



**Gemeente Rotterdam**

Gemeentewerken

Ingenieursbureau

# De Duurzame Weg

## Contra-expertise

**Projectcode**

HT 986

**Datum**

3 februari 2009

**Versie**

definitief

**Opdrachtgever**

Rom Rijnmond - Gijs Gijzendorffen

dS+V - Peter de Graaf

RWS – IPL: Theo Cornelissen

**Medefinanciers**

Port of Rotterdam – projectorganisatie Maasvlakte 2

Provincie Zuid Holland

**Opdrachtnemer**

IGWR – Karlien Stroeve

IGWR – Faye Hewitt

Illustraties omslag

Movares



**Gemeente Rotterdam**  
dS+V



**ROM**rijnmond



Rijkswaterstaat



provincie **HOLLAND**  
**ZUID**



## **Inhoudsopgave**

<b>1.</b>	<b>Inleiding</b>	<b>4</b>
1.1	Aanleiding	4
1.2	Doel van de contra-expertise	5
1.3	Opbouw rapportage	5
<b>2.</b>	<b>Onderzoeksmethode</b>	<b>6</b>
2.1	Gewenst resultaat contra-expertise	6
2.2	Check op de gegevens	6
2.3	Benchmark	7
2.4	Locatiegebonden vragen	7
<b>3.</b>	<b>Contra-expertise milieu, constructie en veiligheid</b>	<b>9</b>
3.1	Kansrijk	9
3.2	Nader onderzoek	9
3.3	Kanttekeningen	10
3.4	Niet essentieel	11
3.5	Alternatief	11
3.6	Conclusie	11
<b>4.</b>	<b>Vergelijking met andere wegtypen</b>	<b>13</b>
4.1	De vergelijking	13
4.2	Conclusie	16
<b>5.</b>	<b>Duurzame Weg A4 Beneluxtunnelmond Pernis</b>	<b>17</b>
<b>6.</b>	<b>Duurzame Weg toegepast</b>	<b>21</b>
6.1	Hoofdweg in het stedelijk gebied	21
6.2	Tunnelmond in het stedelijk gebied	21
6.3	Snelweg in het stedelijk gebied	22
6.4	Algemeen	22



<b>7.</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>23</b>
<b>7.1</b>	<b>Milieu</b>	<b>23</b>
<b>7.2</b>	<b>Veiligheid</b>	<b>23</b>
<b>7.3</b>	<b>Constructie en kosten</b>	<b>24</b>
<b>7.4</b>	<b>Inpassing</b>	<b>24</b>
<b>7.5</b>	<b>Algemeen</b>	<b>25</b>
	<b>Bijlage 1 Concept De Duurzame Weg – Movares</b>	<b>26</b>
	<b>Bijlage 2 Gedetailleerde bevindingen experts</b>	<b>38</b>
	<b>Bijlage 3 Betrokken experts</b>	<b>47</b>
	<b>Bijlage 4 De Duurzame weg vanuit psychologisch perspectief - XTNT</b>	<b>48</b>
	<b>Bijlage 5 Ontwikkellocatie Pernis</b>	<b>53</b>
	<b>Bijlage 6 Korte literatuurstudie afvang fijn stof</b>	<b>54</b>

# 1. Inleiding

## 1.1 Aanleiding

Autosnelwegen en drukke stadswegen zijn vanwege luchtvervuiling en geluidsoverlast een knelpunt in de buurt van woningen. Om de hinder van verkeerslawaai tegen te gaan, staan in Nederland op veel plaatsen geluidsschermen. Schermen zijn ontworpen op het terugdringen van geluidsoverlast en hebben slechts beperkt invloed op de luchtkwaliteit. Een tunnel kan zowel de slechte lucht als het geluid van het verkeer beter tegenhouden dan een scherm. Tunnels zijn echter duur, vermoeien automobilisten door verlichting en concentreren de uitstoot van luchtverontreinigende stoffen bij de in- en uitritten. Daarnaast zijn tunnels door eisen op het gebied van tunnelveiligheid beperkt in hun toepassingen.

Movares, een particulier Ingenieursbureau uit Utrecht, heeft als alternatief een glazen overkapping ontwikkeld die in sterke mate tegemoet zou komen aan de nadelen van een tunnel. Daarbij zou de kap in potentie ook energie kunnen opleveren. Het idee van Movares is voortgekomen uit glazen overkappingen op busstation IJsei en station Hemboog in Amsterdam, die zij ontwikkeld hebben.

Movares geeft de volgende beschrijving van de Duurzame Weg:

Het concept 'De Duurzame Weg' bestaat uit een overkapping van snelwegen met koud buigbaar gelaagd glas. Hierbij is bijzondere aandacht gegeven aan duurzaamheid, veiligheid, kosten en opbrengsten. Het concept levert een aanzienlijke reductie van geluid, fijn stof, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> en CO<sub>2</sub>. Ook levert het een belangrijke besparing van het verbruik van fossiele brandstoffen. Daarnaast verkleint het concept de milieuzone rondom de infrastructuur en levert daarmee extra bouwgrond op in het stedelijk gebied.

Pernis zoekt al jaren naar een oplossing om de uitstoot van het verkeer op de A4 van geluid en luchtvervuiling op het dorp terug te dringen. De wijkraad pleit voor andere oplossingen dan hoge lucht- en geluidsschermen. In opdracht van de wethouder Milieu zijn over deze problematiek kennisateliers georganiseerd. Daarin is het concept Duurzame Weg ontdekt. Wethouder Harbers van Rotterdam toont belangstelling voor het concept van Movares in de Rotterdamse omgeving en heeft het Ingenieursbureau Gemeentewerken Rotterdam een contra-expertise gevraagd waarin wordt gekeken naar de toepasbaarheid, haalbaarheid en het effect van een dergelijke overkapping.

In opdracht van wethouder Harbers en onder aansturing van ROM Rijnmond, het Innovatieprogramma Luchtkwaliteit van Rijkswaterstaat en de Dienst Stedenbouw en Volkshuisvesting, deed het Ingenieursbureau Gemeentewerken Rotterdam een contra-expertise op het concept van Movares. Het Havenbedrijf Rotterdam (Maasvlakte 2) en Provincie Zuid-Holland zijn medefinanciers van de studie.

Deze rapportage is een weergave van de contra-expertise die het Ingenieursbureau Gemeentewerken Rotterdam deed op het concept de Duurzame Weg van Movares. Het Ingenieursbureau Gemeentewerken Rotterdam heeft binnen een tijdsbestek van drie maanden met behulp van eigen en externe experts alle van belang zijnde aspecten van het plan beoordeeld. Dit rapport omvat alle naar voren gebrachte aspecten, zowel kansen als bedreigingen, die samenhangen met de toepasbaarheid en haalbaarheid van de Duurzame Weg.

## **1.2 Doel van de contra-expertise**

Het resultaat van deze contra-expertise is een eerste indruk van de haalbaarheid en toepasbaarheid van een dergelijke overkapping. De studie valt in drie delen uiteen:

- A. De aannames van Movares op het gebied van constructies, technische installaties, kosten, milieuopbrengsten, veiligheid etc. zijn getoetst;
- B. In een benchmark zijn drie wegtypes naast elkaar gezet, namelijk een tunnel, een Duurzame Weg en een weg met geluid- en luchtschermen. Deze drie wegtypes worden op een aantal criteria vergeleken met een weg waarbij maatregelen getroffen zijn aan de gevels. Deze methode wordt gebruikt om sterke punten van andere oplossingen te zien als 'kans' voor de Duurzame Weg;
- C. Voor een aantal locaties wordt nagedacht over het inpassen van de Duurzame Weg. Er wordt in beeld gebracht welke ruimtelijke inpassingsvragen aan de orde komen, wat de kosten zijn en wat de opbrengsten, in de breedste zin van het woord, per locatie zijn.

## **1.3 Opbouw rapportage**

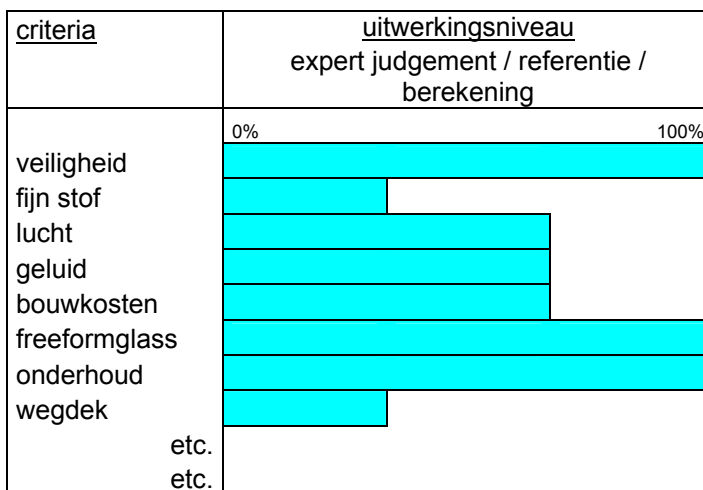
In het tweede hoofdstuk is de onderzoeksmethode beschreven. De hoofdstukken 3 t/m 5 beschrijven de uitkomsten van de onderzoeken, respectievelijk op technisch gebied, de vergelijking en de inpassing. In het zesde hoofdstuk staan de conclusies en in het zevende hoofdstuk worden aanbevelingen voor het vervolg gedaan. In de bijlagen vindt u onder andere een beschrijving van het concept van Movares dat in deze rapportage getoetst wordt en staat de gedetailleerde informatie uit de expertmeetings op een rijtje.

## 2. Onderzoeksmethode

### 2.1 Gewenst resultaat contra-expertise

Het resultaat van deze contra-expertise is een inschatting van de haalbaarheid en toepasbaarheid van het concept De Duurzame Weg, uitgelegd in bijlage 1. Zoals in paragraaf 1.3 omschreven valt de studie in drie delen uiteen, namelijk een check op de gegevens, een benchmark en locatiegebonden vragen.

Het concept van Movares heeft voor de verschillende onderwerpen verschillende uitwerkingsniveaus. Figuur 1 laat zien tot welk niveau verschillende criteria door Movares zijn uitgewerkt. De bedoeling van de contra-expertise is dat de beweringen van Movares getoetst worden. Het is in deze contra-expertise níet de bedoeling om op alle criteria tot een verder uitwerkingsniveau te komen.



Figuur 1. Uitwerkingsniveaus Movares' concept Duurzame Weg

### 2.2 Check op de gegevens

Onder dit deel van het onderzoek zijn de bevindingen van Movares gecheckt. De vraag is beantwoord of de Duurzame Weg technisch correct onderbouwd is, of de milieueclaims in voldoende mate onderbouwd zijn, of het concept voldoet aan veiligheidseisen en of de kosten juist zijn ingeschat. Dit alles heeft plaatsgevonden op basis van expert-judgement.

De contra-expertise bestaat onder andere uit een expertmeeting waarin Dhr. ir. László Vákár van Movares toelichting gaf over de aannames, modellen en kengetallen die gebruikt zijn en de getrokken conclusies. Op de expertmeeting, bijgewoond door deskundigen van het Ingenieursbureau Gemeentewerken Rotterdam en deskundigen op specifieke terreinen, gingen deskundigen met elkaar in discussie. Movares lichtte op deze bijeenkomsten de feiten toe. Een deelnemerslijst van de expertmeeting is opgenomen als bijlage 3.

De besproken onderwerpen zijn: constructieve elementen, fundering, technische installaties, veiligheid, vluchtgedrag, milieuopbrengsten, (bouw- en beheer-)kosten en opbrengsten. Naast de vraag of de gegevens correct zijn, is de vraag beantwoord of alle onderdelen van het concept nodig zijn om te spreken van een bruikbaar concept.

## **2.3 Benchmark**

Onder dit deel van het onderzoek valt een vergelijking van vier verschillende types wegen, een traditionele betonnen tunnel, de Duurzame Weg en een weg met geluid- en luchtschermen met een weg waar maatregelen aan de gevel genomen zijn (de nulvariant).

Criteria die behandeld zijn, zijn appreciatie van bewoners en gebruikers. Het verkeersgedrag voor de drie verschillende wegtypes is naast elkaar gezet. Hierin kwam bijvoorbeeld het effect licht/donker en de vraag of afslagen veilig kunnen worden aangelegd bij een bepaald wegtype aan de orde. De veiligheid bij calamiteiten is uitvoerig besproken en beoordeeld. De eisen van hulpdiensten en de vlucht- en onderhoudswegen kwamen aan de orde. Het watermiststelsel is beoordeeld en als laatste is bekeken of het watermiststelsel noodzakelijk is om de routes voor gevaarlijke stoffen te kunnen gebruiken. Als laatste zijn criteria als milieuopbrengst, kosten (met een bepaalde bandbreedte), inpassing en potentiële bouwlocaties aan de orde gekomen.

## **2.4 Locatiegebonden vragen**

Er zijn vier situaties aan een globaal onderzoek onderworpen: de A4 bij Pernis als voorbeeld van een snelweg in een suburbaan gebied, een hoofdweg in het stedelijk gebied, een tunnelmond in het stedelijk gebied en een snelweg in het stedelijk gebied. In een afzonderlijke (vertrouwelijke) bijdrage voor de gemeentebestuurders van Rotterdam zijn locaties in en om Rotterdam aan een onderzoek onderworpen. De verschillende situaties zijn gekozen omdat zij representatief zijn voor een bepaald type inpassing. Maar ook zijn het situaties waar de toepassing van de Duurzame Weg verondersteld wordt iets anders op te leveren dan de toepassing van de bestaande en bekende 'gereedschappen'.

De locatie van de A4 bij Pernis is geselecteerd omdat hier de vraag actueel is of er een alternatief bestaat voor hoge luchtschermen of een betonnen tunnel. Het is een voorbeeld van een snelweg in een suburbaan gebied.

De locaties in Rotterdam zijn geselecteerd op het criterium of ze representatief zijn voor een bepaald type situatie.

Op respectievelijk luchtfoto's en cyclorama's is de Duurzame Weg ingetekend. Dit geeft informatie over de vormgeving van de aansluitingen, en de meer- en/of minderkosten van aanleg in een bepaalde situatie. Bij de opbrengsten is globaal aangegeven wat de meerwaarde van de gronden in de directe omgeving van de weg is. Per situatie is bekeken wat de milieuopbrengst kan zijn. De flexibiliteit van de Duurzame Weg is aan de orde geweest en de vraag of een dergelijke kap in een stedelijke omgeving een andere verschijningsvorm kan hebben. Als laatste

is bekeken wat de financiële en organisatorische haalbaarheid is in een bepaalde situatie. Dit heeft te maken met de vraag of de financier ook een graantje meepikt van de opbrengsten.

Om te komen tot een antwoord op deze vragen is een tweede expertmeeting georganiseerd met hierin een landschapsarchitect, een stedenbouwkundige, een constructeur, een kostendeskundige, een verkeerskundige, een milieukundige, een architect en een deskundige op het gebied van grondopbrengsten. Er is wederom gewerkt met kengetallen en expert-judgement.

De uitkomst van deze stap is niet dé situatie waar een Duurzame Weg het best toegepast kan worden maar een overzicht tegen welke zaken je aanloopt als je het concept in een bepaalde situatie wilt toepassen.



## 3. Contra-expertise milieu, constructie en veiligheid

### 3.1 Kansrijk

Een aantal van de doelstellingen van de Duurzame Weg zijn door Ingenieursbureau Gemeentewerken Rotterdam als kansrijk benoemd:

#### Milieu:

- de geluidsdoelstellingen zijn volledig realiseerbaar;
- In gebieden die niet zijn of worden aangesloten op een stadsverwarmingsnet kan vrijgekomen warmte benut worden om huizen, kantoren o.i.d. te verwarmen met behulp van een lage temperatuur-verwarmingssysteem;

#### Constructie:

- de door Movares gestelde constructieve uitgangspunten zijn valide;
- positieve effecten zijn te verwachten op het gebied van de duurzaamheid van het wegdek, gladheidbestrijding etc.;

#### Kosten/opbrengsten:

- de Duurzame Weg biedt mogelijkheden tot grondontwikkeling naast wegen waar nu beperkingen gelden door milieueisen, dat is een wenselijke situatie in een zich steeds verder verdichtende stad als Rotterdam;
- De bewering van Movares dat het concept van de Duurzame Weg ongeveer € 60 miljoen per kilometer kost (+/- 30%) wordt door het Ingenieursbureau Gemeentewerken onderschreven. In deze opgave wordt uitgegaan van een overkapping als de Duurzame Weg over een snelweg van drie rijstroken per richting en een hoogte van ongeveer negen meter.

### 3.2 Nader onderzoek

Voor een aantal onderwerpen verdient het aanbeveling om nader onderzoek te doen:

#### Constructie:

- Er is onderzoek nodig naar de minimale hoogte van de dakconstructie. Naarmate de hoogte kleiner is, maakt dat de inpassing in het stedelijk gebied makkelijker. Bij een kleinere hoogte bestaat het gevaar dat het principe van de Duurzame Weg verloren gaat. Naarmate de weg breder is, zal de hoogte van de constructie groter worden.

#### Milieu:

- Ervaringen met het afvangen van NO<sub>x</sub> door actieve koolstof hebben tot nu toe weinig positieve effecten laten zien. Om het afvangen van NO<sub>x</sub> effectief te doen is zijdelingse circulatie of wind nodig. Het is mogelijk dit met mechanische ventilatie te doen maar dat kost energie. Onbekend is hoe efficiënt dit kan zijn.
- Hoewel het afvangen van fijn stof effectief kan zijn, is dat in de praktijk nog onvoldoende bewezen. Er zijn nog weinig betrouwbare meetgegevens voorhanden. Bovendien zijn toepassingen elders moeilijk vergelijkbaar: veelal gaat het om lange, smalle tunnels met zeer hoge concentraties fijn stof, waardoor grotere effecten kunnen worden bereikt dan bij de Duurzame Weg. Een korte literatuurstudie is opgenomen in bijlage 6.

- Ervaringen met gaasschermen lijken veelbelovend. BAM en TU Delft werken samen aan een proefopstelling van een gaasscherm in de middenberm en een elektrostatisch dak. Uitkomsten van deze onderzoeken zijn interessant om te gebruiken bij het verder ontwikkelen van een Duurzame Weg.
- Rotterdam maakt voor een deel van de stad gebruik van een stadsverwarmingsnet. De warmte die gegenereerd wordt door het asfaltwarmtesysteem is niet warm genoeg om rendabel te gebruiken als bron voor het stadsverwarmingsnet. Nader onderzoek hiernaar lijkt dan ook niet zinvol. Wel dient onderzocht te worden met welk rendement en tegen welke kosten de warmte in elektriciteit kan worden omgezet.
- Onderzocht dient te worden of er synergie mogelijk is tussen het filteren van de lucht en het winnen van warmte uit de kap.

#### Veiligheid:

- Een weg met een overkapping langer dan 250 meter is in de huidige wetgeving een tunnel. De vraagstukken op het gebied van veiligheid vragen om scenariostudies. Normaal gesproken worden scenariostudies uitgevoerd voor een bepaalde locatie en inpassingsvariant. Deze procedure vraagt om verschillende varianten die op verschillende onderwerpen tot in detail doorgerekend moeten worden. Het advies van het Ingenieursbureau Gemeentewerken is om een scenariostudie uit te voeren, zonder dat een locatie bepaald is. Hiermee wordt het principe van de Duurzame Weg een keer onder een vergrootglas gelegd en getoetst door de commissie Tunnelveiligheid. In vervolgsituaties hoeft de basis van de Duurzame Weg dan niet meer getoetst te worden maar alleen nog de toepassing op een bepaalde locatie. Dit kan de procedure rond de aanleg van een Duurzame Weg vergemakkelijken en de haalbaarheid vergroten omdat plannenmakers zich minder laten afschrikken door de lange aanloop.
- Voor een tunnel geldt de zogenaamde tien-secondenregel. Dit betekent dat er binnen tien seconden voor het inrijden van de tunnel geen weefbewegingen mogen plaatsvinden. Het doel van deze regel is dat een rijstrook gekozen wordt en zo een rustig verkeersbeeld ontstaat voordat men de tunnel in rijdt en aan deze 'rijtaak' begint. Door daglichttoetreding onder de overkapping van de Duurzame Weg zijn de rijtaken minder belastend. Dit, samen met het feit dat de Duurzame Weg een ruime lay-out heeft in tegenstelling tot een tunnel, kan voor een weggebruiker betekenen dat hij de handeling 'weven' kan uitvoeren op de Duurzame Weg. Nader onderzoek op dit onderdeel is wenselijk.
- Nader onderzoek moet uitwijzen of het bezwaarlijk is dat de transparantie verminderd wordt wanneer sneeuw, regen of algen op de kap komen.

### **3.3 Kanttekeningen**

#### Constructie:

- De Duurzame Weg kan, behalve het toepassen van een overkluizing, niet gebruikt worden in het kader van dubbel grondgebruik. Op het dak van de Duurzame Weg kunnen geen functies toegevoegd worden zoals dat op een tunneldak kan.
- Een aantal punten verdient nadere aandacht: lichthinder en het ontstaan van stroboscopisch effect, het borgen van de temperatuur onder de kap, de flexibiliteit van de weginrichting, het schoonmaken van het glas, zones ten behoeve van onderhoud, graffiti etc. Deze effecten zijn

overigens op te lossen door extra voorzieningen op te nemen, financieel gezien past dit binnen de marges die Movares aanhoudt.

- Een risico wordt gezien in de verkrijgbaarheid van de grond om de constructie te funderen. Aan de zijden van de wegen zijn vaak kabels- en leidingenstroken aangelegd. Soms zijn de gronden van andere partijen die geen baat hebben bij de aanleg van een Duurzame Weg.

### 3.4 Niet essentieel

Een aantal onderdelen van het concept van de Duurzame Weg acht het Ingenieursbureau Gemeentewerken niet essentieel in de verwezenlijking van een Duurzame Weg:

#### Milieu:

- de toepassing van zonnecellen in de kap wordt gezien als kansrijk, met name in die gevallen waarin de kap op het zuiden georiënteerd is. De energie zou direct ingezet kunnen worden ten behoeve van de verlichting. Om zon op het dak toe te laten is het nodig in elk geval aan één zijde van de weg geen hoogbouw toe te passen, zodat het zonlicht de zonnecellen kan bereiken. De meerwaarde van de grond in de omgeving zal minder stijgen dan wanneer dit soort restricties niet opgelegd worden. Zonnecellen kunnen lichtdoorlatend zijn en hoeven geen consequenties te hebben voor de lichtbeleving onder de glazen kap. Zonnecellen zijn geen essentieel onderdeel van de Duurzame Weg.
- Zonder overkapping is warmtewinning uit asfalt ook mogelijk, zij het met een lager rendement. In Nederland zijn warmtewinningsprojecten uit asfaltwegen vaak niet gerealiseerd omdat de afstemming in tijd en de organisatie van de levering van de warmte aan gebouwen moeilijk en complex is. Wel zijn er meerdere projecten gerealiseerd waar nieuwbouw wordt verwarmd met asfaltcollectoren in parkeerterreinen.
- Warmtewinning uit asfalt is naar verwachting niet noodzakelijk om het wegdek vorstvrij te houden.

### 3.5 Alternatief

Als laatste is tijdens de expertmeeting een alternatief aangedragen voor de Duurzame Weg, namelijk een overkapping met een 'sleuf' in het dak. Dit alternatief wordt gezien als een ander concept en wordt niet verder meegenomen bij het toetsen van het concept de Duurzame Weg. In de rapportage 'Overkappen van wegen en luchtbehandeling' van het Innovatieprogramma Luchtkwaliteit (juni 2007) wordt dit idee vergeleken met een klassieke tunnel. Nader onderzoek naar deze oplossing kan meer inzicht geven in vraagstukken als 'de noodzaak om aanvullende maatregelen te nemen op het gebied van geluid'.

### 3.6 Conclusie

Het overkappen van snelwegen is een interessante methode om verkeer en leefbaarheid beter met elkaar in balans te brengen, mits het rendement op het gebied van luchtvervuiling zo positief is als Movares stelt.

Gesteld kan worden dat de Duurzame Weg potentieel significante milieupbrengsten kan hebben, maar de beweringen van Movares zijn nog niet voldoende bewezen. Om te kunnen

bekijken of de meerkosten van een Duurzame Weg ten opzichte van geluidsschermen de investering waard zijn, zullen de luchteffecten nader onderzocht moeten worden.

Het concept de Duurzame Weg kan toepasbaar en haalbaar zijn. Het overkappen van wegen, zoals in het concept van de Duurzame Weg, zou zelfs een wenselijke ontwikkeling kunnen zijn om bouwinitiatieven naast wegen weer mogelijk te maken.

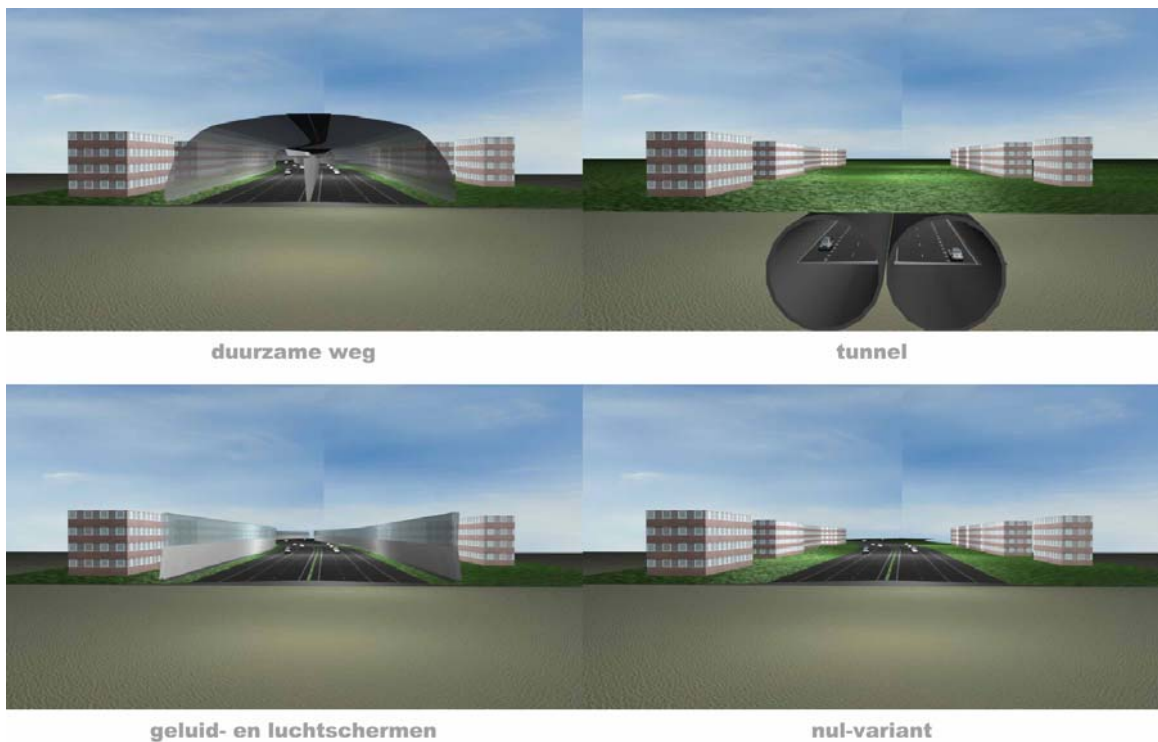
De invloed op de totale luchtvervuiling in Rotterdam en de omgeving van Rotterdam is minimaal. Bij toepassing van een Duurzame Weg op één locatie in Rotterdam verbetert de luchtkwaliteit ter plaatse. Als hiermee bouwinitiatief mogelijk wordt gemaakt, is het een nuttig instrument.

Een (diepe of ondiepe) tunnel biedt overigens meer ruimte voor dubbel ruimtegebruik dan de Duurzame Weg. Per saldo levert een tunnel meer ruimtewinst op, echter de bouwkosten zijn ook een factor tweeënhalf hoger.

## 4. Vergelijking met andere wegtypen

### 4.1 De vergelijking

Allereerst dient gesteld te worden dat de toepassing van een tunnel, een weg met geluid- en luchtschermen of een Duurzame Weg niet onderling uitwisselbaar is. Elke locatie vraagt om een 'oplossing op maat'. Tunnels moeten worden aangelegd op locaties waar de inpassing daarom vraagt, zoals bij kruisende water- of weginfrastructuur of bij volledige overbouwning. In een situatie waarbij een nieuw te ontwikkelen gebied 'gebukt' gaat onder de milieueisen, is de toepassing van een Duurzame Weg mogelijk een logische oplossing. Een stedelijke omgeving vraagt bovendien een andere inpassing dan een snelweglocatie. Per locatie en per situatie moet bekeken worden wat op die locatie de economisch meest voordelige oplossing is om de verschillende doelstellingen te bereiken.



**Figuur 2.** impressies ten behoeve van vergelijking

In deze vergelijking zijn vier situaties naast elkaar gezet, waarin wordt uitgegaan van drie rijstroken per richting over één kilometer lengte en woonbebouwing langs de snelweg: een weg op maaiveld, een weg met geluid- en luchtschermen, een tunnel en een Duurzame Weg.

In de tabel (figuur 3) is een vergelijking zichtbaar tussen een weg op maaiveld, een weg met lucht- en geluidsschermen, een tunnel en een Duurzame Weg. In deze tabel is overzichtelijk

gemaakt welke voor- en nadelen de verschillende oplossingen hebben. De toelichting op de in de tabel opgenomen beoordeling is onder dezelfde kopjes terug te vinden in bijlage 2.

Het is nadrukkelijk niet de bedoeling om een optelsom te maken van deze tabel en daarmee een algemene niet locatiegebonden voorkeur voor één van de oplossingen aan te geven.

Voor het maken van de vergelijking zijn deze situaties naast elkaar gezet:

1. Weg op maaiveld

In deze situatie wordt uitgegaan van milieumaatregelen aan de gevel.

2. Weg met geluid- en luchtschermen

In deze situatie zijn er aan beide zijden van de snelweg geluid- en luchtschermen van negen meter hoog aangelegd. De onderste helft is een gesloten wand, de bovenste helft is gemaakt van glas.

3. Tunnel

Er is uitgegaan van een tunnel onder het maaiveld, waarin geen aanvullende milieumaatregelen zijn genomen.

4. Duurzame Weg

De kap heeft een hoogte van ongeveer negen meter en overspant twee keer drie rijstroken met een middensteunpunt. De overkapping is volledig van glas, tot aan het maaiveld toe.

		weg op maaiveld*	weg met geluid-luchtschermen	tunnel	Duurzame Weg**
<b>milieu</b>					
	Lucht: tunnelmond	slecht	matig/goed	probleem aan tunnelmond	matig
	Lucht: naast de weg	slecht	matig	goed	goed
	Geluid:	slecht	goed	goed	goed
	Energie - warmtewinning:	mogelijk in asfalt	mogelijk in asfalt	niet mogelijk	mogelijk in asfalt en/of kap
	Licht:	daglicht	daglicht	geen daglicht	daglicht maar stroboscopisch effect
<b>veiligheid</b>					
	Zelfredzaamheid/vluchtgedrag:	goed	matig	slecht	matig
	Hulpverlening:	goed	matig	slecht	matig
	In- en externe veiligheid:	goed	matig	slecht	matig
	Verkeersgedrag i.r.t. het wegbeeld:	goed	goed	matig	goed
	Vandalisme en terrorisme:	geen	matig	matig	matig
<b>constructie</b>					
	Flexibiliteit:	goed	modulair systeem, aan te passen	slecht	modulair systeem, aan te passen
	Aanleg en bouwproces:	goed	goed	slecht	matig
	Onderhoud en beheer:	regulier wegonderhoud	licht extra onderhoud	licht extra onderhoud	extra onderhoud kap en installaties, minder onderhoud asfalt
	Investeringskosten ***:	€ 0 mln per kilometer	€ 20 mln per kilometer	€ 150 mln per kilometer	€ 60 mln per kilometer
	Toepassingen	overall	overall	ondergronds, onder water of overbouwd	half verdiept (duurder) / op maaiveld

**Figuur 3. vergelijking met Duurzame Weg**

\* waarbij maatregelen getroffen zijn aan de gevels langs de weg

\*\* voor uitgebreide beschrijving van beleving Duurzame Weg vergeleken met tunnel, zie bijlage 4

\*\*\* Voor de kosten is geen 'oordeel' opgenomen omdat verschillende problemen om verschillende oplossingen vragen

	Niet goed
	Nader onderzoek
	Goed

## **4.2 Conclusie**

De verschillende wegtypen zijn onderling niet uitwisselbaar. Elke omgeving en elk vraagstuk vraagt om zijn eigen toepassing.

De Duurzame Weg komt tegemoet aan veel nadelen die de aanleg van een tunnel met zich meebrengt en maakt bouwen naast snelwegen weer mogelijk. De Duurzame Weg is in principe een interessant concept.



## 5. Duurzame Weg A4 Beneluxtunnelmond Pernis

Het dorp Pernis ligt naast de tunnelmond van de A4 en in het havengebied: Shell Pernis ligt aan de andere zijde van de A4. Het dorp Pernis heeft veel last van vervuilde lucht en geluid, deels afkomstig van de omliggende industrie en deels afkomstig vanuit de Beneluxtunnel. Het dorp Pernis heeft al jaren te maken met een teruglopend inwoneraantal. De wijkraad geeft aan dat nieuwbouw en uitbreiding van de woningvoorraad het dorp de benodigde impuls zou kunnen geven. Ook is het zaak het imago van Pernis op o.a. milieugebied te verbeteren.

Toepassing van de Duurzame Weg op deze locatie kan op twee manieren gebeuren:

1. Een korte overkapping aan de tunnelmond;
2. Een lange overkapping ten behoeve van een ontwikkellocatie.

### ad 1. Een korte overkapping aan de tunnelmond:

Een korte overkapping aan de mond van de Beneluxtunnel kan de lucht uit de Beneluxtunnel in de overkapping opvangen en reinigen voordat het met de buitenlucht in aanraking komt. Een korte kap heeft geen invloed op de geluidbelasting van Pernis. Onderzocht dient te worden of een korte overkapping voldoende capaciteit heeft om de lucht te zuiveren. In elk geval is het voor de gewenste circulatie nodig om aan de noordzijde van de Beneluxtunnel ook een dergelijke overkapping te plaatsen.



Figuur 9. Korte overkapping mond Beneluxtunnel bij Pernis

De aanleg zal niet op problemen stuiten. Het construeren van de Duurzame Weg kan met behulp van een "rijdende gesloten tunnelbekisting" die wordt gebruikt als werkplatform (lengte bijvoorbeeld vijftig meter). Deze wordt geplaatst op rails waarmee deze langs het tracé verrijdbaar is. Op dit werkplatform worden zgn. "offload" faciliteiten aangebracht ten behoeve van montage

en assemblage. De snelweg wordt (al dan niet volledig) afgesloten bij (de)mobilisatie van dit hulpmaterieel.

Qua toets op de tunnelveiligheid is de verdiepte ligging van de Duurzame Weg bij een tunnelmond een belangrijk vraagstuk. Het vluchten gaat bij een verdiepte ligging lastiger dan bij een ligging op maaiveld. Scenariostudies kunnen hierover duidelijkheid bieden.

De kosten van een dergelijke overkapping worden bepaald door de breedte van de Duurzame Weg. Globaal kan worden aangehouden dat een verdubbeling in de breedte betekent dat de kostprijs verdubbeld wordt, dus ongeveer € 120 mln per kilometer.

Conclusie:

Geconcludeerd wordt dat de korte overkapping geschikt is om de luchtbelasting van de Beneluxtunnel voor Pernis te verminderen, wanneer deze voldoende capaciteit heeft om de lucht te zuiveren incl. de lucht uit de tunnel. Een korte kap levert geen bijdrage aan de vermindering van geluidsbelasting van Pernis. Technisch zal het bouwen van de overkapping geen problemen opleveren. Qua tunnelveiligheid moet bekeken worden hoe gevlucht kan worden bij een verdiepte ligging van de Duurzame Weg.

#### **ad 2. Een lange overkapping ten behoeve van een ontwikkellocatie:**

Wanneer de Duurzame Weg wordt doorgetrokken tot aan het metrostation Pernis, valt de geluid- en luchtbelasting van de A4 op Pernis helemaal weg. Dit kan betekenen dat, passend binnen de milieuwetgeving, een nieuwe ontwikkellocatie in de groene zone naast de A4 ontstaat. Onbekend is of bij het wegvallen van de geluidbron A4 het overige geluid (scheepvaart-, industrie- en railverkeerslawaai) nadrukkelijker wordt.

Wanneer wordt uitgegaan van een hogere bebouwingsdichtheid nabij het metrostation en een aflopende dichtheid richting de Hogedijk, kan een ruime woningvoorraad gerealiseerd worden.



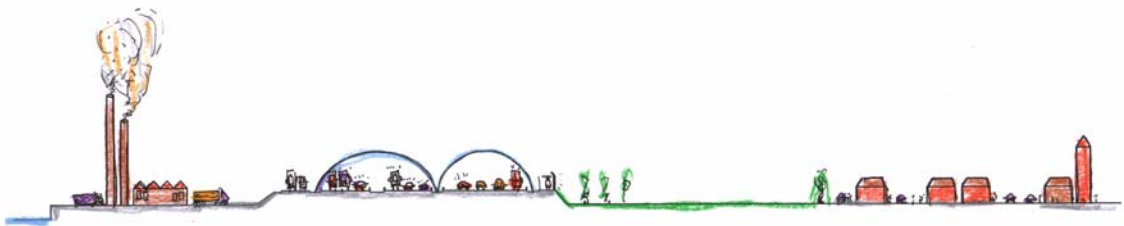
**Figuur 10. Lange overkapping ten behoeve van ontwikkellocatie Pernis**

**Geluid:**

Pernis ligt ingeklemd tussen verschillende grote geluidbronnen: industrieterrein Botlek/Pernis, Rijksweg A4, de metro, industrieterrein Waal/Eemhaven en de Nieuwe Maas. Het doortrekken van Beneluxtunnel middels de glazen kap zorgt ervoor dat het geluid van de A4 wordt teruggebracht tot onder de voorkeurswaarde.

Direct aan de westzijde ligt het industrieterrein Botlek/Pernis. Dit industrieterrein kan vanwege het geluid beperkingen opleveren voor de ontwikkeling van het eventueel te ontwikkelen gebied langs de rijksweg. De hoogte van de kap kan er echter voor zorgen dat het gebied in de geluidschaduw van de kap komt te liggen. Hoogbouw is echter niet mogelijk.

Aandachtspunt voor de kap op deze locatie is de metro. Het geluid van de metro is voor de te ontwikkelen strook niet direct een knelpunt maar zal in het geval dat de metro onder de kap kan rijden aanzienlijk worden gereduceerd. Dit effect kan ook bereikt worden door de plaatsing van een geluidsscherm. Er worden geen problemen verwacht van reflectie van geluid door de gebogen kap.



**Figuur 11. profiel Duurzame Weg A4 bij Pernis**

**Lucht:**

De achtergrondconcentratie wordt hier veroorzaakt door verkeer in combinatie met industrie en scheepvaart. Doordat bij Pernis de woningen op meer dan tweehonderd meter vanaf de snelweg liggen zal het rendement van een overkapping voor de verbetering van de luchtkwaliteit bij de woningen minder groot zijn. Voor de bedrijven en woningen langs de Ring (tot op vijftig meter vanaf de wegrand) kan de Duurzame Weg een positieve bijdrage leveren aan verbetering van de luchtkwaliteit.

Uit onderzoek van DCMR blijkt dat de bijdrage van de A4 op de achtergrondconcentraties 3 tot 6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  is op de totale achtergrondconcentratie van 34 tot 37  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Voor automobilisten heeft de beleving van de haven in de omgeving van de A4 een positieve waarde. Het uitzicht op de haven heeft een bepaalde schoonheid. Bij de toepassing van een glazen kap met stalen spanten wordt dit uitzicht minder vrij. Voor de weggebruiker is het bovendien logisch dat hij een tunnel in rijdt waar het water van de Maas gekruist wordt. Deze logica gaat verloren wanneer een Duurzame Weg wordt aangelegd, waarbij het autoverkeer op maaiveld blijft. Overigens, wanneer wordt overwogen om de huidige tunnel uit te breiden, gaat het uitzicht helemaal verloren.

De Duurzame Weg kan ervoor zorgen dat de bestaande woningen in Pernis iets meer waard worden. Uitbreiding van de woningvoorraad in Pernis is geen onderdeel van de Stadsvisie 2030 en maakt geen onderdeel uit van de ontwikkelingen in het kader van Stadshavens. In de toekomstvisie van de wijkraad voor Pernis wordt een woonwijk ontwikkeld van ongeveer driehonderd woningen in de omgeving van metrostation Pernis. De investering voor een Duurzame Weg tot aan metrostation Pernis is groot, er moeten veertien rijstroken over een lengte van anderhalve kilometer overkapt worden. Dit kost grof ingeschat € 200 miljoen. Hierbij is meegenomen dat de constructie zwaarder en duurder wordt doordat een grotere breedte overkapt moet worden.

**Conclusie:**

Geconcludeerd wordt dat voor een investering van ongeveer € 200 mln. de lange overkapping bij Pernis ervoor kan zorgen dat de A4 en de tunnelmond van de Beneluxtunnel qua lucht- en geluidsbelasting niet meer beleefd wordt in Pernis. De achtergronden op het gebied van lucht en geluid zullen een belangrijker rol gaan spelen. Ook voor de lange overkapping geldt dat technisch het bouwen van de overkapping geen problemen zal opleveren.

## 6. Duurzame Weg toegepast

### 6.1 Hoofdweg in het stedelijk gebied

Sommige hoofdwegen in het stedelijk gebied zijn knelpunten op het gebied van luchtkwaliteit door de grote hoeveelheden verkeer die van de hoofdweg gebruik maken, tussen de bebouwing aan beide zijden van de weg. Bij het nadenken over de toepassing van de Duurzame Weg in het stedelijk gebied is de interactie tussen beide 'gevels' en daarmee het behoud van een minimum kwaliteit van de openbare ruimte, een belangrijk vraagstuk. Daar waar bij aanleg van een klassieke ondergrondse tunnel op het dak ruimte ontstaat om verblijfsgebied te creëren of functies toe te voegen, wordt bij toepassing van een gebogen glazen dak een barrière geïntroduceerd. Afhankelijk van de hoogte van het dak (concept van Movares gaat uit van toepassing op snelwegen en negen meter hoogte) en de minimale kromming, is de barrièrewerking groter of kleiner. Om de kans op vandalisme te verkleinen, zou gedacht kunnen worden aan een betonnen basis. Dit is echter in een stedelijke omgeving een zeer ongewenst beeld omdat er dan totaal geen contact meer is tussen beide 'gevels'.

Bij een nadere beschouwing van de Duurzame Weg in een stedelijke omgeving ontstaan ideeën om de inpassing mogelijk te maken, bijvoorbeeld door de glazen kap te verstevigen en overloopbaar te maken. Je kunt bij een verdiepte ligging van de Duurzame Weg uitzicht creëren op de auto's die onderlangs rijden, als 'gadget'. Misschien is de glazen kap te combineren met een fontein, ijsbaan of welke functie dan ook gewenst is op een bepaalde locatie. Echter bij een verdiepte ligging en vlak glas, is er geen sprake meer van toepassing van het concept van de Duurzame Weg van Movares.

Geconcludeerd wordt dat in een relatief kleinschalige stedelijke omgeving een klassieke tunnel de voorkeur geniet omdat dit de mogelijkheid biedt om verblijfsgebied te creëren op het dak van de tunnel. De Duurzame Weg geeft een ongewenst beeld in een relatief kleinschalige stedelijke omgeving.

### 6.2 Tunnelmond in het stedelijk gebied

In het stedelijk gebied zijn er veelal knelpunten op het gebied van luchtkwaliteit op locaties waar een tunnel eindigt. De Duurzame Weg kan mogelijk een belangrijke rol vervullen om de lucht die vrijkomt aan de tunnelmond te zuiveren voordat het in aanraking komt met de buitenlucht. Omdat het rendement van de luchtzuivering onbekend is, is ook nog niet aan te geven hoeveel schoner de lucht bij de tunnelmond kan zijn wanneer de tunnel verlengd wordt met een Duurzame Weg-tunnelmond. Om de circulatie op gang te krijgen, is het noodzakelijk om aan beide zijden van de tunnel een glazen overkapping met zuiveringssysteem aan te leggen. In principe hoeft het overkappen van de tunnelmond geen stedenbouwkundig probleem op te leveren, zoals de Duurzame Weg in het stedelijk gebied maar dat zal per locatie nader onderzocht moeten worden.



Geconcludeerd wordt dat de toepassing van een Duurzame Weg als verlengstuk van een tunnel van grote waarde kan zijn, mits de luchtzuivering zodanig werkt dat het knelpunt luchtkwaliteit ter plekke opgelost wordt, mits de inpassing niet op grote stedenbouwkundige bezwaren stuit en mits aan beide zijden van de tunnel een dergelijke overkapping aangelegd wordt.

### **6.3 Snelweg in het stedelijk gebied**

Snelwegen door het stedelijk gebied zijn enorme barrières. In de wijde omgeving is overlast van geluid en vuilere lucht. Ontwikkeling van gebieden naast snelwegen gaan vaak moeizaam omdat de huidige milieuwetgeving het lastig maakt om binnen de grenzen van de wet een rendabele ontwikkeling te organiseren.

Mits er zich geen problemen voordoen in het kader van de externe veiligheid kan de Duurzame Weg de nadelen van een snelweg in het stedelijk gebied verminderen. Hierdoor kunnen bestaande woonwijken genieten van een schonere en stillere leefomgeving en kunnen ontwikkelingen op gronden bij snelwegen weer van de grond komen. Echter, een grove berekening van een ontwikkeling naast een Duurzame (snel)Weg laat zien dat de investering voor de Duurzame Weg geen onderdeel zal uitmaken van een dekkende grondexploitatie.

Geconcludeerd kan worden dat een kansrijke toepassing van de Duurzame Weg denkbaar is bij de toepassing op snelwegen in het stedelijk gebied, maar dat de investering waarschijnlijk niet gedekt kan worden in de grondexploitatie van nieuw te ontwikkelen gebieden.

### **6.4 Algemeen**

In klassieke tunnels zijn afslagen niet toegestaan i.v.m. de veiligheid en het maximale aantal rijtaken die een bestuurder aankan. Als de Duurzame Weg, door daglichttoetreding, ervoor kan zorgen dat op een bepaalde locatie afslagen kunnen worden aangelegd onder de kap, ontstaat een toepassing waar op verschillende locaties vraag naar zou kunnen zijn.

## 7. Conclusies en aanbevelingen

De Duurzame Weg is een kansrijk idee om lucht- en geluidskwaliteit rond snelwegen te verbeteren. Door aanleg van de Duurzame Weg in dichtbebouwd stedelijk gebied kunnen zones ontwikkeld worden die door de huidige milieuwetgeving niet te ontwikkelen zijn. Nader onderzoek is nodig naar zuivering van de lucht, de warmte/energielevering en het gedrag van verkeersdeelnemers. Deze onderzoeken kunnen het beste in een praktijksituatie worden verricht middels een pilot.

### 7.1 Milieu

1. Realisatie van luchtkwaliteitsnormen en de urgentie om aan de norm te voldoen, is de belangrijkste overweging om een Duurzame Weg toe te passen. Wanneer luchtkwaliteit geen probleem is, is de toepassing van geluidsschermen (afhankelijk van de locatie en de beoogde geluidsreductie) kostentechnisch interessanter dan toepassing van een Duurzame Weg. Indien de bebouwing langs een weg zo hoog is dat schermen geen of onvoldoende reductie leveren, is de Duurzame Weg een goede optie.
2. Op dit moment is het te bereiken rendement op het gebied van fijn stof en NO<sub>x</sub> onzeker. Uitspraken van Movares dat het bewezen toepassingen betreft worden dan ook vooralsnog niet gedeeld. Met behulp van een schaalmodel kan beter inzicht verkregen worden in de optredende windstromingen ten opzichte van de gehoopte windcirculatie onder de kap. Het is echter niet geschikt voor het meten van concentratieveranderingen als gevolg van zuiveringsinstallaties. Praktijksituaties geven betere onderzoeksgegevens. Omdat bestaande praktijksituaties lastig vergelijkbaar zijn met de situatie in de Duurzame Weg is het advies om aan te sluiten bij de proeven van BAM en TU Delft over de elektrostatische draden. Vervolgens kan deze techniek in de Duurzame Weg-overkapping toegepast worden en als pilot uitgeprobeerd worden.
3. De door Movares aangegeven geluidsdoelstellingen lijken volledig realiseerbaar.
4. Warmte leveren aan het collectieve warmtenet lijkt niet rendabel. Voor functies die buiten de reikwijdte van het beoogde warmtenet liggen, kan een autonome warmtelevering zinvol zijn. Nader onderzoek naar nieuwbouwprojecten in de omgeving van een beoogde Duurzame Weg is wenselijk om inzicht te krijgen in de haalbaarheid hiervan.
5. De door Movares opgevoerde combinatie met zonnecellen wordt aangemerkt als een niet noodzakelijke maar kansrijke toepassing om bij te dragen aan klimaatdoelstellingen.

### 7.2 Veiligheid

6. Op dit moment is de Duurzame Weg voor de Wet Tunnelveiligheid een tunnel. Hierdoor is het niet mogelijk om onder de overkapping afslagen en opritten toe te passen. Belangrijke meerwaarde van de Duurzame Weg ten opzichte van een klassieke tunnel kan ontstaan

wanneer, door daglichttoetreding en een ruimere lay-out, wettelijke eisen hierover versoepeld worden.

Het vergunningtraject wordt door een aantal experts ervaren als omvangrijk, vertragend en belastend en maakt toepassing van de Duurzame Weg minder kansrijk. Wenselijk is om de locatieafhankelijke aspecten van de Duurzame Weg in scenariostudies te belichten en te laten beoordelen door de Commissie Tunnelveiligheid. Naar aanleiding van deze beoordeling kan een juridisch kader worden vastgesteld. Dit heeft als doel het vergunningtraject bij toepassing op een bepaalde locatie terug te brengen tot de locatiegebonden aspecten. Eventueel kan de overkapping als aparte categorie benoemd worden in de Wet Tunnelveiligheid.

7. Nader onderzoek doen naar de toepassing van een concept met de 'sleuf' in het dak en de gevolgen daarvan voor milieu, veiligheid en daarmee voor de interpretatie van de Wet Tunnelveiligheid.

### **7.3 Constructie en kosten**

8. Mogelijkheden voor aanvullende grondexploitatie en functie integratie (blinde gevels) maken de Duurzame Weg op specifieke locaties kansrijk. Het toepassen van de Duurzame Weg is kansrijker wanneer kan worden meegelift met lopende ontwikkelingen.

9. Constructief en qua aanleg zijn er geen bezwaren tegen het concept Duurzame Weg. Het construeren kan met een rijdende gesloten tunnelbekisting, dus de wegen hoeven niet lang afgesloten te worden. Aandachtspunten op constructief gebied zijn in de regel met additionele financiering op te lossen. De bandbreedte van de kostenraming biedt daarvoor voldoende ruimte.

10. De stelling van Movares dat de Duurzame Weg € 60 mln per kilometer kost, uitgaande van 2x3 rijstroken die overkapt worden, wordt onderschreven.

### **7.4 Inpassing**

11. In een dichtbebouwd stedelijk gebied waar een snelweg doorheen loopt, kan de Duurzame Weg bijzondere kansrijke situaties opleveren, mits de filtering van de lucht en koeling en ventilatie aan de verwachtingen voldoen.

12. In een relatief kleinschalige stedelijke omgeving met aan beide zijden van de weg woonbebouwing wordt inpassing van de Duurzame Weg stedenbouwkundig als een onwenselijke ingreep benoemd door de barrièrewerking en beperking van het uitzicht.

13. Een korte overkapping aan een tunnelmond kan kansrijk zijn, mits de installatie in de Duurzame Weg voldoende capaciteit heeft, om het ter plaatse geldende milieuprobleem op te lossen.

14. Een korte overkapping aan een tunnelmond kan kansrijk zijn op plaatsen waar door tunnelveiligheidseisen (tien secondenregel) een niet lichtdoorlatende kap pas later kan beginnen.



15. Bij Pernis kan aanleg van een Duurzame Weg betekenen dat lucht en geluid van de A4 geen belasting meer vormen voor het dorp. De geluiden en verontreiniging van andere wegen en het naastgelegen industriegebied zullen een belangrijker rol gaan spelen. Er is geen onderzoek gedaan naar de resterende milieubelasting (lucht, geluid en stank) als de hinder van de A4 grotendeels wordt weggenomen.

## **7.5 Algemeen**

16. Nadere studie in samenwerking met andere geïnteresseerde partijen:  
Meerdere gemeenten en Rijkswaterstaat hebben interesse getoond in het concept van de Duurzame Weg. De haalbaarheid van een toepassing wordt groter wanneer de partijen de krachten bundelen in de vorm van een partnerschap.

17. Nader onderzoek doen naar een locatie om een proef te houden, voorafgegaan door het opstellen van criteria waaraan een locatie moet voldoen.

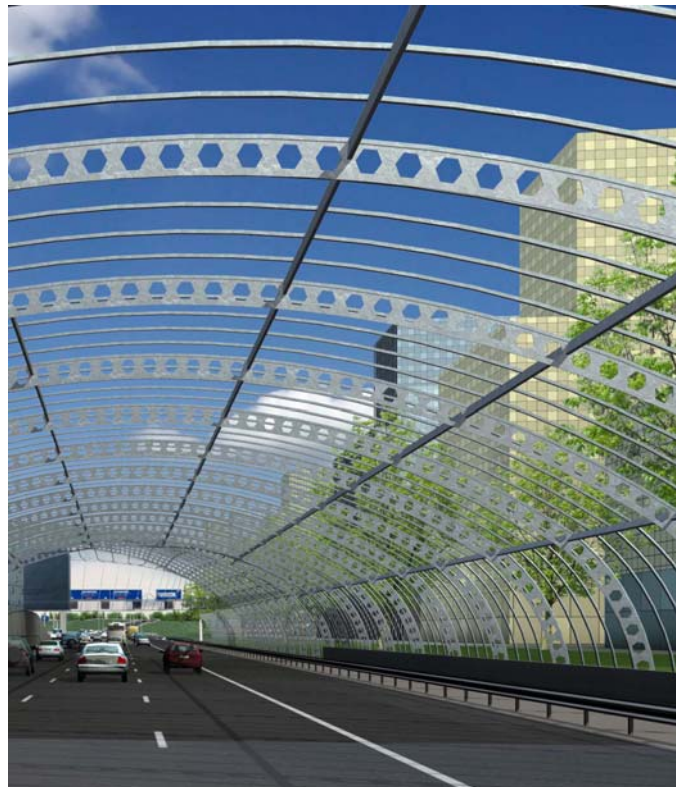
## Bijlage 1 Concept De Duurzame Weg – Movares

### De Duurzame Weg

*Ir. L.I. Vákár*

*Movares*

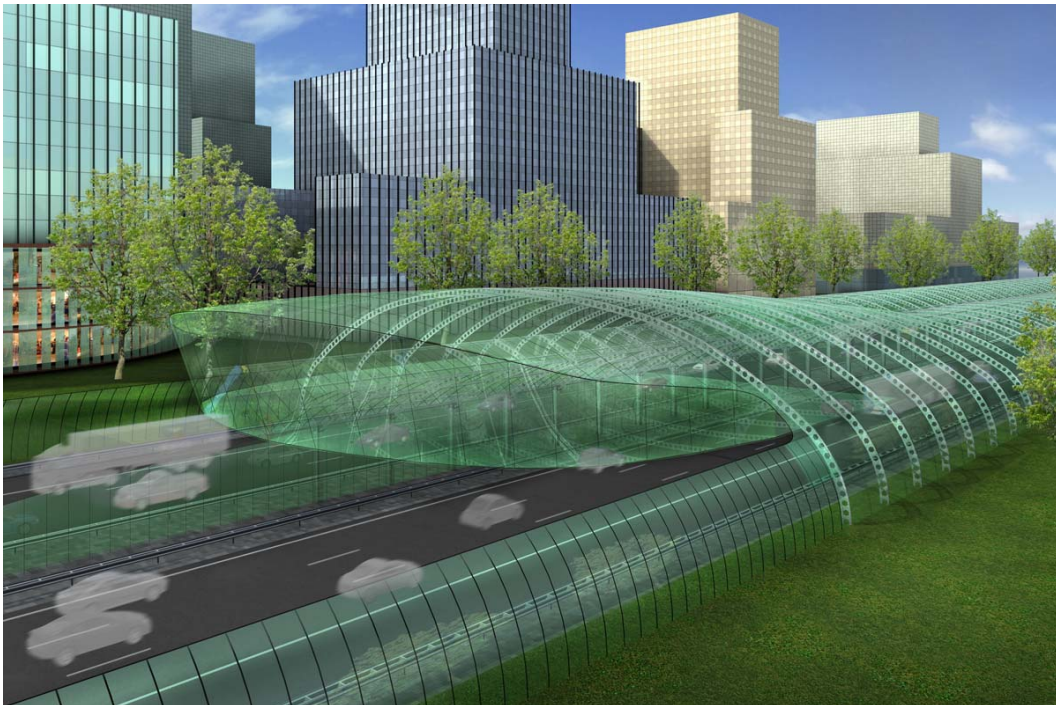
[laszlo.vakar@movares.nl](mailto:laszlo.vakar@movares.nl)



## Inleiding

Wereldwijd staat luchtvervuiling hoog op de politieke agenda. De uitstoot van schadelijke stoffen moet worden beperkt. Geluidoverlast en luchtkwaliteit spelen, door de strenger wordende regelgeving, een steeds belangrijkere rol in de milieuvergunning voor het aanleggen van nieuwe en het uitbreiden van bestaande infrastructuur. Daarnaast heeft de wegbeheerder in zijn dagelijkse beheer te maken met slijtage van de weg en milieubelasting in de vorm van zout in de bodem.

Het concept 'De Duurzame Weg' biedt een integrale oplossing voor de geschetste problematiek. Deze ontwerp oplossing bestaat uit een overkapping van snelwegen met koud buigbaar gelaagd glas (Fig. 1). Hierbij is bijzondere aandacht gegeven aan duurzaamheid, veiligheid, kosten en opbrengsten. Het concept levert een aanzienlijke reductie van geluid, fijnstof,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$  en  $\text{CO}_2$ . Ook levert het een belangrijke besparing van het verbruik van fossiele brandstoffen. Daarnaast verkleint het concept de milieuzone rondom de infrastructuur en levert daarmee extra bouwgrond op in stedelijk gebied. De Duurzame Weg maakt capaciteitsuitbreiding van wegen mogelijk en zorgt voor een goede bereikbaarheid van steden, terwijl tegelijkertijd wordt bijgedragen aan het overheidsbeleid om meer binnenstedelijk te bouwen.

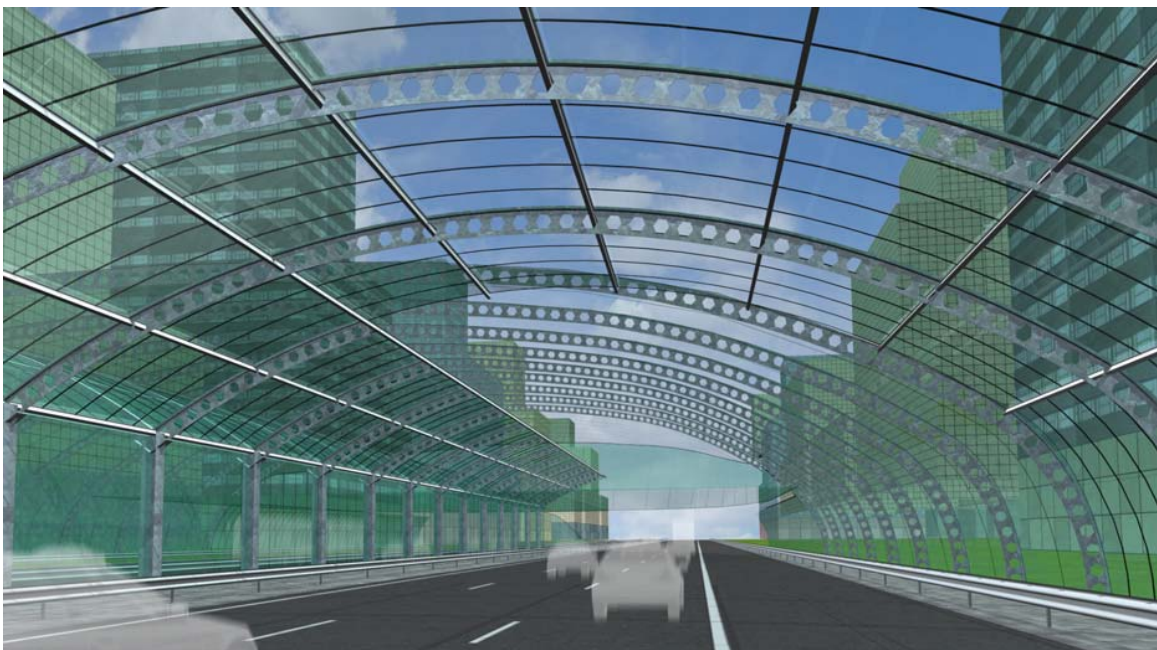


**Figuur 1** Snelwegoverkapping met beëindiging, hier overgaand in een geluidsscherm

De innovatie betreft een geheel nieuwe en integrale toepassing van reeds bestaande en bewezen technologieën. De toepassing is een gecombineerde oplossing voor een aantal

actuele problemen. Behalve dat de lokale problemen van overschrijding van de normen worden opgelost, gebeurt dit op een duurzame en energiezuinige manier. Belangrijk is dat alle gebruikte technologieën reeds uitvoerig getest zijn, waardoor het ontwerp zeer realistisch is. Van alle onderdelen bestaan toepassingen waarvan de haalbaarheid reeds is bewezen. In vergelijking met andere oplossingen voor de actuele problematiek is het plan gezien de constructie, de oplossing van de problemen en de visuele verschijning zeer aantrekkelijk. Bovendien is een goede inschatting te maken van de kosten bij toepassing. In de onderstaande hoofdstukken zal worden ingegaan op essentiële onderdelen van het concept.

## Overkapping met koudgebogen glas



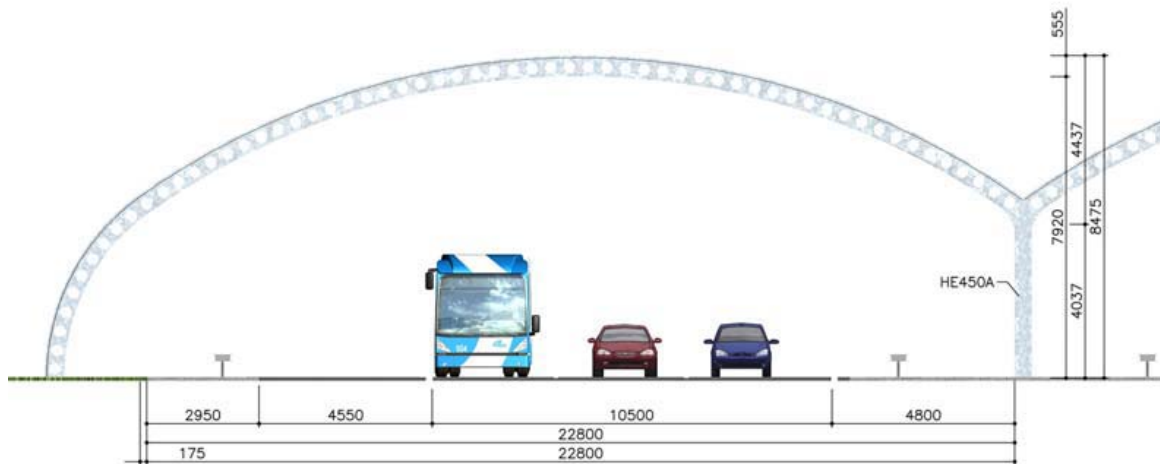
**Figuur 2** Constructieprincipe van snelwegoverkapping

De overkapping in het concept Duurzame Weg betreft een constructie met koudgebogen gelaagd glas (Fig. 2). Dat is visueel aantrekkelijk, veilig, goedkoop en zeer duurzaam in vergelijking met andere materialen. Er wordt gebruik gemaakt van Freeformglass®, dat Movares heeft gepatenteerd<sup>1</sup>. Uit testresultaten (onder andere bij TNO) en praktijktoepassingen is gebleken dat het glas duurzaam en vandalismebestendig is. Ook heeft het bij een grote brand (70MW) door een innovatief glasbevestigingssysteem een brandhangendheid van tenminste 30 minuten.

---

<sup>1</sup> Op basis van dit octrooi ontvangt Movares ook inkomsten uit de toepassing van Freeformglass®.





**Figuur 3 Karakteristieke doorsnede met constructie**

De ontwerp oplossing wordt hier geïllustreerd aan de hand van het overkappen van een snelweg met twee rijbanen, waarbij iedere rijbaan drie rijstroken bevat (Fig. 3). De constructie is opgebouwd uit gebogen stalen raatliggers die tussen de rijbanen op stalen kolommen aansluiten. Met stalen dwarsliggers en gordingen tussen de bogen (h.o.h. bogen 5,50 m) wordt er een raster gecreëerd waarop de glazen platen (3,10 m x 1,10 m) van koudgebogen gelaagd glas worden bevestigd die de uiteindelijke huid van de overkapping vormen. De overkapping is zo ruim, dat het gebruikelijke verkeersmeubilair er ruim onder past. De totale bruto breedte is 50 m.

Uitgangspunt is, dat iedere rijbaan een eigen overkapping krijgt. In het midden worden de rijbanen gescheiden door een absorberende gesloten wand. De buitenzijden van de overkapping worden afgesloten met een transparante wand. Het voordeel van een transparante overkapping ten opzichte van een gesloten overkapping is dat overdag daglicht invalt en dus geen verlichting nodig is. Bij calamiteiten is de oriëntatie daarmee eenvoudig, maar ook tijdens gewoon gebruik biedt de transparante glaskap de weggebruikers oriëntatie en overzicht over de omgeving. Dit in tegenstelling tot tunneloplossingen voor milieuhinder van snelwegen. Ook van buitenaf is de snelweg goed te overzien en dus onder andere eenvoudiger en vooral veiliger te benaderen voor hulpverleners.

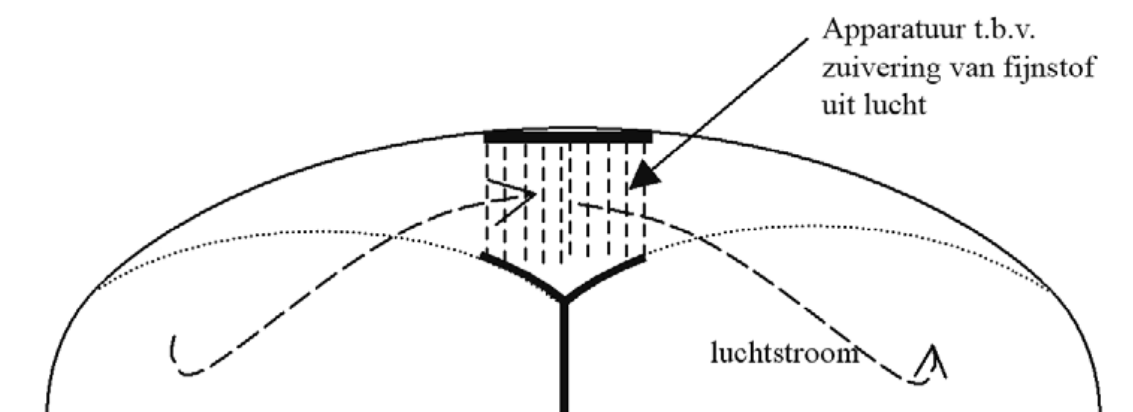
## **Bijdrage aan luchtproblematiek**

De luchtkwaliteitsproblematiek aan weerszijden van de overkapping wordt met de overkapping opgelost, er is daar sprake van een nulmissie, maar zonder aanvullende maatregelen treedt de lucht bij de monden uit. De uitstoot van het verkeer komt dan geconcentreerd naar buiten en zorgt daar alsnog voor te hoge waarden langs de weg. Hoe langer de overkapping, hoe groter de concentratie van de emissies die ter plaatse van de uiteinden vrij komen. Afhankelijk van de lengte van de overkapping en de mogelijkheid om saldering toe te passen zal de oplossing daar al dan niet voldoen aan het besluit luchtkwaliteit. Uitgaande van gemiddelde waarden geven de achtergrondwaarden langs veel snelwegen in de Randstad niet voldoende ruimte om de uitlaatgassen vrij de overkapping te laten uitstromen.

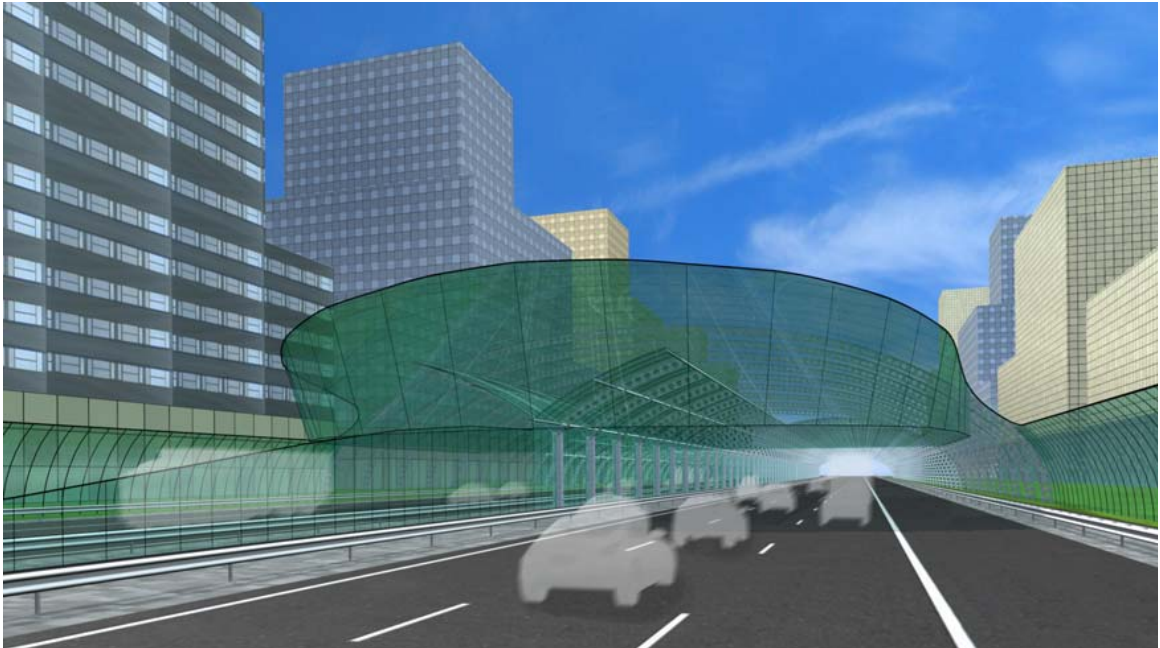
Er is een substantiële reductie nodig van emissies om ter plaatse van de monden aan de luchtkwaliteitseisen te voldoen. Deze reductie wordt bereikt door recirculatie van de lucht ter plaatse van de rijbanen en zuivering van de circulerende lucht. Om te grote uitstroom van vervuilde lucht aan de einden van de overkapping te voorkomen worden natuurlijke luchtstromen benut. Onder de overkapping wordt als gevolg van de beweging van het verkeer namelijk een luchtstroom opgewekt. De luchtsnelheid en de doorsnede van de overkapping zorgen ervoor dat grote hoeveelheden lucht in beweging worden gebracht. Het concept berust erop de luchtbeweging die in beide overkapte weghelften door de beweging van de auto's ontstaat door een speciale vormgeving van de overkapping bij de monden kort te sluiten, zodat een circuit ontstaat (Fig. 4 en 5). De lucht die in een wegdeel de ene kant opstroomt wordt aan het eind van de overkapping deels afgebogen en naar de andere weghelft geleid en meegezogen door de omgekeerde luchtbeweging veroorzaakt door het verkeer aan de andere kant. Op deze manier ontstaat er een circuit van een deel van de lucht onder de overkapping. Met simulaties is berekend dat een recirculatie van 50% van de luchthoeveelheid gemakkelijk haalbaar is. Dit deel van de vervuilde lucht kan in de speciaal vormgegeven uiteinden van de overkapping worden gereinigd van fijnstof door het afvangen met behulp van ionisatie en elektrostatische filtering boven in de kap. De uitstoot van  $\text{NO}_x$  en  $\text{SO}_x$  kan worden gereduceerd door het te verwijderen via adsorptie aan actieve koolstof. Ook dit kan bij de overkappingsmonden (Fig. 6) plaatsvinden of elders onder de overkapping.



**Figuur 4** Luchtcirculatie door tegengestelde verkeersbeweging



**Figuur 5** Zuivering van fijnstof uit de lucht bij de overkappingsmond



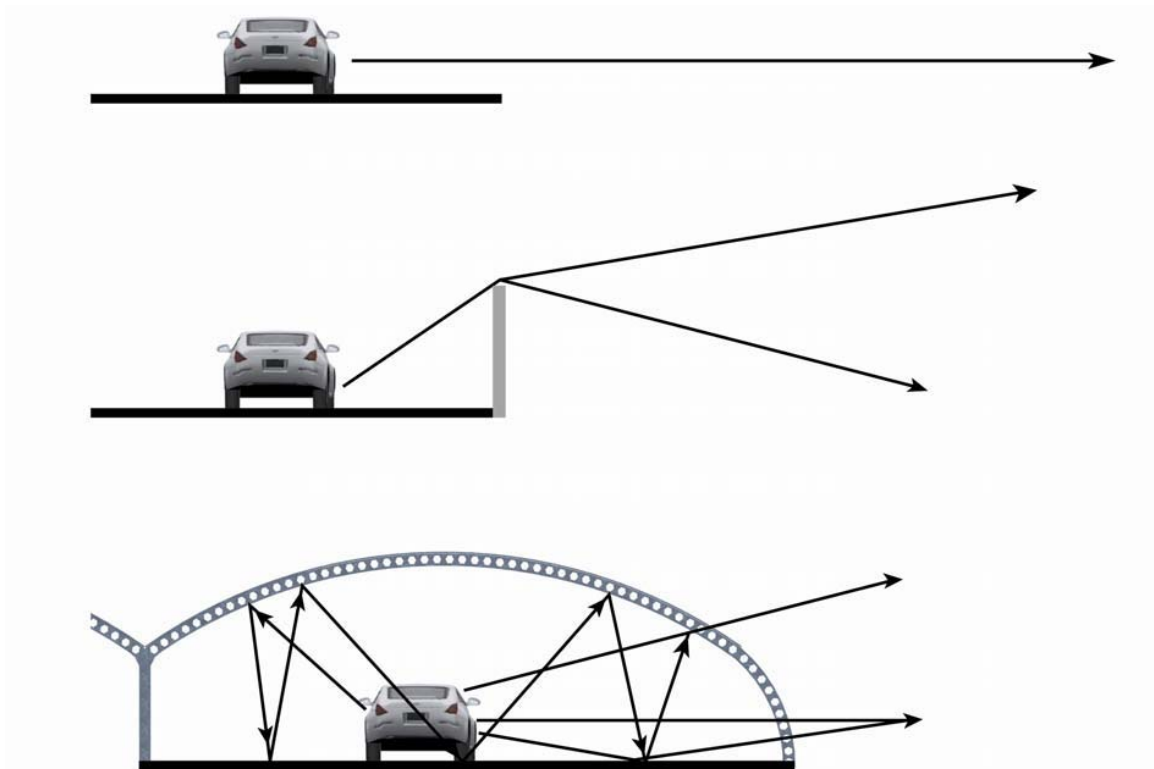
**Figuur 6** Beëindiging van de snelwegoverkapping

Als – minder milieuvriendelijk – alternatief kan ook worden afgezien van reiniging. Dan wordt de uitstoot, gebruikmakend van de opwarming onder de overkapping, via schoorstenen bij de toegangen naar grote hoogte gebracht. De uitstoot zal dan voldoende verdund zijn wanneer deze dichterbij de grond komt.

Ook is een combinatie mogelijk van reiniging van de uitstoot bij de overkappingsmonden en verdere verdunning door het afblazen van de gereinigde lucht via schoorsteenwerking. Een groot voordeel van de hierboven beschreven methoden van luchtbeheersing is dat slechts beperkt energie nodig is om de lucht af te zuigen of te verplaatsen, doordat er gebruik wordt gemaakt van de natuurlijke beweging van de lucht onder de overkapping. Slechts in geval van stilstaande files zal kunstmatige ventilatie hoeven plaats te vinden.

## **Bijdrage aan geluidproblematiek**

De overkapping schermt geluidsafstraling naar de omgeving in alle richtingen af. Daarmee draagt de overkapping meer nog dan geluidschermen bij aan de geluidsoverlast rondom snelwegen. In de huidige praktijk zien we dat met toenemend verkeer steeds hogere geluidschermen nodig zijn, die ook navent duurder zijn. In de overkapping vindt een verhoging plaats van de geluiddruk, waarbij in meer of mindere mate een zogenaamd galmveld ontstaat. De mate waarin het geluidsniveau verhoogd wordt hangt af van de hoeveelheid geluidabsorptie in de overkapping. Vergeleken met geluidschermen is de overkapping in situaties met maximale schermwerking ca. 5 dB(A) beter, in situaties met amper schermwerking, is de reductie ca. 20 dB(A) beter (Fig.7).



Figuur 7 De overkapping geeft een betere bescherming dan geluidschermen

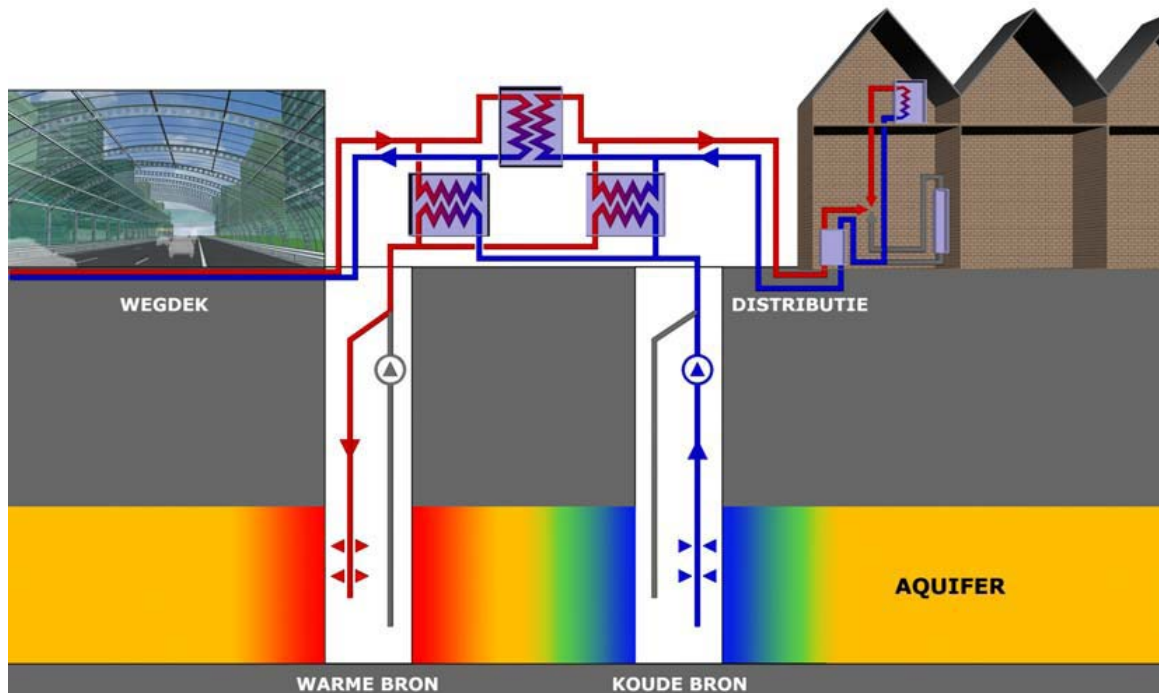
Waar de overkapping op de meest gevoelige plaatsen wordt aangebracht, kan buiten de overkapping de zijwand als geluidscherm worden doorgezet voor de iets minder gevoelige locaties (Fig. 1).

## Energiewinning

Naast het bestrijden van milieuhinder van snelwegen draagt De Duurzame Weg ook bij aan de klimaatproblematiek. De warmte onder de overkapping kan worden opgeslagen en worden gebruikt om huizen in de omgeving te verwarmen in de winter. Optioneel kunnen zonnecellen in het koudgebogen glas worden opgenomen om elektriciteit op te wekken.

Door een buizensysteem in het wegdek op te nemen en gebruik te maken van de (warmte)capaciteit van het grondwater kan het wegdek in de zomer worden gekoeld en in de winter worden verwarmd. Doordat dit systeem wordt gebruikt in combinatie met de overkapping is het mogelijk het grote overschot aan warmte dat onder de kap ontstaat door zoninstraling en de warmteproductie door het verkeer in de zomer op te slaan in het grondwater. In de winter kan dit warme grondwater via warmtewisselaars door het wegdek worden geleid, zodat het wordt opgewarmd (Fig. 8). Het wegdek heeft dan in zomer en winter een constantere temperatuur en daarmee een langere levensduur. Dit leidt tot minder overlast door onderhoudswerk en een afname van de bijbehorende verkeersongelukken. Daarnaast wordt het gebruik van schadelijke strooizouten in de winter vermeden.





**Figuur 8** Schematische weergave gebruik van warmte uit asfaltcollector in woningen

Doordat er een groot overschot aan warmte ontstaat is benutting van de opgeslagen energie noodzakelijk. Deze kan voor diverse doeleinden worden ingezet, zoals voor de verwarming van nabijgelegen woningen. Een kilometer volgens dit concept overkapte snelweg levert voldoende voor de warmtebehoefte van 2400 huishoudens tegen marginale exploitatiekosten van amper twee euro per woning per jaar. Dit levert een bijdrage aan de vermindering van de CO<sub>2</sub>-uitstoot van bijna 1000 ton CO<sub>2</sub> per kilometer per jaar. Daarnaast is er de besparing van de productie van de cv-ketels zelf.

De schil van koudgebogen gelaagd glas van de overkapping leent zich daarnaast bij uitstek voor het plaatsen van zonnecellen. Doordat deze zonnecellen bij het koudgebogen gelaagde glas tussen de twee glaslagen worden opgenomen, zijn ze beschermd tegen invloeden van buitenaf. Bovendien is het niet nodig om de zonnecellen op een apart paneel op de constructie te monteren; de glasplaat fungeert zelf als zonnepaneel (Fig. 9). Hierdoor zal de terugverdientijd veel korter zijn dan van gewone zonnepanelen. Ten opzichte van normale zonnepanelen bespaart men immers als het ware het dak en het frame waarin het zonnepaneel gevat is. Door aan de zonbeschonen zijde een hoge concentratie zonnecellen toe te passen wordt hier optimaal zonne-energie gewonnen en dienen de cellen tevens als zonwering voor het verkeer dat onder de overkapping rijdt. De opgewekte energie kan worden gebruikt voor de verlichting of informatiepanelen of teruggeleverd worden aan het net. Uitgaande van een bedekking van 25% van de overkapping met zonnecellen levert dit per kilometer snelwegoverkapping 1350 MWh per jaar, ofwel een CO<sub>2</sub>-reductie van ruim 750 ton CO<sub>2</sub> per jaar, terwijl er bovendien overdag geen kunstlicht nodig is.



**Figuur 9** Koudgebogen gelaagd glas met zonnecellen

## **Veiligheid**

Vanzelfsprekend is veiligheid een belangrijk aandachtspunt bij het ontwerp van De Duurzame Weg, net als bij tunnels waar door het omsloten karakter parallellen mee zijn, al heeft het door de bovengrondse ligging ook parallellen met een bouwwerk. De veiligheid zal dan ook aangetoond kunnen worden via de tunnelveiligheidsregelgeving naar analogie met tunnels of gebaseerd op de bouwregelgeving. In essentie heeft dit geen invloed op de basis van de bewijsvoering. Het volgen van de route voor tunnelveiligheid met vroege afstemming over de benodigde (functionele) voorzieningen is hierbij de aangewezen weg.

Het is eenvoudig om de constructieve integriteit van De Duurzame Weg te garanderen, zodat voorschrijdende instorting wordt voorkomen en de constructie bij calamiteiten alleen lokaal kan bezwijken. Ten aanzien van terrorismebestendigheid biedt De Duurzame Weg nadrukkelijk voordelen ten opzichte van een tunnel aangezien de maatschappelijke schade in geval van een aanslag beperkt is, mede doordat de weg weer snel in gebruik genomen kan worden. In geval van brand kan rook- en warmteafvoer eenvoudig met rookluiken geregeld worden. Door de compartimentering van de rijrichtingen kan een ramp worden beperkt tot een van beide rijrichtingen. Bij een efficiënte inrichting van de weg is het zelfs mogelijk om in geval van een calamiteit tijdelijk een van beide compartimenten voor beide richtingen te gebruiken zodat het verkeer in beide richtingen op gang blijft.

De veiligheid voor zowel gebruikers als hulpverleners kan bij dit concept optimaal georganiseerd worden. Door de toepassing van glas is de oriëntatie van binnen naar buiten en

omgekeerd goed, waardoor de zelfredzaamheid groot is en hulpverleners tot optimale voor evacuatie en de vluchtmogelijkheden zijn door de ligging boven maaiveld eenvoudig met vluchtdeuren te realiseren.

De eigenschappen van het koudgebogen glas maken dat de constructie ook goed beschermd is tegen vandalisme. Indien het glas breekt blijft het in de sponningen hangen en levert geen secundaire schade op.

## **Wegbeheer**

Door het overkappen van de snelweg is de weg altijd droog en sneeuwvrij. Hierdoor kan bij voldoende lengte gebruik worden gemaakt van dicht asfaltbeton in plaats van het in stedelijk gebied gebruikelijke ZOAB. Hierdoor gaat de onderhoudscyclus van de top laag van 8 jaar naar meer dan 24 jaar en neemt de door onderhoud veroorzaakte filevorming navenant af. Bovendien neemt door de verlaagde rolweerstand de uitstoot af.

## **Kosten/Baten Analyse (op prijspeil 2008)**

Om de precieze maatschappelijke kosten te bepalen voor realisatie van het concept zal een integrale kosten/baten analyse gemaakt moeten worden. De Duurzame Weg geeft directe en indirecte kosten en (maatschappelijke) opbrengsten. De directe en indirecte kosten zijn deels nauwkeurig in te schatten. Voor de installatiekosten en voor de opbrengsten is dit veel moeilijker. De installatiekosten zullen sterk verschillen van locatie tot locatie al naar gelang de eisen en wensen die men dienaangaande heeft. De opbrengsten zijn moeilijk algemeen aan te geven, deels omdat ze moeilijk zijn te kwantificeren, deels omdat ze per locatie verschillen, bijvoorbeeld afhankelijk van de mogelijkheden voor projectontwikkeling.

De bouwkosten per kilometer voor realisatie van het concept zijn M€ 40 voor overkapping en fundering, M€ 10 voor de installaties en M€ 10 voor het energiesysteem voor warmte-uitwisseling dat zichzelf terugverdient.

Tijdens het gebruik van De Duurzame Weg is er een jaarlijks exploitatievoordeel van circa M€ 1. Hierbij zijn de opbrengsten van de zonnepanelen niet meegeteld. Enerzijds zijn er kosten voor reiniging van de kapconstructie en onderhoud, maar anderzijds gaat het wegdek langer mee en ontstaan inkomsten uit warmtelevering naar de omgeving. Tegen een discontovoet van 4% is de netto contante waarde hiervan ongeveer M€ 24.

Afhankelijk van de locatie zijn er indirecte financiële opbrengsten. In saneringssituaties waar geluidsoverlast een rol speelt is het alternatief het aanbrengen van geluidschermen. Indien deze uitgespaard kunnen worden levert dit een besparing op van M€ 11 bij geluidschermen van 6 meter hoog aan beide zijden. De mogelijkheden voor projectontwikkeling vormen een interessante financiële opbrengst. De Duurzame Weg kan in specifieke gevallen projectontwikkeling tientallen meters dicht bij de weg mogelijk maken. Over een lengte van een kilometer gaat dit over hectaren binnenstedelijke grond die veel geld op kan brengen.

Echter, de belangrijkste opbrengsten zijn de maatschappelijke opbrengsten die heel moeilijk in euro's zijn uit te drukken. Het wegnemen van de hinder van de snelweg leidt tot

levensduurverlenging en levenskwaliteitsverhoging voor omwonenden, zodat naast een verbetering van hun gezondheid ook leer- en arbeidsprestaties zullen verbeteren. Het verhoogt ook de kwaliteit van de omgeving en maakt stedelijke verdichting mogelijk. Tegelijkertijd wordt de weg afgeschermd tegen weer en wind en is de kans op ongelukken en filevorming met bijbehorende kosten substantieel kleiner. Tenslotte is er ook de mogelijkheid om de capaciteit van de weg uit te breiden zonder invloed op de omgeving, zodat de bereikbaarheid van het stedelijk gebied toeneemt.

De kracht van De Duurzame weg is dat het een toepassing is met voordelen voor diverse partijen, waarbij het voordeel van de een niet leidt tot een nadeel voor de ander:

- Overheden die de effecten van het wegverkeer voor omwonenden willen beperken, terwijl ze de bereikbaarheid van de stad willen verbeteren en de stad willen verdichten om het groen te sparen;
- Wegbeheerders die de capaciteit van wegvakken willen verruimen, maar de omgeving moeten beschermen tegen geluid en emissies van het verkeer;
- Ontwikkelaars die de vrije ruimte naast bestaande wegen willen benutten voor woningen en kantoren die goed bereikbaar zijn;
- Bewoners die nu overlast ervaren van het verkeer en toch moeilijk bereikbaar zijn.

## Conclusie

De innovatie betreft een geheel nieuwe en integrale toepassing van reeds bestaande en bewezen technologieën. De toepassing is een gecombineerde oplossing voor een aantal actuele problemen. Behalve dat de lokale problemen van overschrijding van de normen worden opgelost, gebeurt dit op een duurzame en energiezuinige manier. Belangrijk is dat alle gebruikte technologieën reeds uitvoerig getest zijn, waardoor het ontwerp zeer realistisch is. Van alle onderdelen bestaan toepassingen waarvan de haalbaarheid reeds is bewezen. In vergelijking met andere oplossingen voor de actuele problematiek is het plan gezien de constructie, de oplossing van de problemen en de visuele verschijning zeer aantrekkelijk. Bovendien is een goede inschatting te maken van de kosten bij een concrete toepassing.

Een overkapping met koudgebogen gelaagd glas is een duurzame oplossing voor de uitstootproblematiek en de geluidoverlast van snelwegen. De lucht wordt bij de tunnelmonden met elektrostatische filtering gezuiverd van fijnstof, terwijl de door auto's uitgestoten  $\text{NO}_x$  en  $\text{SO}_x$  kan worden geadsorbeerd. Bovendien wordt met zonnecellen, die in het glas kunnen worden opgenomen, op een duurzame manier energie gewonnen. De warmte die in de zomer overtollig is, wordt opgeslagen in het grondwater en kan in de winter worden gebruikt ter verwarming van het asfalt. Per saldo blijft er dan nog veel warmte om te benutten voor bijvoorbeeld de verwarming van huizen. Op deze manier draagt het concept bij aan de beperking van het verbruik van fossiele brandstoffen en van de  $\text{CO}_2$ -uitstoot. Door de constantere temperatuur, de verminderde uv-straling en de overbodigheid van strooizout wordt de levensduur van het wegdek vergroot. Dit beperkt de filevorming door onderhoud.

Een kosten/baten analyse is niet voor algemene situaties op te stellen, omdat met name de baten sterk verschillen per locatie en de belangrijke maatschappelijke baten moeilijk kwantificeerbaar zijn. Daarnaast worden de kosten nu nog voor het grootste deel bepaald door de installaties en deze moeten in overleg met bevoegd gezag nader worden uitgewerkt bij toekomstige praktijktoepassing. Over het geheel bezien levert De Duurzame Weg na realisatie in elk geval een duidelijk positief financieel exploitatieresultaat.

De Duurzame Weg maakt een vergroting van de wegcapaciteit mogelijk en vergroot zo de stedelijke bereikbaarheid, terwijl het overheidsbeleid van stedelijke verdichting ondersteund wordt om zo het groen te ontzien.



## Bijlage 2 Gedetailleerde bevindingen experts

### Bevindingen milieu

#### Lucht:

Ervaringen met het afvangen van NO<sub>x</sub> door actieve koolstof hebben tot nu toe weinig positieve effecten laten zien. Om het afvangen van NO<sub>x</sub> effectiever te doen is zijdelingse circulatie of wind nodig. Het is mogelijk dit kunstmatig onder de kap te brengen maar de vraag is wat dit betekent voor het energieverbruik en de kosten van het dagelijks gebruik.

Hoewel het afvangen van fijn stof effectief kan zijn, is dat in de praktijk nog onvoldoende bewezen. Er zijn nog weinig betrouwbare meetgegevens voorhanden. Bovendien zijn toepassingen elders moeilijk vergelijkbaar: veelal in lange, smalle tunnels met zeer hoge concentraties fijn stof, waardoor grotere effecten kunnen worden bereikt dan met de Duurzame Weg.

Het opvangen van fijn stof door elektrostatische filtering en ionisatie kan effectief zijn. Het is misschien mogelijk constructief een lichtere oplossing te vinden dat de relatief 'zware' lamellen door bijvoorbeeld te werken met 'draden'. Bij stagnerend verkeer is het noodzakelijk dat wind wordt opgewekt door het ventilatiesysteem.

De vraag is hoe de milieueffecten zijn als er kruisingen onder de kap plaatsvinden en dus plaatsen waar de lucht kan ontsnappen en de voorgestelde circulatie onderbroken wordt.

#### Geluid:

De bevindingen op gebied van geluid van Movares worden onderschreven. Geconstateerd wordt dat de Duurzame Weg op het gebied van geluid globaal dezelfde kenmerken heeft als een tunnel. Net als in een tunnel, zal binnen de kap veel lawaai ontstaan.

Laagfrequent geluid, wat afkomstig is van vrachtverkeer, vraagt om een bepaalde dikte van het glas. In een proefopstelling zou uitgeprobeerd kunnen worden wat de optimale dikte is.

Mocht de aanleg van de duurzame weg betekenen dat bepaalde verkeersbewegingen niet meer gemaakt kunnen worden (bijvoorbeeld doordat gevaarlijke stoffenvervoer niet onder de overkapping mag plaatsvinden), dan kan dat leiden tot omrijden of sluiptverkeer elders, en daarmee tot negatieve milieu-effecten in de omgeving.

#### Energie:

De bevindingen op gebied van energie van Movares worden in hoofdlijnen onderschreven. Er wordt een kanttekening geplaatst bij de winning van warmte via het asfalt, omdat warme lucht opstijgt. Het zou effectiever kunnen zijn om leidingen in de top van kap te kunnen maken om warmte op te vangen of om met behulp van mechanische ventilatie de warmte te winnen. De temperatuur van het asfalt zal hierdoor hoger zijn dat bij winning van warmte uit asfalt. Bij

afdoende koeling van lucht onder de kap, wat wenselijk is, zal dit echter in orde grootte gelijk zijn aan een niet overkapte weg.

Het gebruik van de gewonnen energie is door Movares uitgedrukt in het aantal te verwarmen huizen. In de berekening van Movares is uitgegaan van goed geïsoleerde moderne appartementen. Deze appartementen hebben een lager verbruik dan de gemiddelde Rotterdamse woning, dus de winst is optimistisch ingeschat. Om dit concept met andere studies te kunnen vergelijken is een vergelijking met een standaard nieuwbouw referentiewoning met EPC van 0,8 meer voor de hand liggend.

Mocht er voor de reiniging van de lucht een mechanisch ventilatiesysteem nodig zijn, dan lijkt er een belangrijke synergie mogelijk. Er kan dan namelijk efficiënt warmte gewonnen worden uit de ventilatielucht. Het winnen van warmte uit het asfalt wordt dan overbodig.

Na een ruwe berekening lijkt het erop dat het koelend vermogen van het asfalt bij hevige zonschijn net aan genoeg is om de temperatuur onder de kap niet verder dan 8 graden te laten stijgen ten opzichte van de buitenlucht. Hierbij is aangenomen dat de voertuigen deels zorgen voor verversing van de lucht onder de kap door rijwind.

De inschatting van IGWR is dat de kap zonder warmtecollector in het asfalt in de winter voldoende warmte biedt om de weg vorstvrij en daarmee een glad wegdek te voorkomen. Met alleen de kapconstructie is het ook onnodig om strooizout te gebruiken. Het is dus niet noodzakelijk om het asfalt nog verder te verwarmen, bijvoorbeeld met een asfaltcollector. Dit wordt onderschreven door een studie van ECN.

Onder de kap moet in elk geval in de zomer gekoeld worden, oftewel warmte geoogst worden. Anders zal de temperatuur te ver oplopen. Dit kan met verschillende technieken, onder andere met warmtewinning uit asfalt maar ook bijvoorbeeld door warmte te onttrekken aan de lucht bovenin de kap. Zonder overkapping is warmtewinning uit asfalt ook mogelijk, zij het met een lager rendement. In Nederland zijn warmtewinningsprojecten uit asfaltwegen vaak niet gerealiseerd omdat de afstemming in tijd en de organisatie van de levering van de warmte aan gebouwen moeilijk en complex is. Wel zijn er meerdere projecten gerealiseerd waar nieuwbouw wordt verwarmd met asfaltcollectoren in parkeerterreinen.

Er zijn enkele aandachtspunten met warmtewinning uit asfalt onder de kap. In een stedelijk gebied geldt dat door grotere kans op files het hier belangrijker is om een backup-koelsysteem aan te leggen, naast de asfaltcollector. Dit i.v.m. het risico op te hoog oplopende temperaturen en onwel wordende mensen. Het concept voorziet hierin. Ook is de te verwachten natuurlijke trek/ventilatie door wind via de overkappingsopening minder bij file. De natuurlijke trek kan verder bevorderd worden door twee kokers aan te brengen in de kap volgens een idee van ECN, zie figuur.



De linker koker richt zich altijd met de opening naar de wind terwijl de rechter koker zich juist altijd van de windrichting afkeert. Hierdoor zal een natuurlijke trek onder de kap ontstaan die altijd van links naar rechts stroomt. De noodzakelijke ventilatie bij files zal zo minder energie kosten.

Schaduw van omliggende hoge gebouwen kan ook een rol spelen op het rendement van de warmtewinning. In een landelijk gebied geldt dat door de potentiële natuurlijke trek/ ventilatie via de overkappingsopening het rendement van de asfaltcollector afneemt.

Proeven met het afzetten van ingewonnen warmte hebben tot nu toe een weinig positief beeld laten zien. Het blijkt lastig om gewonnen warmte op het juiste moment en op de juiste locatie beschikbaar te krijgen. Rotterdam is voor een groot deel aangesloten aan een stadsverwarmingsnet. De gewonnen warmte kan alleen worden ingezet voor het stadsverwarmingsnet wanneer dit verder opgewarmd wordt. Dat kost energie. Het opwaarderen van de lage temperatuur uit het asfalt naar het niveau van het restwarmtenet is tot nu toe niet rendabel gebleken en is derhalve waarschijnlijk niet zinvol.

Nieuwbouwlocaties welke niet in een gebied liggen waar een collectief warmtenet voorzien is, kunnen in beginsel aangesloten worden op de vrijgekomen warmte. Overige locaties binnen de Gemeente Rotterdam hebben een aansluitplicht op het collectieve warmtenet. Voor bestaande bouw geldt deze aansluitplicht niet. Het nog aan te leggen collectieve warmtenet gaat gebruik maken van restwarmte. Het huidige verwarmingsnet zal hierop aangesloten worden.

Ondanks het feit dat zonnepanelen (geïntegreerd tussen de glaslagen) nu erg kostbaar lijken, is dit wel een interessante optie. Zeker als er geen warmte gewonnen gaat worden. Dan dienen ze namelijk mede als zonwering en blijft de temperatuur onder de kap aanzienlijk koeler. Belangrijk om te beseffen is dat dit een eenmalige investering is voor een nagenoeg onderhoudsvrije duurzame energiewinning die gegarandeerd lang meegaat (25 jaar). Het feit dat de panelen goedkoper zullen gaan worden is eigenlijk niet relevant als reden om er vanaf te zien: dit is een eenmalige kans, ze kunnen immers niet achteraf alsnog gemonteerd worden. Bij geïntegreerde zonnecellen in het glas van de kap is bovendien de gewichtstoename klein en niet van belang bij gebruik van verschillende typen cellen.

Het laatste aandachtspunt is de temperatuur onder de kap. Bepaald moet worden welke temperatuur ontstaat onder de kap op zomerse dagen en of de overgang van binnen naar buiten en v.v. niet als storend wordt ervaren.

Geconcludeerd kan worden dat warmtewinning uit asfalt geen essentieel onderdeel vormt om het concept te laten slagen. Wel essentieel is de mogelijkheid om in de zomer te koelen, op welke manier dan ook.

Door het opvangen van regenwater kan het waterverbruik voor bijv. het reinigen van de weg gereduceerd worden.



#### Licht:

Door het ritme in de stalen constructie die de glasplaten draagt, ontstaat een stroboscopisch effect. Als je onder de overkapping rijdt, flitst het (zon)licht en donker aan je voorbij. Dit kan ondervangen worden door bepaalde folies of zonnecellen op te nemen in het glas. Maar dat heeft weer nadelen op het gebied van doorzicht en dus de beleving van de Duurzame Weg. Een minder lichte kap heeft ook gevolgen voor de discussie over tunnelveiligheid, zie hiervoor bijlage 4.

Er is kans op verblinding, zowel aan de binnen- en buitenzijde van de overkapping. Dit komt door reflectie van zonlicht op het glas aan de buitenzijde en reflectie van het licht van koplampen aan de binnenzijde.

#### Natuur:

De kap is een plek waar insecten, vogels en kleine beestjes in gaan huizen. In tunnels is gebleken dat vogels moeite hebben een uitweg te vinden. Daarnaast bestaat de kans, net als bij de toepassing van glazen geluidschermen, dat vogels het glas niet zien en er tegenaan vliegen. Dit laatste ligt gevoelig bij de omwonenden. Nader onderzoek zal moeten uitwijzen of er maatregelen nodig zijn en welke maatregelen dat kunnen zijn.

## Bevindingen veiligheid

In het algemeen wordt gesteld dat de veiligheid van de Duurzame Weg voor de weggebruiker vergelijkbaar is met een weg op maaiveld, zolang het gaat om een normale verkeerssituatie. Uitzondering hierop wordt gevormd bij een 'verzonken' Duurzame Weg. Zodra zich een calamiteit voordoet, is de situatie beter vergelijkbaar geworden met een tunnel.

#### Brandcurve (CFD-berekening):

Movares heeft gerekend met een brand van 9 MW (drie brandende personenauto's). In Rotterdam vindt relatief veel vervoer van gevaarlijke stoffen plaats. In Rotterdam wordt dan ook gerekend met branden van 50 tot 150 MW (brandende vrachtauto's) tot 200 MW voor een koolwaterstofbrand. Gemiddeld wordt in Rotterdam gerekend met een brand van 100 MW. Hierop moet het concept de Duurzame Weg nog doorgerekend worden, met daarbij aandacht voor de verspreiding van het vuur, de hitte en de rook.

#### Zelfredzaamheid:

De gedachte is dat de Duurzame Weg veiliger voelt dan een tunnel omdat de buitenwereld binnen ook beleefd wordt. De beleving van de Duurzame Weg wordt anders dan een weg op maaiveld als er zich een calamiteit voordoet. Rook, hitte en vuur blijven, net als bij een tunnel, onder de constructie 'hangen'. Door het besloten zijn van de constructie zal invulling gegeven moeten worden aan het aspect 'veilig vluchten'. De benodigde ontruimingstijd moet lager zijn dan de beschikbare ontruimingstijd. Omdat de kap van de Duurzame Weg twee à tweeënhalve keer zo hoog is als de hoogte van de gemiddelde tunnel, is het risico voor de weggebruiker waarschijnlijk minder dan in een tunnel. Warmte, hitte en rook verzamelen zich namelijk onder het dak van de tunnel en op ooghoogte is de ruimte 'vrij'.

#### Vluchtgedrag:

Als vluchtende mensen op een vluchtdeur aflopen, weten zij dat ze in principe in veiligheid zijn. In een panieksituatie zijn mensen niet zo zeer op zoek naar een vluchtdeur als wel naar 'licht'. Gebleken is dat mensen in panieksituaties proberen bij de uitgang van de tunnel te komen. Bij een Duurzame Weg zal dit probleem minder optreden omdat de omgeving bekend is en goed zichtbaar is mits de uitgangen duidelijk en toegankelijk zijn, net als in een glazen gebouw.

Groot verschil is dat een tunnel vaak onder water wordt toegepast. De Duurzame Weg ligt op maaiveld. Doordat je kunt zien waar je uitkomt én doordat je weet dat je niet 'onder water zit' kan er minder paniek ontstaan. Aan de andere kant ben je feitelijk in een Duurzame Weg net zo opgesloten als in een tunnel en zul je op zoek moeten naar de vluchtdeuren. De vluchtdeuren moeten bij voorkeur uitkomen in een veilige omgeving en niet op de tegengestelde rijbaan. Dit betekent dat er een zijuitgang of middengang gerealiseerd moet worden.

#### Hulpverlening:

De hulpverlening moet de onheilslocatie kunnen bereiken, waarschijnlijk via de tegengestelde richting. In de middenwand van de Duurzame Weg moeten deuren opgenomen worden om uitwisseling bij nood mogelijk te maken zonder risico's op aanrijdingen in de andere rijrichting. De tussenwand tussen de twee rijrichtingen is ook nodig om bij incidenten te compartimenteren en moet dus aan bepaalde eisen voldoen om te voorkomen dat bijv. de brand overslaat.

De voorkeur van de hulpdiensten gaat uit naar het aanrijden via een parallelstructuur (parallelweg of servicetunnel). Dit betekent dat naast de Duurzame Weg niet direct bouwgrond beschikbaar komt maar dat er minimaal een breed fietspad noodzakelijk is. Voordeel van een duurzame weg ten opzichte van een tunnel is dat hulpverleners van buitenaf kunnen zien waar de calamiteit zich heeft voorgedaan.

#### In- en externe veiligheid:

De invloed van een explosie is grotendeels gelijk aan de invloed op een weg op maaiveld. Vergeleken met de schade in de omgeving, is de schade aan de constructie gering. Het glas zal uit de sponningen springen en dat kan bijdragen aan het ontstaan van een chaotische situatie. Bij het vrijkomen van toxische stoffen gedraagt de Duurzame Weg zich echter als een tunnel en zal er intern grotere gezondheidsschade kunnen optreden dan bij een weg op maaiveld. Extern kan de situatie gunstiger zijn. Locatieafhankelijk kan nagedacht worden over welk vervoer van gevaarlijke stoffen toegestaan wordt onder de overkapping en de effecten op de omrijroutes. Een ander risicoprofiel kan betekenen dat er andere eisen aan de constructie gesteld worden.

Om eventueel andere eisen qua wet- en regelgeving van toepassing te krijgen, kan een brede sleuf in de overkapping gemaakt worden. Omdat hitte, rook en vuur dan niet meer opgesloten zijn onder een overkapping, gelden andere eisen om hulpverlening en vluchten mogelijk te maken in geval van een calamiteit. De oplossing met een sleuf wordt gezien als een ander concept, dit wordt niet verder meegenomen bij het toetsen van de Duurzame Weg.

Het toepassen van het watermiststelsel waarmee bij rook, vuur, hitte of gassen een waternevel verspreid wordt onder de kap biedt niet louter voordelen. De Duurzame Weg heeft door de grote

hoogte als voordeel dat de intensiteit van hitte, rook en vuur op 2 meter hoogte (menshoogte) veel lager is dan in een tunnel. Bij het toepassen van de watermist worden hitte, vuur en rook juist naar beneden 'geduwd'. Hetzelfde effect treedt op bij toxische gassen. Toepassing van dit systeem wordt niet gezien als noodzakelijke aanvulling op het systeem van de Duurzame Weg.

Verkeersgedrag in relatie tot het wegbeeld:

De beleving van de omgeving maakt dat de sfeer niet heel anders is dan bij een weg op maaiveld. Het claustrofobisch effect is minder dan in een tunnel door daglichttoetreding. Echter de weggebruiker rijdt een andere sfeer binnen qua licht. Er ontstaat een stroboscopisch effect door licht door dwarsliggers in de constructie. Dit is deels te ondervangen door de constructie in een lichte kleur te verven. Het stroboscopisch effect is afhankelijk van de onderlinge afstand tussen de spanten en de gereden snelheid. Bij het vaststellen van de maximum snelheid op een Duurzame Weg kan hiermee rekening worden gehouden. Een eventuele snelheidsbeperking zou echter kunnen betekenen dat het concept minder bruikbaar wordt op snelwegen.

Daarnaast zou de weggebruiker afgeleid kunnen worden door het effect van hagel of regen dat wegspat op het glas. Movares verklaarde hierover dat de overlast van hagel en regen minder is dan wanneer regen of hagel op de auto spat.

De vraag is of het gebogen glas zorgt voor een vertekend beeld van de omgeving. Nader onderzoek moet dit uitwijzen en moet ook aangeven of dat belastend is voor de weggebruiker. Onbekend is ook nog wat het met de weggebruiker doet wanneer hij van een normale weg de Duurzame Weg in rijdt. Bij een tunnel is bekend dat mensen naarmate zij langer in een tunnel rijden met een hogere snelheid gaan rijden. De vraag is of de Duurzame Weg met zijn daglichttoetreding eenzelfde reactie oproept. Het inrijden van een overkapte weg kan via constructieve en belichtingsmaatregelen worden ingeleid net als bij sommige tunnels.

Voor een tunnel geldt de zogenaamde 10-secondenregel. Dit betekent dat er in binnen 10 seconden voor het inrijden van de tunnel geen weefbewegingen mogen plaatsvinden. Doel van deze regel is dat een rijstrook gekozen wordt en zo een rustig verkeersbeeld ontstaat voordat men de tunnel in rijdt en aan deze 'rijtaak' begint. Door daglichttoetreding onder de overkapping van de Duurzame Weg zijn de rijtaken minder belastend. Dit kan voor een weggebruiker betekenen dat hij de handeling 'weven' kan uitvoeren op de Duurzame Weg. Nader onderzoek op dit onderdeel is wenselijk.

Een gevoel van opgesloten te zijn kan ontstaan wanneer de kap niet meer lichtdoorlatend is door bijvoorbeeld sneeuwval, beslaan van het glas bij vochtigheid, erosie of algengroei op het glas. Het is dus belangrijk om het glas met enige regelmaat te reinigen. Wanneer het voor het onderhoud nodig is één van de rijrichtingen af te sluiten, ontstaat een tijdelijke onderbreking in de verkeersstroom en in de luchtcirculatie. Bekeken moet worden in hoeverre dit problematisch is.

Bij file of een calamiteit kan het opgesloten gevoel onder de overkapping ook van invloed zijn op de weggebruikers. Wanneer de koeling uitvalt, bijvoorbeeld bij een calamiteit, storing of bij werkzaamheden, kan de temperatuur hoog oplopen (tot 60 graden Celsius). Onbekend is wat de effecten op de gezondheid zijn. Een backup koelsysteem is dus aan te raden.

Vandalisme en terrorisme:

Een object als de Duurzame Weg zal uitlokken om graffiti aan te brengen. Movares geeft aan dat graffiti makkelijker van freeformglass te verwijderen is, dan van kunststof. Het vernielen of beklimmen van de constructie kan worden gezien als uitdaging. Wanneer, om dit tegen te gaan, gedacht wordt aan een dichte constructie van bijvoorbeeld de eerste 3 meter boven maaiveld, is er minder contact met de omgeving met gevolgen voor de veiligheidsbeleving. Ter vergelijking werd de half overkapt snelweg bij Zeist genoemd. Het gedrag wat hier vertoond wordt door de weggebruiker doet denken aan het gedrag in een tunnel.

Bij het opblazen van de constructie als gevolg van terrorisme zijn er slachtoffers ter plaatse van de ontploffing en ontstaan er stremmingen door schade aan de constructie en door versperring van de weg. De stremming zal korter duren dan een stremming bij zo'n calamiteit in een tunnel. Een andere mogelijkheid om terreur uit te oefenen is het vergiftigen van de luchtcirculatie onder de overkapping, dit is overigens net zo goed mogelijk in een tunnel.

## **Constructieve en kostentechnische bevindingen**

De constructie is ondersteunend in het behalen van de doelen op gebied van milieu, inpassing, veiligheid etc. De vergelijking met een tunnel of weg met geluidsschermen laat duidelijk zien dat de verschillende oplossingen verschillende problemen te lijf gaan. Een tunnel maakt kruisend water- of weginfrastructuur mogelijk. Dat geldt niet voor de Duurzame Weg.

Flexibiliteit:

Alle voorzieningen die nodig zijn om problemen op één van de onderwerpen op te lossen, zijn aan te pakken door maatregelen te nemen aan de constructie. Dit heeft effect op het kostenplaatje van de Duurzame Weg. Qua flexibiliteit van het systeem is de Duurzame Weg het best te vergelijken met de aanleg van een geluidsscherm.

Als voorbeeld van de flexibiliteit van de Duurzame Weg werd genoemd dat een folie in het glas kan worden opgenomen om het zonlicht te filteren. Dit heeft natuurlijk weer effect op de lichtdoorlatendheid, benodigde kunstverlichting en de beleving van de omgeving, dus de vraag is of dit soort oplossingen wenselijk zijn. De toepassing van zonnecellen zou een vergelijkbaar negatief effect kunnen hebben op de lichtdoorlatendheid.

Minder flexibel is de constructie qua uitbreidingsmogelijkheden. Bij aanleg moeten keuzes gemaakt worden over de toekomstige mogelijkheid tot uitbreiding van het aantal rijstroken. De vraag is hoe haalbaar het is om vooruitlopend op toekomstige ontwikkelingen loos asfalt en een deels loze overkapping aan te leggen en welke reactie dat oproept bij file. In de constructie moeten voorzieningen worden opgenomen voor inspecties, onderhoud aan weg en installaties. Gedacht wordt aan een inspectiestrook, trappenhuizen e.d.

Glas, staal en fundering:

Voor het glas worden geen problemen verwacht op het gebied van verkrijgbaarheid, het patent van Movares zorgt niet voor belemmeringen voor fabrikanten om dit gebogen glas aan te bieden.

Voor het staal is bij eventuele beperkte verkrijgbaarheid een alternatief voorhanden in de vorm van een betonnen constructie. Met de recente ontwikkelingen op gebied van beton zijn ook steeds slankere vormgevingen mogelijk.

Een risico wordt gezien in de verkrijgbaarheid van de grond om de constructie te funderen. Aan de zijden van wegen zijn vaak kabels- en leidingenstroken aangelegd. Soms zijn de gronden van andere partijen, die geen baat hebben bij de aanleg van de Duurzame Weg. Als voorbeeld wordt ProRail genoemd wanneer naast de weg treinsporen liggen.

Een ander aspect is vandalisme in relatie tot het glas. In analogie met geluidschermen en vanuit constructieve overwegingen verdient het aanbeveling te bekijken of het onderste deel van de constructie in beton zou moeten of kunnen worden uitgevoerd. De constructieve integriteit is hiermee gewaarborgd, opveren wordt voorkomen, het geeft robuustheid in de lengterichting, maakt dat niet elke spant gefundeerd hoeft te worden en voorkomt afleiding door de omgeving. Een dergelijke variant kan als inpassingvariant meegenomen worden in een eventueel uit te voeren algemene scenariostudie omdat er effecten op vluchten en veiligheidsgevoel zullen optreden.

Aanleg en bouwproces:

Kansen worden gezien in synchrone project ontwikkeling in de omgeving. Zo kan een blinde gevel van een te ontwikkelen pand (bedrijfsgebouw) naast de weg worden opgenomen als de wand van de overkapping.

Een modulair bouwproces is mogelijk waarmee de verstoring voor het wegverkeer beperkt kan blijven.

Onderhoud en beheer:

De weg onder de overkapping moet regelmatig geveegd worden omdat de weg niet schoongespoeld wordt door regen op het wegdek. Ter vergelijking: de Schipholtunnel wordt 1 à 2 keer per week geveegd. Bekeken moet worden hoe geveegd kan worden om zoveel mogelijk rijstroken tijdens deze werkzaamheden beschikbaar te houden.

De goten en het glas (aan de binnen- en buitenzijde) dienen schoongehouden te worden. Bekeken moet worden hoe makkelijk vuil hecht, hoe de schoonmaakwerkzaamheden uitgevoerd kunnen worden en hoe vaak dat nodig is. Hieruit volgt een kostenplaatje in de exploitatiefase van de Duurzame Weg.

In de gegevens van Movares zijn nog geen voorzieningen opgenomen voor technische installaties, camera's, hulpposten, ventilatie, benodigde functionele ruimtes en een centrale waarin dit alles gestuurd wordt. Scenariostudies kunnen ook inzicht bieden in de benodigde installaties.

Kosten:

De door Movares ingeschatte kostprijs van €60 miljoen per kilometer (+ en – 30%) voldoet, uitgaande van 2 x 3 rijstroken, 9 meter hoogte en een middensteunpunt. Hierin is voldoende

rekening gehouden met de risico's die nog in het systeem zitten. Een Duurzame Weg is een goedkopere oplossing dan de aanleg van een tunnel maar het blijft afhankelijk van het beoogde doel welke oplossing meest voor de hand ligt op een bepaalde locatie.

Bij een combinatie van ontwikkelingen in de omgeving kan nagedacht worden over PPS-achtige constructies. Per locatie kan bekeken worden naar de verevening, oftewel welke partij investeert in de Duurzame Weg en welke partij geniet van de opbrengsten (in de breedste zin van het woord).

## Bijlage 3 Betrokken experts

Naam	Organisatie	Expertise
Baggerman, Hans	dS+V	Verkeerskunde
Belis, Jan	Universiteit Gent	Buigbaar glas
Benjert, Theo	IGWR	Milieu geluid
Berg, Sandra van den	IGWR	Milieu lucht
Brantenaar, Jaap	RWS	RWS-breed
Broekhuizen, Hans	RHRR	Tunnelveiligheid
Cornelissen, Theo	RWS	Milieu lucht en geluid
Couperus, Michiel	dS+V	Verkeer & vervoer
Dooren, Nico van	Royal Haskoning	Lichteffecten (kosten)
Eer, Albert van	dS+V	Landschapsarchitectuur
Ensing, Jan	DCMR	Milieu energie
Gelder, Jan van	IGWR	Constructeur (kosten)
Havermans, Peter	RWS	Milieu lucht
Hewitt, Faye	IGWR	Junior projectleider
Hille, Titus van	IGWR	Thematrekker Veiligheid/milieu
Hof, Mary van 't	IGWR	Projectondersteuner
Knoester, Arjen	dS+V	Stedenbouw
Langeveld, John van	Movares	Account Manager Duurzame Weg
Leu, Leo de	IGWR	Milieu lucht
Ottenhof, Vincent	Movares	Adviseur Veiligheid Duurzame Weg
Pol, Peter	OBR	Infrastructuur en gebiedsontwikkeling
Reusink, Jaco	IGWR	Thematrekker Constructies/Constructeur
Rooyen, Roland van	IGWR	Milieu energie
Schouwenaar, Jan	IGWR	Kosten beheer en aanleg
Smidt, Peter Volken	Urban Sense	Dagvoorzitter/Architect
Snoeij, Klaas	IGWR	Beheer (kosten)
Stolwijk, Henny	IGWR	Dagvoorzitter/Secretaris MT Ingenieursbureau
Stroeve, Karlien	IGWR	Projectleider
Tertoolen, Gerard	XTNT	Verkeerspsycholoog
Vákár, László	Movares	Ontwerper Duurzame Weg
Vermeulen, Annemieke	Royal Haskoning	Lichteffecten
Vries, Tjalling de	IGWR	Constructeur
Wal, Leo van der	IGWR	Thematrekker Milieu/Milieu algemeen
Wilschut, Dick	IGWR	Geotechnicus



## Bijlage 4 De Duurzame weg vanuit psychologisch perspectief - XTNT

Gerard Tertoolen, XTNT Experts in Traffic and Transport

### Inleiding

Autosnelwegen en drukke stadswegen zijn vanwege luchtvervuiling en geluidsoverlast een knelpunt in de buurt van woningen. Om luchtvervuiling en hinder van verkeerslawaaï tegen te gaan, heeft Movares een glazen overkapping ontwikkeld die wel de voor- maar niet alle nadelen van een tunnel heeft. De kap kan daarnaast ook nog energie opleveren.

Aan XTNT is gevraagd om een beknopte contra-expertise te leveren met betrekking tot de (ingeschatte) psychologische effecten van een dergelijke 'duurzame overkapte weg'. Dit is gebeurd door deel te nemen aan een bredere contra-expertise op 20 november 2008. Dit document is een korte samenvatting van de ervaringen daar en brengt op sommige punten een verdieping.

### Definitie

Tijdens de contra-expertise kwam veelvuldig de vraag aan de orde of de Duurzame Weg nu wel of geen tunnel is. Deze vraag dient vanuit verschillende gezichtspunten beantwoord te worden. Op de vraag of de Duurzame Weg volgens de Nederlandse wet als tunnel beschouwd dient te worden, wordt hier verder niet ingegaan. Volgens de definitie is een tunnel een kunstmatig aangelegde onderdoorgang om tussen twee punten transport, passage of communicatie mogelijk te maken. In deze betekenis is de Duurzame Weg dus niet als een tunnel op te vatten. Nog los van de lichtdoorlatende eigenschappen is de Duurzame Weg niet bedoeld als verbinding, maar als afscherming van overlast veroorzakende eigenschappen van de autoweg.

Hieronder worden een aantal aspecten van de Duurzame Weg vanuit het perspectief van de weggebruiker bekeken. Daarbij wordt regelmatig een inschatting gemaakt van de verschillen en overeenkomsten tussen een tunnel en de Duurzame Weg.

### Tunnelangst (tunnelfobie)

Er zijn mensen met tunnelangst; zij voelen zich ongemakkelijk in tunnels, of durven er in het geheel niet in. Het is een vorm van claustrofobie of engtevrees. Mensen zijn in dit geval bang voor het verblijven in afgesloten ruimten. Deze mensen ontwikkelen angstsymptomen als ze zich in ruimten bevinden die moeilijk snel te verlaten zijn, zoals tunnels dus. In ernstige gevallen kunnen paniekaanvallen optreden en probeert men aan de situatie te ontsnappen, zelfs als dit ernstig gevaar oplevert. Anderzijds is het mogelijk dat men door de angst 'bevriest', wat in een auto ook ernstige gevolgen kan hebben. Echter, in de meeste gevallen voelt men zich alleen gespannen. Toch kan dit het reactievermogen en de rijvaardigheid beïnvloeden. De vraag is of de Duurzame Weg ook in dit opzicht als tunnel kan worden beschouwd.

### *Onderzoek naar tunnelfobie*

De Noor Gunnar Jenssen deed zes jaar geleden uitgebreid onderzoek naar het verschijnsel tunnelfobie. Hij liet 2.500 mensen die in een gebied met veel tunnels wonen, een enquête invullen. Daarnaast interviewde hij 800 mensen (100 per tunnel, 8 tunnels) vlak nadat ze door een tunnel waren gereden. De belangrijkste uitkomst van zijn onderzoek was dat 20 procent van de mannen en 40 procent van de vrouwen tunnelangst heeft. Het viel hem op dat daar relatief veel oudere mensen tussen zitten. Dit komt volgens hem niet zozeer door een fobie, maar door de afgenomen visuele vermogens van deze groep. Zij nemen minder lichtcontrasten waar in de donkere tunnels en dat maakt hen bang.

Met behulp van zijn onderzoeksresultaten formuleert Jenssen wat er moet veranderen aan een tunnel. Van belang is de tunnel een minder monotoon, donker en afgesloten uiterlijk te geven. Dit is vervolgens uitgetest in diverse testen met een tunnelsimulator. Gebleken is dat nagebootste natuurtaferelen het beste resultaat opleveren.

### *Conclusies voor de Duurzame Weg*

In de normale situatie, dat wil zeggen men begeeft zich door de Duurzame Weg terwijl er niets bijzonders aan de hand is, zijn met betrekking tot tunnelangst twee conclusies te trekken. Aan de ene kant kan verwacht worden dat een open constructie nog meer de angst wegneemt dan nagebootste natuurtaferelen op de binnenwand van een tunnel. Daar staat tegenover dat stroboscopische effecten van de ophanging van de glazen platen van de Duurzame Weg (vooral bij ouderen) voor meer verwarring en angst kunnen zorgen. Bekend is dat stroboscopische effecten van moderne (draaiende) windmolens voor verwarring kunnen zorgen bij een bepaalde stand van de zon.

Een en ander dient, bijvoorbeeld in een simulator, nader uitgezocht te worden. Ook dient nog te worden vastgesteld met verschillende snelheden in hoeverre de Duurzame Weg wel als 'open' wordt beleefd. Er bestaat een mogelijkheid dat de ophangconstructies zich, zeker als ze wat verder van de automobilist zijn verwijderd, aaneen gaan sluiten en de ervaring niet meer wezenlijk van een tunnel verschilt (dit verschijnsel heet *aliasing*, of *vouwvervorming*).

Indien er in de Duurzame Weg een ongeluk heeft plaatsgevonden, is de kans groot dat de glazen overkapping niet anders wordt waargenomen dan een tunnel. Ook al zijn er feitelijk misschien meer vluchtmogelijkheden, mensen met tunnelangst zullen dit waarschijnlijk niet zo ervaren. Zeker niet in het geval dat er rook hangt onder de overkapping. De overeenkomst met een tunnel zal sterk toenemen in het geval dat het onderste deel van de Duurzame Weg ondoorzichtig is vormgegeven (betonconstructie). In de communicatie dient aandacht te worden besteed aan de ruime vluchtmogelijkheden ten opzichte van een tunnel (als deze er daadwerkelijk zijn). Echter, overmatige aandacht voor vluchtwegen, kan - zeker bij bange types - juist de aandacht vestigen op de onveiligheid ten opzichte van een normale, niet overkapte weg.

### **Speciale omstandigheden**

De beleving van de Duurzame Weg vanuit het perspectief van de weggebruiker kan momenteel alleen gemaakt worden op basis van inschattingen. Daarom is er weinig met zekerheid over te zeggen. Naast de technische ontwikkeling en juridische consequenties van de Duurzame Weg is

het desalniettemin van groot belang om de veiligheidsaspecten nader te onderzoeken. Als blijkt dat de Duurzame Weg onveilig is, zal het immers geen toekomst hebben. En voorkomen is beter dan genezen.

In het bijzonder dient in de veiligheidstesten aandacht uit te gaan naar:

- *Speciale doelgroepen.* Hierbij wordt gedacht aan mensen met fysieke beperkingen, ouderen, vrachtwagenchauffeurs, motorrijders, mensen met tunnelangst, etc.
- *Speciale weersomstandigheden.* Wat zijn de effecten van het door de Duurzame Weg rijden bij (heftige) regen, sneeuw, mist en hagel?
- *Stand van de zon en andere lichtbronnen buiten de Duurzame Weg.* Niet alleen overdag (zon), maar ook 's nachts (maan, sterren) kan de beleving van de Duurzame Weg gedragsreacties oproepen die beter vooraf bekend kunnen zijn. Met andere woorden: hoe reageren mensen op verschillende delen van de dag op lichtsensaties van buiten.
- *Overgang Duurzame Weg naar omgeving.* Treden er speciale lichteffecten op bij het in- en uitrijden van de overkapping? Ook dient te worden vastgesteld of de overgang bij vorst een gevaarlijke situatie oplevert.
- *Speciale omstandigheden in de Duurzame Weg.* Naast allerlei uitwendige omstandigheden, kunnen zich ook *in* de tunnel omstandigheden voordoen die op voorhand aandacht vragen. Gedacht kan worden aan de situatie dat er veel of grote vogels onder de overkapping zijn opgesloten. Voor de dieren is dit vervelend, maar ook voor automobilisten kunnen dieren in paniek (denk ook aan honden en katten) gevaar opleveren. Een ander onderwerp voor nader onderzoek is het effect van condens in de tunnel op onder andere de breking van het licht.
- *Verschillende typen van de Duurzame Weg.* Voor de beleving van de Duurzame Weg en de verschillen en overeenkomsten met tunnels hangt veel af van welke vorm de Duurzame Weg krijgt (voor zover mijn informatie strekt is hier nog geen 'keuze' gemaakt). Het gaat om onder meer de volgende aspecten:
  - Hoeveel ruimte bevindt er zich tussen twee 'ophangingen'?
  - Welk deel van de constructie is ondoorzichtig (onderzijde, maar ook bovenzijde)?
  - Hoe is de middenberm vormgegeven?
  - Wat is de lengte van de duurzame weg?
  - Is de de Duurzame Weg aansluitend aan een tunnel aangebracht of is zij aan beide kanten open?

Bij al deze varianten dienen eerder genoemde aandachtspunten onderzocht te worden.

### **Afleiding langs en boven de Duurzame Weg**

De vele visuele elementen langs de rijkswegen, zoals reclameborden, voorlichtingsborden, windmolens, (bijzondere) gebouwen en bouwborde kunnen de weggebruiker afleiden van de rijtaak. Algemeen wordt aangenomen dat de genoemde afleiding kan leiden tot een verslechtering van de verkeersveiligheid.

Bekend is bijvoorbeeld dat mensen (plotseling) kunnen gaan afremmen als zij iets in de omgeving goed willen bekijken. Het meest opvallende voorbeeld hiervan is het ontstaan van kijkfiles bij ongelukken. In de Duurzame Weg bestaat het risico dat dingen in de omgeving de aandacht gaan trekken en omdat het minder goed zichtbaar is dan in een vrije omgeving, kan dit leiden tot extra onveiligheid. Dit kan ook filebevorderend werken. Reclame-uitingen aan de buitenzijde van de Duurzame Weg, maar van binnenuit zichtbaar, zijn daarom sowieso taboe. Ook 'natuurlijke'

objecten kunnen echter voor afleiding zorgen. Zo wordt geschat dat ongeveer 25 procent van alle verkeersbotsingen (mede) veroorzaakt wordt door gebrekkige aandacht van de bestuurder. Dichte bebouwing langs de Duurzame Weg maken het moeilijk de omgeving te controleren. Als mensen bijvoorbeeld opvallende posters voor hun ruiten hangen, kan dit de aandacht trekken van weggebruikers. Ook kunnen bewoners zelf of andere bewegende objecten in de huizen naast de Duurzame Weg makkelijk de aandacht van het verkeer afleiden. Het zal niet makkelijk zijn hier verboden op te leggen.

### **Samenvattend**

Naast technische en juridische aspecten verdient een psychologische beschouwing van de Duurzame Weg aandacht. Daarbij gaat het met name om een zorgvuldige analyse van de beleving van de Duurzame Weg door automobilisten. Belangrijke aandachtspunten daarbij zijn tunnelangst, speciale omstandigheden die zich kunnen voordoen waarvan de effecten nog niet te voorspellen zijn (o.a. weersomstandigheden en lichteffecten). Een en ander hangt in hoge mate samen met hoe de Duurzame Weg wordt vormgegeven. In deze notitie zijn deze aspecten kort besproken, nadere uitwerking is gewenst.

## COLOFON

Titel	De duurzame weg vanuit psychologisch perspectief
Samengesteld door	Gerard Tertoolen
Projectnaam	Contra-Expertise Duurzame Weg vanuit de psychologie
Laatste versie	Gerard Tertoolen
Datum	9 december 2008
Bestandsnaam	P:\2008\216G Duurzame weg Rotterdam
Contactadres voor deze publicatie	XTNT Experts in Traffic and Transport St. Jacobsstraat 16 Postbus 51 3500 AB UTRECHT

*XTNT Experts in Traffic and Transport is een ambitieus adviesbureau, dat opereert op het brede terrein van verkeer en vervoer. Wij geven inhoudelijk advies en begeleiden het proces om tot dat advies te komen. Het liefst doen wij dat in een bestuurlijk en/of maatschappelijk bewogen omgeving, zodat onze kennis en vaardigheden op het gebied van communicatie volledig tot hun recht komen.*

*Onze adviseurs gaan voor uitmuntende service en topkwaliteit. Zij zijn oprecht geïnteresseerd in mensen en durven te gaan waar anderen niet gaan. Een spraakmakende en vernieuwende aanpak heeft voor hen de voorkeur boven de platgetreden paden.*

*Door met u een partnership te vormen, komen wij gezamenlijk tot het gewenste resultaat. Wat dat resultaat is, spreken wij af bij de start van het project. Wij visualiseren dit in de vorm van het waardebod. Uw feedback op onze prestaties en onze manier van werken zien wij als kansen om onze dienstverlening te verbeteren.*

© XTNT, Utrecht, 2008

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt worden door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van XTNT.

## Bijlage 5 Ontwikkellocatie Pernis





## Bijlage 6 Korte literatuurstudie afvang fijn stof

Het IPL-rapport “Overkappen van wegen en luchtbehandeling, een maatregel voor de luchtkwaliteit langs hoofdwegen uit juni 2007” geeft over reinigen de volgende tekst:

### *Reinigen*

*Het rendement van reinigen hangt af van twee deelrendementen: welk percentage van de lucht wordt behandeld en wat is het rendement van het filter? Beide rendementen worden bepaald door de hoeveelheid kosten en energie die men bereid is hierin te steken. Bij een goed ruimtelijk ontwerp van de afzuigpunten en het toepassen van voldoende ventilatoren, kan meer dan 90% van de lucht worden gereinigd. Voor het filter geldt dat lagere luchtsnelheden of dichtere filtermatten een hoger rendement opleveren, maar dit maakt óf de energiekosten óf de aanschafkosten hoger. Filterrendementen tot 90% worden gerapporteerd. Het totaalrendement kan hiermee oplopen tot circa 80%. Het effect kan op lokaal niveau goed zijn, maar bij luchtreiniging kunnen de milieueffecten in een wijder verband negatief zijn doordat de milieueffecten ten gevolge van productie, energiegebruik en verwijdering van afval groter zijn dan de milieuwinst die lokaal wordt behaald.*

Het rapport geeft de volgende conclusie:

*Het reinigen van de lucht in een tunnel of bij een overkapte weg is mogelijk, maar is vanwege de kosten en de milieubalans minder voor de hand liggend. Er zijn er verschillende methoden om de tunnellucht te reinigen zoals het gebruik maken van elektrostatische filters, doekenfilters, en natte wassers. De kosten en de milieueffecten variëren sterk bij het gebruik van de verschillende reinigingstechnieken. Er dient dus vooraf kritisch nagegaan te worden wat de kostenmogen zijn in relatie tot de effecten op de immissies.*

In hetzelfde rapport worden de kosten voor een elektrostatisch filter voor de M5, 2 tunnelbuizen van 4 km, op 30 miljoen euro voor de aanschaf en 0,5 miljoen euro per jaar gegeven. Voor een Zwitserse tunnel (Plabutsch) wordt voor een kleiner debiet een aanschaf van 2,5 miljoen euro gegeven. Hier zou een hoge afvangst van PM10 worden bereikt. Deze gegevens komen echter alleen van de (mogelijke) leverancier. Er zijn nog geen gegevens van de werkende installatie te vinden.

In een recent uitgebrachte, zeer uitgebreide studie: Air Quality in and Around Traffic Tunnels, Final Report 2008 (Australian Government, nhmrc) staat de volgende tekst over luchtbehandeling in tunnels:

### *3.1.5 Air filtration and treatment*

*Filtration or other treatment of tunnel air is not widely used to remove or reduce pollutants. Electrostatic precipitation for the removal of particulates has been applied widely in Japan and Spain. Norway, where road dust emission from studded tyre use is a major cause of reduced visibility, is the only other country with significant use of electrostatic precipitation, albeit irregular. Major incentives for adopting filtration technology are the cost reduction in ventilating the tunnels and the reduction in greenhouse gas emissions. To improve local air quality along the Calle 30 ring route in Madrid, which is being extensively upgraded with 55 km of tunnels, filtration will be included for all tunnel stacks. The stacks will be filtered for particles and most will also incorporate gas treatment for NO<sub>2</sub>.*



*None of the data in Phase 1 of this review considers the use of electrostatic precipitation as there are no good quality studies available, and we have no new data to present beyond that reported by Child and Associates (2004). Since the technology to reduce NO<sub>2</sub> in tunnel air is at an early stage of development and adoption, it will not feature in Phase 1 of this review.*