op de weg, vangrails, verlichting etc. Het zijn allemaal punten die in het keuzeproces naar voren komen. Een goede verlichting is natuurlijk vereist, zoals nu op de normale weg ook. Grip op de weg is een lastige, vooral met water maar dat wordt behandeld in het wegdek hoofdstuk.

Hetgeen dat ook geïmplementeerd kan worden om een weg veiliger te maken is een vangrail. Echter is de huidige vangrail langs de Nederlandse snelweg gemaakt van staal (Rijksoverheid, 2018). Dit heeft een hoge milieu-impact en zou dus in de weg van de toekomst anders moeten. Eurorail (Eurorail, 2019) heeft dan ook de houten geleiderail ontworpen, deze bestaat uit grotendeels hout maar daar waar nodig nog staal. Dit verbetert de duurzaamheid aanzienlijk, een foto van het concept is te zien in het onderstaande figuur.



Figuur 29: De houten vangrail van Eurorail

Echter is het huidige onderzoek naar een 50 km/h weg, dus zal deze vangrail overbodig zijn. Op de huidige weg is ook geen vangrail benodigd.



Deel 4

Ontwerp en keuze

In dit deel worden de conclusies van het onderzoek beschreven. Op basis van de hiervoor beschreven onderzoeken, zullen de verschillende opties naast elkaar gelegd worden. De opties worden vergeleken met verschillende methodieken en overzichten.

Het eerste type overzicht is een morfologische kaart. Het doel van een morfologisch overzicht is in de ontwerpmethodologie het onderzoeken van alle mogelijke oplossingen van een complex probleem. Aan de hand van het overzicht, zullen de verschillende opties met elkaar vergeleken worden.

Het vergelijken wordt uitgevoerd door middel van verschillende confrontatiematrix, uitgevoerd per laag van het wegdek. De confrontatiematrix wordt in deze context gebruikt om een score toe te kennen aan de verschillende opties. De toegekende scores zullen onderbouwd worden onder de matrix. Op deze manier wordt verwacht, een zo goed mogelijk eindproduct te ontwikkelen.

11 De gewenste situatie

In dit hoofdstuk wordt de gewenste situatie omschreven. Allereerst zal kort samenvattend beschreven worden waar de gewenste situatie aan dient te voldoen. Het zal vervolgens uitgewerkt en gevisualiseerd worden door middel van visualisaties van de nieuwe, gewenste werkelijkheid op schematisch niveau.

11.1 Eisen gewenste situatie

Op basis van de genoemde tekortkomingen zijn een aantal eisen en wensen bepaald. Hieraan zal de gewenste situatie minimaal moeten voldoen. De gewenste situatie is een duurzame weg die aan de eisen en wensen van een huidig wegdek voldoet. Vanuit het oogpunt van het project zal de nieuwe weg ook aan de eisen van de opdrachtgever moeten voldoen. De punten worden onderstaand benoemd en worden vervolgens per punt uitgewerkt. De nieuwe, duurzame zal:

- Voldoende draagvlak bieden;
- Energie kunnen opwekken;
- Voldoende comfort bieden;
- De weg kunnen laten ademen;
- Voldoende veiligheid kunnen garanderen;
- Circulair zijn;
- Gebruik maken van de kracht en kunde van de aarde.

11.1.1 Draagvlak bieden

Draagvlak bieden is één van de deelfuncties van een weg. Met deze functie wordt het wegdek en alle bijbehorende facetten bedoeld waar voertuigen overheen rijden en die dit wegdek ondersteunen.

11.1.2 Energie opwekken

Een andere deelfunctie is energie opwekken. Hiermee worden alle aspecten van de duurzame weg bedoeld waarmee energie kan worden opgewekt. Het opwekken van de energie kan zowel vanuit het wegdek als erbuiten.

11.1.3 Comfort bieden

De deelfunctie comfort bieden is onderverdeeld in verdere deelfuncties geluid dempen, water geleiden, stevigheid bieden en verlichting creëren. Het nieuwe wegdek zal in dit opzicht niet onderdoen aan het huidige wegdek.

11.1.4 Een ademende weg

Een wens van de opdrachtgever is dat de weg kan ademen, of waterdoorlatend is. In functionele termen zal dat als volgt worden omschreven: een wegdek die voldoende water en zuurstof doorlaat, zodat de grond onder het wegdek niet verstikt, oftewel na afbraak van het wegdek hergebruikt kan worden.

11.1.5 Veiligheid garanderen

Een eis van het nieuwe wegdek is dat het de veiligheid van de weggebruikers gegarandeerd kan worden. Geen enkel ongeluk of onveilige situatie mag ontstaan door het falen van het wegdek.

11.1.6 Circulariteit

Na het recyclingproces zijn de producten weer bruikbaar voor dezelfde doeleinden. Ditzelfde wordt geëist van de grondstoffen van de nieuwe weg. De nieuwe weg moet bestaan uit onderdelen die herbruikbaar zijn.

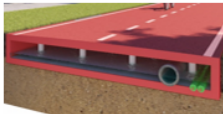
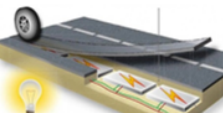
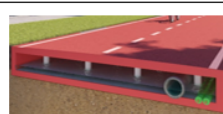
11.1.7 Kracht en kunde van de natuur

Een wens van de opdrachtgever is dat de nieuwe weg samenwerkt met de kracht en kunde van de natuur. Dit houdt in dat gebruik moet worden gemaakt van aardse eigenschappen en grondstoffen.

11.2 Morfologische kaart

In dit hoofdstuk wordt de morfologische kaart uitgewerkt, te zien in figuur 30. In deze morfologische kaart worden in de linker kolom de functies weergegeven die onderzocht zijn. Deze functies zijn *draagvlak bieden*, *energie opwekken* en *de weg laten ademen*. Draagvlak bieden is onderverdeeld in draagvlak bieden van de onderste, middelste en bovenste laag. Energie opwekken is verdeeld in energie opwekken verwerkt in de weg en energie opwekken buiten de weg.

In de rechter vijf kolommen zijn de oplossingen van de bijbehorende functie weergegeven. Per functie zijn meerdere oplossingen weergegeven. Met behulp van deze oplossingen worden enkele concepten gekozen.

	1	2	3	4
Draagvlak bieden Bovenste laag	 PlasticRoad	 SolarRoad	 Grasfalt	 Mycelium
Draagvlak bieden Middelste laag	 Grasfalt	 Betongranulaat	 Asfaltgranulaatcement	
Draagvlak bieden Onderste laag	 Zand	 Veen	 Klei	
Energie opwekken (verwerkt in het wegdek)	 Piëzo elektriciteit	 SolarRoad	 Glowing lines	 Leidingen onder wegdek
Energie opwekken (buiten het wegdek)	 Windturbine	 Solar geluidswal	 Solar Bench	 Duurzame lantaarnpaal
De weg laten ademen	 Grasfalt	 PlasticRoad	 Mycelium	

Figuur 30: Morfologische kaart

11.3 Confrontatiematrixen

In deze paragraaf worden verschillende confrontatiematrixen uitgewerkt. De onderbouwing van de cijfers volgt onder elke matrix. Uit de matrixen zullen een aantal concepten volgen die in het hierop volgende hoofdstuk uitgewerkt worden. Hoe de concepten tot stand zijn gekomen, zal onderstaand worden beschreven.

11.3.1 De toplaag

	Onderzoek			
Eisen weg	Plastic Road	Solar Road	Mycelium	Grasfalt
1. Draagvlak bieden	1	1	1	5
2. Mogelijkheid voor energie opwekken	3	1	1	3
3. Comfort bieden	3	3	1	5
4. Ademen	5	1	5	1
5. Garanderen veiligheid	3	3	1	5
6. Circulariteit	5	1	5	3
7. Gebruik makend kennis kunde van de natuur	1	1	5	3
Totaalscore:	22	11	19	23

Tabel 3: Confrontatiematrix toplaag.

11.3.1.1 Draagvlak bieden

De eerste eis is het bieden van draagvlak. Grasfalt scoort hierop vijf punten, omdat het voor elk mogelijk, regulier voertuig draagvlak kan bieden. Daarentegen kunnen de Plastic Road en de Solar Road geen draagvlak bieden aan voertuigen zwaarder dan 25.000 kilo. Op korte afstand van Metaal Kathedraal bevindt een industrieterrein. Als de huidige weg vervangen zou worden door een Plastic of Solar Road, zal de totale verkeersregeling rond dit terrein gewijzigd moeten worden. Dit brengt extra kosten en complexiteit met zich mee.

11.3.1.2 Mogelijkheden voor energie opwekken

De tweede eis is de mogelijkheid om energie op te wekken. De kosten versus de opbrengsten bij de de Solar Road zijn erg negatief. De investering is te groot om de hoeveelheid energie terug te verdienen. Ook liggen de zonnepanelen op deze weg allesbehalve efficiënt als het gaat om het aantal graden. Daarnaast is het gevoel voor sneeuw, modder en overige bedekking.

Grasfalt en de Plastic Road scoren iets hoger. Bij deze opties is er een mogelijkheid om andere opties toe te passen, zoals piëzo-elektriciteit of het plaatsen van windturbines langs de weg.

11.3.1.3 Comfort bieden

Bij Grasfalt is bekend dat de weg zijn huidige eigenschappen behoudt. De Solar en Plastic Road zullen bestaan uit andere ondergronden. Voor elke weggebruiker zal dit wennen zijn en sommige kunnen dit als onprettig ervaren. Om deze reden hebben de twee laatstgenoemde een lagere score gekregen.

11.3.1.4 Ademen

De Plastic Road is zodanig ontworpen dat de grond onder het wegdek optimaal kan worden voorzien van water en zuurstof. De kans is daarom het grootst dat deze de grond zoveel mogelijk intact laat. De twee andere opties zijn niet gericht op het doorlaten van water en zuurstof, en bezitten deze eigenschap ook in minimale mate.

11.3.1.5 Garanderen veiligheid

Bij Grasfalt is bekend dat de weg zijn huidige eigenschappen behoudt, ongeacht welk type voertuig zich verplaatst over dit wegdek. De Solar en Plastic Road zullen bestaan uit andere ondergronden. Voor elke weggebruiker zal dit wennen zijn en sommige kunnen dit als onprettig ervaren, waardoor mensen hun rijstijl kunnen aanpassen. Verder, als het toch voorkomt dat er voertuigen op het wegdek komen die zwaarder zijn dan 25.000 kilo, kan het wegdek beschadigd raken, waardoor de veiligheid in het geding komt.

11.3.1.6 Circulariteit

De Plastic Road is het meest circulair concept. De materialen die gebruikt worden voor dit concept, zijn allemaal herbruikbaar. De Solar Road is niet circulair, deze materialen zijn niet herbruikbaar en de grondstoffen zijn eindig in gebruik. Grasfalt is deels herbruikbaar. De lignine en het asfalt wat gebruikt wordt kan als granulaat in een nieuw wegdek gebruikt worden.

11.3.1.7 Gebruik makend kennis en kunde natuur

De eerste twee opties staan niet in verbinding met de kennis en kunde van de natuur. Grasfalt bestaat uit olifantsgras wat zeer snel groeit en de bodem niet uitput. Het maakt daarom deels kennis van de kunde van de natuur.

11.3.2 De middelste laag

	Onderzoek		
Eisen weg	Betonggranulaat	Asfaltgranulaat	Olifantsgras (lignine)
1. Draagvlak bieden	5	5	5
2. Comfort bieden	5	5	5
3. Ademen	1	1	1
4. Garanderen veiligheid	5	5	5
5. Circulariteit	5	3	1
6. Gebruik makend kennis kunde van de natuur	1	1	3
Totaalscore:	22	20	20

Tabel 4: Confrontatiematrix middelste laag.

11.3.2.1 Draagvlak bieden

Alle opties bieden voldoende ondersteuning aan de toplaag.

11.3.2.2 Comfort bieden

Alle opties bieden voldoende ondersteuning aan de toplaag, zo kan het comfort van de bovenste laag instant worden gehouden.

11.3.2.3 Ademen

De opties zijn niet gericht op het doorlaten van water en zuurstof, en bezitten deze eigenschap ook in minimale mate.

11.3.2.4 Garanderen veiligheid

Alle opties bieden voldoende ondersteuning aan de toplaag, zo kan de veiligheid op basis van de middelste laag gegarandeerd worden.

11.3.2.5 Circulariteit

Betonggranulaat kan volledig hergebruikt worden. Asfaltgranulaat is deel herbruikbaar. De lignine van grasfalt is niet herbruikbaar, maar het olifantsgras

11.3.2.6 Gebruik kennis en kunde natuur

Olifantsgras groeit snel en put de bodem niet uit. Het maakt daarom deels kennis van de kunde van de natuur.

11.3.3 De onderste laag

	Onderzoek		
Eisen weg	Zand	Klei	Veen
1. Draagvlak bieden	5	1	1
2. Comfort bieden	5	1	1
3. Ademen	1	1	1
4. Garanderen veiligheid	5	1	1
5. Circulariteit	5	5	5
Totaalscore:	21	9	9

Tabel 5: Confrontatiematrix onderste laag.

11.3.3.1 Draagvlak bieden

Een zandbed kan voldoende ondersteuning bieden aan een wegdek. Ook bij verplaatsing van extreem zware voertuigen, biedt het zand voldoende ondersteuning.

Klei en veen zijn daarentegen zwakker. Bij verplaatsing van zware voertuigen bestaat de kans op verzakking. Ook als in de bodem veel of juist weinig water staat, is de kans reëel dat de bodem verzakt.

11.3.3.2 Comfort bieden

Een zandbed kan voldoende ondersteuning bieden aan een wegdek. Ook bij verplaatsing van extreem zware voertuigen, biedt het zand voldoende ondersteuning.

Klei en veen zijn daarentegen zwakker. Bij verplaatsing van zware voertuigen bestaat de kans op verzakking. Ook als in de bodem veel of juist weinig water staat, is de kans reëel dat de bodem verzakt.

Het comfort wat de toplaag normaal biedt, kan dus worden beïnvloed door de onderste laag als deze bestaat uit veen en/of klei.

11.3.3.3 Ademen

Zand, klei en veen laten slecht water door.

11.3.3.4 Garanderen veiligheid

Een zandbed kan voldoende ondersteuning bieden aan een wegdek. Ook bij verplaatsing van extreem zware voertuigen, biedt het zand voldoende ondersteuning.

Klei en veen zijn daarentegen zwakker. Bij verplaatsing van zware voertuigen bestaat de kans op verzakking. Ook als in de bodem veel of juist weinig water staat, is de kans reëel dat de bodem verzakt.

De veiligheid van de weggebruikers kan dus in het geding komen als de onderste laag bestaat uit veen en/of klei.

11.3.3.5 Circulariteit

Zand, klei en veen kunnen hergebruikt worden en behouden hun kracht.

11.4 Opwekken van energie

In deel twee van het verslag zijn verschillende opties uitgewerkt voor het opwekken van energie in en rondom het wegdek. Onderstaand zijn de verschillende opties uitgewerkt, met kort beschreven wat de voor- en nadelen van de opties zijn en waarom het wel of niet is meegenomen in één van de concepten.

11.4.1 Energie opwekken in wegdek

Het opwekken van energie kan verdeeld worden onder twee onderdelen, in het wegdek en naast/bij het wegdek. In de onderstaande tabel worden de drie opties van energie opwekken in het wegdek vergeleken, houdend aan de eisen van de weg.

11.4.1.1 SolarRoad

Omdat SolarRoad zoals eerder behandeld in dit rapport, kan breken voldoet deze niet volledig aan de eis draagvlak bieden.

Omdat de SolarRoad bestaat uit meerdere zonnepanelen, zitten er scheidingslijnen tussen de glasplaten. Deze zijn te voelen op de fiets dus waarschijnlijk ook in de auto.

Vanwege de zonnepanelen die in de SolarRoad zijn verwerkt, kan er geen lucht of water door het wegdek heen dus ademt deze niet.

Vanwege de glazen platen is de kans op gladheid op de weg vergroot ten opzichte van normaal asfalt. Tevens zijn de platen van de SolarRoad zwak en is de kans op breken groot.

Voornamelijk het eerste en het laatste punt bepaalden dat de SolarRoad niet mee is genomen in het totale concept. De weg wordt onveiliger en het is daarom niet reëel dat dit de weg van de toekomst gaat worden.

11.4.1.2 Piëzo-elektriciteit

De piëzo-elektrische optie heeft geen invloed op de bovenste laag van het wegdek dus de verwachting is dat deze volledig voldoet aan het behouden van het draagvlak. Het werkt alleen als beweging wordt doorgegeven door de weg heen, de verwachting is dat dit misschien wel te voelen is in de weg.

Op het gebied van ademen is het piëzo-elektrisch concept hetzelfde als de SolarRoad, hier moet geen water of lucht bijkomen, dus ademt deze niet.

Door het beperkte onderzoek is het nog onzeker hoeveel piëzo-elektriciteit gaat opleveren. Door de beperkte gegevens in combinatie met de wens van een werkend concept, is besloten om de piëzo-kristallen niet mee te nemen in het eindconcept.

11.4.1.3 Glowing lines

Tot slot de Glowing lines. Dit concept verandert alleen de lijnen in de weg dus zal het draagvlak niet verminderen. De Glowing lines hebben weinig tot geen impact op het comfort, misschien zelfs beter dan de traditionele verf op de weg. Dit is te voelen als hier over heen gereden wordt, de glowing lines zijn verwerkt in het wegdek waardoor het minder voelbaar is dan traditionele lijnen.

De lijnen bieden de mogelijkheid voor het wegdek om te kunnen ademen, omdat het maar een klein deel van het oppervlak inneemt.

De glowing lines vangen zonne-energie overdag op en geven het 's nachts weer af, zonder daar elektriciteit voor nodig te hebben. De glowing lines genereren precies genoeg energie om zichzelf te voeden.

De glowing lines bieden extra veiligheid, zijn duurzaam en geven een extra mooie 'view' op het nieuwe wegdek. Om deze redenen zijn de lijnen meegenomen in het eindconcept.

11.4.2 Energie opwekken bij/naast het wegdek

De eerder opgestelde eisen zijn vooral gericht op het wegdek. Het energie opwekken naast de weg heeft daarentegen geen invloed op de weg en de bijbehorende eisen, dus is niet elke eis meegenomen in de overweging.

11.4.2.1 Windturbine

Een windturbine is gemaakt van staal en is dus ook niet duurzaam. Tevens werkt het opwekken van energie door middel van windturbines niet naar behoren op een 50 km/h weg. De windturbines zijn dus niet meegenomen in het eindconcept.

11.4.2.2 Solar Highways

De zonnepanelen in de Solar Highways zijn iets meer circulair dan de windturbine, omdat deze redelijk te recycleren zijn. Solar Highways wekken redelijk veel energie op, maar veel minder dan in theorie zou kunnen. De efficiëntie van de panelen is erg laag.

Ondanks het opwekkingsvermogen van de wal, het plaatsen van een grote geluidswal langs een smalle weg niet reëel om te laten plaatsen. De Solar Highway is dus niet meegenomen in het eindconcept.

11.4.2.3 Duurzame lantaarnpalen

De duurzame lantaarnpalen zijn gemaakt van 65% bio-based producten, dus zijn behoorlijk circulair. De duurzame lantaarnpalen kunnen naast de energie die benodigd is voor de verlichting, ook een accu laden.

De duurzaamheid en het opwekkende vermogen, met daarnaast een functie die de huidige, groot verbruikende lantaarnpalen kan doen vervangen, is erg interessant en is daarom meegenomen in het eindconcept.

11.4.2.4 Solar Bench

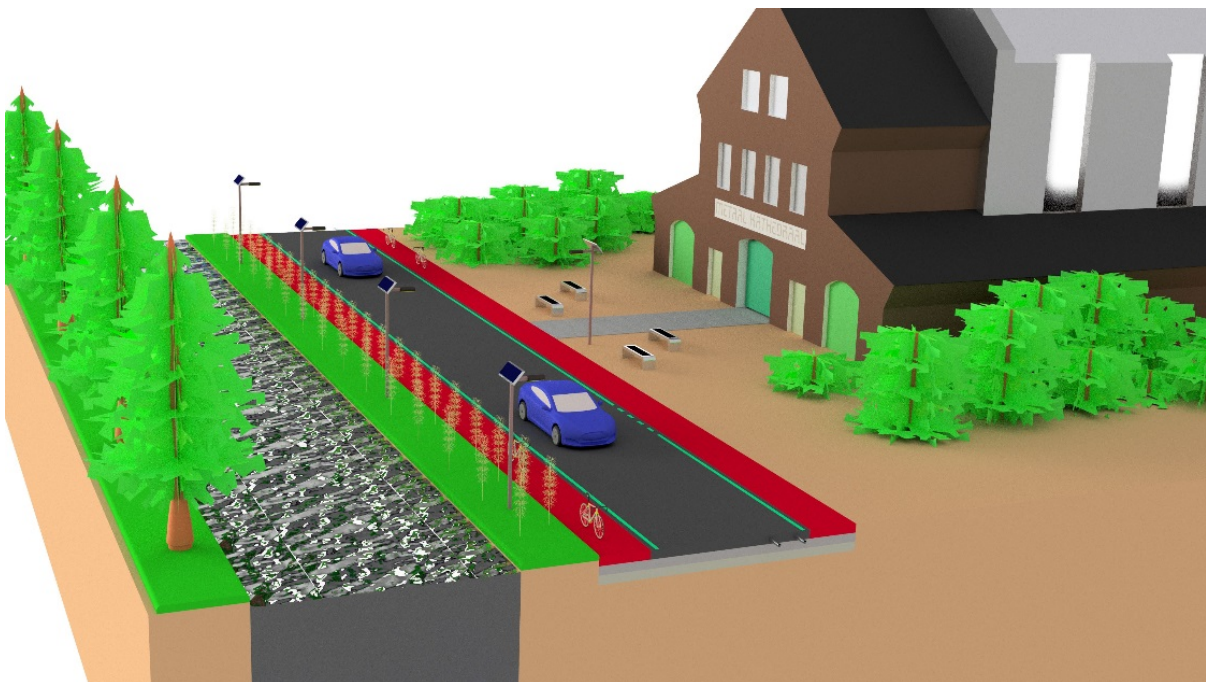
Tot slot de Solar Bench, deze kan volledig gemaakt worden uit beton en zonnepanelen. Zoals uit onderzoek is gebleken zijn betonnen bankjes uit olifantsgras te produceren. De Solar Bench is om deze reden een erg duurzaam concept. Een Solar Bench kan goed werken als energieopwekker, maar is niet optimaal omdat deze niet in een goede hoek staat. De positieve punten en het unieke design hebben de doorslag gegeven om de Solar Bench mee te nemen in het eindconcept.

12 Concepten

In dit hoofdstuk worden twee concepten uitgewerkt die uit de onderzoeken naar voren zijn gekomen als beste en meest vooruitstrevende keuze. Het eerste concept is op dit moment al realiseerbaar met de middelen die op dit moment beschikbaar zijn. Het tweede concept is een aanbeveling om de onderzoeken rond het materiaal van dit concept nauwlettend in de gaten te houden, omdat dit het beste aansluit bij de visie van Metaal Kathedraal.

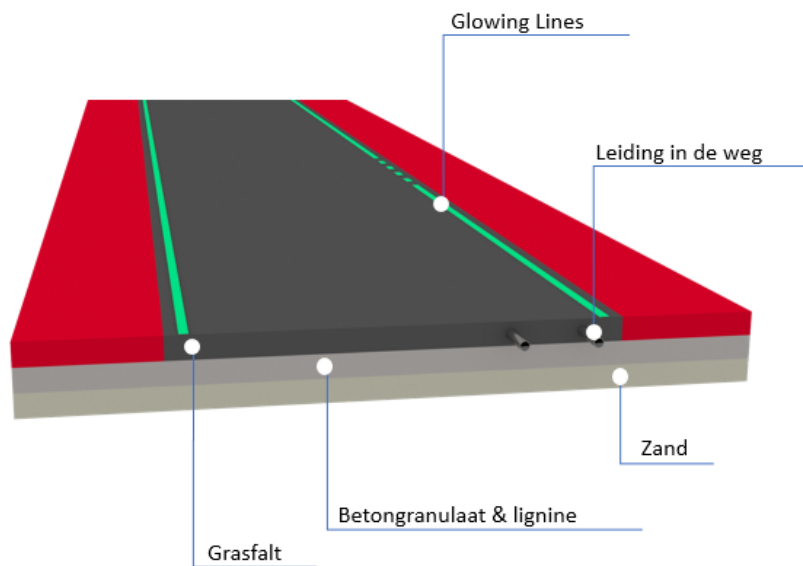
12.1 De technische weg

Vanuit de verschillende onderzoeken, de morfologische kaart en de confrontatiematrixen is het onderstaand uitgewerkte concept de beste mogelijke optie om op dit moment een zo duurzaam mogelijke weg te plaatsen. De samenstelling bestaat uit een concept voor de weg en een concept voor oplossingen om de weg heen, samen is dit het totaalplaatje. Het totaalplaatje is te zien in figuur 31.



Figuur 31: Concept langs Metaal Kathedraal.

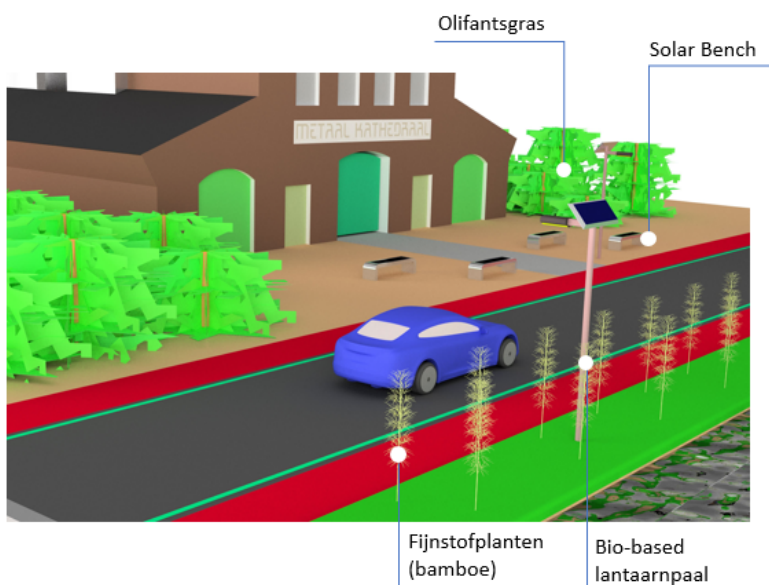
Het concept van de weg is te zien in figuur 32.



Figuur 32: Concept wegdek

Hierin bestaat de bovenste laag uit Grasfalt, de middelste laag bestaat uit betongranulaat versterkt met olifantsgras en de onderste laag bestaat uit zand. Daarnaast zijn in de weg leidingen aangelegd om water doorheen te laten stromen. Als het wegdek warm is kan water opgewarmd worden om bijvoorbeeld huizen te voorzien van warm water. Daarnaast zijn Glowing Lines op het wegdek geplaatst, voor extra, duurzame verlichting.

De verschillende mogelijkheden om energie op te wekken rondom de weg en mogelijkheden om de weg duurzamer te maken zijn weergegeven in figuur 33.



Figuur 33 - Concept overige mogelijkheden

Hierbij worden olifantsgras ter reductie van de CO₂-uitstoot en fijnstofplanten ter reductie van de fijnstofuitstoot langs de weg geplaatst. De Solar Bench wordt gebruikt om zonne-energie op te wekken. De lantaarnpaal kan ook zonne-energie opwekken, maar dat is voornamelijk om de lantaarnpaal zelf te laten schijnen.

12.2 De Mycelium-weg

Zoals in hoofdstuk 2.4 benoemd is de wens van de opdrachtgever dat mensen nadenken over hoe een weg gecreëerd kan worden die meer aansluit bij de kennis en kunde van de aarde. Er moet gebruik gemaakt worden van kenmerken van de aarde en die niet bijdragen aan de verwoesting van de aarde. Op deze manier brengt de weg de aarde geen schade toe, aldus de opdrachtgever. De opdrachtgever heeft uit meerdere gesprekken een aantal punten doorgenomen waar de projectgroep aan kan denken en meekunnen nemen in het onderzoek. De aanbeveling vanuit de projectgroep valt op mycelium.

Mycelium of beter bekend als zwamvlok is het netwerk van draden in een schimmel. Het is een vorm van schimmel die in grote schaal vaak voor komt onder de grond. Vanwege de grote hoeveelheden draden die met elkaar verworven zijn, ontstaat een soort vast materiaal.

Vanuit gesprekken met Ehab Sayed de 'Director of Innovation at BIOHM', is veel kennis naar voren gekomen over mycelium. De zwamvlok kan van zeer veel verschillende reststoffen gemaakt worden, met elk andere mengstoffen en andere resultaten. Het resultaat varieert van zeer efficiënt isolatiemateriaal tot kleding of tafel materiaal.

De mycelium worden in gecontroleerde ruimtes gegroeid en worden daarna in de oven gebakken, dit geeft een verhardend effect. Echter zorgt dit er wel voor dat de schimmel dan doodgaat, dus het idee van een terug groeiende weg is op het moment nog niet mogelijk. Ook is het grote nadeel dat de mycelium niet op grote schaal aangeleverd kan worden, het is een schimmel dat moet groeien voordat het nuttig gebruikt kan worden.

Ehab vertelde dat het voor kleinere objecten of functies zeer nuttig is, maar op grote schaal eigenlijk nog niet mogelijk. Ook omdat er nog geen fabrieken zijn die ingesteld zijn op het groeien van schimmels. Daarnaast kan het mycelium nog niet sterk genoeg gemaakt worden, het wordt heel gauw bros.

Het idee van een wegdek dat gemaakt is van schimmels is veel belovend, maar nog niet realistisch. De zwamvlok kan nog niet op groot genoeg schaal gemaakt worden en kan ook nog niet voldoen aan de eisen die aan een wegdek zitten. Daarom is het advies verder onderzoek te doen en te testen of het mogelijk is een snelgroeiende en sterke schimmel te creëren. Het grote voordeel is ook dat de schimmels door middel van trillingen in de richting gegroeid kunnen worden die gewenst is. Dit betekent dat als de perfecte schimmel gevonden wordt, de schimmel op de plek van een weg geplaatst kan worden en dan vanzelf in de goede vorm groeit. In theorie hoeft dan naast de installatie van de trilmachines, niemand meer aanwezig te zijn bij het leggen van een wegdek.

13 Maakbaarheid en testbaarheid

In dit hoofdstuk worden de maakbaar- en testbaarheid uitgewerkt van het betreffende concept. Kortom: in hoeverre is de weg realiseerbaar en hoe diep kan er getest worden.

13.1 Maakbaarheid

Alle onderdelen waar het concept uit bestaat zijn al maakbaar. Wel is het lastig om te bepalen wat de kosten zouden zijn van dit concept. Dit concept komt namelijk nog niet voor in Nederland, wel al is het technologisch mogelijk om het afgebeelde concept te ontwikkelen.

13.2 Testbaarheid

Het concept is te testen in de vorm van een proefopstelling. Deze kan op schaal in het klein worden neergelegd en vervolgens worden getoetst aan de hand van de gestelde ontwerpcriteria. Er zullen testen moeten gedaan, om te achterhalen of het concept alle mogelijke omstandigheden kan weerstaan. Om een betrouwbare uitkomst te genereren is het van belang dat er meerdere testen worden uitgevoerd. De focus moet hierbij liggen op alle in de ontwerpcriteria beschreven punten.

Deze test zal vervolgens een aantal keer moeten worden herhaald en worden vastgelegd in een logboek, waardoor een trend kan worden opgesteld. Dit geeft later een mate van betrouwbaarheid.

14 Conclusie en aanbeveling

Onderstaand zijn de conclusie en de aanbevelingen uitgewerkt.

14.1 Conclusie

Gedurende het project is onderzoek gedaan om de hoofdvraag *'welke mogelijkheden met één uiteindelijk compleet concept zijn er om een duurzame weg te creëren die aansluit bij de kennis, kunde en kracht van de natuur?'* te beantwoorden.

Uit de onderzoeken kwam naar voren dat er veel mogelijkheden zijn om de weg van de toekomst te verduurzamen. Alle opties zijn in een morfologische kaart weergegeven, waarna met behulp van een confrontatiematrix alle mogelijkheden met elkaar zijn vergeleken. Hieruit kwam naar voren dat het gebruik van grasfalt de beste optie is om de bovenste laag van het wegdek te verduurzamen. Ook de Plastic Road scoort hoog in de matrix een hoge score, maar de opdrachtgever heeft laten weten hier niks in te zien. De optie mycelium vindt de opdrachtgever naast grasfalt ook erg aantrekkelijk, aangezien dit van alle opties het best aansluit bij de kennis, kunde en kracht van de natuur. De middelste en onderste laag worden van respectievelijk betongranulaat en zand. Zand heeft bijzondere eigenschappen waardoor het cruciaal is in het wegdek. Betongranulaat is de beste optie, omdat het gebruik maakt van afval. In deze laag kan ook lignine uit het olifantsgras worden gebruikt.

Naast het duurzame wegdek worden energiebesparende en/of -opwekkende concepten verwerkt in en buiten het wegdek. Van alle opties komen de Glowing Lines, bio-based lantaarnpalen, Solar Benches en leidingen in het wegdek naar voren. De Glowing Lines en bio-based lantaarnpalen worden in combinatie gekozen, omdat de Glowing Lines redundantie vereisen. Het is niet zeker dat de Lines de hele nacht licht kunnen geven. Bij eventuele uitval kunnen de lantaarnpalen worden gebruikt. De Solar Benches zijn bankjes waar zonnepanelen in zijn verwerkt. De bankjes zijn van beton gemaakt en in dit beton kan weer worden gemaakt uit olifantsgras, wat het concept duurzaam en circulair maakt. De buizen in de weg worden gebruikt om water doorheen te laten stromen. Door het zwarte wegdek warmt de vloeistof in deze buizen op en kan het worden gebruikt voor de verwarming van huizen/fabrieken. Ook kan het warme water in deze buizen de sneeuw wat eventueel op de weg ligt dit laten smelten. Dit bevordert de veiligheid van de weggebruiker.

Zoals de opdrachtgever verlangde moest ook een manier worden gekozen om de fijnstof in de lucht te verminderen. Om dit te verwezenlijken worden bamboe-planten naast de weg geplaatst. Deze planten kunnen de uitstoot van voertuigen opvangen. Ook kan naast Metaal Kathedraal olifantsgras worden geplant. Deze plant is verwerkt in het wegdek én neemt vier keer meer CO₂ op dan bomen.

14.2 Aanbeveling

De projectgroep heeft na het onderzoek gekeken naar een aanbeveling. In het rapport worden twee concepten besproken. Deze concepten moeten nog verder worden uitgewerkt, om een beter totaal plaatje te kunnen krijgen. Om het totaal plaatje verder te kunnen uitbreiden doet de projectgroep de onderstaande aanbeveling.

Contact te zoeken met de ondernemers van grasfalt. Dit zijn twee hoofd organisaties namelijk: Miscancell en ONTP. Zij zijn de ontwikkelaars op het gebied van grasfalt. De projectgroep heeft al de eerste contacten gelegd met de organisatie. De contact gegevens staan in bijlage 1. Het contact zoeken met grasfalt dient voor het uitwerken van een van de concepten die genoemd worden.

Verdere aanbeveling van de projectgroep is om verder onderzoek te doen naar een combinatie van mycelium en grasfalt. Volgens de projectgroep is dit mogelijk. Dit zal ervoor zorgen dat het wegdek meer kan ademen.

De laatste aanbeveling van de projectgroep is verder onderzoek te doen naar de verduurzaambaarheid van wegen. Daarbij ook kijkend naar randzaken zoals energie opwekken.

15 Bronnenboek

- (sd). Opgeroepen op juni 12, 2019, van Deveci Tech: <http://devecitech.com/>
- (2018). Opgehaald van Reliwiki: [https://reliwiki.nl/index.php/De_Meern,_Rijksstraatweg_20_-_O.L._Vrouw_ten_Hemelopneming_\(1857_-_1941\)](https://reliwiki.nl/index.php/De_Meern,_Rijksstraatweg_20_-_O.L._Vrouw_ten_Hemelopneming_(1857_-_1941))
- Algemene weg.* (2011). Opgehaald van TenderNED: <https://www.tenderned.nl/tenderned-web/aankondiging/detail/documenten/document/ccf4f032d999f4ce08772e7b3666eb5b/pageld/D909C/huidigemenu/aankondigingen/map/a07276e21d21f0aa1f17d8c8878733d0/akid/e4c7509472bf5eae4f6e0d4e297daec5/da/false/actie/aa274b4879771>
- Asfalt en Wegenbouw.* (sd). Opgehaald van TNO: <https://www.tno.nl/nl/aandachtsgebieden/bouw-infra-maritiem/roadmaps/buildings-infrastructure/infrastructuur/asfalt-en-wegenbouw/>
- atsdr. (1995). Opgehaald van <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp72-c3.pdf>
- Baas, M. (2019, april 29). (A. Meijerink, & J. Hummelen, Interviewers)
- Baas, M. (2019, februari). Eerste afspraak. (M. Kroon, Interviewer)
- Betonhuis. (2018). *Ondergrond en zandbed belangrijk voor toplaag*. Opgehaald van [strategie.nl](http://www.strategie.nl/dossiers-met-informatie/techniek/ondergrond-en-zandbed-belangrijk-voor-toplaag): <http://www.strategie.nl/dossiers-met-informatie/techniek/ondergrond-en-zandbed-belangrijk-voor-toplaag>
- biobased engineered bio-bitumen.* (2017). Opgehaald van RVO: <https://www.rvo.nl/subsidies-regelingen/projecten/industri%C3%ABle-opschaling-van-biobased-engineered-bio-bitumen-en-black-water-treatment>
- Biobased-lantaarnpaal op zonne-energie.* (sd). Opgehaald van Rijkswaterstaat: <https://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/innovatie-en-duurzame-leefomgeving/duurzame-leefomgeving/circulaire-economie/biobased-innovaties/biobased-lantaarnpaal-op-zonne-energie.aspx>
- CBS. (2018, 02 25). *Sterke stijging aantal volledig elektrische auto's*. Opgehaald van CBS.nl: <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2018/21/sterke-stijging-aantal-volledig-elektrische-auto-s>
- CO2label. (2017). Opgehaald van <http://co2label.nl/fijnstofmeten/fijnstoffilters.html>
- De Afsluitdijk. (2017, november). *Icoon Afsluitdijk*. Opgehaald van [deafsluitdijk.nl](https://www.deafsluitdijk.nl/projecten/icoon-afsluitdijk/): <https://www.deafsluitdijk.nl/projecten/icoon-afsluitdijk/>
- Deveci Tech's vertical wind turbine uses traffic to generate electricity.* (2018, juli 27). Opgeroepen op juni 12, 2019, van Red Planet: <https://www.redplanet.green/deveci-tech-vertical-wind-turbine/>
- Dienst Beheer Infrastructuur. (2012). *Handboek Ontwerpcriteria Wegen*. Zuid-Holland: Provincie Zuid-Holland.
- dreamstime. (2019, juni 14). Opgehaald van <https://nl.dreamstime.com/stock-foto-beschadigd-asfalt-laag-van-klei-dat-werd-ge%C3%ABrodeerd-image55270441>
- Encyclo. (sd). *Circulair*. Opgehaald van [encyclo.nl](https://www.encyclo.nl/begrip/circulair): <https://www.encyclo.nl/begrip/circulair>
- engineersonline. (2019, mei 14). *engineersonline*. Opgehaald van <https://www.engineersonline.nl/nieuws/id30362-van-zonlicht-tot-brandstof-algen-splitsen-water-in-zuurstof-en-waterstof.html>
- Enlil Vertical Axis Wind Turbine.* (2018, mei 29). Opgeroepen op juni 12, 2019, van YouTube Deveci Tech: https://www.youtube.com/watch?v=MjglYJ_9aIM
- Ensie. (2010, september 2). *Functie*. Opgehaald van [ensie.nl](https://www.ensie.nl/redactie-ensie/functie): <https://www.ensie.nl/redactie-ensie/functie>

Eurorail. (2019). Opgehaald van <https://eurorail.nl/geleiderail/houten-geleiderail/>

eurorail. (2019, mei 16). *eurorail*. Opgehaald van <https://eurorail.nl/geleiderail/houten-geleiderail/>

evofendex. (2019). *Maximale afmetingen en massa's van de vrachtwagen*. Opgehaald van <https://www.evofenedex.nl/kennis/vervoer/maten-en-gewichten-vrachtwagens>

Freitas, W. d. (2015). *Solar freakin' roadways? Why the future of this technology may not be so bright*. Opgehaald van <https://theconversation.com/solar-freakin-roadways-why-the-future-of-this-technology-may-not-be-so-bright-51304>

gelderlander, d. (2018, 9 8). Opgehaald van <https://www.bd.nl/waalwijk-heusden-e-o/asfalt-scheurt-door-droge-zomer-vooral-aalburg-moet-aan-de-bak-in-waalwijk-alleen-schade-aan-winterdijk~a22445e7/?referer=https://www.google.nl/&>

grasfalt. (2019, mei 14). *grasfalt*. Opgehaald van <https://www.grasfalt.nl/>

Greiner, A. (1998, februari 6). *Weg van asfalt*. Opgehaald van Asfaltblij: <http://www.asfaltblij.nl/media/1186/1998-weg-van-asfalt-ao-2638.pdf>

Groenrijk. (sd). *Lepelplant*. Opgehaald van groenrijk.nl: <https://www.groenrijk.nl/nieuws/154/lepelplant>

Heijmans. (2017). Opgehaald van <https://www.heijmans.nl/nl/solar-noise-barriers-sonob/>

Hopman, P. C. (2006, maart). *Asfaltkunde*. Opgehaald van asfaltblij: <http://www.asfaltblij.nl/media/1555/cursus-asfaltkunde-tekst.pdf>

Huet, M. v. (2015). *Metaal Kathedraal, de Utrechtse broedplaats voor dromen*. Opgehaald van Hart voor Monumenten: <https://www.hartvoormonumenten.nl/verhalen/metaal-kathedraal-de-utrechtse-broedplaats-voor-dromen>

Huntington, S. (2016, januari 11). *Looking at the Dutch Solar Bike Path After One Year*. Opgehaald van Triple Pundit: <https://www.triplepundit.com/story/2016/looking-dutch-solar-bike-path-after-one-year/29346>

Inframarks. (2018). Opgehaald van <http://inframarks.nl/wp-content/uploads/2015/12/Folder-InfraMarks-Solar-Bench.pdf>

kodi. (huni, 6 1). *kodi*. Opgehaald van <https://www.kodi.nl/diensten/warmtepomp-systemen/bronsystemen/asfalt/>

Kumar, A. (2014, mei). *Basic components of a typical pavement system*. Opgehaald van ResearchGate: https://www.researchgate.net/figure/Basic-components-of-a-typical-pavement-system_fig1_276432037

kunstkieken. (2019, 6 18). Opgehaald van <https://kunstkieken.nl/een-schimmelige-toekomst-micropia/>

KWS. (2018). *PlasticRoad*. Opgehaald van KWS: <https://www.kws.nl/producten/innovaties/plasticroad>

Maartje. (sd). *Waarom wij dol zijn op olifantsgras*. Opgehaald van voordewereldvanmorgen.nl: <https://www.voordewereldvanmorgen.nl/duurzame-blogs/waarom-wij-dol-zijn-op-olifantsgras>

Moezelaar, R. (2017, juli 4). *Weg Met Asfalt*. Opgehaald van Nemo Kennislink: <https://www.nemokennislink.nl/publicaties/weg-met-asfalt/>

NASA. (1989). *Interior Landscape Plants for Indoor Air Pollution Abatement*. John C. Stennis Space Center: NASA.

NASA. (2015, mei 20). *This Graphic Shows the Best Air-Cleaning Plants, According to NASA*. Opgehaald van lifehacker.com: <https://lifehacker.com/this-graphic-shows-the-best-air-cleaning-plants-accord-1705307836>

- National Aeronautics and Space Administration. (1989). *Interior Landscape Plants for Indoor Air Pollution Abatement*. Missisipi: John C. Stennis Space Center.
- nederland, d. t. (2019, juni 1). Opgehaald van <https://www.detechniekachternederland.nl/article/energie/gebruik-duurzame-energie/ingenieurs-energienet-koelt-en-verwarmt-heerhugowaardse-bedrijven>
- NOS. (2018, januari 8). *China wil ons plastic afval niet meer recyclen, dus verbranden we 't maar*. Opgeroepen op april 2, 2019, van NOS: <https://nos.nl/artikel/2211057-china-wil-ons-plastic-afval-niet-meer-recyclen-dus-verbranden-we-t-maar.html>
- NTP. (2018). *grasfalt.nl*. Opgehaald van grasfalt.nl: grasfalt.nl
- PATEL, N. V. (2017, december 28). *What Is the Point of a Solar Road?* Opgehaald van Slate: <https://slate.com/technology/2017/12/solar-roads-are-almost-definitely-not-the-future.html>
- PBL. (2015). *Klimaatverandering*. Opgehaald van CLO.nl: <https://www.clo.nl/indicatoren/nl050806-jaarlijkse-hoeveelheid-neerslag-in-nederland>
- plasticsoupfoundation. (2019, mei 14). Opgehaald van <https://www.plasticsoupfoundation.org/2018/07/microplastics-door-slijtage-van-banden-is-nauwelijks-tegen-te-gaan/>
- Provincie Utrecht. (2019). *Bodemkaart Provincie utrecht*. Opgehaald van <https://webkaart.provincie-utrecht.nl/viewer/app/Webkaart?bookmark=aebb8207467a457aaa02640e8cbead89>
- Richting en invalshoek*. (2014). Opgehaald van Zonnepanelen Wouterlood: <http://www.zonnepanelen.wouterlood.com/techniek/richting-en-invalshoek/>
- Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. (2017). *Fijn stof (PM2,5/PM10)*. Opgehaald van <https://www.samenmetenaanluchtkwaliteit.nl/fijn-stof-pm25pm10>
- Rijksoverheid. (2018). Opgehaald van <https://www.bodemrichtlijn.nl/Bibliotheek/bouwstoffen-en-afvalstoffen/metalen-en-geleiderail-vo114147>
- rijkswaterstaat. (2019, mei 16). Opgehaald van <https://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/innovatie-en-duurzame-leefomgeving/duurzame-leefomgeving/circulaire-economie/biobased-innovaties/biobased-vangrail.aspx>
- Ryan, D. (2018, september 21). *Solar panels replaced tarmac on a road*. Opgehaald van The Conversation: <http://theconversation.com/solar-panels-replaced-tarmac-on-a-road-here-are-the-results-103568>
- SEAC. (2017). Opgehaald van <https://www.seac.cc/wp-content/uploads/2017/03/SONOB-RVO-eindrapport-openbaar.pdf>
- Smits Neuchatel. (sd). *Voegovergangen*. Opgeroepen op juni 6, 2019, van Smits Neuchatel: <https://www.smitsneuchatel.nl/nl/productensystemen/voegovergangen>
- Solar Roadways: An Engineering FAILURE*. (2017, mei 18). Opgehaald van Interesting Engineering: <https://interestingengineering.com/solar-roadways-engineering-failure>
- SolaRoad BV. (2019). *SolaRoad*. Opgehaald van <https://www.solaroad.nl/>
- sparlcampus. (2019, 6 18). Opgehaald van <http://sparkcampus.nl/stoeptegels-van-schimmels/>
- stad, d. g. (2019, mei 14). Opgehaald van <http://degroenestad.nl/proef-een-aan-fijnstof-verslaafde-plant-in-amsterdam/>
- Studio Roosegaarde. (2013). Opgehaald van <https://www.studio Roosegaarde.net/data/files/2017/10/50/glowinglines-roosegaarde-pressrelease.pdf>

- tasboomkwekerij. (2019, mei 14). *tasboom*. Opgehaald van <https://www.tasboomkwekerij.nl/miscanthus-giganteus-olifantengras/>
- Tauw. (sd). *E-tegel*. Opgehaald van tauw.nl: <https://www.tauw.nl/actueel/nieuws/spelende-kinderen- wekken-elektriciteit-op-met-e-tegel.html>
- Tissink, A. (2018, september 12). *220.000 afgedankte koffiebekertjes verwerkt tot fietspad*. Opgehaald van Cobouw: <https://www.cobouw.nl/infra/nieuws/2018/09/proef-project-plastic-road- vandaag-open-101264509>
- TNO. (2019, Maart 7). *Zonnewegdek SolaRoad op weg naar grootschalige toepassing*. Opgehaald van TNO: <https://www.tno.nl/nl/over-tno/nieuws/2019/3/zonnewegdek-solaroad-op-weg-naar- grootschalige-toepassing/>
- Trindade, L. (sd). *Hernieuwbare Grondstoffen*. Opgehaald van WUR: <https://www.wur.nl/nl/Onderzoek- Resultaten/Themas/Circular-Biobased-Economy/Hernieuwbare-grondstoffen.htm>
- trouw. (2019, mei 14). *trouw*. Opgehaald van <https://www.trouw.nl/groen/olifantsgras-is-goed-voor- alles~abcabc29/>
- Uitspraken*. (2008, maart 7). Opgehaald van [uitspraken.rechtspraak: https://uitspraken.rechtspraak.nl/inziendocument?id=ECLI:NL:RVS:2008:BC6035](https://uitspraken.rechtspraak.nl/inziendocument?id=ECLI:NL:RVS:2008:BC6035)
- utrecht. (2019, mei 16). *utrecht*. Opgehaald van <https://www.utrecht.nl/wonen-en- leven/bouwen/bouwprojecten/veldhuizen-aanleg-geluidswal-en-scherf/>
- Vaan, d. (2019, maart 18). *strategie*. Opgehaald van <http://www.strategie.nl/dossiers-met- informatie/techniek/ondergrond-en-zandbed-belangrijk-voor-toplaag>
- VIB. (2018). *biotechniek*. Opgehaald van vib.nl: <http://www.vib.be/nl/biotech-basics/Pages/Wat-is- biotechnologie.aspx>
- VIB. (2018). *wat is biotechnologie*. Opgehaald van vib.nl: <http://www.vib.be/nl/biotech- basics/Pages/Wat-is-biotechnologie.aspx>
- Vliet, C. v. (2016, augustus 30). *Slimme Nederlander wekt energie op met zwaartekracht*. Opgehaald van metro.nl: <https://www.metronieuws.nl/xl/2016/08/slimme-nederlander-wekt-energie-op- met-zwaartekracht>
- Volkshuisvesting, M. v. (2010, mei). *Handleiding Energielabeling*. Opgehaald van https://www.publicspaceinfo.nl/media/uploads/files/AGENTSCHAP_2010_0002.pdf
- Vries, J. d., & Reijn, G. (2018, oktober 26). *China wil ons plastic niet meer, dus gooien we het hier in de verbrandingsoven*. Opgeroepen op april 2, 2019, van De Volkskrant: <https://www.volkskrant.nl/economie/china-wil-ons-plastic-niet-meer-dus-gooien-we-het-hier- in-de-verbrandingsoven~b7460dd7/>
- We Focus B.V. (2014). *Asflat, het materiaal, de productie en de verwerking*. Opgehaald van Asfaltblij: <http://www.asfaltblij.nl/wat-is-asfalt>
- Wikipedia. (2019, februari 2). *Piëzo-elektrisch effect*. Opgehaald van wikipedia.nl: https://nl.wikipedia.org/wiki/Pi%C3%ABzo-elektrisch_effect
- Willemen Innoveert Met Waterdoorlatend Asfalt*. (2018, november 27). Opgehaald van Kanaal Z: https://kanaalz.knack.be/nieuws/willemen-innoveert-met-waterdoorlatend-asfalt/video- normal-1399153.html?cookie_check=1551779549
- ZOAB. (sd). *Zoab*. Opgehaald van Rijkswaterstaat: <https://www.rijkswaterstaat.nl/wegen/wegbeheer/aanleg-wegen/zoab.aspx>
- zonnepaneelfolie. (2019, mei 16). Opgehaald van <https://www.zonnepaneelfolie.nl/zonnepaneelfolie- auto/>

16 Bijlage 1: Contactgegevens bedrijven grasfalt

Bedrijfsgegevens van heren/dames van grasfalt:



Miscancell
T +31 (0)316 740 777
E info@miscancell.nl



NTP
T +31 (0)313 47 85 87
E info@ntp.nl

Contactpersoon waar de projectgroep contact mee heeft gehad:

Naam. Bart Loose
Func. Directeur ONTP
Tel. 06 -10 33 08 18
Mail. b.loose@ntp.nl