

Rapport Fase I

# Overkappen van wegen en luchtbehandeling

Een maatregel voor de luchtkwaliteit langs hoofdwegen

juni 2007

INNOVATIE  
PROGRAMMA  
**IPL**

LUCHTKWALITEIT

Het innovatieprogramma Luchtkwaliteit (IPL) werkt in opdracht van de ministeries van Verkeer en Waterstaat en VROM aan innovatieve oplossingen die bijdragen aan verbetering van de luchtkwaliteit op en rond snelwegen. De focus ligt op snelwegen bij dichtbevolkte gebieden (zgn. "hot spots").



INNOVATIE  
PROGRAMMA

IPL

LUCHTKWALITEIT



# Colofon

**Rapportnummer:**  
DWW-2007-009

**Datum rapport:**  
juni 2007

**Auteur:**  
Theo Cornelissen (DWW, IPL)

**Titel en ondertitel:**  
Overkappen van wegen en  
luchtbehandeling;  
een maatregel voor de luchtkwaliteit langs hoofdwegen

**Projectnaam:**  
**Overkappen en luchtbehandeling**

**Toetsing:**  
J.W. Huijben (BWD)  
N. Lanser (DWW, IPL)

## Referaat

In deze rapportage wordt verslag gedaan van het binnen het IPL uitgevoerde onderzoek naar de mogelijkheden een snelweg te overkappen ten einde de luchtkwaliteit in de omgeving te verbeteren

Verspreiding:

- Ministerie V en W (ja)
- Derden (ja)

Verkrijgbaar bij de  
Dienst Weg- en Waterbouwkunde  
T.a.v. Mw. M.A. Schomaker  
Tel.: 015 – 2518 308

**Aantal blz.** 40

## Trefwoorden

Overkapping, luchtkwaliteit

## Type rapport

Werkdocument

**Prijs** € 0,-

**Acceptatie projectleider**  
ir. Th.A.J. Cornelissen

**Acceptatie programmamanager**  
drs. J.R.P. Nijland

**Acceptatie afdelingshoofd**  
**Bijzondere programma's**  
drs. W. Hoevers

**Acceptatie afdelingshoofd**  
**Infrastructuur Milieumaatregelen**  
dr. E.J.M.M. Arts

**Acceptatie directeur infrastructuur**  
dr. P. Stienstra

De Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat heeft de in deze publicatie opgenomen gegevens zorgvuldig verzameld naar de laatste stand van wetenschap en techniek. Desondanks kunnen er onjuistheden in deze publicatie voorkomen. Het Rijk sluit iedere aansprakelijkheid uit voor schade die uit het gebruik van de hierin opgenomen gegevens mocht voortvloeien.



## Inhoudsopgave

<b>1.</b>	<b>Samenvatting</b>	<b>7</b>
<b>2.</b>	<b>Inleiding</b>	<b>9</b>
<b>3.</b>	<b>Overkappen</b>	<b>11</b>
3.1	Inleiding	11
3.2	Effecten op de luchtkwaliteit	12
3.3	Uitgewerkte ontwerpen	13
3.4	Overige ontwerpen	15
3.5	Aandachtspunten	17
3.6	Kosten en baten	18
<b>4.</b>	<b>Luchtbehandeling</b>	<b>21</b>
4.1	Inleiding	21
4.2	Concentraties verontreiniging en debieten	22
4.3	Effecten luchtbehandeling	22
4.4	Monden van tunnels en overkappingen	23
4.5	Verdunnen	24
4.6	Reinigen	25
4.7	Bestaande tunnels	26
4.8	Innovaties	27
4.9	Kosten	28
4.10	Modellering luchtkwaliteit	29
<b>5.</b>	<b>Veiligheid</b>	<b>31</b>
5.1	Inleiding	31
5.2	Overleg veiligheid	31
5.3	Veiligheidsaspecten	32
<b>6.</b>	<b>Implementatie</b>	<b>37</b>
<b>7.</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>39</b>
7.1	Conclusies	39
7.2	Aanbevelingen	40

### Bijlagen op cd-rom:

- cd 1 Overkapping
  - DHV / NIO Architecten
    - Kostenramingen
    - Visualisaties (afbeeldingen en animatie)
    - Rapport (plus samenvatting rapport)
  - TU Eindhoven / Booghal
    - Foto's
    - Rapport
  - Bosvariant / TNO
    - Rapport
    - Visualisaties



- Overig
  - CI Structures / Sprung / Hartman, Dura Vermeer, Advin
  - Lammerts van Bueren
    - Prijsaanbieding
    - Visualisaties
  - Movares
    - Rapportage
    - Achtergrondinformatie
    - Visualisaties
  - Maarten Olden
  - Diversen
    - Visualisaties
    - Klimaat onder overkapping
    - Randvoorwaarden opdracht

## cd 2 Luchtbehandeling

- Achtergrondinformatie
  - A2 Maastricht
  - Deeltjes in buitenlucht
  - Startnotitie Innovatieatelier
- Inventarisaties
  - Arnold Dix
    - Samenvatting belangrijkste conclusies
    - Rapport
    - Bijlagen rapport (ontsluiten via RUNFILE) met o.a.
      - Cleanteq
      - Indigo
      - Kawasaki
      - Matsushita
      - Mitsubishi
    - M5 East Freeway in Australië (internet-links)
- Octrooien
  - Samenvatting octrooien
  - Beoordeling octrooien door TRL
  - Database TRL
- Camfil
  - Rapportage
  - Bijlagen NO<sub>2</sub>
  - Bijlagen PM<sub>10</sub>
- Innovaties
  - Centrum Ondergronds Bouwen
    - Presentatie Arcadis
    - TNO alternatieven beheersing fijn stof en NO<sub>2</sub>
  - Tunnelventilatie
  - Monden tunnels en overkappingen
  - TNO innovatieatelier

Met bijdragen van:

- drs.A.J. Arbouw            Project Tunnelveiligheid (VenW)
- ir. B.A. van den Horn    Afdeling veiligheid (BWD)
- ir. J.W. Huijben           Afdeling veiligheid (BWD)

# 1. Samenvatting

## Inleiding

In het kader van het Innovatieprogramma Luchtkwaliteit (IPL) worden maatregelen onderzocht die lokaal de luchtkwaliteit rond snelwegen verbeteren. Eén van de projecten van het IPL is een studie naar de mogelijkheden van het overkappen van wegen, gecombineerd met de behandeling van de lucht. Dit rapport is de afsluiting van Fase I van dat project. De volgende vragen stonden daarbij centraal:

### Overkapping:

- Hoe kan voor een weg een lichte / goedkope constructie eruit zien.
- Hoe kan de veiligheid voor zowel weggebruikers als voor de omgeving worden geoptimaliseerd.
- Wat zijn de kosten van de overkapping.

### Luchtbehandeling:

- Wat zijn de voor- en nadelen van verdunningstechnieken ten opzichte van reinigingstechnieken.
- Welke technieken zijn reeds toegepast (wereldwijd).
- Zijn er vanuit andere werkgebieden technieken beschikbaar die (eventueel na aanpassing) toegepast kunnen worden voor het reinigen van lucht bij overkapte wegen.
- Wat zijn de kosten van luchtbehandeling.

Wanneer een bestaande weg wordt voorzien van een overkapping, is het mogelijk de emissie van verontreiniging langs de weg geheel te voorkomen. Zonder verdere maatregelen zou aan de monden van de overkapping de verontreinigde lucht alsnog vrijkomen. In de gevallen dat dit tot overschrijding van de normen leidt, staan verschillende behandelingstechnieken ter beschikking. Deze technieken zijn onder te verdelen in *verdunning* (ventilatoren, ventilatieopeningen, schoorstenen, schermen en dergelijke) en *reiniging* (elektrostatische filters, doekenfilters, gaswassers, actief kool filters, biobedden en dergelijke).

## Resultaten van het onderzoek

Wereldwijd zijn slechts enkele tunnels voorzien van een systeem om de lucht te reinigen met als doel de omgeving te beschermen. Elektrostatische filters vormen een bewezen techniek, maar vanwege de kosten (orde van grootte van € 30 miljoen aanschafwaarde, € 0,5 miljoen exploitatie per jaar) is tot nu toe meestal gekozen voor het verdunnen van de verontreinigde lucht.

Uit het onderzoek is gebleken dat er waarschijnlijk alternatieven bestaan die goedkoper zijn dan elektrostatische filters.

Wanneer een overkapping alleen wordt gemaakt om de luchtkwaliteit te verbeteren, kan met een zeer lichte (en dus goedkopere) constructie worden volstaan. Er zijn verschillende ontwerpen gemaakt, uitgaande van folie of glas eventueel in combinatie met een zwaardere onderbouw om ook de geluidwerende eigenschappen te versterken. De prijzen van de overkapping zelf variëren van 6 tot 66 miljoen euro per km (2 x 3 rijstroken, met vluchtstroken en middenberm). Vanwege de kosten van de voorbereidingen en aanpassingen die nodig zijn door op- en afritten, viaducten en dergelijke, mag verwacht worden dat de werkelijke kosten significant hoger zullen zijn.

Gezien de kosten van deze maatregel in vergelijking tot andere maatregelen is het aannemelijk dat wegen alleen overkapt zullen worden indien andere maatregelen niet toereikend zijn of als er naast luchtkwaliteit ook andere omstandigheden zijn die een overkapping wenselijk maken (bijvoorbeeld wanneer er tegelijk een knelpunt voor geluid wordt opgelost of een intensiever grondgebruik kan worden gerealiseerd).

Ook kan een (lichte) overkapping worden ingezet om een lokale overschrijding bij een tunnelmond te saneren (gedoseerde emissie en/of opwarming van de verontreinigde lucht).

Een overkapt weg dient te voldoen aan de veiligheidseisen die zijn vastgelegd in de Tunnelwet. Om het gewenste veiligheidsniveau te kunnen garanderen, zijn verschillende maatregelen voorgesteld. Een aantal van de maatregelen dient nog verder uitgewerkt te worden in concrete situaties.

Tijdens het onderzoek zijn enkele belangrijke punten naar boven gekomen waaraan in het vervolg van het project zeker nog aandacht zal worden geschonken.

Dit betreft:

- *Veiligheid*  
De veiligheid voor weggebruikers en mensen die in de omgeving van een overkapt weg wonen of werken is een belangrijk punt van aandacht. Er is gebleken dat de gebruikelijke veiligheidsmaatregelen voor een tunnel, niet één op één overgenomen hoeven of kunnen worden bij een weg met een lichte overkapping. Om het veiligheidsniveau in en rond een overkapt weg goed te kunnen beoordelen, is een veiligheidsrapport nodig dat uitgaat van een concrete situatie. Op die manier kunnen ook plaatsgebonden risico's, vraagstukken die samenhangen met hulpverlening en dergelijke beschouwd worden.
- *Onderhoud*  
Tijdens het onderzoek dat tot nu toe gedaan is, werd bij de kosten vooral gekeken naar de investeringskosten. Omdat bij de in dit rapport besproken ontwerpen voor lichte overkappingen gebruik gemaakt is van materialen die niet eerder over een weg werden toegepast, is er behoefte aan meer informatie over het onderhoud. Hoe moet de constructie schoon worden gehouden, hoe ziet hij er na een aantal jaren uit en wat zijn de kosten?
- *Juridische haalbaarheid*  
In een ontwerp-tracébesluit moeten al veel zaken worden vastgelegd; hierdoor zijn er weinig mogelijkheden voor innovatieve ideeën. In die fase wordt bijvoorbeeld de schermhoogte bepaald, hetgeen inhoudt dat een overkapping niet meer zou kunnen. Dit zou in de praktijk wel eens een van de belangrijkste knelpunten kunnen zijn die moeten worden opgeruimd voordat een lichte overkapping binnen een redelijke termijn kan worden gerealiseerd.



## 2. Inleiding

In dit document wordt een overzicht gegeven van de mogelijkheden om een bestaande snelweg te overkappen met het doel de luchtkwaliteit langs de weg te verbeteren. Deze rapportage wordt uitgebracht in het kader van het Innovatieprogramma Luchtkwaliteit (IPL). De doelstelling van het IPL is:

Het identificeren, selecteren, stimuleren en beproeven van innovatieve lokale maatregelen die bijdragen aan een verbetering van de luchtkwaliteit rond snelwegen.



Het project 'overkappen en luchtbehandeling' kent verschillende fasen. Dit rapport vormt de afsluiting van fase I. Hierin zijn bestaande technieken geïnventariseerd en is nieuwe kennis ontwikkeld. Bij de afronding van fase I is globaal duidelijk geworden welke mogelijkheden er voor overkappingen en luchtbehandeling zijn. In fase IIa worden de meest succesvolle mogelijkheden geïdentificeerd en vindt een nadere uitwerking plaats. Voor een verdere optimalisatie en inbreng van marktpartijen is daarna een fase IIb voorzien.

Het overkappen van een weg kan een bijdrage leveren aan de oplossing van luchtkwaliteitsproblemen door het wegverkeer. Over de gehele lengte van de overkapping kan de emissie naar de omgeving geheel teniet worden gedaan. Wanneer er geen verdere behandeling van de lucht plaatsvindt, kan de emissie in sommige situaties problemen geven bij de 'monden' van de overkapping. Het IPL heeft onderzocht in hoeverre overkappingen die speciaal voor het bestrijden van luchtverontreiniging worden ontworpen, goedkoper kunnen worden aangelegd dan tunnels of zware overkappingen. Daarnaast onderzocht het IPL de mogelijkheden voor de behandeling van lucht. In dit rapport wordt onder 'behandeling van de lucht' zowel het verdunnen (ventileren) als het reinigen verstaan.

Fase I van dit project is opgesplitst in twee onderdelen. De centrale vragen zijn hierbij:

- A: Overkapping:
- Hoe kan voor een weg een lichte / goedkope constructie eruit zien?
  - Hoe kan de veiligheid voor zowel weggebruikers als voor de omgeving worden geoptimaliseerd?
  - Wat zijn de kosten van de overkapping?
- B: Luchtbehandeling:
- Wat zijn de voor- en nadelen van verdunningstechnieken ten opzichte van reinigingstechnieken?
  - Welke technieken zijn reeds toegepast (wereldwijd)?
  - Zijn er vanuit andere werkgebieden technieken beschikbaar die (eventueel na aanpassing) toegepast kunnen worden voor het reinigen van lucht bij overkapte wegen?
  - Wat zijn de kosten van luchtbehandeling?

---

Afhankelijk van de lokale achtergrondconcentratie en de vormgeving van de monden, kan een overkapping van een weg ook zonder luchtbehandeling al zinvol zijn. Overigens is luchtbehandeling een vraag die niet alleen bij het overkappen van een weg speelt; ook bij bijvoorbeeld tunnels en parkeergarages is dit een vraagstuk.

In het volgende hoofdstuk wordt eerst beschreven hoe een lichte overkapping eruit zou kunnen zien (hoofdstuk 3). Daarna volgt een gedeelte over luchtkwaliteit (hoofdstuk 4). De veiligheidsaspecten zijn bij deze maatregel een belangrijk aandachtspunt. Vandaar dat hier een apart hoofdstuk aan wordt gewijd (hoofdstuk 5).

Dit rapport geeft een zeer beknopte samenvatting van de resultaten van het project. Op de bijbehorende cd's staat voor alle onderwerpen uitgebreide extra informatie.

## 3. Overkappen

3.1	Inleiding
3.2	Effecten op de luchtkwaliteit
3.3	Uitgewerkte ontwerpen
3.4	Overige ontwerpen
3.5	Aandachtspunten
3.6	Kosten en baten

### 3.1 Inleiding

Wanneer men een weg als tunnel uitvoert, zal de omgeving van de weg geen verontreiniging van de weg ontvangen. Het onder de grond brengen van een bestaande weg is echter een dure maatregel. Door de weg op maaiveld te laten liggen, maar er een luchtdichte overkapping over aan te brengen, kan met goedkopere middelen hetzelfde effect bereikt worden.

Zonder speciale voorzieningen zal de verontreinigde lucht er bij de 'tunnelmonden' uit komen. Dat betekent dat de monden extra belaste plaatsen zijn. Er is een kans dat de normen voor luchtkwaliteit hier worden overschreden. Mogelijk zal dit in voorkomende gevallen via de regeling van 'projectgebonden saldering' (zie wetgeving luchtkwaliteit) toegestaan kunnen worden. Het traject langs het gedeelte van de weg wordt door het overkappen immers schoner.

Afhankelijk van de situatie zou de verontreinigde lucht mogen vrijkomen op een plaats met een lagere achtergrondconcentratie of op een plaats waar er minder blootstelling optreedt, of zal de lucht een behandeling moeten ondergaan. De overkapping zelf heeft alleen lokale effecten op de luchtkwaliteit (zowel positief langs de weg als negatief bij de monden), maar de overkapping maakt het mogelijk om gericht aan behandeling van de lucht te werken. Het is bij een overkapte weg eenvoudig te regelen dat een gedeelte van de verontreinigde lucht op van tevoren gekozen plaatsen vrijkomt. Zo kan men er voor kiezen de overkapping zó vorm te geven dat de emissie verspreid over een groter traject vrij komt, waardoor de concentraties in de omgeving beperkt blijven. Wanneer men de 'tunnelwanden' gedeeltelijk open houdt, kan men de concentratie voor de omgeving wel verlagen tot een gewenste waarde.

Op verzoek van het IPL zijn drie ontwerpen gemaakt, waarover uitgebreid is gerapporteerd. Deze rapporten zijn van de hand van:

- DHV/NIO Architecten
- TU Eindhoven/Booghal
- Bosvariant/TNO

De vraagstelling voor deze drie partijen was hetzelfde; *'ontwerp een goedkope overkapping die aan alle constructieve eisen en veiligheidseisen voldoet'*. Daarnaast zijn enkele randvoorwaarden gegeven. De volledige formulering staat op cd 1 in de map 'overig/diversen' (randvoorwaarden opdracht).



Het IPL is ook spontaan benaderd door enkele producenten/leveranciers met een al dan niet uitgebreide offerte van hun voorstel. Hierdoor is het aantal ontwerpen groter geworden dan de genoemde drie.

### 3.2 Effecten op de luchtkwaliteit

De verbetering van de luchtkwaliteit langs een overkapte weg is aanzienlijk; de emissie van het verkeer wordt langs de weg geheel tenietgedaan. In de omgeving van de monden van de overkapping is het effect echter negatief zoals bij tunnelmonden ook het geval is. Bij de overkapping zoals hier bedoeld, is geen rekening gehouden met gedoseerde afzuiging of tussentijdse lozing van de schadelijke emissie. Voor een eventuele gedoseerde ventilatie of verlaging van de emissie bij de tunnelmonden wordt verwezen naar het volgende hoofdstuk: 'luchtbehandeling'.

Om een vergelijking te kunnen maken van het effect van overkappen in relatie tot andere maatregelen, is de volgende tabel opgenomen. Generieke maatregelen, zoals roetfilters op auto's, belastingmaatregelen en dergelijke, zijn niet in de tabel opgenomen omdat hierbij verschillende manieren van uitvoering mogelijk zijn. Hierdoor kan ook de reductie variëren van enkele procenten tot bijna geheel. In de tabel is steeds de vergelijking gemaakt met een weg zonder geluidsschermen.

Tabel: vergelijking effectiviteit van enkele locatiespecifieke maatregelen

maatregeltype	Reductie wegbijdrage
volume/doorstromingsmaatregelen (bv toeritdosering)	0 - 5 % *)
snelheidsverlaging met strikte handhaving	0 - 10 % *)
schermen, 4 m	10 - 95 %
schermen, 8 m	50 - 95 %
overkapping met luchtbehandeling	0 - 100 % **)

\*) Kan bij verkeerde uitvoering ook negatief resultaat geven

\*\*\*) Afhankelijk van de uitvoering (zie verder in dit rapport)

De spreiding in de verschillende waarden is zeer groot. Bij doorstromingsmaatregelen en snelheidsverlaging zijn er meetwaarden beschikbaar en het blijkt dat de invloed op de luchtkwaliteit samenhangt met de verkeerskundige situatie ter plaatse. Op- en afritten, weefvakken en dergelijke bepalen of de maatregel filebeperkend of (in sommige gevallen) filevermeerderend werkt. De luchtkwaliteit hangt direct samen met het al dan niet ontstaan van files.

Bij de schermen wordt de spreiding vooral veroorzaakt door de wegorientatie (ten opzichte van de windroos), verschillen tussen modellering en windtunnelonderzoek, de beschouwde afstand achter het scherm en meeton nauwkeurigheid. Vanwege de grote onzekerheid van de waarden, wordt door het IPL praktijkmetingen voorbereid. Hierbij zullen verschillende typen van schermen en verschillende hoogtes worden vergeleken met een situatie zonder scherm.

De emissie van voertuigen komt, wanneer er geen verdere behandeling plaatsvindt, bij de monden vrij. Een verbetering van de luchtkwaliteit langs de weg treedt daarom alleen op wanneer de mond van de overkapping ver genoeg aflight van het te beschermen stuk. Een

overkapping met een lengte van minder dan circa 200 m lijkt daarom niet zinvol. Voor het behandelen van de lucht geldt iets dergelijks (zie hierna in het hoofdstuk *luchtbehandeling*).

### 3.3 Uitgewerkte ontwerpen

Hieronder volgt een korte karakterisering van de verschillende ontwerpen.

- **DHV/NIO Architecten** heeft gekozen voor een constructie met betonnen elementen in de middenberm met aan beide zijden hiervan over de weg lichte ribben of 'vleugels'. Hier presenteren wij twee van de varianten die in het rapport staan; één met opgeblazen folie en één met kunststoffen platen. De kosten zijn nagenoeg hetzelfde. Op cd 1 staat de uitgebreide rapportage met meer varianten en een animatie vanuit het gezichtspunt van een automobilist.



figuur: DHV/NIO: opgeblazen kussens van ethyleentetrafluorethyleen; ETFE

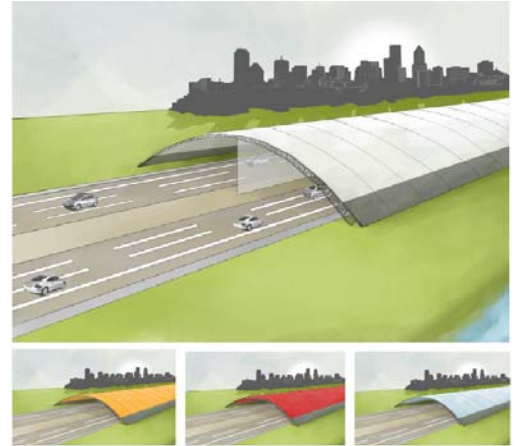


figuur: DHV/NIO: lamellen van polymethylmetacrylaat; PMMA

links: dicht en open vanuit de automobilist;  
rechts: overzicht



- **TU Eindhoven/Booghal** is uitgegaan van de ervaring in de stallenbouw. Men heeft een lichte constructie bestaande uit standaard spanten met daartussen twee lagen folie gespannen. (binnen een dicht folie en daarbuiten gaas om de wind te breken en ter bescherming van de binnenfolie). Het geheel is in de landbouw in de praktijk al in gebruik. In de rapportage wordt uitgebreid ingegaan op de constructie, de veiligheidsaspecten en de kosten. Op cd 1 is het volledige rapport opgenomen.



figuur: Booghal tijdens de opbouw als stal

figuur: Booghal over een weg

- **Bosvariant/TNO** heeft bij hun concept 'Greenroad' de kassenbouw als uitgangspunt genomen. Grote voordelen van de kassenbouw zijn de ruime ontwerpervaring hiermee in Nederland, de hoge mate van standaardisatie en massaproductie, waardoor de kosten relatief laag blijven. Verder is er een stevige concurrentie tussen de verschillende kassenbouwers en schrikt men bij het overkappen van een weggedeelte van enkele kilometers niet van de schaalgrootte. Door het toepassen van glas is de gehele constructie iets zwaarder dan bij het gebruik van kunststoffen folies. Een groot voordeel van glas is dat de geluidwering zeer goed is. Er zijn twee varianten gepresenteerd; de Breedkap en de Venlo.

In verband met het beperken van het risico van vallend glas wordt uitgegaan van gelamineerd glas eventueel nog voorzien van een rooster onder het glasdek. Het glas kan eventueel worden voorzien van een opdruk of coating.

De kosten van de twee varianten zijn vergelijkbaar. De kostenramingen zijn redelijk realistisch, want zij zijn gebaseerd op twee offertes van kassenbouwers. Hierbij is echter wel uitgegaan van een aantal in de landbouw gebruikelijke uitgangspunten, zoals een vlakke grond zonder obstakels.

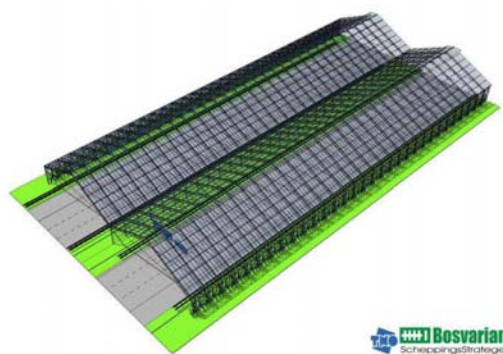
In de rapportage wordt uitgebreid ingegaan op de constructie, de veiligheidsaspecten en de kosten (zie cd 1).



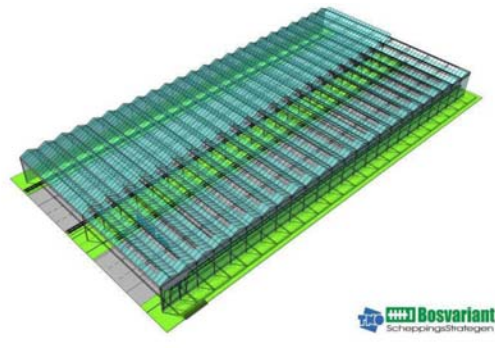
figuur: Greenroad  
 links kas type Breedkap



rechts: kas type Venlo



figuur: Greenroad  
 links kas type Breedkap



rechts: kas type Venlo

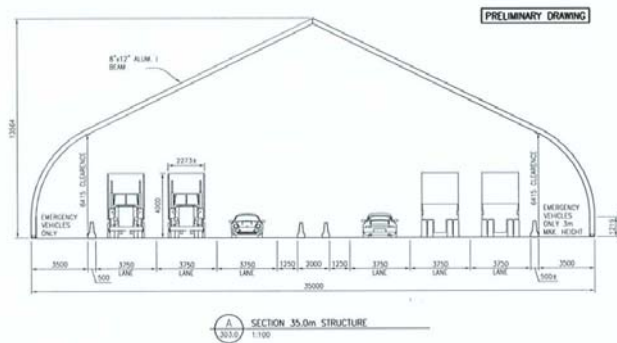
### 3.4 Overige ontwerpen

- **CI Structures / Sprung / Hartman, Dura Vermeer, en Advin** hebben een samenwerkingsverband gevormd dat op eigen initiatief een ontwerp bij het IPL heeft neergelegd. Het betreft een beproefde wijze van bouwen, die alleen wat betreft de dimensionering is aangepast aan een snelweg.



figuur: CI cs: bestaande toepassing als opslaghal (exterieur en interieur)



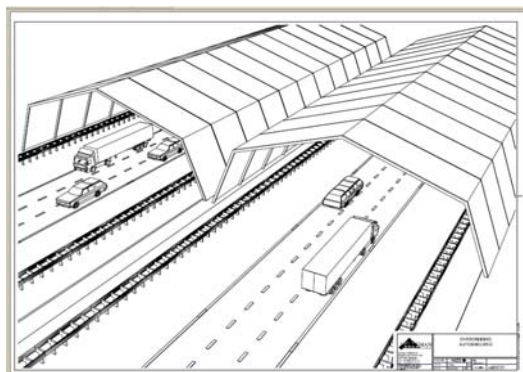


figuur: CI cs: toepassing over een weg

- **Lammerts van Bueren** heeft eveneens een ontwerp aangeleverd. Ook hier gaat het om een bestaande wijze van bouwen, die wat betreft de dimensionering is aangepast aan een snelweg.

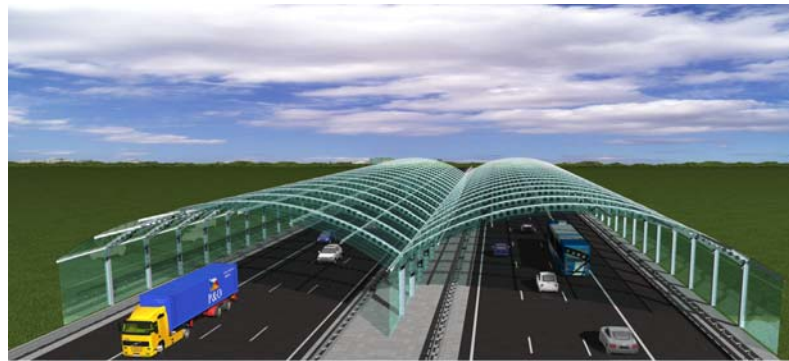


figuur: Lammerts van Bueren: interieur en exterieur



figuur: Lammerts van Bueren: toepassing over een weg

- **Movares** heeft een ontwerp gemaakt op basis van koudgebogen glas. Door de vorm van het glas heeft dit een grotere stijfheid, waardoor dit dunner kan worden uitgevoerd. De grotere stijfheid en de kleinere dikte zorgen er beide voor dat bespaard kan worden op de constructieve elementen, waardoor het geheel nog lichter en dus goedkoper wordt.



Movares

Overhuiving Snelwegen

BRS STRUCTURAL GLAZING

figuur: Movares: ontwerp met koudgebogen glas

Op cd 1 zijn naast de hierboven genoemde overkappingen nog enkele andere ideeën en relevante foto's getoond (cd 1\overig).

### 3.5 Aandachtspunten

#### Temperatuur

De nu beschikbare concepten roepen vragen op over het klimaat onder een overkapping. Afhankelijk van de lengte van de overkapping, de hoeveelheid instraling door de zon en de grootte van de luchtstroom door het verkeer, is het mogelijk dat de temperatuur sterk kan oplopen, indien er geen aandacht aan wordt besteed. Hetzelfde geldt overigens ook voor de andere ontwerpen. In de kassenbouw liggen hiervoor oplossingen; de laatste tijd wordt veel gedaan om de kassenteelt energieneutraal te maken. Hiermee bedoelt men dat voor de warmtehuishouding van de kas geen externe brandstof meer nodig is. Dit bereikt men door 's zomers te koelen waarbij men de warmte in de bodem op slaat en deze warmte 's winters voor verwarming te gebruiken. Onderzoeksprojecten zien er veelbelovend uit; er lopen al proefprojecten. Informatie hierover is op internet te vinden (op cd 2 staan links in de map: overig\diversen)

In het geval van een weg kan men de apparatuur die voor kassen is ontwikkeld, gebruiken om te koelen. De warmte is 's winters voor de weg niet nodig en kan elders nuttig worden gebruikt (bijvoorbeeld als verwarmingsbron voor kantoren of woningen, in combinatie met warmtepompen).

Overigens is het opwarmen van de lucht juist gunstig voor de opstuwning van de lucht en is daarmee ook gunstig voor de verspreiding van de verontreiniging (zie paragraaf 4.3; effecten luchtbehandeling). Nader onderzoek naar de warmtehuishouding en eventuele energieopbrengsten is wenselijk.

#### Invloed op de weg

Omdat er binnen de overkapping geen neerslag is, zullen er zich geen problemen voordoen met ijzel, sneeuw, regen of mist. Gladheidsbestrijding wordt hierdoor op het overkapte deel van de weg overbodig.

#### Levensduur overkapping

De getoonde ontwerpen hebben een gegarandeerde levensduur van minimaal 30 jaar. Bij sommige ontwerpen is daarna de constructie nog goed en kan een folie eventueel worden vernieuwd. Ook is het mogelijk dat de constructie na de gebruiksduur uit elkaar te halen en deze dan elders weer te gebruiken.



### **Acceptatiegraad**

Bij de vraag of een overkapping wordt geaccepteerd of gewaardeerd is het verstandig onderscheid te maken tussen de weggebruiker en de omgeving van de weg.

Voor de weggebruiker geldt dat de veiligheid onder de overkapping essentieel is. Dat gaat niet alleen om de objectieve beoordeling die in hoofdstuk 5 is behandeld, maar ook om de beleving. Dit pleit voor een ruime constructie en een ontwerp waarin sprake is van een geleidelijke overgang van de niet-overkapte weg naar een overkapt deel.

Voor mensen die in de omgeving van de weg verblijven is het feit dat de overkapping de luchtkwaliteit verbetert niet voldoende; het aanzicht van het geheel is zeer belangrijk. Bij sommige ontwerpen dient men bedacht te zijn op hinderlijke reflecties van zonlicht.

Voor de meeste mensen in de omgeving zal een overkapping er hetzelfde uitzien als schermen. Slechts voor mensen hoog in een flat zal het verschil zichtbaar zijn. De visualisaties laten zien dat er ontwerpen mogelijk zijn met fraaie vormgeving.

### **Materiaalkeuze**

Bij het zoeken naar goedkope overkappingen, komt men automatisch uit op zeer lichte materialen. Omdat er alleen een scheiding voor de lucht moet worden gemaakt, kan men zelfs aan zeer dunne kunststoffen folies denken.

In verband met vandalisme is het aan te bevelen de onderste meters van een stevig materiaal te maken; folies zijn hiervoor niet geschikt. Op veel locaties die eventueel in aanmerking voor overkappen vormt 'geluid' ook een probleem. Ook vanuit dat gezichtspunt is een stevig materiaal voor de onderste meters aan te bevelen. De geluidwerende eigenschappen van folies zijn namelijk niet gunstig. Bij locaties waar geluid zeer kritisch is, moet gedacht worden aan overkappingen die voor een groter gedeelte uit (kunststof) platen of glas bestaat.

Bij de toepassing van lichte materialen dient men zich te realiseren dat de constructie wel voldoende sterk moet zijn om een sneeuwlast te kunnen dragen.

Bij de toepassing van lichtdoorlatende materialen dient men rekening te houden met de reinigbaarheid aangezien een vervuild aanzicht ten gevolge van roetaanslag aan de binnenkant en aanslag door algen aan de buitenkant esthetisch niet aanvaardbaar is.

### **Uitvoeren metingen**

Omdat er geen ervaring is met lichte overkappingen voor wegen, moeten de eerste toepassingen gezien worden als experimenteel. Hierop zal een uitgebreid monitoringsprogramma toegepast moeten worden, waarbij onder andere gelet wordt op zaken als: vervuiling binnen- en buitenkant, gedrag van weggebruikers, vandalisme, rendement luchtbehandeling.

## **3.6 Kosten en baten**

### **Kosten**

Voor het ramen van de kosten van een overkapping is uitgegaan van 1 km weg met 2 x 3 rijstroken. De geraamde kosten hebben alleen betrekking op de overkapping zelf (geen tunneltechniek, bewegwijzering, verlichting, luchtbehandeling en dergelijke). Ook de kosten van specifieke veiligheidseisen zijn hier nog niet in verwerkt. Voor wat betreft de fundering zijn aannames gedaan over de ondergrond.



De volgende tabel geeft een vergelijking van de investeringskosten van de verschillende varianten.

Tabel: investeringskosten overkappingen voor een weg met 2 x 3 rijstroken

Ontwerper overkapping	Type	Kosten [euro/km]
DHV / NIO	Beton met lichte ribben	65.000.000
TU Eindhoven / Booghal	Stalen spanten met folie	6.000.000
Bosvariant / TNO	Glazen kas	7.000.000
Samenwerking CI etc	Aluminium constructie met doek	12.000.000
Lammerts van Bueren	Tent (excl deel opbouwkosten)	6.600.000
Movares	Koudgebogen glas	20.000.000

De grootte van de spreiding van de kostprijs wordt vooral veroorzaakt door de verschillende methoden/ontwerpen.

Men moet zich realiseren dat de genoemde kosten voor een overkapping zeer globale ramingen betreffen van slechts een gedeelte van de werkelijke kosten. In de praktijk blijken er verschillende aspecten te zijn die de kosten van de overkapping zelf aanzienlijk kunnen verhogen. Te denken valt aan de kosten van:

- het aanvragen van vergunningen,
- het maken van het ontwerp,
- het onderzoek naar bodemverontreiniging en fundering,
- aanpassingen die noodzakelijk zijn in verband met de plaatselijke omstandigheden (bruggen, viaducten, op- en afritten, aanpassingen aan verlichting en bewegwijzering etc)
- het bouwen boven een weg (die daarvoor niet maanden dicht kan zijn)

Naast de kosten van de overkapping zelf, dient men rekening te houden met de kosten van ventilatie- en veiligheidsvoorzieningen (zie hierna).

Indien men overweegt om aan beide zijden van de weg hoge schermen te plaatsen, kan men ook een overkapping in de overwegingen betrekken. Omdat een overkapping zelfdragend is en gunstiger is qua constructie dan hoge schermen, kan een overkapping mogelijk lichter (goedkoper) worden uitgevoerd dan hoge schermen. Voor schermen wordt vaak uitgegaan van 500 euro/m<sup>2</sup> (excl btw, incl voorbereidingskosten). Uitgaande van een weg met 2 x 3 rijstroken zou bij een prijs van 10 miljoen euro per kilometer het kantelpunt liggen bij schermen met een hoogte van circa 10 m. Duurdere varianten lijken alleen gebouwd te kunnen worden als ook andere aspecten dan luchtkwaliteit en geluidshinder spelen.

De operationele kosten van een overkapping zijn nog niet inzichtelijk gemaakt, maar het is duidelijk dat die per type overkapping verschillend zullen zijn. Men dient rekening te houden met kosten voor het schoonhouden buiten- en binnenkant. Voor een overkapping op basis van de kassenbouw zijn kant en klare oplossingen voor het geautomatiseerd schoonhouden van de buitenkant. De frequentie van het reinigen is sterk afhankelijk van de materiaalkeuze. Kunststoffen kunnen als nadeel hebben dat zij statisch geladen raken en vuil aantrekken. De waarde van de overkapping nadat deze aan het einde van de gebruiksduur is afgebroken, is ook nog niet geraamd.

## Baten

De belangrijkste baten zijn natuurlijk de verbetering van de luchtkwaliteit. Deze baten worden in het volgende hoofdstuk behandeld.

De financiële baten van een overkapping kunnen onderverdeeld worden in twee verschillende aspecten: de omgeving van de weg en de weg zelf.

De omgeving van de weg heeft net als bij schermen baat van de overkapping doordat de ruimte direct langs de weg beter gebruikt kan worden. Dit zou zich kunnen vertalen in een ophoging van de grondprijzen, die dan ten gunste komt van de grondeigenaar. De grond direct boven de rijksweg kan alleen bij zware overkappingen gebruikt worden. In verband met veiligheidseisen en juridische vraagstukken, is er slechts een beperkt aantal toepassingen mogelijk zoals (sport)parken of secundaire wegen.

Voor de weg zelf betekent een overkapping een (zeer beperkte) besparing op gladheidsbestrijding en geeft hij mogelijk een vermindering van de kosten van het reinigen van de weg en een verlenging van de levensduur van het asfalt. Of de verbetering van de weersomstandigheden voor het verkeer (geen mist, regen of sneeuw) leiden tot baten is nog niet duidelijk.

Het is mogelijk om in de zomer de extra warmte die ontstaat onder de doorzichtige overkappingen op te slaan in de grond. In de winter kan deze warmte verkocht worden voor verwarming van nabijgelegen huizen of kantoren.

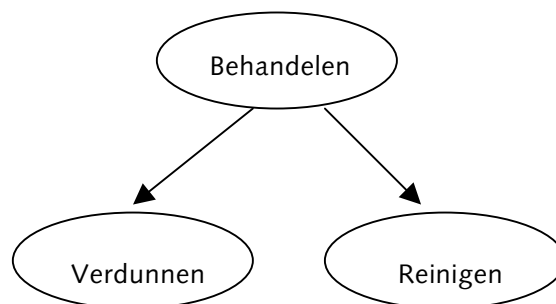
Het kwantificeren van de genoemde aspecten vereist aparte studies en behoort niet tot de scope van dit onderzoek.

## 4. Luchtbehandeling

4.1	Inleiding
4.2	Concentraties verontreiniging en debieten
4.3	Effecten luchtbehandeling
4.4	Monden van tunnels en overkappingen
4.5	Verdunnen
4.6	Reinigen
4.7	Bestaande tunnels
4.8	Innovaties
4.9	Kosten
4.10	Modellering luchtkwaliteit

### 4.1 Inleiding

De behandelmethoden voor verontreinigde lucht bij tunnels, (lichte) overkappingen, parkeergarages en dergelijke zijn onder te verdelen in twee richtingen.



Bij het verdunnen kan men denken aan ventilatie-openingen, schoorstenen of aan het toepassen van ventilatoren. Verdunnen zorgt dus voor een verlaging van de concentraties. Reinigen daarentegen zorgt voor een daadwerkelijke afname van de hoeveelheid verontreiniging door deze af te vangen of om te zetten in stoffen die geen gevaar opleveren.

We beperken ons in dit rapport tot een bespreking van luchtbehandeling bij overkappingen en tunnels. Het reinigen van lucht op een open weg of in de omgeving van een weg is zeer inefficiënt omdat de concentraties aan verontreinigende stoffen laag en de luchthoeveelheden zeer groot zijn (te meer omdat altijd ook niet-verontreinigde lucht wordt aangezogen). Bij tunnels liggen de kansen op succesvol reinigen gunstiger; de lucht zit al in een (tunnel)buis en mede daardoor lopen de concentraties aan  $PM_{10}$  en  $NO_2$  op tot maximaal 5 a 10 keer de concentraties op een open weg. Zij blijven echter nog laag vergeleken met de concentraties die bij industriële reinigingsprocessen optreden.

Het gegeven dat het behandelen van lucht des te efficiënter is naarmate de overkapping langer is, laat ook zien dat het overkappen van een weg alleen zinvol is wanneer de overkapping niet te klein is; een lengte van circa 200 m lijkt het minimum.

## 4.2 Concentraties verontreiniging en debieten

De emissies van personenauto's en vrachtauto's zijn globaal bekend. In een tunnel of onder een overkapping zijn de concentraties  $PM_{10}$  en  $NO_2$  aan het begin van het traject laag en zij lopen op naarmate men verder komt. Aan het eind van de tunnel of overkapping is de concentratie het hoogst.

Om een idee te geven van de concentraties is hier een voorbeeld: voor een tunnel in de A2 bij Maastricht is geschat dat de concentratie aan het einde van de tunnelbuis tijdens de spits voor  $PM_{10}$  circa 1.700 microgram/ $m^3$  zal zijn en voor  $NO_2$  circa 400 microgram/ $m^3$ . Dit is bijzonder hoog vergeleken met concentraties langs een open weg, maar nog ruim onder de toelaatbaar geachte waarden voor binnen in tunnels (zie op cd 2: achtergrondinformatie\ A2 Maastricht).

Afhankelijk van de lengte van het traject, de verkeersintensiteit en de verversingsgraad van de lucht staan de concentraties aan  $PM_{10}$  en  $NO_2$  theoretisch vast. Andersom kan men ook uitgaan van een toelaatbare concentratie aan verontreinigingen en daarmee bepalen hoeveel lucht de tunnel uit mag komen. Indien men uitgaat van de luchtverplaatsing die normaal ontstaat door het rijden van de auto's (circa 2,5 m/s) en een doorsnede van 140  $m^2$  per tunnelbuis, levert dit een debiet op van 350  $m^3/s$  ofwel 1,25 miljoen  $m^3/$ uur. Met ventilatoren kan men dit debiet vergroten of juist verlagen. Op cd 2 staat een beschrijving van een tunnelventilatiesysteem dat deze mogelijkheden geeft (zie cd 2: Tunnelventilatie).

## 4.3 Effecten luchtbehandeling

### *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.

### *Verdunnen*

Er zijn verschillende methoden van verdunnen mogelijk, die allemaal hun eigen effectiviteit hebben. In concrete situaties zal het effect hiervan bepaald moeten worden.



De onderstaande tabel geeft een indicatie van de verbetering van de luchtkwaliteit van verschillende schoorsteenhoogten ten opzichte van de situatie zonder schoorsteen (waarbij alle emissies via de tunnelmonden vrijkomen). De percentages geven aan in welke mate de bronbijdrage uit de tunnel wordt gereduceerd ten opzichte van de situatie zonder schoorstenen. Er is in de tabel vanuit gegaan dat 50% van de emissies wordt afgevoerd via de schoorsteen. De waarden zijn berekend met het KEMA Stacks model.

Tabel: Relatieve verbetering ten opzichte van situatie zonder schoorsteen

Component	Optimalisatie (50% afvoer emissies via schoorsteen)			
	H: 25 m (*)	H: 20 m	H: 15 m	H: 10 m
NO2 bronbijdrage jaargemiddeld	15%	11%	9%	7%
PM10 bronbijdrage jaargemiddeld	38%	37%	34%	31%
PM10 bronbijdrage daggemiddeld	38%	37%	34%	31%

(\*) "H" is de hoogte van de schoorsteen

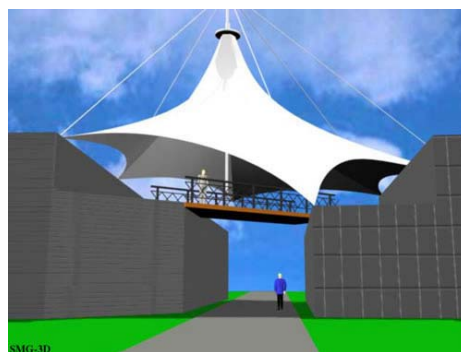
#### 4.4 Monden van tunnels en overkappingen

Gezien de concentraties die bij de monden kunnen optreden, is het duidelijk dat zonder maatregelen in veel gevallen de luchtkwaliteit de normen overschrijdt. Dit is echter een zeer lokaal effect; op een afstand van enkele tientallen meters is de bijdrage van de mond vaak al weggevallen ten opzichte van de achtergrondwaarden. Voor het terugdringen van deze overschrijdingen zijn maatregelen mogelijk die de concentraties in de tunnel/overkapping verlagen, maar er zijn ook mogelijkheden voor de mond zelf. Hierna worden enkele oplossingsrichtingen gegeven, maar de verwachting is dat hierin nog kan worden geoptimaliseerd.

Eén van de oplossingen is dat men ventilatie veroorzaakt door een sleuf of aparte gaten in de overkapping te maken. Dit heeft tot doel de verontreiniging geleidelijk vrij te laten komen. Voor deze variant geldt niet dat de minimumlengte van een lichte overkapping circa 200 m bedraagt. Een korte verlenging van de tunnel kan al een groot effect op de luchtkwaliteit rond de tunnelmond hebben.

Een andere mogelijkheid is de verontreiniging zo hoog mogelijk boven het maaiveld vrij te laten komen. Dit is hetzelfde principe als waar een schoorsteen op berust; hoe hoger de plaats waar de verontreinigde lucht vrijkomt, des te meer hij verdund is voor hij op leefniveau komt.

Hiernaast is een interessante optie getoond, die wat maatvoering betreft nog moet worden aangepast aan de situatie bij een tunnel of overkapping. Modelberekeningen en/of windtunnelonderzoek moeten de grootte van de constructie bepalen alsmede de mate van openheid aan de zijkanten, de diameter van de opening bovenin etc. Door de warmteproductie van het verkeer, de wind die over de bovenkant waait en de opwarming van het oppervlakte wanneer de zon schijnt, ontstaat een schoorsteenwerking, die de verontreiniging omhoog stuwt. Nader



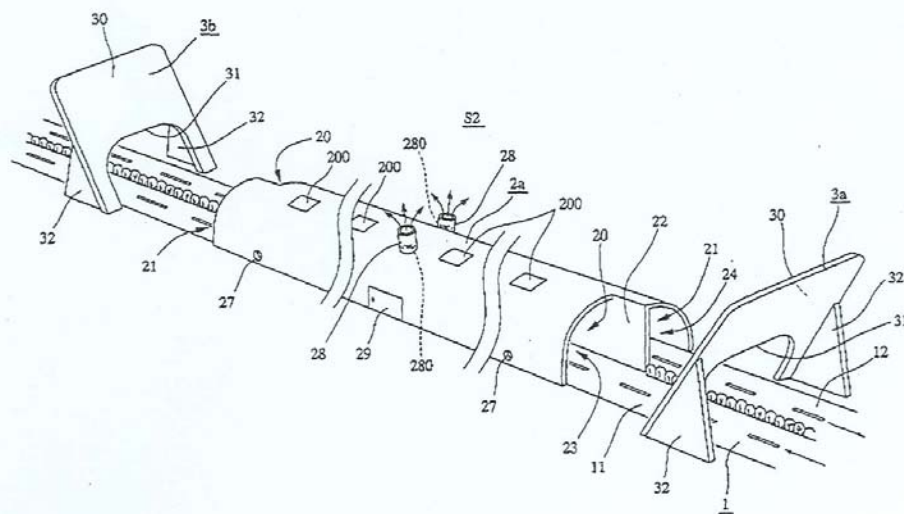
Figuur: gespannen membraan



onderzoek in concrete gevallen moet uitwijzen of dit effect groot genoeg is om de concentraties onder de norm te krijgen.

Het thermisch effect kan ingezet worden bij tunnelmonden door de tunnel met een lichte overkapping in feite wat langer te maken dan nodig is. Hierdoor kan met de lucht (voordat hij in de tunnel komt of wanneer hij de tunnel verlaat) wat opwarmen, waardoor de verontreiniging opstijgt en sneller wordt verdund.

Nog een ander principe om de concentraties bij de monden te reduceren is: verdun de verontreiniging zodra deze vrij is gekomen. Dit kan door schermen langs de weg en dwars op de weg te plaatsen. Dat laatste klinkt vreemd, maar hieronder is een figuur getoond van een octrooi over een speciale vormgeving bij de mond. Het scherm dwars op de weg (nr 30 in het figuur) zorgt, in combinatie met de rijwind, voor een opstuwing en verspreiding van de verontreiniging (zie voor het gehele voorblad van dit octrooi cd 2: innovaties\monden\ scherm tunnelmond).



figuur: schermen ter verbetering van de luchtkwaliteit bij monden

## 4.5 Verdunnen

Wanneer men de lucht verdunt, grijpt dit direct en ruwweg op dezelfde manier in op alle aanwezige componenten van een luchtverontreiniging. Het is belangrijk een onderscheid te maken tussen actieve en passieve verdunning. Van actieve verdunning is sprake wanneer men energie aanwendt zoals dat gebeurt bij ventilatoren. Voorbeelden van passieve verdunning, waarbij men dus geen energie toevoert, zijn ventilatieopeningen, schoorstenen en voorzieningen die de turbulentie vergroten (dit kunnen vaste objecten zijn of eventueel bewegende zoals turbines of windmolens).

### *Actief verdunnen*

In tunnels van langer dan 500 m worden ventilatoren geplaatst die de lucht kunnen meeblazen in de rijrichting. Deze ventilatoren zijn bedoeld voor het verdrijven van rook en gevaarlijke gassen in het geval van een calamiteit. De ventilatoren zijn niet bedoeld voor het ventileren bij het dagelijks gebruik onder normale omstandigheden, maar zouden daar in principe voor kunnen worden ingezet.

Er kan ook portaalafzuiging worden toegepast met ventilatoren die de lucht via een schoorsteen de lucht inblazen. De kosten van een dergelijk systeem en het energieverbruik, liegen er niet om. Voor de tweede Coentunnel is de aanschaf per portaal begroot op 20 miljoen euro en de jaarlijkse energiekosten op 300.000 euro (daarbij is men uitgegaan van ventilatie die constant aanstaat, waarbij het toerental afhankelijk is van het verkeersaanbod van dat moment).

#### *Passief verdunnen*

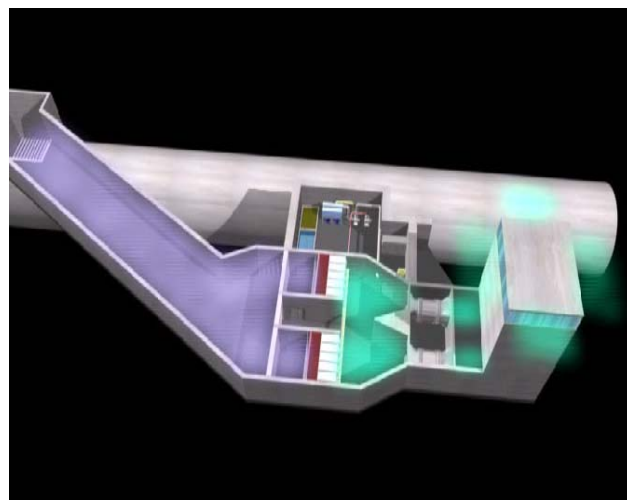
Naast de mogelijkheden die er zijn om de lucht (passief) te verdunnen wanneer deze bij de mond al is vrijgekomen, zijn er ook mogelijkheden om te zorgen dat de emissies aan verontreinigingen bij de monden laag zijn.

- Allereerst is er de mogelijkheid om de overkapping gedeeltelijk open te houden. Dat klinkt tegenstrijdig; de weg overkappen om de lucht niet vrij te laten komen en vervolgens toch weer openingen maken. Doch door de plaats van de opening gunstig te kiezen (zo hoog mogelijk en zo ver van de wegrand af als maar mogelijk is), kan men de verdunning bevorderen en een verbetering van de luchtkwaliteit bewerkstelligen.
- Het toepassen van schoorstenen halverwege of vlak vóór het einde van de overkapping, zorgt dat de emissie hoger in de lucht komt en beter wordt verdund. Bij het gebruik van schoorstenen is het een voordeel wanneer de lucht warm is; hierdoor is er een opstuwend effect waardoor de verontreiniging sneller wordt verdund. Overigens wordt binnenin een schoorsteen de werking vaak nog ondersteund door een ventilator, waarmee dan een combinatie is gemaakt van actief en passief verdunnen.
- De auto's die onder de overkapping rijden, veroorzaken een opstuwing van de lucht (rijwind). Men kan van deze rijwind gebruik maken als kracht om de lucht in goede banen te leiden (bv richting ventilatiekanalen of schoorsteen).

## 4.6 Reinigen

Bij het reinigen van lucht moet men onderscheid maken tussen de verschillende stoffen. In dit geval beperken wij ons tot  $\text{NO}_2$  en fijn stof ( $\text{PM}_{10}$  en  $\text{PM}_{2,5}$ ). Voor  $\text{NO}_2$  komen in principe natte wassers en filters op basis van actief kool of een basische vaste stof in aanmerking. Filters op basis van actief kool hebben als groot voordeel dat zij naast  $\text{NO}_2$  ook andere verontreinigende gassen adsorberen. Voor fijn stof kan men denken aan natte wassers, filters op basis van doeken en elektrostatische filters. Vanwege de relatief lage concentraties (vergeleken met de industriële rookgasreiniging) en de hoge debieten (vergeleken met luchtbehandelingsinstallaties bij *clean rooms* en operatiezalen), hebben we bij wegen een unieke situatie.

In de afbeelding hiernaast wordt een idee gegeven van de grootte van een reinigingsinstallatie. Hierbij is de cilinder de tunnelbuis en is het opengewerkte deel het elektrostatische filter waar de verontreinigde lucht (blauw) wordt ontdaan van stof; de schone lucht (groen) verlaat de



Figuur: ECCO: Electrofilter bij tunnelbuis

installatie via de vierkante toren. De getoonde afbeelding is van ECCO (zie cd 2 \inventarisaties \arnold dix \bijlagen).

Een installatie door Camfil ontworpen op basis van filtermatten (voor fijnstof) vergt een ruimte van circa 35 bij 25 m met een hoogte van 7 m (of andere verhoudingen, met ongeveer hetzelfde volume). Deze installatie voor NO<sub>2</sub> vergt een ruimte van ongeveer 25 bij 10 m met een hoogte van 10 m.

#### 4.7 Bestaande tunnels

In opdracht van het IPL is een studie uitgevoerd naar de ervaring die is opgedaan in het buitenland met betrekking tot luchtbehandeling in tunnels. De studie is gedaan door Arnold Dix (Independent Counsel-at-law en Adj.Professor of Engineering aan de Queensland University of Technology, Australië). Het rapport [Managing Air Outside of Tunnels](#) (Arnold Dix rapportnr 6400/3003 van maart 2006) geeft in de bijlagen die daarbij horen zeer veel informatie (cd 2 \inventarisaties \Arnold Dix).

Op basis van het rapport kunnen voor bestaande en nieuwe tunnels en overkappingen de volgende conclusies worden getrokken:

- De maatregelen die bij tunnels en overkappingen kunnen worden ingezet zijn (in volgorde):
  1. Zorgvuldige wegontwerp; bijvoorbeeld:
    - Geen steile hellingen
    - Geen op- en afritten
    - Geen versmallingen of verbredingen
  2. Beheersmaatregelen van de tunnel; bijvoorbeeld:
    - Onderhoud uitvoeren op rustige tijden
    - Verlichting afstemmen op behoefte
    - Binnenkant tunnel/overkapping regelmatig schoonmaken
  3. Verkeersmaatregelen; bijvoorbeeld:
    - Maximumsnelheid aanpassen aan drukte
    - Niet meer verkeer toelaten dan verwerkt kan worden
  4. Verspreidingstechnieken van de verontreiniging
    - Zie hoofdstuk 4.5
  5. Reinigingstechnieken
    - Zie hoofdstuk 4.6
- In de overgrote meerderheid van de gevallen wordt het milieu gespaard door een optimaal ontwerp van de lozingspunten (verspreiding) en beheersprocedures.
- Verspreidingstechnieken werken in op alle verontreinigende componenten, terwijl reinigingstechnieken alleen aangrijpen op specifieke componenten.
- Wanneer gekozen wordt voor verdunnen, dient men de voorkeur te geven aan passieve systemen (zoals ventilatieopeningen of schoorstenen met natuurlijke trek) omdat deze geen energie kosten en niet afhankelijk zijn van speciale controle.
- In Noorwegen, Japan, Duitsland, Zwitserland en Australië wordt gewoonlijk gebruik gemaakt van schoorstenen wanneer luchtkwaliteit in een stedelijke omgeving een aandachtspunt is. Tunnels in Noorwegen en Japan die zijn voorzien van luchtreinigingstechnieken, hebben deze voornamelijk gekregen op basis van politieke afwegingen.



- Elektrostatische filters zijn inmiddels ontwikkeld tot een niveau waarop zij een bijdrage kunnen leveren om de gewenste luchtkwaliteit te bereiken. In Japan zijn tenminste 7 tunnels uitgerust met een elektrostatisch filter vanwege de luchtkwaliteit in de omgeving van de tunnel.
- De meeste tunnels waar luchtreiniging plaatsvindt, hebben een elektrostatisch filter gekregen met als doel het zicht binnen in de tunnel te verbeteren. Deze installatie zorgt dat er geen ventilatieopeningen noodzakelijk zijn (is goedkoper bij lange tunnels door hoge bergen)
- De effectiviteit van de verwijdering van  $\text{NO}_x$  is op dit moment afhankelijk van de effectiviteit van de verwijdering van fijn stof. Het verwijderen van  $\text{NO}_x$  in tunnels is op dit moment mogelijk op basis van actief kool, maar dit is nog niet voldoende gedemonstreerd.
- Verschillende technieken zijn op dit moment nog in ontwikkeling.

#### 4.8 Innovaties

TNO heeft op verzoek van het IPL een zogenaamd 'innovatieatelier' gehouden, waarin verschillende partijen zich gezamenlijk over de problematiek van luchtreiniging hebben gebogen. Hierdoor is het probleem van luchtkwaliteit in relatie tot tunnels en overkappingen op de kaart gezet. De sessie heeft geleid tot een aantal ideeën die ter beschikking staan van partijen die dit willen uitwerken. Naar aanleiding van het innovatieatelier hebben verschillende partijen contact opgenomen met het IPL om hun ideeën in te brengen. Een verslag van het innovatieatelier is op de cd 2 te vinden in de map Innovaties\ 'TNO Innovatieatelier'. In het verslag is ook de startnotitie opgenomen die een goede introductie geeft van de problematiek van luchtkwaliteit bij tunnels en overkappingen.

Het innovatieatelier heeft er onder andere in geresulteerd dat Camfil op basis van filtermatten een ontwerp heeft gemaakt voor een luchtreinigingssysteem voor één km overkapping (zie cd 2). Zoals ook in de kostenvergelijking in hoofdstuk 4.9 is aangegeven, is dit een aantrekkelijke optie. Camfil heeft ook een voorstel ingediend voor een modulair systeem, waarbij elke 25 of 50 m weg een eigen reinigingseenheid heeft. Zeker in combinatie met een ventilatiesysteem dat wordt gestuurd op basis van de concentraties aan verontreiniging, is dit veelbelovend. Dit is nog niet uitgewerkt.

Door ID-NL is een inventarisatie gemaakt van octrooien en andere literatuur op het gebied van luchtbehandeling in relatie tot tunnels en/of overkappingen. Op cd 2 staat een zeer korte samenvatting van elk octrooi. De octrooien zijn op hun belang onderzocht door TRL. De resultaten zijn op het moment van het maken van het voorliggende rapport alleen in conceptvorm beschikbaar (cd 2: octrooien).

Het IPL heeft geparticipeerd in een project van het Centrum Ondergronds Bouwen (COB) dat zich richt op luchtkwaliteit bij tunnels, overkappingen en parkeergarages. In dit project is onderzoek verricht naar mogelijke innovaties. Kostenberekeningen, overwegingen over passieve luchtstromen, vergelijkingen van verschillende reinigingssystemen waren enkele van de resultaten. De resultaten zijn verwerkt in de volgende paragraaf.

## 4.9 Kosten

### Reiniging

Op cd 2 staan in de map 'inventarisaties' verwijzingen naar het Australische rapport dat is gemaakt voor de autosnelweg M5 (*M5 East Freeway; a review of emission treatment technologies, systems & applications*; Child & Associates, Sept 2004). Dit rapport geeft aan dat de kosten van luchtreinigingsapparatuur van geval tot geval moeten worden gezien. Voor de M5 zou een elektrostatisch filter uitkomen op circa 30 miljoen euro voor aanschaf en installatie en 0,5 miljoen euro per jaar voor de exploitatie. Dit bedrag komt overeen met circa € 10 per m<sup>3</sup>/h.

De energieconsumptie van het elektrostatisch filter zou bij een debiet van 750 m<sup>3</sup>/s neerkomen op circa 5000 MW-uur per jaar (waarvan 90% in de ventilatoren en 10% in het filter zelf gaan zitten) De gegevens zijn gedetailleerd weergegeven in het rapport over de M5 (zie cd 2\inventarisaties\M5 East Freeway\appendix D4).

In de Plabutsch tunnel (Zwitserland) is een elektrostatisch filter geplaatst met de volgende karakteristieken: debiet 200 m<sup>3</sup>/s, efficiency 94%, vermogen 50 kW, kosten aanschaf en installatie: 2,5 miljoen euro. (zie cd 2\inventarisaties\M5 East Freeway\appendix A1). Dit komt overeen met ruim € 3 per m<sup>3</sup>/h.

In het kader van de opdracht aan het COB is ook gerekend aan de kosten voor reiniging. Met als voorbeeld de overkapping van de A10-zuid in Amsterdam (Zuidas, omgeving WTC) is uitgekomen op 37 miljoen euro. Daarbij is er van uit gegaan dat de schoorsteen in de geplande kantoren kan worden geïntegreerd, waardoor er weinig eigen constructie nodig is. Een losstaande schoorsteen inclusief gebouw met ventilatoren zal veel meer kosten. RWS raamt daarvoor ca. 30 miljoen per gebouw (dus per tunnelmond) inclusief alle bijkomende zaken.

Op basis van bestaande apparatuur met filtermatten komt Camfil op enkele concrete voorstellen. Voor PM<sub>10</sub> zijn twee opties uitgewerkt. Optie 1 is een variant die goedkoper is in aanschaf, optie 2 heeft juist lagere exploitatiekosten. De kosten zijn in de volgende tabel samengevat:

Tabel: kosten van filtersysteem Camfil

	Optie 1		Optie 2	
	Investering [Euro]	Exploitatie [Euro/jaar]	Investering [Euro]	Exploitatie [Euro/jaar]
PM <sub>10</sub>	233.000	246.000	530.000	96.000
NO <sub>2</sub>	545.000	236.000	545.000	236.000
Totaal	778.000	482.000	1.075.000	332.000

De installatie van Camfil zou voor fijn stof neerkomen op 0,2 – 0,5 € per m<sup>3</sup>/h en voor NO<sub>2</sub> op 0,5 € per m<sup>3</sup>/h. Deze kostenraming komt aanmerkelijk lager uit dan de kostenspecificaties van elektrostatische filters laat zien. De vergelijking tussen de kosten van dit systeem en elektrostatische filters dient nog verdere uitwerking. De prijsopgave van Camfil is nog niet inclusief de kosten van ventilatoren, elektrische installatie, (aanpassingen aan) gebouwen.

Langsventilatie voor een tunnelengte van 2 – 4 km kost ca 600.000 euro per tunnelbuis (incl. detectie op basis van luchtkwaliteit, voeding, besturing). De calamiteitenventilatie kost ca 1.000.000 euro per tunnelbuis.



### *Verdunning*

De kosten van een schoorsteen zijn afhankelijk van de hoogte en de complexiteit van de constructie op de tunnel of overkapping. Het is nog onduidelijk of de kosten van het aanbrengen van schoorstenen op tunnels acceptabel zijn in relatie tot het effect dat een dergelijke maatregel heeft op de luchtkwaliteit.

Het gebruik van passieve systemen voor verdunning is wat exploitatiekosten gunstiger dan systemen waarbij mechanisch wordt geventileerd. Over de kosten van aanschaf en bouw is nog onvoldoende bekend.

## **4.10 Modelleren luchtkwaliteit**

Er is langs de weg bij een compleet dichte overkapping geen emissie. Dit gedeelte is dus eenvoudig te modelleren. Indien de overkapping gedeeltelijk open is, zal men de modellering kunnen doen door middel van puntbronnen. Hierbij zal men de concentraties aan verontreinigingen onder de overkapping dienen te weten. Het berekenen van de concentraties aan  $PM_{10}$  en  $NO_2$  onder de overkapping is een relatief eenvoudige berekening.

Het modelleren van de monden van tunnels en overkappingen is nog een aandachtspunt. Modellen die de monden beschouwen als een eenvoudige puntbron, houden onvoldoende rekening met de belangrijke extra verdunning door de rijwind.



## 5. Veiligheid

5.1	Inleiding
5.2	Overleg veiligheid
5.3	Veiligheidsaspecten

### 5.1 Inleiding

Een overkapt weg kent, net als een tunnel of een weg met schermen een geheel ander risicoprofiel dan een weg in 'het vrije veld'. Het is duidelijk dat wat risico's betreft, de lichte overkapping ergens geplaatst moet worden tussen een weg met schermen en een tunnel. Omdat veiligheid bovenaan staat bij Rijkswaterstaat, betekent dit dat er nagedacht moet worden welke maatregelen nodig zijn om de veiligheid op het gewenste niveau te brengen.

Voor wat betreft de veiligheid zijn de belangrijkste punten bij een (lichte) overkapping:

- hoe groot is de kans op een verkeersongeval
- wat zijn de gevolgen bij een verkeersongeval
- wat gebeurt er bij brand
- wat gebeurt er bij rookontwikkeling
- wat gebeurt er bij een explosie
- hoe is de bereikbaarheid voor hulpdiensten

De Tunnelwet is van toepassing als een weg voor meer dan 250 m lengte wordt overkapt. Dit betekent dat aan een lichte overkapping dezelfde veiligheidseisen worden gesteld als aan een tunnel. Om aan de eisen te voldoen zijn echter veel eenvoudiger oplossingen voorhanden dan bij een tunnel onder de grond of onder water. Voor vluchtwegen bij calamiteiten kan het bij een tunnel bijvoorbeeld noodzakelijk zijn een extra schacht te maken, terwijl bij een overkapt weg mogelijk kan worden volstaan met een aantal deuren. Wat dat betreft lijkt een overkapping op een situatie met schermen langs de weg.

Wat de ventilatie betreft zijn er bij een overkapping ook voordelen ten opzichte van de situatie bij een tunnel. In de Tunnelwet staat dat bij een lengte van meer dan 250 m een ventilatiesysteem noodzakelijk is en bij een lengte van meer dan 500 m moet dit een mechanisch ventilatiesysteem zijn. Bij een (lichte) overkapping zou je, in tegenstelling tot bij een tunnel de 'ramen open kunnen zetten'. Het zou een punt van studie kunnen zijn of hiermee voor langere overkappingen hetzelfde veiligheidsniveau kan worden gewaarborgd.

### 5.2 Overleg veiligheid

Het is duidelijk dat de tunnelwet niet is geschreven met het oogmerk van een lichte overkapping. Er dient gekeken te worden naar de eisen die aan een overkapt snelweg moeten worden gesteld.



In dit kader is door het IPL overleg gevoerd met veiligheidsexperts, het Steunpunt Tunnelveiligheid en werkgroep Tunnelwet om de uitgangspunten en consequenties voor lichte overkappingen te formuleren.

De veiligheidsaspecten van een lichte overkapping moeten door de Commissie Tunnelveiligheid worden beoordeeld. De Commissie heeft geen adviserende taak. Omdat veiligheid altijd maatwerk is, wordt veiligheid altijd aan concrete situaties onderzocht. Het is aan te bevelen een locatie te kiezen die realistisch is voor de toepassing van een lichte overkapping.

Het is wenselijk om van een concrete situatie een veiligheidsrapport te maken met een *Quantitative Risk Analysis* (QRA) voor de externe veiligheid en een scenario-analyse (veiligheid voor weggebruikers en hulpdiensten). Hierin worden de tunnelveiligheid, de verkeersveiligheid en de sociale veiligheid besproken. De noodzaak van de gekozen oplossingen moet worden aangegeven, waarbij aangetoond moet worden dat deze oplossing gelijkwaardig is aan datgene wat in de Tunnelwet staat (of beter). Het is ook mogelijk te beschrijven welk risico overblijft en daarbij aan te geven waarom dat acceptabel mag worden geacht.

### 5.3 Veiligheidsaspecten

#### *Algemeen:*

Een overkapte weg moet (vanaf 250 m lengte) voldoen aan de veiligheidseisen zoals die aan tunnels worden gesteld en die beschreven staan in de Tunnelwet. Het is echter duidelijk dat de Tunnelwet niet geschreven is met lichte overkappingen in gedachten. De wet geeft de mogelijkheid een nieuwe methode aandragen om de veiligheid te bevorderen, waarbij men dat wel moet aantonen dat de gekozen oplossing minstens gelijkwaardig is aan de in de wet genoemde maatregelen.

#### *Brandwerendheid:*

In Tunnelwet staat voor tunnels dat de hoofddraagconstructie een brandwerendheid van minimaal 60 minuten moet hebben (dit is vanwege het redden van mensen, de economische schade aan de constructie en de eis om een belangrijke verbindingsweg niet te lang te moeten missen). De ontwerpen van lichte overkappingen die in hoofdstuk 3 zijn beschreven voldoen hier niet aan. Je zou voor lichte overkappingen na kunnen gaan of de van tunnels afwijkende constructie leidt tot andere eisen. De gevolgen van het bezwijken van de constructie van een tunnel onder de grond of onder water zijn anders dan bij het bezwijken van de constructie van een lichte overkapping. Wellicht is het bij een lichte overkapping geen bezwaar wanneer één of enkele spanten het begeven. Wanneer die spanten langzaam doorbuigen (en zelfs wanneer die uiteindelijk op de weg komen te liggen) kan het mogelijk zijn om die spanten er tussenuit te zagen/slijpen. De weg is dan weer te gebruiken voor het verkeer en in een later stadium kan een reparatie eenvoudig worden uitgevoerd. Het is duidelijk dat bij een veiligheidsanalyse de gevolgen van een eventuele brand goed in kaart moeten worden gebracht. De uitgangspunten van de wet – het waarborgen van het veiligheidsniveau en het beperken van economische schade – mogen daarbij niet worden aangetast.

#### *Ventilatie:*

Tunnelwet: vanaf 500 m gesloten lengte is in een tunnel altijd mechanische ventilatie noodzakelijk en in sommige situaties al vanaf een gesloten lengte van 250 m. Omdat het bij een overkapping mogelijk is om 'de ramen open te zetten', is mechanische ventilatie misschien niet nodig wanneer de openingen voldoende groot zijn om de

rook te laten ontwijken. Vanwege de hoogte van de constructies is de mogelijkheid tot rookberging groot in vergelijking tot bij tunnels. Wanneer het niet nodig is om mechanische ventilatie toe te passen, is dit een belangrijke besparing. Overigens is nog niet gekeken naar de kosten van het eventueel 'open zetten van de ramen'. Detectie en besturing van de systemen blijven nog steeds nodig.

#### *Op- en afritten:*

In een tunnel zijn op- en afritten in principe ongewenst, maar kunnen eventueel wel wanneer het aantal rijstroken niet varieert. Bij voorkeur zou geen weven nodig moeten zijn. Het doel van de regel is het creëren van rust en overzicht. In tegenstelling tot een tunnel zou bij een ruime, lichte overkapping het misschien geen probleem hoeven te zijn om op- en afritten met bijbehorende weefvakken te hebben.

#### *Aanrijden constructie:*

Het is duidelijk dat de gevolgen van een aanrijding zo klein mogelijk dienen te zijn voor degene die tegen de constructie rijdt, voor de medeweggebruikers en ook voor de constructie. Afhankelijk van het ontwerp kan men kiezen voor het toepassen van barriers of een zware onderbouw te gebruiken. In de Veiligheids Richtlijnen – deel C (VRC) voor tunnels van Rijkswaterstaat wordt afgeraden om geleiderails te gebruiken omdat deze moeilijk overklimbaar zijn. Beter is het om barriers toe te passen en wel zodanig uitgevoerd dat vluchten niet teveel wordt belemmerd. Barriers zijn onderverdeeld in verschillende klassen. Nader onderzoek moet uitwijzen welke klasse toegepast moet worden in een concreet ontwerp.

#### *Werken boven de weg:*

Het is duidelijk dat bij het werken boven de weg niets op de weg mag kunnen vallen. Verder mag het werk de weggebruiker niet afleiden. Hier zijn richtlijnen voor bij de Adviesdienst Verkeer en Vervoer van Rijkswaterstaat.

#### *Explosies:*

Een explosie onder een overkapping heeft voor de weggebruiker waarschijnlijk een groter effect dan wanneer de weg in de open lucht ligt. Het kan zijn dat een explosie onder een lichte overkapping voor de weggebruiker minder problematisch is dan in een tunnel. Dit is afhankelijk van in hoeverre drukgolven een uitweg kunnen vinden. Er moet aandacht worden gegeven aan materiaal dat eventueel naar de omgeving kan worden gelanceerd. Het kan mede afhankelijk zijn van de omgeving waar de weg ligt of men ervoor zal kiezen een constructie te maken die alles zoveel mogelijk bij elkaar houdt of dat men juist de drukgolf de ruimte geeft.

#### *Stroboscopisch effect:*

Wanneer men onder een constructie met spanten rijdt, kan dit voor de weggebruikers een hinderlijke afwisseling van licht en donker opleveren. Dit kan, met name bij mensen met aanleg voor epilepsie, leiden tot gevaarlijke situaties. Er is een NSVV-richtlijn over verlichting in tunnels. Hierin staat dat frequenties tussen 4 en 11 Hz niet mogen voorkomen. Frequenties daar vlak bij (2,5-4 Hz en 11-15 Hz) worden afgeraden. Ter info: bij een snelheid van 100 km/h wordt een frequentie van 4 Hz bereikt bij een afstand tussen de spanten van 7 meter en een frequentie van 11 Hz bij een afstand van 2,5 meter. Omdat dit ongeveer de afstanden zijn waarvan men bij de lichte overkappingen gebruik wil maken, zit men wat dit betreft in de gevarenzone. Dit betekent dat men de afstanden tussen de spanten zal moeten aanpassen. Ook is het mogelijk óf extra spanten te suggereren door donkere strepen

aan te brengen (omhoog brengen van de frequentie), óf het contrast tussen het lichte en het donkere deel verkleinen (spanten smaller maken óf getint materiaal voor de overkapping óf afscherming toepassen).

#### *Bereikbaarheid voor hulpdiensten:*

Er zal te zijner tijd in concrete situaties overleg plaats moeten vinden met brandweer, politie en ambulancediensten. Er wordt van uitgegaan dat de vluchtstroken mede overkapt zijn. De bereikbaarheid voor hulpdiensten is uiteraard bij een overkapt weg toch slechter dan bij een geheel vrij gelegen weg of een weg met schermen (traumahelikopter). De bereikbaarheid voor hulpdiensten is echter wel beter dan bij een weg in een tunnel. De verwachting is dat dit geen breekpunt zal zijn waardoor een overkapping niet mogelijk zou zijn.

#### *Gescheiden weghelften:*

Vanwege rookverspreiding wordt in tunnels (in Nederland) altijd uitgegaan van gescheiden rijrichtingen. In het geval van een ruime overkappingen is de mate van rookberging of toepassing van rookluiken mogelijk voldoende om de eis van gescheiden rijrichtingen achterwege te laten. Dit moet nog uitgewerkt worden in concrete gevallen. Er kan overwogen worden om rookschermen toe te passen om een compartimentering voor de rook te realiseren.

#### *Vluchtdeuren:*

Omdat de kosten van vluchtwegen waarschijnlijk zeer beperkt zijn, kan men kiezen voor kortere afstanden tussen de deuren dan in tunnels. Omdat het risico bij overkappingen groter is dan bij schermen, is het aan te bevelen de afstand tussen de deuren bij overkappingen kleiner te kiezen dan bij wegen die voorzien zijn van schermen.

#### *Categorie-indeling:*

De indeling van tunnels in cat. 0, I en II wordt binnenkort vervangen door klasse A-E, waarbij E de strengste klasse is. Op basis van de ontwerpen die voor het IPL zijn gemaakt, is de verwachting dat een overkapt weg onder klasse A kan vallen. Wanneer dit niet mogelijk blijkt te zijn, kan de overkapping alleen worden aangebracht wanneer alternatieve routes beschikbaar zijn voor het vervoer van gevaarlijke stoffen. Er moet dan een afweging worden gemaakt tussen enerzijds het lokaal verbeteren van de luchtkwaliteit en anderzijds het wijzigen van het externe veiligheidsniveau op andere plaatsen. De omstandigheden kunnen echter zodanig zijn dat op het betreffende traject reeds niet alle verkeer wordt toegelaten; bijvoorbeeld omdat op hetzelfde traject al restricties gelden.

#### *Wind*

Bij het ontwerp zal men rekening dienen te houden met het optreden van rukwinden en windhozen. Hierbij moet opgemerkt worden dat de constructie geen onredelijk gevaar mag opleveren voor zowel de weggebruikers en de omgeving. Voor de omgeving is het van belang dat de tunnel blijft staan, ook bij windsnelheden van 12 Beaufort. Zeker de "bollere" constructies zouden, zoals een vliegtuigvleugel, een kracht omhoog kunnen ondervinden. Het aanbrengen van ruwe elementen kan hierbij de benodigde veiligheid bieden.

Terwijl de weggebruiker onder de overkapping minder last zal hebben van rukwinden, moet men de vormgeving van het begin en einde van de overkapping



---

zodanig vormgeven, dat bij het binnenrijden en uitrijden van het overkapte deel geen plotselinge veranderingen in de winddruk optreden. Verder moet rekening gehouden worden met de mogelijkheid dat de constructie windgeruis gaat maken "zingen in de wind".

*Diversen:*

Zoals bij tunnels, dient men een slagboom voor de overkapping aan te brengen zodat men ingaand verkeer kan weren in het geval van een calamiteit. Verder zijn cameratoezicht, verkeersregelinstallatie, toespreekinstallatie en matrixsignalering noodzakelijk. Verder kan het noodzakelijk zijn een doorsteekmogelijkheid te maken vlak voor en na de overkapping (over de middenberm). Dit is bedoeld voor hulpdiensten in het geval van calamiteiten.

Men dient rekening te houden met de mogelijkheden van vandalisme en de gevolgen hiervan voor weggebruikers.

Een ander aandachtspunt is: wat gebeurt er bij afbraak na de toepassingsperiode? Het is belangrijk dat de afbraak op een veilige manier kan worden gedaan en dat geen gevaarlijk afval ontstaat.

Omdat dit onderwerp geheel nieuw is, zijn er mogelijk nog gevaarsaspecten die nog niet onderkend zijn. Het wordt daarom aanbevolen om meer mensen uit te nodigen inbreng op dit punt te geven (laat ook onbevangen mensen hiernaar kijken).



## 6. Implementatie

### **Mogelijke locaties overkappingen / luchtbehandeling**

Dit onderzoek heeft zich gericht op het verzamelen en genereren van algemene informatie over het overkappen van een weg en over luchtbehandeling. Het heeft zich niet gericht op specifieke locaties waar overkappen als maatregel al dan niet een geschikte maatregel zou zijn.

Op basis van de informatie en resultaten uit de voorgaande hoofdstukken is het duidelijk dat het om kostbare maatregelen gaat. Men mag dus verwachten dat het overkappen van een weggedeelte alleen zal worden toegepast wanneer de overige maatregelen om de luchtkwaliteit te verbeteren niet toereikend zijn.

Vooralsnog lijken alleen enkele locaties waar de achtergrondconcentratie erg hoog is en een deel van de tunnelmonden in aanmerking te komen voor overkapping.

De kennis die tot nu toe verzameld is binnen het IPL-project 'Overkappen van wegen en luchtbehandeling' vormt een stevige basis om te kunnen adviseren óf in een bepaalde situatie een overkapping zou moeten komen en hoe deze er dan uit zou moeten zien. Indien men een concrete situatie op het oog heeft waarvan men wil onderzoeken of een overkapping wenselijk is, zullen de constructie, de luchtbehandeling aan de lokale situatie moeten worden aangepast en zullen keuzes moeten worden gemaakt in de daar toe te passen veiligheidsvoorzieningen.

### **Functionele eisen**

In de praktijk van Rijkswaterstaat gaat men er tegenwoordig bij voorkeur vanuit dat men bij aanbesteding geen kant en klaar ontwerp aanlevert. Rijkswaterstaat stelt in principe alleen functionele eisen en de oplossingsrichting wordt overgelaten aan de markt. Uitgaande van het stellen van functionele eisen, kan men beter niet kunnen kiezen voor het vastleggen van de immissiewaarden van verontreiniging op bepaalde locaties, omdat de immissiewaarden altijd ook afhankelijk zijn van de waarden achtergrondconcentraties. Het is wel zinvol om de maximale bijdrage van het verkeer op van tevoren aangegeven locaties vast te leggen. De ontwerper/aannemer heeft dan de mogelijkheid om met innovatieve oplossingen te komen om te voldoen aan de normen voor dat deel van de luchtkwaliteit dat hij kan beïnvloeden. Eventueel kan men strengere normen stellen wanneer daar behoefte aan is (bijvoorbeeld in verband met ruimte voor te voorziene andere ontwikkelingen).

### **Vergunningverlening en aanbesteding**

Een van de facetten bij aanbestedingen is, dat men aan de ene kant de markt zo veel mogelijk vrijheid wil geven om met innovatieve oplossingen te komen, maar er anderzijds in het programma van eisen al zó veel is vastgelegd dat hier eigenlijk weinig ruimte voor is. Zo wordt normaal in het tracébesluit de hoogte van de schermen al vastgelegd, wat betekent dat een aannemer een voorstel voor een overkapping in plaats van schermen niet meer kan indienen. Hieruit volgt dat alleen vóórdat het tracébesluit is genomen de keuze voor een (lichte) overkapping kan worden gemaakt. In de praktijk maakt dit het toepassen van een lichte overkapping lastig. Het verdient aanbeveling onderzoek te doen naar de juridische mogelijkheden en beperkingen op dit vlak.





---

Het is aan te bevelen om opdrachtnemers al in de planfase bij het ontwerpproces te betrekken. Bij de passage A2 in Maastricht – die als een tunnel wordt uitgevoerd en niet als een lichte overkapping - wordt dit toegepast.



# 7. Conclusies en aanbevelingen

## 7.1 Conclusies

### Overkapping

Wanneer een weg wordt overkapt om de luchtkwaliteit te verbeteren, is het mogelijk overkappingen te maken die zeer licht van gewicht zijn. Dit levert een aanzienlijke besparing op ten opzichte van een zware overkluizing.

De luchtkwaliteit wordt langs een weg met een (lichte) overkapping sterk verbeterd. De emissie van de weg wordt daar volledig mogelijk weggenomen (als men daarvoor kiest, want varianten met een gedeeltelijke reductie zijn ook mogelijk). De situatie bij de monden is afhankelijk in hoeverre de lucht wordt behandeld (zie hierna).

De kosten van een lichte overkapping zelf bedragen tussen de circa 6 en 66 miljoen euro per km (uitgaande van 2 keer 3 rijstroken). De genoemde kosten zijn nog zonder de voorbereidingskosten. Met name de ondergrens zal hierdoor nog significant hoger moeten worden ingeschat. Het grote verschil in prijs wordt veroorzaakt door de materiaalkeuze en de (esthetische) eisen die men aan de overkapping stelt. Wanneer men uit het oogpunt van luchtkwaliteit meent zeer hoge schermen nodig te hebben, kan men overwegen een lichte overkapping te maken. De duurere varianten komen waarschijnlijk niet in beeld, tenzij er ook nog andere overwegingen zijn dan luchtkwaliteit. Wanneer 'geluid' meespeelt (wat op veel locaties met een luchtkwaliteitsprobleem het geval is), zal men in veel gevallen ook met schermen toe kunnen. Bij hoge flats dicht langs de weg zou een overkapping hierbij in het voordeel zijn. Afhankelijk van de voorzieningen die bij zo'n flat al zijn genomen (vliesgevels, dove gevels) dient men in dit geval mogelijk eisen te stellen aan de geluidsisolerende eigenschappen. Lichte constructies met folies vallen af wanneer de kap geluid goed moet isoleren; glazen overkappingen kunnen in zo'n geval wel worden toegepast.

### Luchtbehandeling

Het *verdunnen* van de verontreinigde lucht (schoorstenen of ventilatie) is een zeer goed toepasbare maatregel. Deze maatregel kan bij bestaande tunnels worden getroffen en kan bij de bouw van nieuwe tunnels en overkappingen de haalbaarheid vergroten.

Het *reinigen* van de lucht in een tunnel of bij een overkapt 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 kosten mogen zijn in relatie tot de effecten op de immissies.

### Veiligheid

Het is aannemelijk dat bij een lichte overkapping het veiligheidsniveau dat in de Tunnelwet is beschreven, behaald kan worden. Er zal wel nog onderzoek gedaan moeten worden naar de wijze van uitvoeren van de veiligheidsvoorzieningen. Er wordt aanbevolen nu al voor een concrete situatie een veiligheidsrapport op te laten

stellen. Hiermee kan men beter zicht krijgen op de mogelijke maatregelen en oplossingen.

## 7.2 Aanbevelingen

### Overwegingen

- Er is een groot aantal variabelen in omstandigheden (grootte van de achtergrondconcentratie, aanwezigheid van schermen of niet, wel of geen problemen bij tunnelmonden, bestaande situatie of nieuwbouw, geluid wel of geen punt van aandacht, enz).
- Daarnaast is er een breed scala van mogelijke oplossingen (lichte of zwaardere overkapping, gesloten of gedeeltelijk open, wel of geen luchtbehandeling, soorten luchtbehandeling, enz).
- Het aantal locaties waar mogelijk een lichte overkapping kan komen, is zeer beperkt.
- Indien men bij een concrete situatie wil beoordelen of een goede maatregel is en hoe deze dan moet worden toegepast, zullen op het gebied van de constructie en de luchtbehandeling een nadere uitwerking gemaakt moeten worden en zullen de veiligheidsvoorzieningen moeten worden bepaald.

Op basis hiervan komen wij tot de volgende aanbevelingen.

### Aanbevelingen

#### *Binnen het IPL*

- Onderzoek welke de meest voor de hand liggende concepten zijn bij de belangrijkste praktijksituaties. Hierdoor worden zoekrichtingen gegeven, waaraan men houvast heeft bij het oplossen van knelpunten voor luchtkwaliteit (bijvoorbeeld oplossingsmatrix).
- Zorg voor meer gevalideerde technieken op het gebied van overkappingen en luchtbehandeling. Leg hierbij nadrukkelijk de verantwoordelijkheid voor de ontwikkeling van dergelijke technieken bij de markt, bijvoorbeeld door een prijsvraag "overkappings- en luchtbehandelingsconcepten" uit te schrijven.
- Breng in kaart welke mogelijkheden er zijn op het gebied van aanbesteding in relatie tot de wettelijke bepalingen voor Traceebesluiten, zodat overkappen mogelijk wordt.

#### Bij de beoordeling van locaties

- Indien men onderzoekt of overkappen een goede maatregel is in concrete situaties, is het raadzaam om helder te communiceren dat onderzoek geen beslissing inhoudt dat er overkapt zal gaan worden.
- Voer veiligheidsonderzoek uit aan de hand van de situatie; bevolkingsdichtheid, aanrijtijden hulpdiensten, al dan niet aanwezig zijn van aansluitingen, vluchtstroken en dergelijke zijn nodig voor een goede beoordeling.
- Breng beter in kaart met welke operationele kosten van beheer rekening moet worden gehouden.