

Invloed overkappen en luchtbehandeling op de luchtkwaliteit

Eindrapport onderzoek naar de invloed van (lichte)
overkappingen, luchtbehandeling en tunnelmonden
op de luchtkwaliteit

Rapportnummer IPL-5a

Colofon

Titel	Invloed overkappen en luchtbehandeling op de luchtkwaliteit
Ondertitel	Eindrapport onderzoek naar de invloed van (lichte) overkappingen, luchtbehandeling en tunnelmonden op de luchtkwaliteit
Rapportnummer	IPL-5a
Status	Definitief
Datum van publicatie	December 2009
Opdrachtgevers	Ministerie van Verkeer en Waterstaat (V&W) Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM)
Uitgevoerd door	Rijkswaterstaat - Dienst Verkeer en Scheepvaart Afdeling Innovatie & Implementatie (MII) Innovatieprogramma Luchtkwaliteit (IPL)
Informatie	DVS-loket Tel. (088)-798 25 55 E-mail: dvsloket@rws.nl
Dit rapport is samengesteld door	Berend Hoekstra (Tauw) Gerrit-Jan Schraa (DVS) Christel Toenink (Tauw)
Medewerking van	Riekele de Boer (DVS) Theo Cornelissen (DVS) Hans Groeneveld (DZH) Niels Lanser (DVS) Lotje van Ooststroom (DVS)
Rapport downloaden	www.verkeerenwaterstaat.nl (actueel/publicaties)
Trefwoorden	Luchtkwaliteit, Overkappingen, Luchtbehandeling, Emissies tunnelmonden
Copyright	Rijkswaterstaat Dienst Verkeer en Scheepvaart, Delft 2009

Disclaimer

Dit rapport is opgesteld in het kader van het Innovatieprogramma Luchtkwaliteit (2005 – 2009) dat in opdracht van de ministeries van Verkeer en Waterstaat en VROM werkt aan innovatieve oplossingen die bijdragen aan verbetering van de luchtkwaliteit op en rond snelwegen. Rijkswaterstaat voert het programma uit.

Rijkswaterstaat Dienst Verkeer en Scheepvaart (DVS), en degenen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, hebben de in deze publicatie opgenomen gegevens zorgvuldig verzameld naar de laatste stand van wetenschap en techniek. Desondanks kunnen er onjuistheden in deze publicatie voorkomen.

Rijkswaterstaat sluit, mede ten behoeve van degenen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die uit het gebruik van de hierin opgenomen gegevens mocht voortvloeien.

Inhoud

Samenvatting 5

Summary 9

1 Inleiding 13

2 Overkappen 15

2.1 Fase I: Literatuuronderzoek/verkenning 15

2.2 Fase III: contra-expertise lichte overkapping 24

2.3 Conclusies met betrekking tot het thema 'Overkappen' 27

3 Luchtbehandeling (verdunnen/reinigen) 29

3.1 Fase I: Literatuuronderzoek 29

3.2 Fase III: Nader onderzoek met betrekking tot 'luchtbehandeling' 36

3.3 Conclusies met betrekking tot het thema 'luchtbehandeling' 43

4 Verspreiding van emissie bij (bestaande) tunnelmonden 45

4.1 Inleiding 45

4.2 Fase I: Inventarisatie kennis modellering emissieverspreiding bij tunnelportalen 45

4.3 Fase III: Metingen van NO₂ in de Wijkertunnel (praktijkproef) 47

4.4 Conclusies 'Verspreiding van emissie bij (bestaande) tunnelmonden' 48

5 Beoordelingsmatrix 49

5.1 Fase II: Opstellen beoordelingsmatrix 49

5.2 Beoordelingsmatrix bij configuraties overkappingen en luchtbehandeling 50

5.3 Beoordelingsmatrix bij (bestaande) tunnelmonden 60

6 Conclusies en aanbevelingen 63

7 Literatuuroverzicht 67

Samenvatting

Inleiding

Binnen dit project Overkappen en Luchtbehandeling zijn de volgende thema's onderzocht:

- Overkappen: wat is de invloed van een (lichtgewicht) overkapping op de luchtkwaliteit?
- De verbetering van de luchtkwaliteit bij (bestaande) monden van tunnels en overkappingen door middel van luchtbehandeling
- De verspreiding van emissies bij (bestaande) tunnelmonden

Dit rapport geeft een samenvatting van de rapportages die in opdracht van het IPL zijn voortgekomen uit de verschillende fasen en de diverse thema's van het deelproject 'Overkappen en luchtbehandeling'. Op deze manier wordt een goed beeld verkregen van de onderzoeken die in het kader van het IPL zijn uitgevoerd voor dit deelproject.

Overkappen

Op basis van de uitgevoerde onderzoeken kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

Algemeen

- Wanneer een (snel)weg wordt uitgevoerd met een gesloten (lichte) overkapping zal de omgeving van de weg niet direct worden blootgesteld aan verontreiniging ten gevolge van de weg. Het aanbrengen van een gesloten (lichte) overkapping is dan ook een mogelijke oplossing om een locatie met woningen en andere gevoelige bestemmingen te ontwikkelen waar het anders, op grond van bestaande wetgeving, niet mogelijk is om ontwikkelingen uit te voeren.
- Zonder speciale voorzieningen zullen de verontreinigingen die zich onder de overkapping ophopen bij de 'tunnelmonden' vrijkomen. Dat betekent dat de tunnelmonden extra belaste plaatsen zijn. De kans neemt toe dat de normen voor luchtkwaliteit daar worden overschreden. Als dit het geval is, zullen maatregelen nodig zijn, bijvoorbeeld behandeling van de verontreinigde tunnellucht of het toepassen van constructies waardoor het mogelijk is de lucht te verdunnen, om aan de luchtkwaliteitsnormen te voldoen.

Overkappingen

- Constructietechnisch gezien is het mogelijk een (lichte) overkapping te bouwen met een gegarandeerde levensduur van 30 jaar
- De geraamde kostprijs voor een (lichte) overkapping varieert –afhankelijk van het toegepaste ontwerp- van 6 tot 65 miljoen euro per kilometer (opmerking: de kosten van 6 miljoen euro /km zijn te laag ingeschat omdat er bij deze kostenbepaling geen ontwikkel- en voorbereidingskosten zijn meegenomen). De geraamde kostprijs betreft alleen kosten die betrekking hebben op de overkapping zelf. Dus exclusief de tunneltechniek, bewegwijzering, verlichting, luchtbehandeling, kosten van specifieke veiligheidseisen en operationele kosten.
- Nader onderzoek moet nog worden uitgevoerd op de aspecten temperatuur /energielevering, veiligheid en vergunningstrajecten. Daarnaast verdient het aanbeveling om bij het toepassen van een (lichte) overkapping een uitgebreid monitoringsprogramma op te zetten. Waarbij onder andere gelet wordt op:

vervuiling van binnen- en buitenkant, gedrag van weggebruikers, vandalisme en rendement luchtbehandeling.

Rendabele toepassingsituaties

- De meerwaarde van het toepassen van een (lichte) overkapping is naar verwachting het hoogst op locaties in een grootstedelijke omgeving waar:
 - er een luchtkwaliteit knelpunt in bebouwde omgeving moet worden aangepakt en minder kostbare voorzieningen zoals schermen onvoldoende effect hebben;
 - dicht bij de weg voldoende ruimte is en de wens bestaat om (met name) woningen te bouwen (mits dat ook kan vanuit de optiek van externe veiligheid),
 - zonder voorzieningen voor geluid en luchtkwaliteit geen woningbouw mogelijk is op een strook van enige omvang naast de snelweg;
 - de grondopbrengsten relatief hoog zijn (meer bouwoppervlak compenseert de hoge kosten van de overkapping);
 - hogere gebouwen worden gerealiseerd.

Aandachtspunten bij overkappen

De volgende aandachtspunten bestaan nog bij het toepassen van een lichte overkapping. Binnen het IPL zijn deze aandachtspunten niet verder onderzocht.

- Veiligheid: op welke manier kan het beste worden voldaan aan de eisen die in de Tunnelwet staan. Vanuit die wet kunne re ook geen op- en afritten in de overkapping worden opgenomen.
- Juridische haalbaarheid: in hoeverre kan een overkapping worden gerealiseerd wanneer in het (ontwerp)tracébesluit gerekend is met schermen.
- De landschappelijke inpassing kan problematisch zijn bijvoorbeeld door reflecties of vervuiling van de toegepaste transparante materialen.

Luchtbehandeling

Voor het thema 'luchtbehandeling' de volgende conclusies worden getrokken:

- Het verdunnen van de verontreinigde lucht (door middel van ventilatie, schoorstenen of sleuven) 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 de tunnel of bij een overkapte weg is mogelijk, maar is vanwege de kosten en de milieubalans minder voor de hand liggend. Er zijn 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.
- Het ballenbakfilter is in theorie een interessant concept, maar de eerste praktijkmetingen wijzen uit dat er twijfels bestaan over de effectiviteit ervan.
- Met betrekking tot het praktijkonderzoek naar de werkzaamheid van het Elektrostatisch concept - in de configuratie die in de Thomassentunnel is beproefd - zijn hieronder de belangrijkste conclusies weergegeven. Voor een volledig, en veel gedetailleerder, overzicht van de conclusies wordt verwezen naar de rapportage17 (zie hoofdstuk 7):
 - de reductie in de toegepaste systeemconfiguratie maximaal 15% bedraagt t.o.v. de in de tunnel geëmitteerde hoeveelheid PM₁₀;

- indicatieve berekeningen laten zien dat de inzet van het Elektrostatisch concept in de Thomassentunnel (bij een reductie van 10 tot 20% in 2008) leidt tot een verlaging van het aantal PM₁₀ overschrijdingsdagen met 1-2 dagen. Bij tunnels met een hogere verkeersintensiteit en achtergrondconcentratie (Beneluxtunnel, Coentunnel en Schipholtunnel) is de verlaging bij 10% reductie gemiddeld 4 dagen en bij 20% 7-11 dagen;
- ter illustratie is ook het effect berekend van reductiepercentages van 40 en 60% (hypothetische optimalisatie van het systeem), het aantal overschrijdingsdagen bij tunnels met een hogere verkeersintensiteit en achtergrondconcentratie (Beneluxtunnel, Coentunnel en Schipholtunnel) zou dit bij 40% oplopen tot 15-22 dagen en bij 60% tot 22-32 dagen;
- bovenstaande resultaten gelden voor de praktijkproef en zijn niet representatief voor de jaargemiddelde situatie of voor andere tunnels.
- De proef op laboratoriumschaal laat zien dat NO_x-verwijdering uit lucht technisch goed mogelijk is met Corona reactor techniek. Deze techniek biedt kansen voor de reiniging van uit een tunnel onttrokken lucht. Nader onderzoek is echter noodzakelijk.
- Met betrekking tot de onderzochte tunnelventilatieconcepten:
 - uitgaande van concepten die de lucht in de tunnel "vasthouden" ontstaat de vraag hoe ver de concentraties luchtverontreiniging in de tunnel mogen oplopen. Er zijn momenteel geen wettelijke normen voor tunnels. Op grond van literatuurgegevens wordt een grenswaarde voor NO₂, de kritische parameter, in tunnels voorgesteld tussen 2.000 en 30.000 µg/m³;
 - de onderzochte tunnelventilatiesystemen (op basis van respectievelijk tegenstroomventilatie en meestroomventilatie) zijn in staat om de lucht in de tunnel volledig vast te houden en te filteren.
 - een optimaal tunnelventilatieconcept zou mogelijk kunnen worden ontwikkeld door combinatie van de twee bovengenoemde modellen. Dit combinatiemodel zou het vertraagd meestroom model (hybride model) kunnen worden genoemd. In een eventueel vervolgonderzoek zou een nauwkeuriger modellering voor een gecombineerd model op kunnen worden gezet.

Verspreiding van emissies bij (bestaande) tunnelmonden

Voor het thema 'verspreiding van emissies bij (bestaande) tunnelmonden' kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

Met betrekking tot de beschikbare modellen

- Er is ruimte voor verbetering van de Nederlandse rekenmethoden. Of dat een eigen ontwikkeling dan wel overnemen van bestaande rekenmethoden moet zijn zal nader moeten worden bestudeerd.
- Het is wenselijk de inzet van passieve maatregelen (= die geen energie kosten) te vergroten, door verschillende beschikbare maatregelen goed kwantificeerbaar te maken kan er een betere afweging worden gemaakt om dit doel te bereiken.
- Rekenresultaten moeten worden gevalideerd en de betrouwbaarheid van rekenmodellen moet worden vastgesteld.
- Modellering inzake luchtberekeningen voor tunnelmonden (inclusief maatregelen) moet worden geüniformeerd en in de Regeling beoordeling luchtkwaliteit worden vastgelegd. Op deze wijze ontstaat een duidelijk en voor ieder toepasbaar juridisch kader.

Praktijkmetingen Wijkertunnel 2009

- De absolute concentraties NO₂ direct aan de rand van de tunnelmond zijn hoger dan circa 100 µg/m³. De gemeten concentraties op de meetlocaties op grotere afstand (10 tot 100 m) rond de verdiept gelegen rijbanen naar de tunnelmond zijn in absolute zin waarschijnlijk vergelijkbaar met concentraties langs snelwegen in een landelijke omgeving. Dit geldt zowel voor NO₂ als voor PM₁₀.
- Er zijn (nog) geen vergelijkingen gemaakt met resultaten op basis van de wettelijke rekenmethoden.
- Het betroffen metingen bij één tunnel gedurende een beperkte tijd. Het is daarom niet mogelijk algemene conclusies te trekken.

Beoordelingsmatrix

Omdat er veel keuzemogelijkheden zijn voor een overkapping, heeft het IPL een instrument ontwikkeld, de 'beoordelingsmatrix' om inzicht te krijgen welk soort overkapping in welke situatie het meest geschikt is. Met behulp van de beoordelingsmatrix wordt ondermeer inzicht gegeven in het effect dat een bepaald type overkapping heeft op een bepaalde locatie.

Daarnaast wordt inzicht gegeven in de indicatieve kosten van het type overkapping en kunnen de effecten van luchtbehandeling worden meegenomen. Tevens wordt nagegaan aan welke veiligheidseisen lichte overkappingen moeten voldoen en welke voorzieningen hiervoor getroffen moeten worden.

De matrix is ook beschikbaar in de vorm van een "software tool". De beoordelings-tabellen die hieruit kunnen worden gegenereerd geven op gestructureerde wijze inzicht in de effecten en kosten van verschillende overkappingconfiguraties. Het geeft inzicht in de verschillen varianten, zodanig dat de wegbeheerder inzicht krijgt in de doelmatigheid van de maatregel en de varianten tegen elkaar kan afwegen. Het besluit om een maatregel daadwerkelijk toe te passen moet binnen een project gemaakt worden.

Summary

Introduction

Several topics were investigated within the project 'Canopies and Air treatment.

- What are the effects of (light weight) canopies on the air quality?
- The improvement of air quality as a result of air treatment at (existing) tunnel openings
- The diffusion of air emission at (existing) tunnel openings

This document contains a summary of all investigations that have been carried out by order of IPL (Innovation program air quality). It covers the investigations of the different phases and topics within the framework of the project Canopies and Air treatment. This document presents an overall picture of the investigations and their results. The topics are discussed separately.

Canopies

The following results and conclusions have been obtained from the investigations:

General

- By applying (light weight) canopies to a motorway or road, its surroundings are not directly exposed to the air pollution originating from the motorway or road. Because of existing air quality problems active measures are sometimes necessary. Furthermore the legislation regarding air quality often interferes with site development near motorways and roads. Applying (light weight) canopies can be a potential solution in these cases.
- Tunnel openings are concentrated areas of emission if no measures or other precautions are taken. It is therefore possible that the standards for air quality are exceeded at tunnel openings. If the standards are exceeded, several measures can be taken. Air treatment of the tunnel air or a construction to rarefy the air could lead to improved air quality and be in compliance with the air quality standards.

Canopies

- It is physically possible to construct a (light) canopy with a guaranteed life span of thirty years.
- The cost estimate of a (light) canopies varies between 6 million euro / km and 65 million euro / km, depending on the type of canopies. The estimate of 6 million / km does not include the engineering costs, resulting in a relatively low cost estimate. The cost estimate of canopies does not include tunnel technology, signposts, illumination, air treatment, safety measures or operational costs.
- Further investigation is necessary on topics such as temperature/power supply, safety and permits. When a canopy is placed, it is recommendable to monitor aspects such as deposit on the canopies construction, the behavior of road users, vandalism and the efficiency of air treatment.

Cost-effective applicability

- The excess value of applying (light) canopies is probably highest in metropolitan areas where:
 - when the standards for air quality near high ways are exceeded and cheaper measures like (sound)barriers are not enough;
 - house-building near roads is desirable,
 - house-building near motorways is impossible without measures in regard to noise emission, safety and air quality;
 - the yield per square meter are relatively high (the more building area the more cost for canopies can be compensated);
 - high-rise buildings are constructed.

Points of interest

The following points of interest remain; they have not been investigated further:

- Safety
- Legal feasibility

Air treatment

- The following results and conclusions have been obtained from the investigations:
- Dilution of polluted air, through ventilation, stacks or slots, is a well applicable measure which can be applied to existing tunnels and can increase the feasibility of new tunnels and canopies.
- The treatment of air in tunnels or canopies is possible but is less feasible as a result of the costs and its effectiveness. There are several methods of air treatment, such as electrostatic filters, cloth filters and (wet) air scrubbers. The costs and effectiveness, with regard to immissions, vary strongly among the different types of air treatment. When assessing which type of air treatment to apply, the costs and desirable effectiveness of the treatment should be considered.
- The "BALLENBAKFILTER" air treatment is good in theory but the practical experience shows the effectiveness to be doubtful.
- The large scale field test in the Thomassentunnel shows that the "Electrostatic concept" (reducing fine dust with an electrostatic field in the tunnel) has indeed potential to reduce the concentration of PM₁₀ in tunnels;
 - the maximum effect that was found is 15% PM₁₀ reduction with respect the amount of PM₁₀ that is emitted in the tunnel;
 - although this aspect could not be thoroughly investigated, the reduction effect seems to depend on the relative humidity (RH) of the tunnel air. Higher RH values coincide with a higher reduction percentage;
 - the results presented in this study are valid for the Thomassentunnel in the summer of 2009. They are not representative for other tunnels or the yearly mean situation;
 - indicative model calculations show that application of the electrostatic concept in the Thomassentunnel (with a yearly averaged reduction of 10 to 20%) would lead to a decrease of the number of days at which the 24h-limit concentration is exceeded by 1 to 2 in 2008. Near tunnels with a higher traffic intensity and background concentration (Beneluxtunnel, Coentunnel en Schipholtunnel), the decrease would be on average 4 days at 10% reduction and 7-11 days at 20% reduction;

- for illustration, the effect on the number of exceedance days is also calculated for reduction percentages of 40-60%. These percentages are referred to by BAM/TUD based on preliminary estimations of the possibilities for optimization. The number of days at which the 24h-limit concentration is exceeded near the Thomassentunnel in 2008 would decrease with 4-6 days. Near tunnels with a higher traffic intensity and background concentration (Beneluxtunnel, Coentunnel en Schipholtunnel), the decrease would be 15-22 days at 40% and 22-32 days at 60%.
- Pilotstudies on laboratory-scale show that NO_x removal is technically possible with Corona-technology. However, further investigation is recommended.

Tunnel ventilation

- The effects of short-term exposure (1 -2 minutes) to traffic related emissions are unknown. There are no legal standards for air quality in tunnels. Based on literature, a limiting range is proposed for nitrogen (a critical parameter) from 2,000 to 30,000 $\mu\text{m}/\text{m}^3$. Other air components, such as particulate matter and carbon monoxide are not critical parameters for tunnel ventilation.
- The tunnel ventilation systems that are investigated (flow and counter flow) are capable of retaining and filtering the air inside the tunnel.
- The optimisation of tunnel ventilation can be achieved by combining the above mentioned ventilation systems. This combined concept can be referred to as the 'delayed flow system (hybrid system). In case of further investigation this hybrid system can be worked out more accurately.

Diffusion of emission at (existing) tunnel openings

The following results and conclusions have been obtained from the investigations:

Available models

- The Dutch calculation methods can be improved. This can either be achieved by upgrading the existing calculation methods or by adopting an existing method.
- The application of passive measures is advisable. Their effects must be quantifiable to enable assessments.
- The calculation methods must be validated and the reliability of calculation models must be determined.
- The model for air quality calculations at tunnel openings (including measures) must be made uniform and registered in the Statutory Regulation for assessment of air quality. This will lead to a clear and uniform legal framework.

Practical experience in Wijkertunnel 2009

- The absolute concentrations of NO₂ at the tunnel opening are higher than approximately 100 $\mu\text{m} / \text{m}^3$. The measured concentrations of NO₂ and PM₁₀, around sunken roads leading to tunnel openings, are probably similar to the concentrations near motorways in rural areas.
- The measured results haven not yet been compared to outcome of (legal) calculation methods.
- The practical experience is based on one actual measurement near one tunnel within a limited amount of time. Therefore it is impossible to draw general conclusions.

Matrix tool

The assessment matrix is a tool for road owners (municipalities, provinces, Department of Public Works) to gain an insight into the effects of different types of canopies and options for air treatment on typical locations. It also provides indicative cost estimates for the different types of canopies. The tool enables the road owner to assess whether a particular type of canopies is a suitable or efficient measure.

1 Inleiding

Innovatieprogramma Luchtkwaliteit (IPL)

Deze rapportage is uitgebracht in het kader van het Innovatieprogramma Luchtkwaliteit (IPL). Dit programma is uitgevoerd in opdracht van de ministeries van Verkeer en Waterstaat en Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM) en is eind 2009 afgesloten. Door het IPL zijn in de afgelopen jaren voor diverse oplossingsrichtingen onderzocht en/of praktijkproeven uitgevoerd om inzicht te krijgen op welke wijze de luchtkwaliteit langs snelwegen verbeterd kan worden.

De volgende oplossingsrichtingen zijn door het IPL onderzocht:

- Schermwerking
- Reinigen wegdek
- Vegetatie
- TiO₂-coatings
- Overkappen en luchtbehandeling
- Dynamisch verkeersmanagement (DVM)

Dit rapport richt zich op de oplossingsrichting maatregel "Overkappen en luchtbehandeling". Binnen dit deelproject zijn de volgende thema's onderzocht:

- Overkappen: wat is de invloed van een (lichtgewicht) overkapping op de luchtkwaliteit?
- De verbetering van de luchtkwaliteit bij (bestaande) tunnelmonden door middel van luchtbehandeling
- De verspreiding van emissies bij (bestaande) tunnelmonden

Vanaf maart 2005 is via diverse onderzoeken inzicht verkregen in bovenstaande thema's¹⁻²²(zie hoofdstuk 7 voor de referenties). Om de opgedane kennis voor de gebruikers te ontsluiten worden de resultaten van deze onderzoeken in dit document samengevat. Bij het opstellen van deze rapportage is gebruik gemaakt van teksten en afbeeldingen uit de serie onderzoeksrapporten die over dit onderwerp door IPL zijn uitgegeven. Deze rapporten zijn ook terug te vinden op de cd-rom achterin de kof van dit rapport.

Op basis van de kennis en ervaring die is opgedaan bij de verschillende onderzoeken is per oplossingsrichting een overzicht opgesteld van door het IPL beproefde maatregelen. Voor 'Overkappen en luchtbehandeling' zijn deze beschreven in rapport IPL-5b "Toepassingsadvies Overkappingen en Luchtbehandeling". Het Toepassingsadvies is een leidraad voor wegeigenaren en wegbeheerders (gemeenten, provincies, Rijkswaterstaat) die aangeeft welke maatregelen in welke situaties zinvol kunnen zijn om de luchtkwaliteit langs een (snel)weg te verbeteren. Het Toepassingsadvies is een separaat document en maakt als zodanig geen deel uit van deze rapportage.

Fasering binnen deelproject

In het project 'Overkappen en luchtbehandeling' kunnen globaal drie fasen worden onderscheiden:

Fase I: Inventarisatie

In fase I zijn bestaande technieken geïnventariseerd en is nieuwe kennis ontwikkeld. Bij de afronding van fase I is globaal duidelijk geworden welke mogelijkheden er zijn voor overkappingen en luchtbehandeling. Tevens is duidelijk geworden op welke aspecten nader onderzoek nodig is.

Fase II: Ontwikkeling beoordelingsmatrix

Uit de resultaten van Fase I bleek dat overkapping een bijdrage kan leveren aan de verbetering van de luchtkwaliteit. Echter, omdat er veel keuzemogelijkheden zijn voor een overkapping, was het wenselijk om een instrument te ontwikkelen om inzicht te krijgen welk soort overkapping in welke situatie het meest geschikt is. In Fase II is daarom de zogenoemde 'beoordelingsmatrix' ontwikkeld^{11,12,13}. Met behulp van de beoordelingsmatrix wordt ondermeer inzicht gegeven in het effect dat een bepaald type overkapping heeft op een bepaalde locatie. De beoordelingsmatrix biedt tevens de mogelijkheid om diverse manieren van overkappen te optimaliseren (door middel van aanbrengen van bijvoorbeeld schoorstenen en sleuven) en er kunnen luchtbehandelingseffecten in worden meegenomen. Daarnaast wordt inzicht gegeven in de indicatieve kosten van het type overkapping. Op basis van deze informatie kan worden beoordeeld of een overkapping een geschikte en doelmatige maatregel is om de luchtkwaliteit te verbeteren.

Fase III: Nader onderzoek

Diverse aspecten en concepten op het gebied van Overkappingen, luchtbehandeling zijn in deze fase nader onderzocht. Teven is specifiek aandacht besteed aan de 'verspreiding van emissies bij bestaande tunnelmonden'.

Leeswijzer

De onderzoeksresultaten uit onderzoeksfase I en III voor het onderwerp lichte overkappingen zijn in hoofdstuk 2 samengevat. De resultaten voor luchtbehandeling staan beschreven in hoofdstuk 3. En in hoofdstuk 4 komt specifiek het onderwerp emissies bij tunnelmonden aan de orde.

In hoofdstuk 5 worden de beoordelingsmatrix en de hiervoor ontwikkelde software tools behandeld. In de beoordelingsmatrix zijn de diverse overkappingen en de luchtverbeteringsmethoden verwerkt.

In hoofdstuk 6 zijn de belangrijkste conclusies opgenomen die voortkomen uit voorliggende rapportage. In hoofdstuk 7 is ten slotte een overzicht gegeven van de gebruikte literatuurbronnen.

Dit rapport geeft een zeer beknopte samenvatting van de resultaten van het deelproject. Op de bijbehorende cd-rom zijn de rapportages en documenten opgenomen die ten grondslag hebben gelegen aan deze samenvattende rapportage.

2 Overkappen

In dit hoofdstuk wordt het onderzoek naar mogelijke lichte overkappingen van snelwegen behandeld. Vooral de in hoofdstuk 7 beschreven referentiedocumenten 2, 4, 5, 8, 9, 10, 15, 16 en 19 worden hier samengevat. In hoofdstuk 5 wordt de ontwikkelde beoordelingsmatrix behandeld die hulp biedt bij het vinden van de meest geschikte overkappingconfiguratie.

2.1 Fase I: Literatuuronderzoek/verkenning

2.1.1 *Inleiding*

Wanneer een weg als tunnel wordt uitgevoerd, wordt de omgeving van de weg niet direct blootgesteld aan verontreiniging ten gevolge van de weg. Het als ondergrondse tunnel uitvoeren van een bestaande weg is echter een kostbare maatregel. Door de weg op maaiveld te laten liggen, maar er een luchtdichte lichte overkapping over aan te brengen, kan met lagere kosten hetzelfde effect worden bereikt.

Zonder speciale voorzieningen zullen de verontreinigingen die zich onder de overkapping ophopen bij de 'tunnelmonden' vrijkomen. Dat betekent dat de tunnelmonden extra belaste plaatsen zijn. De kans neemt toe dat de normen voor luchtkwaliteit daar worden overschreden.

Als de lokale achtergrondconcentratie laag is en het effect nabij de tunnelmond zodanig is dat voldaan wordt aan de vigerende grenswaarden, kan de emissie uit de tunnel zonder extra maatregelen bij de tunnelmonden plaatsvinden. In andere gevallen zullen maatregelen nodig zijn, bijvoorbeeld behandeling van de verontreinigde tunnellucht (zie hoofdstuk 3). Daarnaast kunnen slimme constructies mogelijk de lucht zodanig verdunnen dat aan de grenswaarden wordt voldaan. Zo kan men er voor kiezen de overkapping zó vorm te geven dat de emissie verspreid over een groter traject vrijkomt, waardoor de concentraties in de omgeving beperkt blijven. Daarnaast is het mogelijk om door gecontroleerde emissie, bijvoorbeeld openingen in het tunneldak, de concentratie voor de gehele omgeving beneden de gewenste waarde te krijgen.

In het kader van het IPL zijn ontwerpen gemaakt voor mogelijke overkappingen van snelwegen. Bij het onderzoek naar deze ontwerpen is in fase I vooral gekeken naar de verschillende soorten lichte overkappingen. Optimalisatiemogelijkheden in de vorm van (gedoseerde) ventilatie en luchtbehandeling zijn vooral in fase III beschouwd.

2.1.2 *Mogelijke ontwerpen*

In het kader van het IPL zijn drie ontwerpen gemaakt. Het betreft ontwerpen van

- DHV/NIO Architecten⁵
- TU Eindhoven/Booghal⁴
- Bosvariant/TNO⁹

Daarnaast hebben enkele producenten/leveranciers een al dan niet uitgebreide offerte van hun voorstel opgesteld. Het betreft ontwerpen van

- CI Structures/Sprung/Hartman, Dura Vermeer en Advin²
- Lammerts van Bueren¹⁰
- Movares¹⁰

De vraagstelling voor de eerste drie partijen was hetzelfde; 'ontwerp een goedkope overkapping die aan alle constructieve eisen en veiligheidseisen voldoet'.

Algemene eisen voor de ontwerpen

De eisen die worden gesteld aan de veiligheid in en rondom overkappingen zijn hetzelfde als bij tunnels. De eisen betreffen:

1. constructieve veiligheid
2. verkeersveiligheid
3. interne veiligheid (met intern wordt bedoeld: onder de overkapping)

Constructieve veiligheid

De minimum eisen betreffende constructieve veiligheid staan beschreven in het Bouwbesluit. Voorts moet worden aangesloten op de algemeen toegepaste normen (NEN en EN) voor bouwconstructies.

Verkeersveiligheid

De eisen voor verkeersveiligheid staan beschreven in de ROA, uitgegeven door het CROW. Tevens gelden de normen voor bermbeveiligingen, zoals bijvoorbeeld NEN-EN 1713.

Interne veiligheid

De eisen voor interne veiligheid staan beschreven in de veiligheidsrichtlijnen:

- Veiligheidsrichtlijnen deel C -versie 1.0- januari 2004
- Alsmede de daarna gepubliceerde aanvullingen en wijzigingen.
- Het verlichten van tunnels en onderdoorgangen - 2003
- Ventilatie van verkeerstunnels, 1991

Andere aspecten

Verder moest aandacht besteed worden aan de volgende aspecten:

1. Verkeersveiligheid
 - a. verblinding
 - b. schrik-effecten
 - c. vrije hoogte
2. Luchtkwaliteit
 - a. voor weggebruiker
 - b. ventilatiemogelijkheden op momenten dat de luchtkwaliteit geen probleem vormt
3. Inpasbaarheid
 - a. landschappelijk
 - b. welstand
 - c. hinder voor omgeving (mens en dier)
 - d. (flauwe) bocht
 - e. aansluiting bij op- of afrit
4. Kosten
 - a. Aanschaf/opbouw
 - b. onderhoud
 - c. levensduur
 - d. mogelijkheden tot hergebruik of verplaatsing van de overkapping

Ingediende 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'. In het rapport⁵ zijn twee varianten beschreven; één met opgeblazen folie en één met kunststoffen platen. De kosten zijn nagenoeg hetzelfde.

Figuur

DHV/NIO: opgeblazen kussens van ethyleentetrafluorethyleen; ETFE



Figuur

DHV/NIO: lamellen van polymethylmetaacrylaat; PMMA

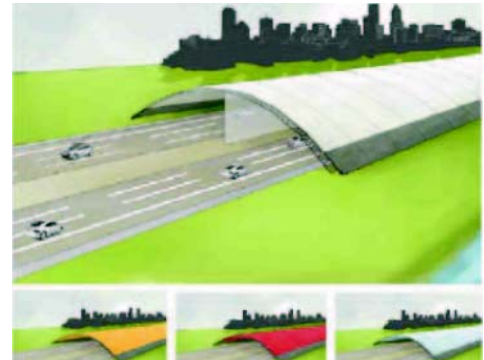


TU Eindhoven/Booghal is uitgegaan van de ervaring in de stallenbouw. Men heeft een lichte constructie bestaande uit standaard spanten met daartussen twee lagen folie gespannen (binnen een dicht folie en daarbuiten gaas om de wind te breken en ter bescherming van de binnenfolie).

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 kosten⁴.

Figuur

Booghal: links als stal, rechts over een weg



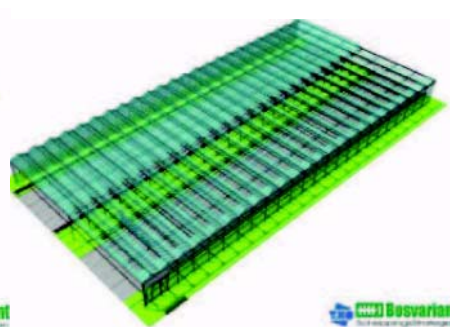
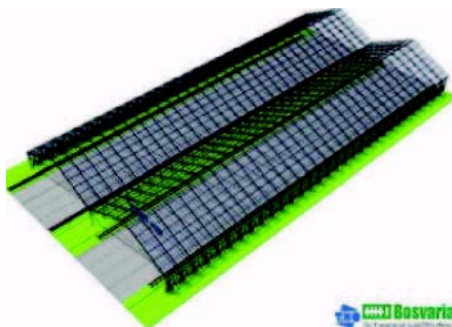
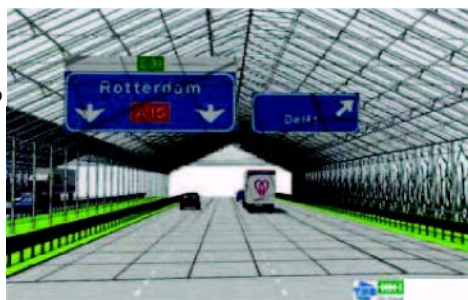
Bosvariant/TNO heeft bij hun concept 'Greenroad' de kassenbouw als uitgangspunt genomen. Grote voordelen van de kassenbouw zijn de ruime ontwerpervaring hiermee in Nederland, de hoge mate van standaardisatie en massaproductie, waardoor de kosten relatief laag blijven. Verder is er een stevige concurrentie 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 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 rapportage⁹ wordt uitgebreid ingegaan op de constructie, de veiligheidsaspecten en de kosten.

Figuren

Greenroad: links type Breedkap, rechts type Venlo



CI Structures / Sprung / Hartman, Dura Vermeer en Advin hebben een samenwerkingsverband gevormd dat op eigen initiatief een ontwerp bij het IPL heeft neergelegd².

Figuren

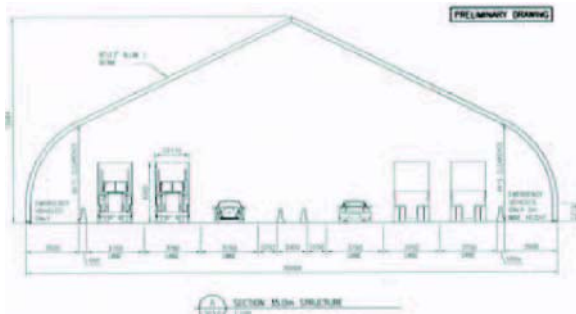
CI cs: bestaande toepassing als opslaghal (exterieur en interieur)



Het betreft een beproefde wijze van bouwen, die alleen wat betreft de dimensionering is aangepast aan een snelweg.

Figuren

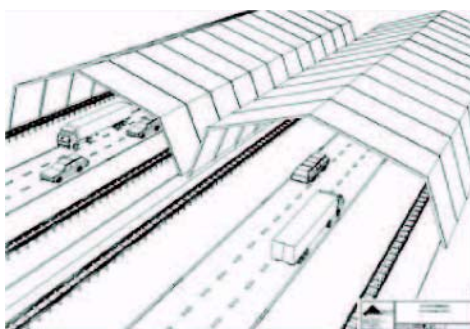
CI cs: toepassing over een weg



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.

Figuren

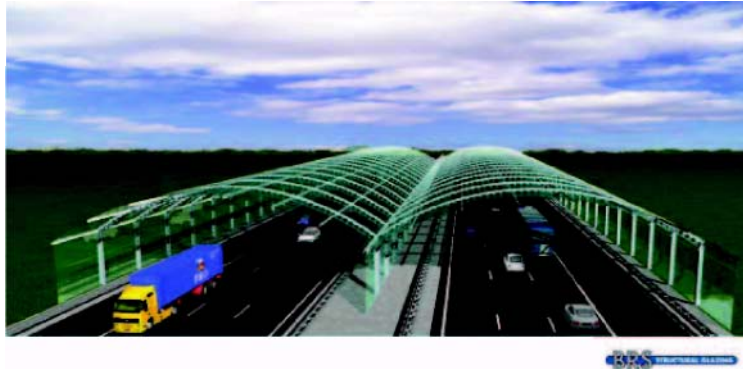
Lammerts van Bueren: interieur en exterieur



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. Hierdoor wordt het geheel nog lichter en dus goedkoper. Het ontwerp van Movares is in een latere fase van dit IPL-thema nader beschouwd als De Duurzame Weg (zie ook paragraaf 2.2).

Figuur

Movares: ontwerp met koudgebogen glas



2.1.3

Aandachtspunten bij de ontwerpen

Bij de ontwerpen zijn verschillende aandachtspunten benoemd. Onderstaande gaat nader in op relevante aspecten bij toepassing van overkappingen. Dat zijn:

- Algemeen - acceptatiegraad
- Algemeen - veiligheid
- Bouw - materiaalkeuze
- Bouw - levensduur overkapping
- Gebruik - invloed op de weg
- Gebruik - temperatuur
- Gebruik - onderhoud

Acceptatiegraad

Bij de vraag of een overkapping wordt geaccepteerd of gewaardeerd dient onderscheid gemaakt te worden tussen de wegbeheerder, weggebruiker en omwonenden.

Voor de weggebruiker is essentieel dat de situatie onder de overkapping veilig is. Dat gaat niet alleen om de objectieve beoordeling, 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 alleen het feit dat de overkapping de luchtkwaliteit verbetert niet voldoende; het aanzicht van het geheel is zeer belangrijk. Bij sommige glazen ontwerpen dient men bedacht te zijn op hinderlijke reflecties van zonlicht. Doorgaans zal een overkapping op grondniveau voor de omwonenden 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.

Tenslotte wordt opgemerkt dat het bij zware overkappingen mogelijk is om de overkapping te integreren in de omgeving (door op de overkapping bijvoorbeeld een sportveld of park te realiseren). Dit maakt dat bij zware overkappingen meerdere functies mogelijk zijn. Bij lichte overkappingen is het niet eenvoudig om de overkapping te laten opgaan in de omgeving.

Veiligheid

De veiligheid voor weggebruikers en mensen die in de omgeving van een overkapte weg wonen of werken is een belangrijk punt van aandacht. Het is aannemelijk dat bij een (lichte) overkapping het veiligheidsniveau dat in de Tunnelwet is beschreven, behaald kan worden. Daarnaast 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 overkapte 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.

Materiaalkeuze

Bij het zoeken naar voordelige overkappingen, komt men in de praktijk doorgaans uit op lichte materialen. Omdat er alleen een afscherming 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 komen voor overkappen, vormt 'geluid' ook een aandachtspunt. 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.

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 de constructie na de gebruiksduur uit elkaar te halen en deze weer elders te gebruiken.

Invloed op de weg

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

Temperatuur

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. De nu beschikbare concepten roepen vragen op over het klimaat onder een overkapping. In de kassenbouw liggen hiervoor oplossingen; de laatste jaren 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 opslaat en deze warmte 's winters voor verwarming te gebruiken. Onderzoeksprojecten voor kassen zien er veelbelovend uit. 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. Nader onderzoek naar de warmtehuishouding en eventuele energieopbrengsten is wenselijk. Bij de uitgevoerde contra-expertise op het ontwerp De Duurzame Weg (zie ook paragraaf 2.2) is hier al een eerste aanzet toe gedaan. Bij de contra-expertise is geconcludeerd dat warmte leveren aan het collectieve warmtenet economisch in Rotterdam niet rendabel lijkt. Tevens wordt in de contra-expertise gesteld dat voor functies die buiten de reikwijdte van het beoogde warmtenet liggen, een autonome warmtelevering zinvol kan zijn. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat bij de contra-expertise met name de Rotterdamse situatie bij Pernis is belicht.

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.

2.1.4 *Kosten en baten*

Kosten

Investeringskosten

Voor het ramen van de kosten van een overkapping is uitgegaan van 1 km weg met 2x3 rijstroken. De geraamde kosten hebben alleen betrekking op de overkapping zelf (geen tunneltechniek, bewegwijzering, verlichting, luchtbehandeling, onderhoud 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 varianten¹⁰ (de tabel is opgesteld op basis van zeer grove ramingen).

Tabel

Investeringskosten overkappingen voor een weg met 2 x 3 rijstroken (situatie 2005)

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

* Inmiddels is duidelijk geworden dat deze investeringskosten te laag zijn ingeschat omdat er bij de kostenbepaling bijvoorbeeld geen ontwikkel- en voorbereidingskosten zijn meegenomen

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

Aanvullende kosten

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). NB: In de uitgevoerde contra-expertise wordt hierover gesteld dat het construeren van een (lichte) overkapping kan worden uitgevoerd met een rijdende, gesloten tunnelbekisting, dus de wegen hoeven niet lang afgesloten te worden. (zie ook paragraaf 2.2).

Kosten voor veiligheid en ventilatie

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

Omslagpunt kosten tussen scherm en overkapping

Indien men overweegt om aan beide zijden van de weg hoge schermen te plaatsen, kan ook een overkapping in de overwegingen worden betrokken. 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/m² (exclusief btw, inclusief voorbereidingskosten). Uitgaande van een weg met 2x3 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 spelen, bijvoorbeeld geluidhinder.

Operationele kosten

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 van de 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 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

Grondeigenaren van de grond direct nabij de weg hebben, net als bij schermen, mogelijk 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 weg zelf

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 het uitgevoerde literatuuronderzoek. Bij het aspect 'Temperatuur' in paragraaf 2.1.3 van deze rapportage is hier al nader op ingegaan.

2.2 Fase III: contra-expertise lichte overkapping

2.2.1 Inleiding

Met betrekking tot het thema 'Overkappen' is in fase III een contra-expertise uitgevoerd naar de haalbaarheid en toepasbaarheid van een (lichte) overkapping. Aanvullend op de contra-expertise is een onderzoek uitgevoerd naar de (maatschappelijke) kosteneffectiviteit van (lichte) overkappingen.

2.2.2 Contra-expertise voor De Duurzame Weg

Door het Ingenieursbureau Gemeentewerken Rotterdam is een contra-expertise uitgevoerd op het concept De Duurzame Weg. Door initiatieven vanuit de markt is in de contra-expertise met name gekeken naar een ontwerp van Movares waarbij de kapconstructie bestaat uit koud buigbaar gelaagd glas, maar op veel punten zullen de ervaringen ook van toepassing zijn op de overige constructies voor (lichte) overkappingen. Voor het uitvoeren van de contra-expertise heeft het Ingenieursbureau Gemeentewerken Rotterdam met behulp van experts alle van belang zijnde aspecten van een (lichte) overkapping beoordeeld¹⁶.

Doel van de contra-expertise

Doel van de contra-expertise is het verkrijgen van inzicht in de haalbaarheid en toepasbaarheid van (lichte) kapconstructies. Hierbij zijn de volgende aspecten beoordeeld:

- a. De aannames op het gebied van constructies, technische installaties, kosten, milieuopbrengsten en veiligheid zijn getoetst
- b. In een benchmark zijn drie wegtypes vergeleken, namelijk een tunnel, de onderhavige (lichte) kapconstructie, en een weg met schermen. De wegtypes zijn vergeleken met een weg waarbij gevelmaatregelen zijn getroffen.
- c. Er wordt in beeld gebracht welke ruimtelijke inpassingvragen aan de orde komen, wat de kosten en de opbrengsten zijn. Er wordt onder andere ingegaan op toepassing van de duurzame weg op de A4 bij de Beneluxtunnel bij Pernis. Deze locatie kampt al geruime tijd met een hoge concentratie luchtverontreiniging. Onderzocht zijn twee varianten van de duurzame weg:
 1. met korte overkapping aan de tunnelmond
 2. een lange overkapping vanaf de tunnelmond en ver er voorbij ten behoeve van locatieontwikkeling.

In de contra-expertise worden de volgende bevindingen en conclusies gerapporteerd:

Algemeen

De Duurzame Weg is een concept om in dichtbebouwd stedelijk gebied zones te kunnen ontwikkelen die anders 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. Dit nader onderzoek is binnen het kader van het IPL niet uitgevoerd.

Milieu

- De urgentie om aan de luchtkwaliteitsnormen te voldoen, is de belangrijkste overweging om een De 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 De 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.
- Warmte leveren aan het collectieve warmtenet van Rotterdam lijkt niet kosteneffectief, andere bronnen zijn waarschijnlijk goedkoper. Levering één op één aan een (nieuwbouw)wijk in de directe omgeving kan mogelijk wel kosteneffectief zijn. Nader onderzoek hiernaar is wenselijk om inzicht te krijgen in de haalbaarheid hiervan.
- De door Movares opgevoerde combinatie met zonnecellen wordt aangemerkt als een niet noodzakelijke maar kansrijke toepassing om bij te dragen aan klimaatdoelstellingen.

Veiligheid

- Op dit moment wordt 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 layout, wettelijke eisen hiervoor 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.
- In de contra-expertise wordt geconcludeerd dat nader onderzoek nodig is 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.

Constructie en kosten

- 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.
- Constructief en qua aanleg zijn er geen bezwaren tegen het concept De 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.
- De stelling van Movares dat de Duurzame Weg € 60 miljoen per kilometer kost, uitgaande van 2x3 rijstroken die overkapt worden, inclusief voorzieningen, wordt onderschreven.

Inpassing

- 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.

- 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.
- De variant waarbij De Duurzame Weg bestaat uit een korte overkapping aan een tunnelmond kan kansrijk zijn, mits de hierin gebruikte luchtzuiveringinstallatie voldoende capaciteit heeft, om het ter plaatse geldende milieuprobleem op te lossen.
- De variant waarbij De Duurzame Weg bestaat uit een korte overkapping aan een tunnelmond kan kansrijk zijn op plaatsen waar door tunnelveiligheidseisen (tien secondenregel) een niet lichtdoorlatende kap pas later kan beginnen.
- 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 vanuit andere bronnen) als de hinder van de A4 grotendeels wordt weggenomen.

Algemeen

- 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.
- In de contra-expertise wordt tenslotte geconcludeerd dat nader onderzoek moet worden gedaan naar een locatie om een proef te houden, voorafgegaan door het opstellen van criteria waaraan een locatie moet voldoen.

2.2.3

Maatschappelijke kostenbatenanalyse (MKBA) op concept van de duurzame weg

In de contra-expertise die is beschreven in paragraaf 2.2.1 ontbreekt nog informatie over de (maatschappelijke) kosteneffectiviteit van de duurzame weg. Door het uitvoeren van aanvullend onderzoek is deze lacune aan informatie opgevuld¹⁵.

Doel MKBA

De MKBA heeft tot doel informatie te verschaffen over de kosteneffectiviteit van de duurzame weg in vergelijking met een nul-alternatief (weg op maaiveld), een nulplus-alternatief (weg met geluidsschermen) en een alternatief met een tunnel zonder luchtbehandeling. Tevens moet de MKBA inzicht geven in nut en noodzaak van de duurzame weg.

Onderzochte effecten

De onderzochte effecten hebben betrekking op de kosten, doorstroming, effecten op de omgeving, effecten op geluid, luchtkwaliteit en veiligheid. Deze zijn ingedeeld in directe effecten (investeringskosten, beheer- en onderhoudskosten, doorstromingseffecten, duurzame energiebatens en effecten van inpassing (grondbaten en stedelijke kwaliteitseffecten)) en externe effecten (veiligheid, geluid en uitstoot schadelijke stoffen).

Voornaamste conclusies en aanbevelingen

Uit het onderzoek komt naar voren dat de duurzame weg vanuit het perspectief van maatschappelijke kosten en baten een interessant concept kan zijn. De meerwaarde van de duurzame weg is naar verwachting het hoogst op locaties in een grootstedelijke omgeving waar:

- dicht bij de weg ruimte is en de wens bestaat om (met name) woningen te bouwen
- zonder voorzieningen voor geluid, veiligheid en luchtkwaliteit geen woningbouw mogelijk is op een strook van enige omvang naast de snelweg (in de standaardberekening van het onderzoek was deze breedte 350 meter, maar met grotere grondopbrengsten kan dit veel smaller zijn)

- de grondopbrengsten per m² de €220 overstijgt
- daarnaast wordt het concept van de duurzame weg ook interessanter naarmate hogere gebouwen worden gebouwd: geluidsschermen laten dit slechts beperkt toe.

In het MKBA wordt geconcludeerd dat voordat het concept De Duurzame weg wordt toegepast vooral nader onderzoek nodig is naar de geluidseffecten en de te realiseren grondopbrengsten (woningbouw en/of kantoren).

2.3 Conclusies met betrekking tot het thema 'Overkappen'

2.3.1 *Algemeen*

- Wanneer een (snel)weg wordt uitgevoerd met een gesloten (lichte) overkapping zal de omgeving van de weg niet direct worden blootgesteld aan verontreiniging ten gevolge van de weg. Het aanbrengen van een gesloten (lichte) overkapping is dan ook een mogelijke oplossing om een locatie met woningen en andere gevoelige bestemmingen te ontwikkelen waar het anders, op grond van bestaande wetgeving, niet mogelijk is om ontwikkelingen uit te voeren.
- Zonder speciale voorzieningen zullen de verontreinigingen die zich onder de overkapping ophopen bij de 'tunnelmonden' vrijkomen. Dat betekent dat de tunnelmonden extra belaste plaatsen zijn. De kans neemt toe dat de normen voor luchtkwaliteit daar worden overschreden. Als dit het geval is, zullen maatregelen nodig zijn, bijvoorbeeld behandeling van de verontreinigde tunnellucht of het toepassen van constructies waardoor het mogelijk is de lucht te verdunnen, om aan de luchtkwaliteitsnormen te voldoen.

2.3.2 *Overkappingen*

- Constructietechnisch gezien is het mogelijk een (lichte) overkapping te bouwen met een gegarandeerde levensduur van 30 jaar.
- De geraamde kostprijs voor een (lichte) overkapping varieert –afhankelijk van het toegepaste ontwerp- van 6 tot 65 miljoen euro per kilometer (opmerking: de kosten van 6 miljoen euro /km zijn te laag ingeschat omdat er bij deze kostenbepaling geen ontwikkel- en voorbereidingskosten zijn meegenomen). De geraamde kostprijs betreft alleen kosten die betrekking hebben op de overkapping zelf. Dus exclusief de tunneltechniek, bewegwijzering, verlichting, luchtbehandeling, kosten van specifieke veiligheidseisen en operationele kosten.
- Nader onderzoek moet nog worden uitgevoerd op de aspecten temperatuur /energielevering, veiligheid en vergunningstrajecten. Daarnaast verdient het aanbeveling om bij het toepassen van een (lichte) overkapping een uitgebreid monitoringsprogramma op te zetten. Waarbij onder andere gelet wordt op: vervuiling van binnen- en buitenkant, gedrag van weggebruikers, vandalisme en rendement luchtbehandeling.

2.3.3 *Rendabele toepassingssituaties*

- De meerwaarde van het toepassen van een (lichte) overkapping is naar verwachting het hoogst op locaties in een grootstedelijke omgeving waar:
 - Er een luchtkwaliteit knelpunt in bebouwde omgeving moet worden aangepakt en minder kostbare voorzieningen zoals schermen onvoldoende effect hebben;
 - dicht bij de weg voldoende ruimte is en de wens bestaat om (met name) woningen te bouwen (mits dat ook kan vanuit de optiek van externe veiligheid),
 - zonder voorzieningen voor geluid en luchtkwaliteit geen woningbouw mogelijk is op een strook van enige omvang naast de snelweg;
 - de grondopbrengsten relatief hoog zijn (meer bouwoppervlak compenseert de hoge kosten van de overkapping);
 - hogere gebouwen worden gerealiseerd.

2.3.4

Aandachtspunten bij overkappen

De volgende aandachtspunten bestaan nog bij het toepassen van een lichte overkapping. Binnen het IPL zijn deze aandachtspunten niet verder onderzocht.

- Veiligheid: op welke manier kan het beste worden voldaan aan de eisen die in de Tunnelwet staan. Vanuit die wet kunnen er ook geen op- en afritten in de overkapping worden opgenomen.
- Juridische haalbaarheid: in hoeverre kan een overkapping worden gerealiseerd wanneer in het (ontwerp)tracébesluit gerekend is met schermen.
- De landschappelijke inpassing kan problematisch zijn bijvoorbeeld door reflecties of vervuiling van de toegepaste transparante materialen.

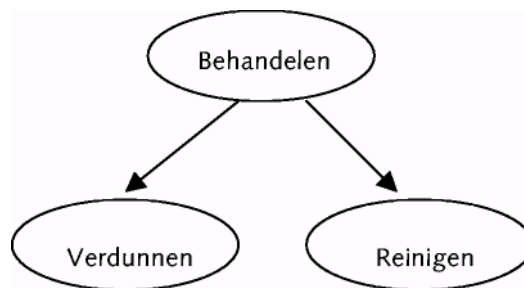
3 Luchtbehandeling (verdunnen/reinigen)

In dit hoofdstuk komen verschillende principes van luchtbehandeling bij tunnels en overkappingen aan bod. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen technieken die leiden tot verdunning van verontreinigde lucht en reinigingstechnieken. Vooral de in hoofdstuk 7 beschreven documenten 1, 3, 7, 10, 14, 17, 18, 20 en 22 zijn hierop van toepassing. In hoofdstuk 5 wordt de ontwikkelde beoordelingsmatrix behandeld die hulp biedt bij het vinden van de meest geschikte overkapping en daarbij eventueel toe te passen luchtbehandeling.

3.1 Fase I: Literatuuronderzoek

3.1.1 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, sleuven, schoorstenen of aan het toepassen van ventilatoren. Verdunnen zorgt dus voor een verlaging van de concentraties. Bij *reinigen* daarentegen wordt een daadwerkelijke afname van de hoeveelheid verontreiniging verkregen door deze af te vangen of om te zetten in stoffen die geen gevaar opleveren.

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. Luchtbehandeling van de open lucht is daarom geen onderwerp geweest van de onderzoeken. Bij tunnels liggen de kansen op succesvol reinigen gunstiger; de lucht zit al in een (tunnel)buis en mede daardoor lopen de concentraties aan PM₁₀ en NO₂ op tot maximaal 5 à 10 keer de concentraties op een open weg. Zij blijven echter nog laag vergeleken met de concentraties die bij industriële reinigingsprocessen optreden.

Bij een korte overkapping liggen de monden en het te beschermen deel te dicht bij elkaar om een substantieel effect te mogen verwachten. Er kan daarom beter niet gekozen worden voor een overkapping die korter is dan bijvoorbeeld 200 m. Het behandelen van lucht kan efficiënter worden uitgevoerd naarmate de overkapping langer is.

Het rendement van reinigen hangt af van twee aspecten: welk percentage van de lucht wordt behandeld en wat is het rendement van het filter? Het effect wordt

bepaald door de hoeveelheid kosten en energie die men bereid is hierin te steken. Bij een goed 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 kan het totale milieueffect negatief worden ten gevolge van productie, energiegebruik en verwijdering van afval.

3.1.2 *Concentraties verontreinigingen en debieten*

De emissies van personenauto's en vrachtauto's zijn bekend. In een tunnel of onder een overkapping met éénrichtingsverkeer zijn de concentraties PM₁₀ en NO₂ aan het begin van het traject laag en lopen verder in de tunnel op. 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 PM₁₀ circa 1.700 µg/m³ zal zijn en voor NO₂ circa 400 µg/m³. Dit is bijzonder hoog vergeleken met concentraties langs een open weg, maar nog ruim onder de toelaatbaar geachte waarden voor binnen in tunnels. Afhankelijk van de lengte van het traject, de verkeersintensiteit en de verversingsgraad van de lucht staan de concentraties aan PM₁₀ en NO₂ 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 m² per tunnelbuis, levert dit een debiet op van 350 m³/s ofwel 1,25 miljoen m³/uur. Met ventilatoren kan men dit debiet vergroten of juist verlagen.

3.1.3 *Monden van tunnels en overkappingen*

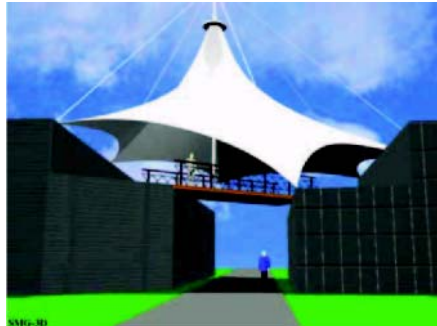
Het effect van tunnelmonden is een lokaal effect; op een afstand van enkele tientallen meters is de bijdrage van de mond vaak al weggevallen ten opzichte van de achtergrondwaarden. Voor het terugdringen van deze overschrijdingen zijn maatregelen mogelijk die de concentraties in de tunnel/overkapping 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 creëert door een sleuf of door aparte gaten in de overkapping te maken. Dit heeft tot doel de verontreiniging gedoseerd vrij te laten komen (gecontroleerde emissie). 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.

Figuur

Gespannen membraan



Hierboven 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.

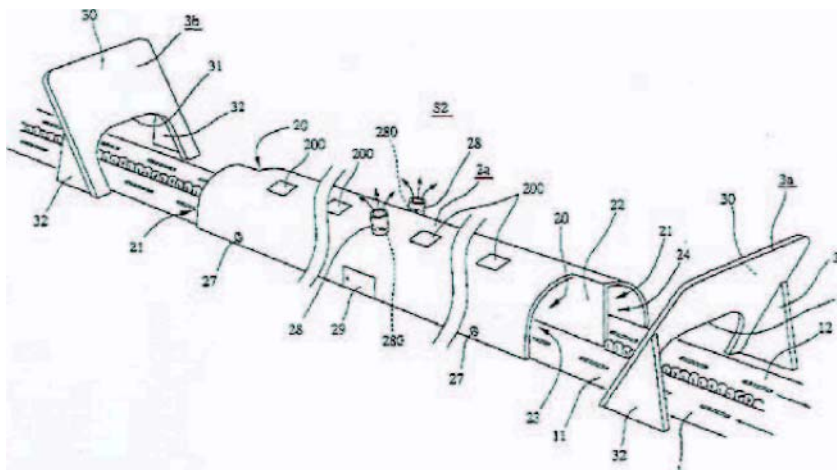
Door de warmteproductie van het verkeer, de wind die over de bovenkant waait en de opwarming van het oppervlakte wanneer de zon schijnt, ontstaat een schoorsteenwerking, die de verontreiniging omhoog stuwt. Nader onderzoek in concrete gevallen moet uitwijzen of dit effect groot genoeg is om de concentraties 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 opstuwung en verspreiding van de verontreiniging.

Figuur

Schermen ter verbetering van de luchtkwaliteit bij monden



3.1.4

Verdunnen

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

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 zijn ventilatieopeningen en schoorstenen.

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 zijn hoog. 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 meer 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 opstuwung 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).

3.1.5

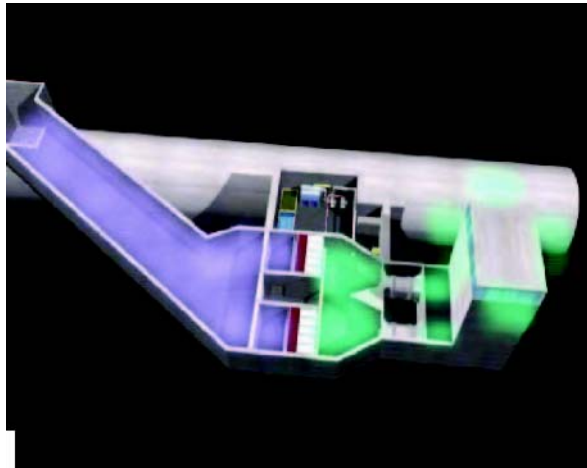
Reinigen

Bij het reinigen van lucht moet men onderscheid maken tussen de verschillende stoffen. In het kader van de onderzochte maatregelen heeft het IPL zich beperkt tot NO₂ en fijn stof (PM₁₀ en PM_{2,5}). Voor NO₂ 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 NO₂ 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), is er bij wege sprake van een unieke situatie.

Figuur

Elektrostatisch filter: ECCO



In de afbeelding hierboven 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 installatie via de vierkante toren.

Een installatie door Camfil ontworpen op basis van filtermatten (voor fijn stof) 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 NO₂ vergt een ruimte van ongeveer 25 bij 10 m met een hoogte van 10 m.

3.1.6

Bestaande tunnels

Ervaring met Elektrostatische filters

In opdracht van het IPL is een studie uitgevoerd naar de ervaring die is opgedaan in het buitenland met betrekking tot luchtbehandeling in tunnels³. In dat rapport wordt vooral de stand van zaken met betrekking tot elektrostatische filters behandeld. Geconcludeerd wordt dat elektrostatische filters ondertussen ontwikkeld zijn tot een niveau waarop zij een bijdrage kunnen leveren om de gewenste luchtkwaliteit te bereiken. In Japan zijn ter verbetering van de luchtkwaliteit tenminste 7 tunnels uitgerust met een elektrostatisch filter. De meeste tunnels waar luchtreiniging plaatsvindt, hebben echter een elektrostatisch filter gekregen met als doel het zicht binnen in de tunnel te verbeteren. Er zijn dan geen ventilatieopeningen naar buiten noodzakelijk, wat bijvoorbeeld in tunnels door bergen kostenbesparend is.

Innovaties

TNO heeft op verzoek van het IPL een zogenaamd 'innovatieatelier' gehouden¹, 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 dat ter beschikking staan van partijen die dit willen uitwerken¹. Naar aanleiding van het innovatieatelier hebben verschillende partijen contact opgenomen met het IPL om hun ideeën in te brengen.

Het innovatieatelier heeft er onder andere in geresulteerd dat Camfil²² op basis van filtermatten een ontwerp heeft gemaakt voor een luchtreinigingssysteem voor één km overkapping. Zoals ook in onderstaande kostenvergelijking 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 overkappingen⁷.

Daarnaast heeft het IPL geparticipeerd in een project van het Centrum Ondergronds Bouwen (COB) dat zich richt op luchtkwaliteit bij tunnels, overkappingen en parkeergarages⁶.

3.1.7 *Kosten*

Kosten voor reiniging

In Australië is een rapport gemaakt voor de autosnelweg M5: "*M5 East Freeway; a review of emission treatment technologies, systems & applications; Child & Associates, Sept 2004*" Daarin is aangegeven dat de kosten van luchtreinigingsapparatuur van geval tot geval moeten worden bezien.

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 m³/h. De energieconsumptie van het elektrostatisch filter zou bij een debiet van 750 m³/s neerkomen op circa 5000 MW-uur per jaar (waarvan 90% in de ventilatoren en 10% in het filter zelf gaan zitten)¹⁰. In de Plabutsch tunnel (Zwitserland) is een elektrostatisch filter geplaatst met de volgende karakteristieken: debiet 200 m³/s, efficiency 94%, vermogen 50 kW, kosten aanschaf en installatie¹⁰: 2,5 miljoen euro. Dit komt overeen met ruim € 3 per m³/h.

In het kader van het project van het COB⁶ is ook gerekend aan de kosten voor reiniging. Met als voorbeeld de overkapping van de A1 O-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 PM₁₀ 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 ₁₀	233.000	246.000	530.000	96.000
NO ₂	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 m³/h en voor NO₂ op 0,5 € per m³/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 tunnellenlengte van 2 - 4 km kost ca 600.000 euro per tunnelbuis (incl. detectie op basis van luchtkwaliteit, voeding, besturing). De calamiteitenventilatie kost ca 1 miljoen euro per tunnelbuis.

Kosten voor 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 qua exploitatiekosten gunstiger dan systemen waarbij mechanisch wordt geventileerd. Over de kosten van aanschaf en bouw is nog onvoldoende bekend.

3.1.8

Modellering 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 PM₁₀ en NO₂ 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. In paragraaf 4.2 wordt nader ingegaan op de huidige inzichten met betrekking tot de modellering van de verspreiding van emissies bij tunnelmonden.

3.2 Fase III: Nader onderzoek met betrekking tot 'luchtbehandeling'

3.2.1 Inleiding

In fase III van het project 'Overkappen en luchtbehandeling' zijn een aantal aspecten nader beschouwd.

Met betrekking tot het thema 'luchtbehandeling' (luchtreiniging of verdunning) is in deze fase onder andere gekeken naar het zogenaamde 'ballenbakfilter', een nieuw filterprincipe.

Verder is in deze fase gekeken naar het twee andere luchtreinigingsmethoden:

1. het Elektrostatisch concept¹⁷ en
2. het Corona-principe¹⁸.

Ten slotte wordt in § 3.2.5 nader ingegaan op tunnelventilatiemogelijkheden (verdunning).

3.2.2 Ballenbakfilter (luchtreiniging)

In 2008 heeft het IPL de prijsvraag 'Frisse kijk op luchtkwaliteit' uitgeschreven¹⁴. In het kader van deze prijsvraag heeft een consortium bestaande uit Climatic Design Consult (CDC), Peutz en DLA+ landscape architects het idee 'Ballenbak' ingediend. Dit filterprincipe is door het IPL als een van de winnaars van de prijsvraag gekozen. Op grond hiervan is het filter nader onderzocht. Door bureaustudie en een verkennend onderzoek met indicatieve luchtmetingen naar de werking.

Principe Ballenbakfilter

Van filters die kleine fracties ($PM_{2,5}$ en PM_{10}) moeten afvangen is bekend dat de filterweerstand in het algemeen toeneemt met afname van de deeltjesgrootte die moet worden afgevangen. Tevens moet er bijzonder veel lucht met een –in vergelijking met industriële filters- lage vervuilingconcentratie door het filter. Het Ballenbakfilter is geen traditioneel filter, maar een filter dat er voor zorgt dat fijn stof ten opzichte van het materiaal waarop het neerslaat een bijzonder lage luchtsnelheid heeft.

Dit filter bestaat uit losse polystyreenkorrels die zijn opgenomen in een kamer met een toevoer- en een afvoeropening voor lucht, voorzien van fijn gaas waardoor de korrels niet ontsnappen. Een –al dan niet mechanisch aangedreven- luchtstroom neemt de korrels mee in de vervuilde lucht. Doordat het materiaal bijzonder licht is wordt het gemakkelijk met de luchtstroom meegevoerd zonder dat dit veel energie kost. In dit traject kan het fijn stof neerslaan op de korrels. De kamer is zo vormgegeven dat de korrels weer kunnen uitvallen en weer opnieuw in de luchtstroom worden meegenomen.

Een tweede aspect van het filter is dat door de beweging/wrijving van de korrels onderling en tegen de wanden van de kamer de korrels elektrostatisch geladen worden. De elektrostatisch geladen deeltjes zorgen ervoor dat de depositiesnelheid van fijn stof naar het materiaal groter is dan de snelheid langs het materiaal. Met andere woorden: de geladen polystyreenkorrels trekken fijn stof aan.

Nadat de korrels volledig zijn benut voor aanhechting van fijn stof worden ze aan de kamer ontnomen en in een regeneratieproces ontdaan van het fijn stof.

Hieronder volgt een korte samenvatting van de belangrijkste bevindingen in de rapportage¹⁴:

- Uit de gravimetrische analyse volgt voor totaalstof een rendement van naar verwachting circa 13 %. Met de osirisstofmeters wordt daarentegen in de meetpositie achter de proefopstelling méér PM₁₀ en PM₂₀ gemeten dan ervoor. Dit duidt op productie van stof. De exacte reden van het aangetroffen negatieve rendement voor PM₁₀ en PM₂₀ kon in het onderzoek niet worden vastgesteld.
- Bij kleinere deeltjes (PM_{2,5} en PM₁) treedt het bovengenoemd effect niet op. Het gemeten rendement voor deze deeltjes bedraagt respectievelijk circa 5 % en circa 15 %.
- Op grond van de indicatieve meetresultaten lijkt geen sprake van een reductie van de concentraties NO₂.

Op grond van bovenstaande kan worden geconcludeerd dat het Ballenbakfilter in theorie kansrijk lijkt, maar de eerste praktijkmetingen wijzen uit dat er twijfels bestaan over de effectiviteit ervan.

3.2.3

Praktijkmetingen met elektrostatisch principe(luchtreiniging)

De BAM en TU Delft hebben gezamenlijk een fijn stofreductiesysteem in tunnels ontworpen, het zogenaamde Elektrostatisch concept. Basis van het systeem is een stelsel van zeer dunne amper zichtbare stalen draden waarop een hoge elektrische spanning (ca. 30.000 V) met zeer lage stroomsterkte wordt gezet. De metalen draden worden aan een zijwand van de tunnel aangebracht. Het elektrostatisch veld dat daarvan het gevolg is zorgt er voor dat fijn stofdeeltjes in de lucht in de tunnel worden geladen. Aan de andere kant van de tunnel worden gearde metalen schermen geplaatst (passieve rekken). Als de geladen deeltjes door turbulente luchtbewegingen in de buurt komen van de gearde metalen schermen worden ze afgevangen. Metingen in een proefopstelling op kleine schaal waarbij een tunnel is gesimuleerd lieten zien dat de massaconcentratie van PM₁₀ en PM_{2,5} door het systeem met ca. 15% wordt gereduceerd. De gemiddelde reductie van de deeltjesaantallen concentratie bleek in hetzelfde experiment bijna 50%.

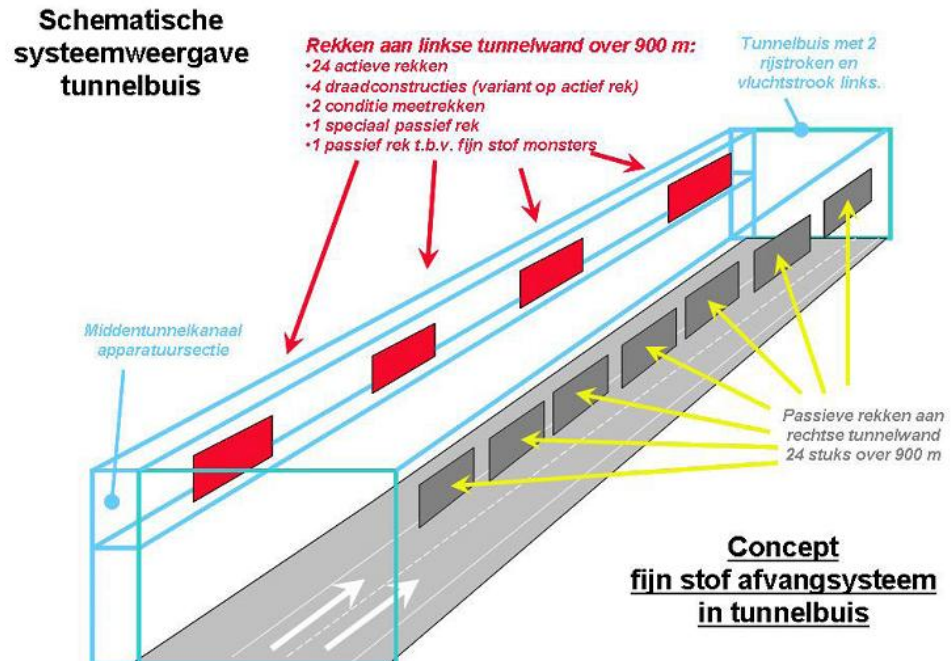
Metingen in de Thomassentunnel

In het kader van het IPL is de werkzaamheid van het Elektrostatisch concept in een praktijksituatie in de Thomassentunnel (A15, Rijnmond) beproefd. In de tunnel is dit concept in de zomer van 2009 in een bepaalde configuratie van elementen geïnstalleerd met als doel om vast te stellen of het systeem fijn stof afvangt.

De Thomassentunnel is een 1100 m lange tunnel in de A15 met west-oost oriëntatie. De tunnel bestaat uit twee tunnelbuizen. De rechterbuis heeft drie rijstroken, de linkerbuis heeft twee rijstroken en een vluchtstrook. De metingen zijn uitgevoerd in de linker tunnelbuis (die loopt van oost naar west). De tunnelbuis is ongeveer 5 m hoog en bijna 15 m breed. Op een gemiddelde weekday rijden gemiddeld 23.000 voertuigen door de tunnelbuis. Het aandeel zwaar vrachtverkeer is 14%, het aandeel middelzwaar vrachtverkeer 12%. Er vindt onder normale omstandigheden geen geforceerde ventilatie plaats. De luchtstroming in de tunnel wordt grotendeels bepaald door het wegverkeer.

Figuur

Elektrostatisch concept
in de Thomassentunnel
tijdens praktijkproef in
2009



Tijdens de proef zijn metingen op vier locaties uitgevoerd (drie binnenin de tunnel en een in de buitenlucht). In de buitenlucht is de apparatuur op het dak nabij de westelijke in/uitgang geplaatst om informatie te verkrijgen van de achtergrond omstandigheden. In de tunnel liggen de meetlocaties op ca 60 m na de tunnelingang (meetpunt 1), in het midden (meetpunt 2) en op ca 60 meter voor de tunneluitgang (meetpunt 3). De volgende parameters zijn op de locaties in de tunnel gemeten:

- Massaconcentratie van fijn stof met een GRIMM monitor (optische deeltjesteller) en later met een TEOM monitor (minuutgemiddelde waarden)
- Massaconcentratie van fijn stof met een LVS filtermonstering systeem (EU referentiemethode voor 24 uurgemiddelde concentraties)
- NO_x concentratie met een Airpointer (op basis van EU referentiemethode)
- Luchttemperatuur en -vochtigheid
- Windsnelheid
- Verkeeraantallen en -samenstelling (alleen bij de entree tot de tunnel)

De proef bestond uit twee fasen. In Fase 1 is gewerkt met een schakelinterval van 100 minuten aan en 100 minuten uit. In Fase 2 is gekozen voor 24 uur, zodat de werking van het systeem bij langdurigere toepassing onderzocht kon worden.

Interpretatie van meetdata

Het is niet zo dat de concentraties PM10 met het systeem uit direct vergeleken kunnen worden met de concentraties wanneer het systeem is ingeschakeld. Daarvoor variëren de omstandigheden te sterk. Om het effect van variërende parameters mee te nemen in de analyse is gebruik gemaakt van de metingen van NO_x. De toename van de concentratie van fijn stof en NO_x in de tunnel wordt beïnvloed door de emissies van het wegverkeer en de verspreiding (ventilatie).

Emissies van NO_x zijn evenredig aan de verkeersintensiteit en de NO_x is onafhankelijk gebleken van het elektrostatisch veld. Het reductiepercentage van het systeem is daarom gedefinieerd als:

$$effect = \left(1 - \frac{\text{gemiddelde} \left(\frac{\Delta PM}{\Delta NO_x} \right)_{aan}}{\text{gemiddelde} \left(\frac{\Delta PM}{\Delta NO_x} \right)_{uit}} \right) * 100\%$$

Door deze definitie wordt het effect uitgedrukt als het percentage van de fijn stof *emissie* in de tunnel. Een definitie die meer recht doet aan de feitelijke situatie is om het effect als percentage van de hoeveelheid fijn stof in de tunnel uit te drukken. Dan wordt ook rekening gehouden met de afvangst van aerosol dat als achtergrondconcentratie de tunnel instroomt. Uit het effect ten opzichte van de emissie in de tunnel wordt daarom ook het effect ten opzichte van de totale hoeveelheid fijn stof bepaald op basis van de gemiddelde verhouding achtergrond/(achtergrond+emissie in de tunnel).

Werking van het Elektrostatisch concept tijdens de praktijkproef

- Tijdens Fase 1 van de praktijkproef (met een schakelinterval van 100 minuten) is het gemeten reductie-effect van het Elektrostatisch concept t.a.v. PM₁₀ gemiddeld 11 +/- 5% (95 percentiel) ten opzichte van de in de tunnel geëmitteerde hoeveelheid PM₁₀, waaruit volgt dat het reductie-effect ten opzichte van de totale hoeveelheid PM₁₀ in de tunnel 7 +/- 3% is.
- Tijdens Fase 2 van de praktijkproef (met een schakelinterval van 24 uur) is het gemeten reductie-effect van het Elektrostatisch concept t.a.v. PM₁₀ gemiddeld 15 +/- 6% (95 percentiel) ten opzichte van de in de tunnel geëmitteerde hoeveelheid PM₁₀, waaruit volgt dat het reductie-effect ten opzichte van de totale hoeveelheid PM₁₀ in de tunnel 9 +/- 4% is.
- Hoewel dit aspect niet uitputtend kon worden onderzocht lijkt de werking van het Elektrostatisch concept gevoelig voor de relatieve luchtvochtigheid, waarbij een hogere luchtvochtigheid in de tunnel een gunstig effect heeft op het reductiepercentage. De relatieve luchtvochtigheid fluctueert echter samen met een aantal andere belangrijke parameters zoals de verkeersintensiteit en daarmee de concentratietoename in de tunnel. Het is daarom niet zeker dat het gevonden verband ook daadwerkelijk een gevolg is van de luchtvochtigheid.
- Het verschil in de gemiddelde reductie tussen Fase 1 en Fase 2 kan niet verklaard worden door de luchtvochtigheid, omdat deze tijdens Fase 1 gemiddeld gezien hoger was. Dit kan een aanwijzing zijn dat het systeem bij langdurige toepassing effectiever is dan bij kortstondige toepassing.
- De werking van het Elektrostatisch concept t.a.v. PM_{2,5} kon in deze studie niet vastgesteld worden vanwege het ontbreken van betrouwbare meetdata.

Toepasbaarheid

- De resultaten van deze studie gelden voor de Thomassentunnel in de zomer van 2009 bij de gekozen configuratie en zijn niet representatief voor de jaargemiddelde situatie en niet zonder meer toepasbaar op andere tunnels. Parameters zoals de verkeersintensiteit en samenstelling, tunnelconfiguratie en luchtvochtigheid kunnen van invloed zijn op het reductiepercentage.

- Indicatieve berekeningen laten zien dat de inzet van het Elektrostatisch concept in de Thomassentunnel (met een jaargemiddelde effectiviteit van 10 tot 20 %) zou leiden tot een verlaging van het aantal overschrijdingsdagen met 1-2 dagen in 2008. Bij tunnels met een hogere verkeersintensiteit en achtergrondconcentratie (Beneluxtunnel, Coentunnel en Schipholtunnel) is de verlaging bij 10% reductie gemiddeld 4 dagen en bij 20% 7-11 dagen.
- Ter illustratie is ook het effect berekend van reductiepercentages van 40 en 60%. Dergelijke reductiepercentages worden genoemd door BAM/TUD op basis van voorlopige schattingen van de mogelijkheden van optimalisatie. Het aantal overschrijdingsdagen bij de Thomassentunnel in 2008 zal volgens de berekeningen dan afnemen met 4-6 dagen. Bij tunnels met een hogere verkeersintensiteit en achtergrondconcentratie (Beneluxtunnel, Coentunnel en Schipholtunnel) zou dit bij 40% oplopen tot 15-22 dagen en bij 60% tot 22-32 dagen.

Aanbevelingen

- Het huidige onderzoek toont aan dat er potentie is voor het Elektrostatisch concept om fijn stof in tunnels af te vangen. Meer kennis over belangrijke onderdelen van het gehele proces is nodig om het systeem te optimaliseren. Dit geldt bijvoorbeeld voor de instelling van het Elektrostatisch veld, de verandering van de ladingstoestand van de deeltjes als gevolg van het veld, het transport van geladen deeltjes door de lucht naar het scherm enzovoort. Zonder voldoende kennis over deze processen is het moeilijk om tot optimalisatie te komen
- De werking van het systeem lijkt gevoelig voor de luchtvochtigheid. De relatieve luchtvochtigheid fluctueert echter samen met een aantal andere belangrijke parameters zoals de verkeersintensiteit en daarmee de concentratietoename in de tunnel. Het is daarom niet zeker dat het gevonden verband met de luchtvochtigheid ook daadwerkelijk een gevolg is van de luchtvochtigheid. Het wordt aanbevolen om dit nader te onderzoeken.
- Om een representatieve schatting te krijgen van het effect van het systeem in een tunnel, moeten op verschillende momenten in het jaar metingen uitgevoerd worden.
- De in deze studie gekozen aanpak lijkt in grote lijnen goed te werken en te leiden tot relatief kleine onzekerheden. Het wordt aanbevolen om voor vergelijkbare proeven te onderzoeken of er verbeteringen in de aanpak mogelijk zijn.
- Om het effect van eventuele beïnvloeding van de metingen door het Elektrostatisch concept in kaart te brengen, wordt aanbevolen om in een volgende meetcampagne de vergelijking tussen TEOM en LVS over een langere periode uit te voeren.

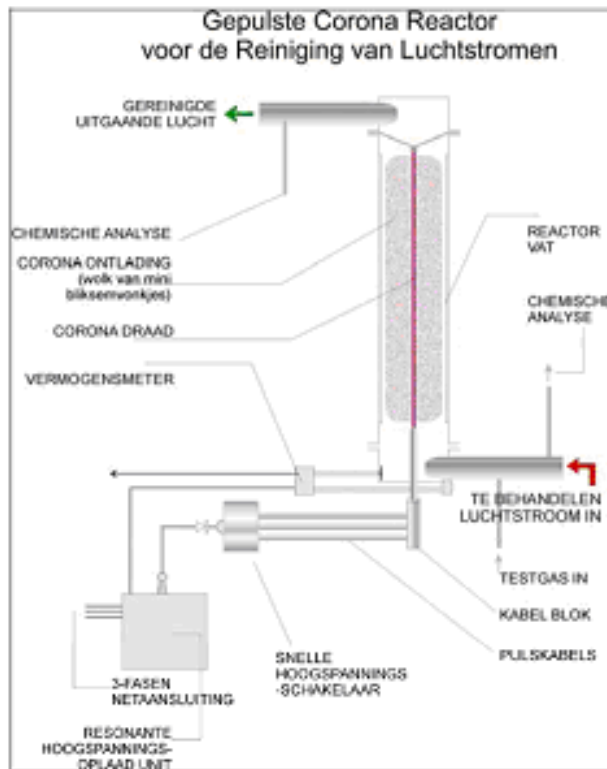
3.2.4

Luchtreiniging met het Corona-principe (proef op laboratoriumschaal)

In het kader van het IPL is onderzoek verricht gericht op NO_x verwijdering uit tunnellucht met behulp van Corona plasma techniek¹⁸. Dit is één van de weinige technieken voor NO_x verwijdering/omzetting. Deze omzetting vindt plaats in een reactor. De lucht wordt uit de tunnel gezogen en in de reactor behandeld door een systeem van elektrische ontlading.

De proef is uitgevoerd op laboratoriumschaal en had als primaire doel om de NO_x omzetting nader te onderzoeken. In het onderzoek is ook aandacht besteed aan de mogelijke effecten op de concentratie aan fijn stof in de behandelde lucht.

Figuur
Corona reactor voor
verwijdering van NO_x



Uit de laboratoriumproef blijkt:

- NO_x verwijdering is technisch goed mogelijk met Corona techniek, uit het onderzoek blijkt een energieverbruik van ca. 106 kWh/ kg NO_x die wordt verwijderd.
- Het beste resultaat wordt verkregen door de reactie in een natte reactor te laten verlopen en kleine hoeveelheden ammoniak aan de ingaande lucht toe te voegen.
- Op zichzelf kan deze succesvolle NO_x verwijdering bij omgevingstemperatuur met Corona technologie als een technische doorbraak worden beschouwd. Naast drukke verkeerstunnels zou deze techniek ook voor parkeergarages in binnensteden een oplossing kunnen zijn.
- Mogelijk wordt ook de concentratie fijn stof gereduceerd, het onderzoek laat op dit punt echter nog veel vragen onbeantwoord.
- In het onderzoeksrapport wordt melding gemaakt van indicatieve kostenramingen voor een praktijkinstallatie voor een tunnel waardoor zich 5000 voertuigen/uur bewegen. Gesteld wordt dat dit een indicatieve investering vergt van € 600.000,-/ tunnelbuis. De energiekosten zouden bij nagenoeg volledige verwijdering van NO_x ca. € 60,-/ uur bedragen in de spitsuren. Bij 80% verwijdering bedragen deze energiekosten circa €50,-/uur. Nogmaals moet hierbij opgemerkt worden dat deze ramingen zeer indicatief zijn aangezien het systeem nog niet in de praktijk is getest.

3.2.5 *Tunnelventilatieconcepten (verdunningsprincipe)*

Het IPL heeft onderzoek laten uitvoeren naar de haalbaarheid en de effecten van tunnelventilatieconcepten die zijn gebaseerd op het vasthouden van verontreinigde tunnellucht in de tunnel²⁰. Doel daarbij is de verontreinigingen rond de tunnelmonden te verminderen en daarmee de luchtkwaliteit rond tunnelmonden te verbeteren.

Centrale vraag in het onderzoek was tot welke concentraties de verontreiniging in de tunnel zou mogen oplopen zonder dat daarbij gevaar voor gezondheid en veiligheid wordt gecreëerd. De geconcentreerde tunnellucht kan dan wellicht wel beter/efficiënter worden gereinigd. In het onderzoek zijn tevens de beschikbare reinigingsprocessen in beeld gebracht.

Uit literatuuronderzoek is gebleken dat er geen humane effecten van kortdurende blootstelling van 1-2 minuten aan hoge concentraties verkeersgerelateerde luchtverontreiniging bekend zijn. Er zijn momenteel geen wettelijke normen voor tunnels. Op grond van literatuurgegevens wordt een grenswaarde voor NO₂, de kritische parameter, in tunnels voorgesteld tussen 2.000 en 30.000 µg/m³. Andere componenten in de tunnellucht, zoals fijn stof en koolmonoxide, zijn niet kritisch bij het ventilatieconcept en kunnen beneden de voorgestelde grenswaarden voor tunnels worden gehouden.

De onderzochte tunnelventilatieconcepten onderscheiden zich in de wijze waarop verhinderd wordt dat verontreinigde lucht uit de tunnel kan treden. Bij concept 1 (C²O tegenstroom ventilatie) wordt tegen de rijrichting van de voertuigen in de tunnel een luchtstroom opgewekt, zodanig dat de netto luchtbevinging in de rijrichting vrijwel tot nul wordt gereduceerd. Bij concept 2 (HD meestroom ventilatie) is sprake van meestroomventilatie waarbij de voertuigen zelf de luchtstroom opwekken. Zodra de lucht 'stilstaat' kan er ook geen vervuiling meer uit de tunnelmond komen.

De modellering van beide ventilatie-concepten is uitgevoerd met het CFD pakket van TNO. Met behulp van het CFD pakket kan elke simulatie van verkeersbewegingen in tunnels worden uitgevoerd. Variabelen zijn daarbij onder andere verkeersintensiteit, snelheid, typen auto's en mix van vrachtauto's en personenauto's en wandruwheid. Het CFD model bepaalt de luchtsnelheid als gevolg van de verkeersbewegingen en in detail de luchtstromingen en -circulaties die optreden in de gemodelleerde tunnelconfiguratie.

De tunnelventilatiesystemen zijn in staat om de lucht in de tunnel volledig vast te houden en te filteren. Er wordt uitgegaan van een 1000 meter lange 3-baans tunnel met gescheiden tunnelbuizen en 5.000 voertuigen per uur in beide richtingen. In dat geval ontstaat in de tunnel bij een filterrendement van 80 % en een filterdebiet van 220 m³/h een maximum concentratie van circa 30.000 µg/m³ NO₂. Hogere filterdebieten en/of toelaten van enige lek uit de tunnelmonden leiden tot lagere concentraties in de tunnel.

Een optimaal tunnelventilatieconcept zou mogelijk kunnen worden ontwikkeld door combinatie van het HD en het C²O model. Dit combinatiemodel zou het vertraagd meestroom model (hybride model) kunnen worden genoemd. In een eventueel

vervolgonderzoek zou een nauwkeuriger modellering voor een gecombineerd model op kunnen worden gezet.

3.3 Conclusies met betrekking tot het thema 'luchtbehandeling'

Op grond van bovenstaande kunnen voor het thema 'luchtbehandeling' de volgende conclusies worden getrokken:

- Het verdunnen van de verontreinigde lucht (door middel van ventilatie, schoorstenen of sleuven) 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 de tunnel of bij een overkapte weg is mogelijk, maar is vanwege de kosten en de milieubalans minder voor de hand liggend. Er zijn 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.
- Het ballenbakfilter is in theorie een interessant concept, maar de eerste praktijkmetingen wijzen uit dat er twijfels bestaan over de effectiviteit ervan.
- Met betrekking tot het praktijkonderzoek naar de werkzaamheid van het Elektrostatisch concept - in de configuratie die in de Thomassentunnel is beproefd - zijn hieronder de belangrijkste conclusies weergegeven. Voor een volledig, en veel gedetailleerder, overzicht van de conclusies wordt verwezen naar de rapportage17:
 - Op grond van de resultaten in de praktijkproef volgt dat het reductie-effect in deze configuratie maximaal 15% bedraagt ten opzichte van de in de tunnel geëmitteerde hoeveelheid PM_{10} .
 - Indicatieve berekeningen laten zien dat de inzet van het Elektrostatisch concept in de Thomassentunnel (met een jaargemiddelde effectiviteit van 10 tot 20 %) zou leiden tot een verlaging van het aantal overschrijdingsdagen met 1-2 dagen in 2008. Bij tunnels met een hogere verkeersintensiteit en achtergrondconcentratie (Beneluxtunnel, Coentunnel en Schipholtunnel) is de verlaging bij 10% reductie gemiddeld 4 dagen en bij 20% 7-11 dagen.
 - Ter illustratie is ook het effect berekend van reductiepercentages van 40 en 60%. Dergelijke reductiepercentages worden genoemd door BAM/TUD op basis van voorlopige schattingen van de mogelijkheden van optimalisatie. Het aantal overschrijdingsdagen bij tunnels met een hogere verkeersintensiteit en achtergrondconcentratie (Beneluxtunnel, Coentunnel en Schipholtunnel) zou dit bij 40% oplopen tot 15-22 dagen en bij 60% tot 22-32 dagen.
 - De resultaten voor de praktijkproef gelden voor de Thomassentunnel in de zomer van 2009 bij de gekozen configuratie en zijn niet representatief voor de jaargemiddelde situatie en niet zonder meer toepasbaar op andere tunnels. Om een representatieve schatting te krijgen van het effect van het systeem in een tunnel, moeten op verschillende momenten in het jaar metingen worden uitgevoerd.
- De proef op laboratoriumschaal laat zien dat zien dat NO_x-verwijdering uit lucht technisch goed mogelijk is met Corona reactor techniek. Deze techniek biedt kansen voor de reiniging van uit een tunnel onttrokken lucht. Nader onderzoek is echter noodzakelijk

- Met betrekking tot de onderzochte tunnelventilatieconcepten
 - Uitgaande van concepten die de lucht in de tunnel "vasthouden" ontstaat de vraag hoe ver de concentraties luchtverontreiniging in de tunnel mogen oplopen. Er zijn momenteel geen wettelijke normen voor tunnels. Op grond van literatuurgegevens wordt een grenswaarde voor NO₂, de kritische parameter, in tunnels voorgesteld tussen 2.000 en 30.000 µg/m³. Andere componenten in de tunnellucht, zoals fijn stof en koolmonoxide, zijn niet kritisch bij het ventilatieconcept en kunnen beneden de voorgestelde grenswaarden voor tunnels worden gehouden.
 - De onderzochte tunnelventilatiesystemen (op basis van respectievelijk tegenstroomventilatie en meestroomventilatie) zijn in staat om de lucht in de tunnel volledig vast te houden en te filteren.
 - Een optimaal tunnelventilatieconcept zou mogelijk kunnen worden ontwikkeld door combinatie van de twee bovengenoemde modellen. Dit combinatiemodel zou het vertraagd meestroom model (hybride model) kunnen worden genoemd. In een eventueel vervolgonderzoek zou een nauwkeuriger modellering voor een gecombineerd model op kunnen worden gezet.

4 Verspreiding van emissie bij (bestaande) tunnelmonden

In dit hoofdstuk worden de onderzoeken samengevat die specifiek gericht zijn op de verspreiding van emissie vanuit tunnelmonden. Vooral de in hoofdstuk 6 beschreven documenten 3, 19 en 21 zijn hiervoor gebruikt. In § 5.3 wordt de beoordelingsmatrix beschreven die speciaal is gemaakt voor het beoordelen van maatregelen ten behoeve van een betere luchtkwaliteit bij tunnelmonden.

4.1 Inleiding

In de voorgaande hoofdstukken is gekeken hoe overkappingen en luchtbehandeling kunnen worden gebruikt om de luchtkwaliteit te verbeteren. De effecten op de tunnelmond zijn daarbij erg belangrijk. Gaandeweg heeft het IPL geconcludeerd dat er onvoldoende betrouwbare onderzoeksresultaten bestaan over de werkelijke emissie bij tunnelmonden. Daarom is in 2009 nader onderzoek uitgevoerd.

In een tunnelbuis met éénrichtingverkeer wordt door het rijdende verkeer in principe een luchtstroom opgewekt in de rijrichting van het verkeer. Terwijl voertuigen door de tunnel rijden voegen zij voertuigemissie toe aan de luchtstroom, waardoor de concentratie naar de tunneluitgang steeds meer toeneemt. De concentratie aan het einde van de tunnelbuis kan oplopen tot enige honderden $\mu\text{g}/\text{m}^3$, zowel voor NO_2 als voor PM_{10} . Dat kan overschrijdingen van de luchtkwaliteitsnormen nabij een tunnelmond veroorzaken. In verband met de wetgeving voor luchtkwaliteit leiden deze hoge concentraties ertoe dat er soms kostbare maatregelen genomen moeten worden om aan de eisen voor luchtkwaliteit te voldoen en de benodigde vergunningen voor bouw en gebruik te verkrijgen.

Tot op heden is er in Nederland nog geen goed rekenmodel voorhanden om de concentraties nabij tunnelmonden goed te berekenen. De huidige rekenmodellen leveren hoge concentratiewaarden op nabij de tunneluitgangen. Uit metingen aan schaalmodellen lijkt naar voren te komen dat de werkelijke concentraties tengevolge van de uitstoot uit de tunnel waarschijnlijk lager liggen dan wordt berekend. Wanneer dit inderdaad het geval is dan bestaat de mogelijkheid dat door nauwkeuriger rekenmodellen kostbare maatregelen achterweg kunnen worden gelaten.

In opdracht van Rijkswaterstaat is een literatuurstudie uitgevoerd waarbij binnenlandse en buitenlandse kennis is verzameld over de wijze waarop aan verspreiding van verkeersemissies bij tunnelmonden wordt gerekend. Een beschrijving van deze literatuurstudie, met daarin een weergave van de belangrijkste bevindingen, is opgenomen in paragraaf 4.2.

4.2 Fase I: Inventarisatie kennis modellering emissieverspreiding bij tunnelportalen

In het kader van het IPL is binnenlandse en buitenlandse kennis verzameld over de wijze waarop aan verspreiding van verkeersemissies in tunnelmonden wordt gerekend¹⁹. De kennis betreft zowel rekenmethoden/rekenmodellen als data van schaalmodelproeven.

In Nederland zijn metingen aan verschillende schaalmodellen van tunnels en ondergrondse wegen uitgevoerd. Hiervan kunnen in principe rekenregels worden afgeleid. De resultaten van de proeven zijn echter niet gebundeld en soms niet direct toegankelijk. Daarnaast zijn in het buitenland reeds eerder rekenmodellen ontwikkeld die meer toegesneden zijn op tunnelportalen dan de rekenmodellen die in Nederland gebruikelijk zijn, doch deze rekenmodellen zijn in Nederland nooit verzameld en beoordeeld. Het verzamelen van deze kennis en voortvloeiend daaruit het verder ontwikkelen van rekenmodellen kan grote voordelen opleveren. Zoals een grotere kans op goedkeuring van beoogde projecten en kostenbesparing op te nemen maatregelen.

In opdracht van Rijkswaterstaat heeft COB een literatuurstudie uitgevoerd waarbij binnenlandse en buitenlandse kennis is verzameld over de wijze waarop aan verspreiding van verkeersemisies in tunnelmonden wordt gerekend. De kennis betreft rekenmethoden, rekenmodellen, data van schaalmodelproeven en alle relevante informatie die nog meer gevonden kan worden. De informatie is zodanig gebundeld en toegankelijk gemaakt dat deze kan worden gebruikt voor het ontwikkelen van nieuwe rekenmethoden voor verspreiding van verkeersemisies uit tunnelportalen. De gevonden kennis uit verschillende bronnen is voor zover mogelijk met elkaar in verband gebracht, zijn afgewogen en beoordeeld.

Het onderzoek is als volgt uitgevoerd:

- De volgens de Nederlandse wetgeving voorgeschreven rekenmethoden zijn geanalyseerd (vaststelling status quo).
- Via Internet, congrespublicaties en databanken zijn publicaties over het onderwerp verzameld en beoordeeld.
- Van TNO Bouw en Ondergrond en van Adviesbureau Peutz zijn meetresultaten van uitgevoerd windtunnelonderzoek aan schaalmodellen verzameld en beoordeeld.
- Waar nodig en mogelijk is overleg gevoerd met de opstellers van genoemde publicaties.

Uit de resultaten blijkt dat in de wereld diverse op tunnelportalen toegespitste rekenmodellen beschikbaar zijn. Een gemeenschappelijk kenmerk van deze modellen is dat rekening wordt gehouden met de jetstroom van de lucht uit het tunnelportaal en de interactie van deze jetstroom met de wind. In de Nederlandse rekenmethoden wordt de jetstroom op een andere wijze benaderd. Mogelijk leidt dat tot te hoge berekende concentraties emissie zoals de meetresultaten beschreven in 4.4 suggereren. Voorts wordt in diverse literatuur ook de invloed van thermische trek van de lucht uit het tunnelportaal genoemd en wordt de emissie uit de tunnel op de aansluitende weg gemodelleerd door middel van een aantal puntbronnen of lijnbronnen waarvan de sterkte afneemt naarmate de afstand tot het tunnelportaal groter is. In de Nederlandse rekenmethoden wordt een constante bronsterkte aangehouden. De lengte waarover de emissiebronnen worden aangenomen is in de Nederlandse rekenmethoden constant terwijl die in buitenlandse rekenmethoden afhankelijk is van de verkeerssnelheid, de windsnelheid, de vorm van het tunnelportaal en hoogteligging van de weg.

Bij beschrijvingen van rekenmodellen en de toetsing ervan wordt veelal opgemerkt dat rekenmodellen helpen om een eerste indruk te verkrijgen en varianten tegen elkaar af te wegen, maar dat voor gedetailleerde studies – dat wil zeggen het

concentratieverloop binnen enkele tientallen meters van het tunnelportaal – schaalmodelmetingen in een windtunnel nodig kunnen zijn.

Op basis van de resultaten wordt geconcludeerd dat er ruimte is voor verbetering van de Nederlandse rekenmethoden. Of dat een eigen ontwikkeling dan wel overnemen van bestaande rekenmethoden moet zijn zal nader moeten worden bestudeerd. Aangezien in het juridische kader veelal berekeningen worden gevraagd en schaalmodelmetingen niet altijd worden uitgevoerd is een verbetering van de rekenmethoden beslist aan te bevelen

Passieve maatregelen

Oplossingen voor luchtkwaliteitsproblemen nabij tunnels worden veelal gezocht in actieve systemen zoals ventilatie en reiniging. Deze vergen veel energie en onderhoud en leiden daarbij tot extra CO₂ uitstoot. Het is wenselijk de inzet van passieve maatregelen te vergroten. Bij passieve maatregelen valt te denken aan een specifieke vormgeving van het tunnelportaal, het plaatsen van schermen op of bij tunnelmonden, etc. In combinatie met de door het verkeer opgewekte luchtstroming in de tunnel en wind kan hiermee verspreiding worden verwacht.

De effecten van maatregelen zijn op dit moment in enkele gevallen per project specifieke situatie bekend maar niet algemeen toepasbaar. Het is echter wenselijk de effecten kwantificeerbaar te maken om afwegingen te kunnen maken.

Juridische zeggingskracht

Het ontwikkelen van nauwkeurige rekenmodellen en effectieve maatregelen heeft alleen zin wanneer de resultaten juridische zeggingskracht hebben. Het is daarom noodzakelijk dat rekenresultaten gevalideerd worden en de betrouwbaarheid van rekenmodellen wordt vastgesteld.

Door tegelijkertijd modellering inzake luchtberekeningen voor tunnelmonden (inclusief maatregelen) te uniformeren en in de Regeling beoordeling luchtkwaliteit vast te leggen ontstaat een duidelijk en voor ieder toepasbaar juridisch kader.

Hetzelfde geldt voor maatregelen. Door vast te leggen welke effecten verschillende maatregelen hebben kan ook juridisch worden beoordeeld of projectvoorstellen voldoen aan de wettelijke voorschriften voor luchtkwaliteit.

Een nauwkeurige berekening van de luchtkwaliteit bij tunnelmonden en een nauwkeurig inzicht in de mogelijkheid om deze luchtkwaliteit ter plaatse te beheersen levert een bijdrage aan het verkrijgen van een luchtonderzoek als basis voor een "Raad van State-proof" besluit voor wegenprojecten, waarin tunnels zijn opgenomen.

4.3 Fase III: Metingen van NO₂ in de Wijkertunnel (praktijkproef)

Om meer inzicht te krijgen in de uitbreiding van (hoge) verkeersemisies bij tunnelmonden zijn in de zomer van 2009 metingen uitgevoerd gedurende twee maanden rond de zuidelijke tunnelmond van de Wijkertunnel. Er is gekeken naar zowel NO₂ als PM₁₀. Het doel van deze praktijkproef was:

- Inzicht krijgen in de hoogte van concentraties nabij tunnelmonden;
- Inzicht krijgen in de wijze van de verspreiding van de emissies van het verkeer rond tunnelmonden.

Uit de verschillende meetmethoden, toegepast om inzicht te krijgen in de verspreiding van de verkeersemisies, blijkt dat de absolute concentraties NO₂ direct aan de rand van de tunnelmond (bij de vluchtdeur) hoger te zijn dan circa 100 µg/m³. De gemeten concentraties op de meetlocaties op grotere afstand (10 tot 100 m) rond de verdiept gelegen rijbanen naar de tunnelmond zijn in absolute zin waarschijnlijk vergelijkbaar met concentraties langs snelwegen in een landelijke omgeving. Dit geldt zowel voor NO₂ als voor PM₁₀.

De meetresultaten geven een relatief gunstig beeld op de verspreiding rond de tunnelmond, maar zijn waarschijnlijk te eenzijdig vanwege de beperkte tijdsduur, periode in het jaar en wellicht ook de invloed van de economische crisis op de omvang van het wegverkeer. Er zijn (nog) geen vergelijkingen gemaakt met resultaten op basis van de wettelijke rekenmethoden, zodat geen harde uitspraak gedaan kan worden in hoeverre rond deze tunnelmond de wettelijke grenswaarden overschreden worden. Aanbevolen wordt om de meetresultaten naast dergelijke rekenresultaten te leggen.

Ten slotte, de metingen zijn uitgevoerd bij een specifieke tunnel. De resultaten lijken er op te duiden dat de problematiek rond tunnelmonden niet overschat moet worden. Echter, op basis van één specifieke tunnelmond kunnen geen algemene conclusies getrokken worden. Daarvoor zou op zijn minst inzicht moeten zijn in de resultaten van enkele andere tunnelmonden.

4.4 Conclusies 'Verspreiding van emissie bij (bestaande) tunnelmonden'

Op basis van bovenstaande kunnen voor het thema 'verspreiding van emissies bij (bestaande) tunnelmonden' de volgende conclusies worden getrokken:

Met betrekking tot de beschikbare modellen

- Er is ruimte voor verbetering van de Nederlandse rekenmethoden. Of dat een eigen ontwikkeling dan wel overnemen van bestaande rekenmethoden moet zijn zal nader moeten worden bestudeerd.
- Het is wenselijk de inzet van passieve maatregelen (= die geen energie kosten) te vergroten, door verschillende beschikbare maatregelen goed kwantificeerbaar te maken kan er een betere afweging worden gemaakt om dit doel te bereiken.
- Rekenresultaten moeten worden gevalideerd en de betrouwbaarheid van rekenmodellen moet worden vastgesteld.
- modellering inzake luchtberekeningen voor tunnelmonden (inclusief maatregelen) moet worden geüniformeerd en in de Regeling beoordeling luchtkwaliteit worden vastgelegd. Op deze wijze ontstaat een duidelijk en voor ieder toepasbaar juridisch kader.

Praktijkmetingen Wijkertunnel 2009

- De absolute concentraties NO₂ direct aan de rand van de tunnelmond zijn hoger dan circa 100 µg/m³. De gemeten concentraties op de meetlocaties op grotere afstand (10 tot 100 m) rond de verdiept gelegen rijbanen naar de tunnelmond zijn in absolute zin waarschijnlijk vergelijkbaar met concentraties langs snelwegen in een landelijke omgeving. Dit geldt zowel voor NO₂ als voor PM₁₀.
- Er zijn (nog) geen vergelijkingen gemaakt met resultaten op basis van de wettelijke rekenmethoden.
- Het betroffen metingen bij één tunnel gedurende een beperkte tijd. Het is daarom niet mogelijk algemene conclusies te trekken.

5 Beoordelingsmatrix

5.1 Fase II: Opstellen beoordelingsmatrix

Al eerder is beschreven dat wanneer een weg wordt overkapt door een gesloten overkapping, de omgeving van de weg niet meer wordt blootgesteld aan de verkeersemissies. De verontreinigde lucht komt echter bij de 'tunnelmonden' vrij. Dat betekent dat de tunnelmonden extra belaste plaatsen zijn. Er is een kans dat de normen voor luchtkwaliteit daar worden overschreden. Door het nemen van maatregelen (gedoseerde emissie, luchtbehandeling) is het in principe mogelijk om de concentraties in de lucht voor de omgeving te verlagen tot de gewenste waarde.

Omdat er veel keuzemogelijkheden zijn voor een overkapping, heeft IPL in fase II van deze onderzoeken een instrument ontwikkeld, de 'beoordelingsmatrix' om inzicht te krijgen welk soort overkapping in welke situatie het meest geschikt is. Met behulp van de beoordelingsmatrix wordt ondermeer inzicht gegeven in het effect dat een bepaald type overkapping heeft op een bepaalde locatie. Daarnaast wordt inzicht gegeven in de indicatieve kosten van het type overkapping en kunnen de effecten van luchtbehandeling worden meegenomen. Op basis van deze informatie kunnen wegeigenaren (gemeenten, provincies en Rijkswaterstaat) beoordelen of een overkapping een geschikte of doelmatige maatregel is om de luchtkwaliteit te verbeteren. Op basis van deze beoordeling kan vervolgens één of meerdere ontwerpen verder uitgewerkt worden.

De in 2007 ontwikkelde beoordelingsmatrix geeft op gestructureerde wijze inzicht in het effect en de kosten van een bepaald type overkapping in karakteristieke situaties. Tevens wordt nagegaan aan welke veiligheidseisen lichte overkappingen moeten voldoen en welke voorzieningen hiervoor getroffen moeten worden. Naast aandacht voor realisatie van nieuwe overkappingen is in de matrix aandacht besteed aan de situaties bij (bestaande) tunnelmonden.

De achtergrond voor de totstandkoming van de matrix en de methodiek die is gebruikt is beschreven in het rapport "Opstellen beoordelingsmatrix met configuraties overkappingen en luchtbehandeling"¹¹. Om de beoordelingsmatrix gebruikersvriendelijker te maken zijn twee software tools (excel worksheets) ontwikkeld. Er is een software tool ontwikkeld specifiek voor gebruik bij tunnelmonden en er is een software tool voor alle andere mogelijke configuraties. Deze software tools zijn te vinden op de bijgeleverde cd-ROM. Voor het gebruik van de software tools zijn een tweetal handleidingen opgesteld^{12, 13}. In die handleidingen wordt toegelicht hoe de verschillende beoordelingstabellen gebruikt kunnen worden om te bepalen of een overkapping een geschikte oplossing is voor een lokaal luchtkwaliteitsprobleem.

5.2 Beoordelingsmatrix bij configuraties overkappingen en luchtbehandeling

5.2.1 *Doel beoordelingstabellen*

De beoordelingstabellen geven op gestructureerde wijze inzicht in onder andere de effecten en de kosten van vijf verschillende typen overkappingen ('overkappingsconfiguraties'). Omdat de effecten en de kosten mede afhankelijk zijn van de omgevingskenmerken van de te onderzoeken locatie, zijn er vier karakteristieke situaties beschouwd.

Met de beoordelingstabellen kunnen wegeigenaren en wegbeheerders (gemeenten, provincies, Rijkswaterstaat) snel en eenvoudig beoordelen of het overkappen van een (snel)weg een geschikte en/of doelmatige maatregel is om de luchtkwaliteit te verbeteren.

5.2.2 *Uitgangspunten beoordeling*

Dit hoofdstuk geeft een samenvatting van de uitgangspunten die zijn gehanteerd binnen het achterliggende onderzoek uit 2007¹¹. Ook worden de verschillende beoordelingscriteria en de twee typen tabellen toegelicht.

Criteria

De beoordelingstabellen geven inzicht in de volgende beoordelingscriteria:

- Effect op de luchtkwaliteit (verandering verkeersbijdrage):
 - stikstofdioxide (NO₂);
 - fijn stof (PM₁₀);
- Kosten:
 - investeringskosten;
 - onderhoudskosten (jaarlijks);
 - Life-cycle kosten (10 jaar);
 - kosteneffectiviteit;
 - veiligheid.

Beschouwde overkappingsconfiguraties

Binnen het achterliggende onderzoek is gebruik gemaakt van verschillende overkappingconfiguraties. Deze configuraties hebben een onderscheidend effect op de verspreiding van de emissie. De betreffende configuraties zijn:

1. volledig gesloten overkapping;
2. overkapping met een sleuf in het dak;
3. overkapping met in het midden een hoge schoorsteen;
4. overkapping met aan beide tunnelmonden een hoge schoorsteen;
5. overkapping met over de hele lengte een vijftal lagere schoorstenen.

Daarnaast zijn de situaties beschouwd waarbij de configuraties 1, 3, 4 en 5 zijn aangevuld met luchtzuivering

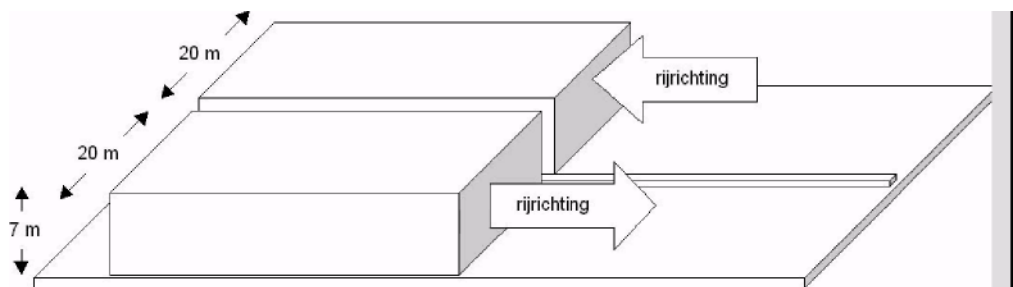
Opmerking: In paragraaf 2.1 zijn lichte overkappingen beschouwd, maar de aangepaste configuraties kunnen in veel gevallen ook worden toegepast op zwaardere overkappingen.

Uitgangspunten bij vormgeving overkappingen

De afmeting van de overkapping is in alle configuraties gelijk. Voor de breedte van de overkapping is uitgegaan van een rijksweg van twee rijbanen met elk drie rijstroken en een vluchtstrook. Inclusief de benodigde ruimte voor de constructie van de overkapping is de benodigde overspanning vastgesteld op 40 meter. De lengte is vastgesteld op 1.000 meter en de hoogte bedraagt 7 meter (doorrijhoogte 5 meter + 2 meter constructiehoogte). In verband met de gewenste luchtstroming wordt de overkapping uitgevoerd met een in twee aparte delen gescheiden overkapping ('tunnelbuizen').

Figuur

Uitgangspunten overkapping
in Beoordelingsmatrix



Met uitzondering van de overkapping met een sleuf in het midden, kunnen de overkappingen ook worden uitgerust met een (nader te bepalen) systeem voor emissiebehandeling. Een dergelijk systeem kan een bepaald deel van de lucht zuiveren.

Uitgangspunten bij zuiveringssystemen (zie ook hoofdstuk 3)

Binnen het achterliggende onderzoek is uitgegaan van:

- een systeem dat in staat is om 50 % van de emissievracht te behandelen;
- bij configuratie 1 wordt de lucht behandeld die aan de tunnelmonden wordt uitgestoten;
- bij configuratie 2 wordt de totale emissie gelijkmatig via het dak van de overkapping uitgestoten;
- bij configuratie 3, 4 en 5 wordt de lucht behandeld die door de schoorstenen wordt afgevoerd;
- op de te behandelen emissievracht (50 % van totaal) zijn met betrekking tot de zuiveringsrendementen de volgende aannames gemaakt:
 - 95 %
 - 80 %
 - 50 %

Opgemerkt wordt dat het aannames betreffen, zodanig dat de gevoeligheid van verschillende parameters zichtbaar worden. Voor een concrete situatie zal vastgesteld moeten worden in hoeverre de feitelijke situatie overeenkomt met de aannames en op welke wijze dit kan worden gerealiseerd.

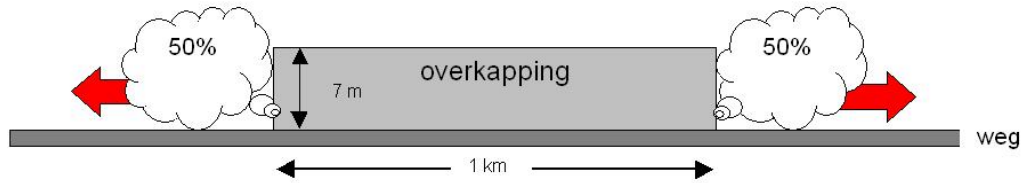
De volgende configuraties zijn onderzocht.

Configuratie 1: volledig gesloten overkapping

In configuratie 1 wordt er een volledig gesloten overkapping over de weg geplaatst. In deze situatie wordt aan elke tunnelmond 50 % van de totale emissie uitgestoten. In onderstaande afbeelding is deze situatie weergegeven.

Figuur
Beoordelingsmatrix:
configuratie 1

Configuratie 1



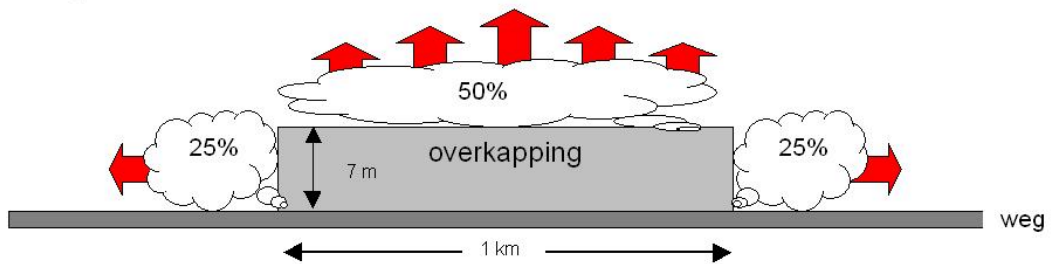
Configuratie 2: overkapping met een sleuf in het dak

Het dak van de overkapping van configuratie 2 bevat een sleuf die er voor zorgt dat 50 % van de totale emissie gelijkmatig via het dak van de overkapping wordt uitgestoten. De beide tunnelmonden stoten ieder 25 % van de totale emissie uit. Het is niet mogelijk een overkapping met een sleuf in het dak te voorzien van een systeem voor zuivering.

Deze situatie is weergegeven in de volgende afbeelding.

Figuur
Beoordelingsmatrix:
configuratie 2

Configuratie 2

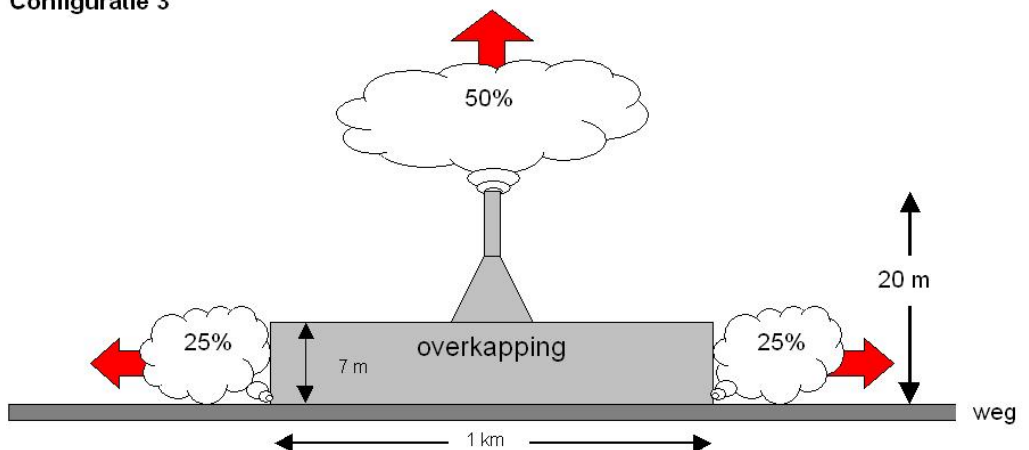


Configuratie 3: overkapping met in het midden een hoge schoorsteen

Bij configuratie 3 wordt er in het midden een schoorsteen geplaatst die er voor zorgt dat 50 % van de emissie met een uitstroomsnelheid van 10 m/s op een hoogte van 20 meter boven maaiveld wordt uitgestoten. De overige 50 % wordt door beide tunnelmonden uitgestoten. In onderstaande afbeelding is de situatie weergegeven.

Figuur
Beoordelingsmatrix:
configuratie 3

Configuratie 3

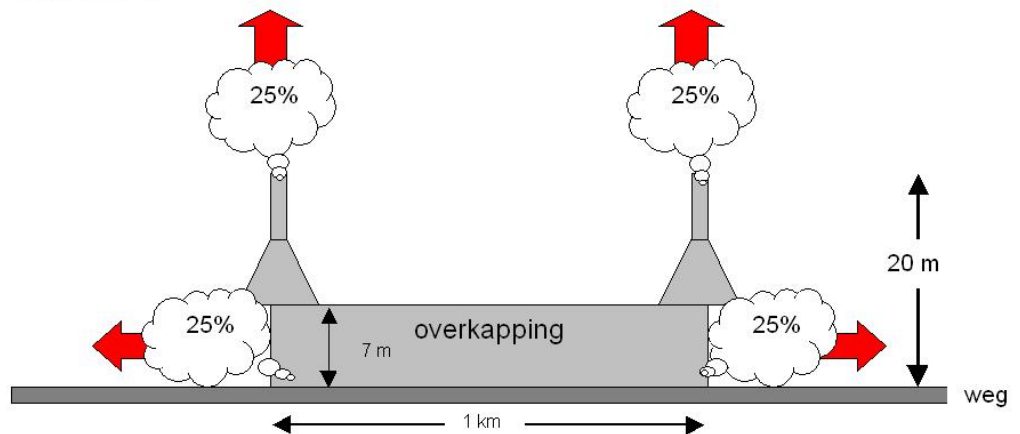


Configuratie 4: overkapping met aan beide tunnelmonden een hoge schoorsteen

Bij configuratie 4 worden er aan beide tunnelmonden schoorstenen geplaatst die er voor zorgen dat de 50 % van de emissie (25 % per tunnelmond) met een uitstroomsnelheid van 10 m/s op een hoogte van 20 meter boven maaiveld wordt uitgestoten. De beide tunnelmonden stoten ieder nog 25 % uit. De situatie is weergegeven in onderstaande afbeelding.

Figuur
Beoordelingsmatrix:
configuratie 4

Configuratie 4

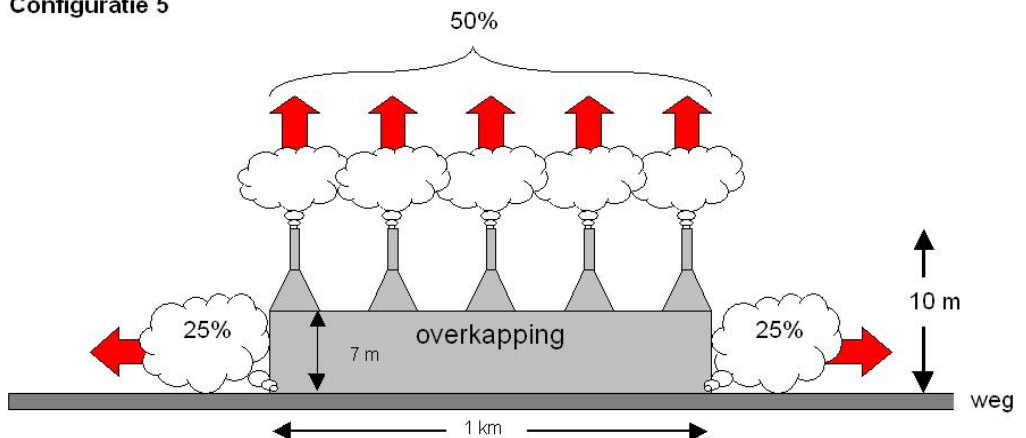


Configuratie 5: overkapping met over de hele lengte een vijftal lagere schoorstenen

Bij configuratie 5 worden er over de hele lengte van de overkapping vijf schoorstenen geplaatst die er gezamenlijk voor zorgen dat 50 % van de emissie met een uitstroomsnelheid van 10 m/s wordt uitgestoten op een hoogte van 10 meter boven maaiveld. Aan elke tunnelmond wordt 25 % van de totale emissie uitgestoten. De situatie is weergegeven in onderstaande afbeelding.

Figuur
Beoordelingsmatrix:
configuratie 5

Configuratie 5



Configuraties overkapping met een systeem voor het afvangen van NO₂ en PM₁₀

Bij deze configuraties wordt een overkapping voorzien van een systeem voor emissiebehandeling waarmee een bepaald deel van de lucht kan worden gezuiverd. Ter illustratie is in onderstaande afbeelding schematisch weergegeven hoe de configuraties er in alle gevallen uit komen te zien. Het blauwe wolkje in deze afbeelding geeft weer welk deel van de lucht gezuiverd wordt.

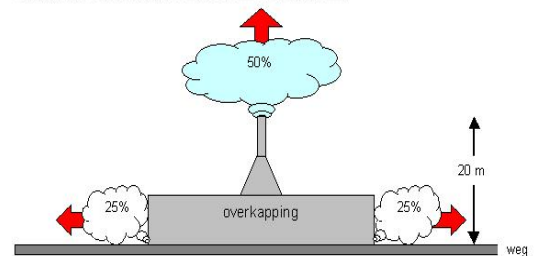
Figuren

Beoordelingsmatrix:
configuraties met
luchtreiniging voor NO_x en
PM₁₀

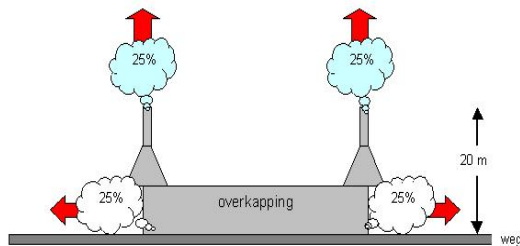
Configuratie 1 met een systeem voor emissiebehandeling



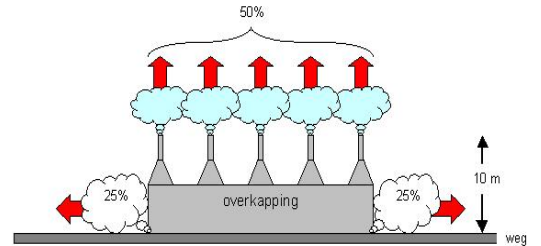
Configuratie 3 met een systeem voor emissiebehandeling



Configuratie 4 met een systeem voor emissiebehandeling



Configuratie 5 met een systeem voor emissiebehandeling



Naast eerdergenoemde uitgangspunten is er met het oog op het belang van de verdunning en de verspreiding ook gevarieerd in de hoogte en de uitstroomsnelheid van de schoorstenen. Als alternatief voor de basishoogte van 20 meter is er voor configuratie 3 en 4 gekeken naar het effect van een schoorsteen van 10, 30 en 40 meter boven maaiveld. Als alternatief voor de basis uitstroomsnelheid van 10 m/s is er voor configuratie 3, 4 en 5 ook gekeken naar het effect van een uitstroomsnelheid van 5 m/s en 1 m/s. Daarnaast is er voor configuratie 4 ook gekeken naar het effect van een 10 meter lagere schoorsteen in combinatie met een uitstroomsnelheid van 5 m/s.

In de navolgende tabel zijn alle uitvoeringsvarianten weergegeven.

	volledig gesloten overkapping 1	sleuf in het dak 2	schoorsteen in het midden 3	schoorsteen op beide tunnelmonden 4	vijf kleine schoorstenen 5
a basisvariant	x	x	x	x	x
varianten met luchtbehandeling					
b met een hoog rendement (95%)	x		x	x	x
c met een gemiddeld rendement (80%)	x		x	x	x
d met een laag rendement (50%)	x		x	x	x
varianten met andere ventilatie					
e met een uitstroomsnelheid van 5 m/s			x	x	x
f met een uitstroomsnelheid van 1 m/s			x	x	x
varianten met andere schoorsteenhoogte					
g met een 10 meter hoge schoorsteen			x	x	
h met een 30 meter hoge schoorsteen			x	x	
i met een 40 meter hoge schoorsteen			x	x	
combi-variant					
j schoorsteenhoogte 10 m en uitstroomsnelheid van 5 m/s				x	

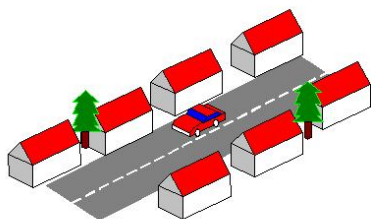
Vier karakteristieke situaties

De volgende karakteristieke situaties zijn onderzocht:

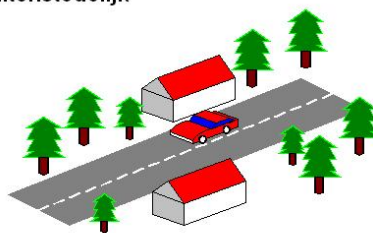
- binnenstedelijk (veel luchtstroombelemmerende objecten - matige verspreiding);
- buitenstedelijk (vrije veld - goede verspreiding);
- verdiepte ligging (slechte verspreiding);
- bestaande tunnelmond (hoge concentratie). Omdat tijdens het opstellen van de beoordelingsmatrix bleek dat voor deze probleemsituatie een andere beoordelingsmethodiek nodig is, is door IPL voor deze specifieke situatie een separate beoordelingsmatrix ontwikkeld (zie ook paragraaf 4.3).

Figuur
Beoordelingsmatrix:
karakteristieke situaties

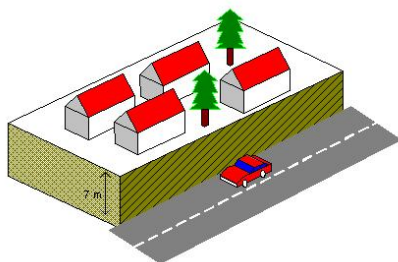
Binnenstedelijk



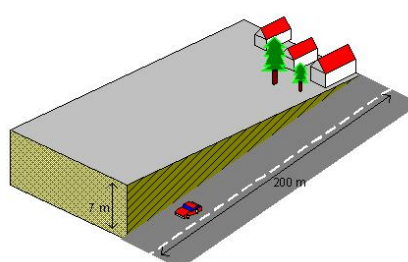
Buitenstedelijk



Verdiepte ligging



Bestaande tunnelmond



5.2.3

Beoordelingscriteria

De beoordelingsmatrix beoordeelt de effecten aan de hand van een viertal criteria:

1. effect op de luchtkwaliteit;
2. kosten;
3. kosteneffectiviteit;
4. benodigde moeite om te voldoen aan de veiligheidseisen.

Hieronder wordt nader ingegaan op de vier criteria. Voor een uitvoeriger beschrijving van de uitgangspunten die zijn gehanteerd bij het opstellen van de criteria wordt verwezen naar de handleiding van de beoordelingsmatrix¹².

Ad1) effect op de luchtkwaliteit

Het effect op de luchtkwaliteit wordt weergegeven aan de hand van de procentuele verandering van de verkeersbijdrage NO₂ en PM₁₀. Hiertoe zijn representatieve locaties (receptorpunten) ter hoogte van de overkapping en nabij de tunnelmond gekozen waar de gevolgen van de overkapping zijn gekwantificeerd. De receptorpunten liggen op 25 meter afstand van het midden van de weg (= 10 meter afstand van de rand van de weg) en op 20 meter afstand van de zuiderlijk gelegen tunnelmond. Deze afstand van 20 meter is gekozen omdat op dit punt de concentratiebijdrage maximaal is. Door te kijken naar de relatieve verandering van de verkeersbijdrage is het mogelijk om het effect van een overkapping te vergelijken met bijvoorbeeld verkeersmaatregelen zoals Dynamisch Verkeersmanagement (DVM).

De resultaten zijn gebaseerd op gedetailleerde luchtkwaliteitsberekeningen (ADMS-Urban) op één karakteristiek verondersteld stuk snelweg (zie kader uitgangspunten bij bepalen effect op de luchtkwaliteit). Hoewel de vormgeving van de weg, de omgeving en de inpasbare lengte van een overkapping in de praktijk doorgaans zal afwijken van deze uitgangssituatie, geven de resultaten wel een betrouwbare indicatie van de te verwachten effecten op de luchtkwaliteit als gevolg van de overkapping.

Ad2) kosten

Omdat de uiteindelijke kosten van een overkapping afhankelijk zijn van tal van factoren, is gebruik gemaakt van onderstaande kostenposten. Er wordt onderscheid gemaakt tussen:

- 1) investeringskosten
 - bouw van de overkapping
 - aanschaf systeem voor emissiebehandeling
 - realisatie van veiligheidsvoorzieningen
- 2) jaarlijkse kosten: kosten voor onder andere energie en onderhoud

Vanuit 1) en 2) volgen de *life cycle kosten*: totale kosten bij een economische levensduur van 10 jaar

Ad3) kosteneffectiviteit

De kosteneffectiviteit geeft inzicht in de verhouding tussen de kosten en het verkregen effect. Hoe hoger de kosteneffectiviteit, hoe meer effect er optreedt per euro. De kosteneffectiviteit wordt ingedeeld in drie klassen. In de matrix wordt aangegeven in welke klasse de configuratie valt. Hierbij wordt de volgende klassenindeling gehanteerd.

>2	hoge kosteneffectiviteit
1 - 2	gemiddelde kosteneffectiviteit
<1	lage kosteneffectiviteit

Ad4) Benodigde moeite om te voldoen aan de veiligheidseisen

Uitgangspunt bij de lichtgewicht overkappingen is dat deze voldoen aan de wettelijke veiligheidseisen. In de beoordelingsmatrix zal kwalitatief worden aangegeven hoeveel 'moeite' het kost om aan deze veiligheidseisen te voldoen. Hierbij wordt de volgende klassenindeling gehanteerd:

--	veel moeite
-	weinig moeite
0	geen moeite

Twee typen tabellen

In de handleiding behorend bij de beoordelingsmatrix worden twee typen tabellen gepresenteerd, te weten:

- per beoordelingscriterium inzicht in alle overkappingsconfiguraties;
- per overkappingsconfiguratie inzicht in alle beoordelingscriteria.

Het is afhankelijk van het gewenste inzicht welke tabel gebruikt moet worden. Wanneer men bijvoorbeeld wil weten welke overkappingsconfiguraties goed scoren op de luchtkwaliteit nabij de tunnelmonden of wanneer men juist wil weten wat de goedkoopste overkappingsconfiguratie is, is het handig om de resultaten gesorteerd per criterium te kunnen bekijken. Deze mogelijkheid bieden de tabellen waarin per beoordelingscriterium inzicht wordt gegeven in alle overkappingsconfiguraties. Wanneer men echter reeds een specifieke overkappingsconfiguratie in gedachten heeft en men benieuwd is naar de (neven)effecten en de kosten van dit type overkapping, dan is het handig om van de betreffende configuratie alle beoordelingscriteria op een rij te krijgen. Deze mogelijkheid bieden de tabellen waarin per overkappingsconfiguratie inzicht wordt gegeven in alle beoordelingscriteria.

Per beoordelingscriterium inzicht in alle overkappingsconfiguraties

In onderstaande figuur is een voorbeeld gegeven van een tabel die per beoordelingscriterium (in dit geval de afname van de verkeersbijdrage van NO₂ ter hoogte van de overkapping) inzicht geeft in de resultaten van de verschillende overkappingsconfiguraties (in dit geval voor de situatie 'Verdiepte ligging').

In dit voorbeeld is bijvoorbeeld te zien dat van de basisvarianten de variant met een sleuf in het dak, met in het midden een schoorsteen en de schoorsteen op beide tunnelmonden het grootste effect heeft (-83 %) en dat de verschillende uitvoeringsvarianten geen toegevoegde waarde hebben.

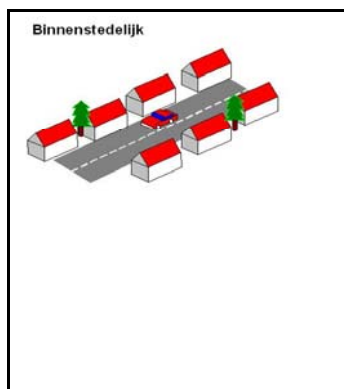
	volledig gesloten overkapping 1	sleuf in het dak 2	schoorsteen in het midden 3	schoorsteen op beide tunnelmonden 4	vijf kleine schoorstenen 5
a basisvariant	-81%	-83%	-83%	-83%	-82%
varianten met luchtbehandeling					
b met een hoog rendement (95%)	-83%		-83%	-83%	-83%
c met een gemiddeld rendement (80%)	-83%		-83%	-83%	-83%
d met een laag rendement (50%)	-82%		-84%	-83%	-83%
varianten met andere ventilatie					
e met een uitstroomsnelheid van 5 m/s			-83%	-82%	-82%
f met een uitstroomsnelheid van 1 m/s			-83%	-82%	-77%
varianten met andere schoorsteenhoogte					
g met een 10 meter hoge schoorsteen			-83%	-82%	
h met een 30 meter hoge schoorsteen			-83%	-83%	
i met een 40 meter hoge schoorsteen			-83%	-83%	
combi-variant					
j schoorsteenhoogte 10 m en uitstroomsnelheid van 5 m/s				-82%	

Tevens kunnen de kostenkennallen geraadpleegd worden voor de verschillende scenario's met de matrix berekend worden waar dan uiteindelijk een voorkeursvariant gekozen kan worden.

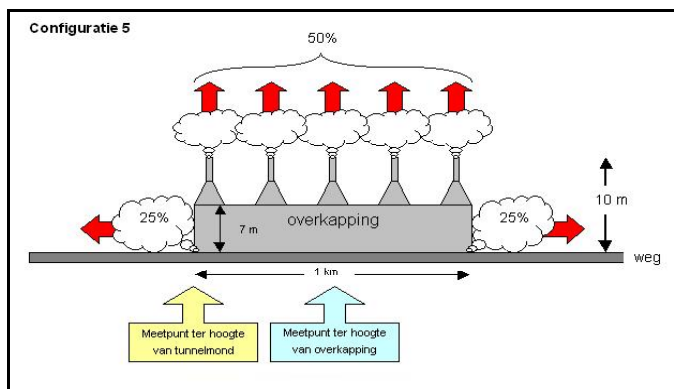
Per overkappingsconfiguratie inzicht in alle beoordelingscriteria

In onderstaande figuur is een voorbeeld gegeven van een tabel die per overkappingsconfiguratie (in dit geval een overkapping met een vijftal lagere schoorstenen in een binnenstedelijke situatie) inzicht geeft in de resultaten van de verschillende beoordelingscriteria.

In dit voorbeeld is te zien dat de basisvariant het grootste effect heeft, dat een variant met een hoog rendement van luchtbehandeling een lage kosteneffectiviteit kent en dat er geen onderscheid is in de moeite om te voldoen aan de veiligheidsaspecten.



Binnenstedelijk



configuratie 5. vijf kleine schoorstenen

basisvariant
- 10 meter boven maaiveld;
- uitstroomsnelheid 10 m/s;
- geen luchtbehandeling.

Effect luchtkwalitei	NO2	PM10
t.h.v. overkapping	-82%	-95%
t.h.v. tunnelmond	73%	144%
kosteneffectiviteit	5,1	5,9

Kosten (min €)	
Investeringskosten	16
Jaarlijkse kosten	0,0
Life Cycle kosten	16

Veiligheid	
moete	-

varianten met luchtbehandeling
met een hoog rendement (95% reductie NO ₂ en PM10)
met een gemiddeld rendement (80% reductie NO ₂ en PM10)
met een laag rendement (50% reductie NO ₂ en PM10)

Effect luchtkwalitei	NO2	PM10
t.h.v. overkapping	-83%	-96%
t.h.v. tunnelmond	72%	144%
kosteneffectiviteit	1,6	1,9

Kosten	
Investeringskosten	35
Jaarlijkse kosten	1,6
Life Cycle kosten	51

Veiligheid	
moete	-

Effect luchtkwalitei	NO2	PM10
t.h.v. overkapping	-83%	-96%
t.h.v. tunnelmond	72%	144%
kosteneffectiviteit	1,7	1,9

Kosten	
Investeringskosten	35
Jaarlijkse kosten	1,5
Life Cycle kosten	50

Veiligheid	
moete	-

Effect luchtkwalitei	NO2	PM10
t.h.v. overkapping	-83%	-95%
t.h.v. tunnelmond	72%	144%
kosteneffectiviteit	1,7	2,0

Kosten	
Investeringskosten	34
Jaarlijkse kosten	1,4
Life Cycle kosten	48

Veiligheid	
moete	-

varianten met andere ventilatie
met een uitstroomsnelheid van 5 m/s
met een uitstroomsnelheid van 1 m/s

Effect luchtkwalitei	NO2	PM10
t.h.v. overkapping	-82%	-94%
t.h.v. tunnelmond	73%	144%
kosteneffectiviteit	2,7	3,1

Kosten	
Investeringskosten	22
Jaarlijkse kosten	0,8
Life Cycle kosten	30

Veiligheid	
moete	-

Effect luchtkwalitei	NO2	PM10
t.h.v. overkapping	-77%	-88%
t.h.v. tunnelmond	77%	150%
kosteneffectiviteit	2,3	2,6

Kosten	
Investeringskosten	26
Jaarlijkse kosten	0,8
Life Cycle kosten	34

Veiligheid	
moete	-

In de handleiding behorend bij de beoordelingsmatrix is voorts nog een stappenplan opgenomen dat doorlopen kan worden en waarbij, afhankelijk van het type knelpuntsituatie en het soort inzicht dat gewenst is, de route wordt gegeven die leidt naar de verschillende tabellen. Verder zijn in de handleiding een aantal voorbeelden gegeven die illustreren hoe de gewenste informatie in de verschillende tabellen kan worden opgezocht. Daarnaast zijn in de handleiding de verschillende tabellen opgenomen.

De opgestelde beoordelingsmatrix

De beoordelingstabellen zijn digitaal te raadplegen (zie cd-rom).

5.3 Beoordelingsmatrix bij (bestaande) tunnelmonden

Naast de beoordelingsmatrix voor algemene situaties die is beschreven in paragraaf 5.2 is door IPL een beoordelingsmatrix ontwikkeld die specifiek gericht is op de situatie bij (bestaande) tunnelmonden. In het bijzonder is gekeken naar de situatie waarbij een tunnelmond wordt verlengd door middel van een (lichte) overkapping. Aan de hand van de beoordelingsmatrix kunnen probleemgebruikers (gemeenten, provincies, Rijkswaterstaat) snel en eenvoudig beoordelen of het verlengen van een bestaande tunnel een geschikte maatregel is om de luchtkwaliteit aan de tunnelmond te verbeteren.

In de handleiding van de beoordelingsmatrix, wordt aandacht besteed aan de uitgangspunten bij de berekeningen en worden rekenresultaten gepresenteerd voor de referentiesituatie¹³. Ook wordt beschreven hoe, met behulp van de software tool, inzicht kan worden verkregen in de effecten op een door de gebruiker gespecificeerde tunnelmondsituatie.

5.3.1 *Uitgangspunten beoordeling*

In totaal zijn er twaalf verschillende overkappingsvarianten voor tunnelmonden benoemd (zie onderstaande tabel).

1. Verlenging met een sleuf		
A	100 meter	25 % uitstroom via dak
B	100 meter	50 % uitstroom via dak
C	100 meter	75 % uitstroom via dak
D	200 meter	25 % uitstroom via dak
E	200 meter	50 % uitstroom via dak
F	200 meter	75 % uitstroom via dak
2. Verlenging met doseerpunten		
A	100 meter	25 % uitstroom via dak
B	100 meter	50 % uitstroom via dak
C	100 meter	75 % uitstroom via dak
D	200 meter	25 % uitstroom via dak
E	200 meter	50 % uitstroom via dak
F	200 meter	75 % uitstroom via dak

5.3.2 *Beoordelingscriteria*

De beoordelingsmatrix beoordeelt de effecten aan de hand van een drietal criteria:

1. effect op de luchtkwaliteit;
2. kosten;
3. kosteneffectiviteit.

Het aspect veiligheid is bij deze matrix niet nader beschouwd, omdat de benodigde veiligheidsvoorzieningen al in de tunnel aanwezig zijn.

Ad1) Effect op de luchtkwaliteit

Met behulp van ADMS-Urban zijn op verschillende doorsneden de concentraties NO₂ en PM₁₀ bepaald. Ten behoeve van de kosteneffectiviteit zijn de effecten op enkele representatieve receptorpunten bepaald. Deze receptorpunten liggen op 25 meter afstand van het midden van de weg (= 10 meter afstand van de rand van de weg) en op 20 meter afstand van de zuidelijk gelegen tunnelmond. Deze afstand van 20 meter is gekozen omdat op dit punt de concentratiebijdrage maximaal is.

Ad2) Kosten

Omdat de uiteindelijke kosten van een overkapping afhankelijk zijn van tal van factoren, is gebruik gemaakt van kostenkengetallen die de orde van grootte van de kosten weergeven. Er wordt onderscheid gemaakt tussen:

- 1) investeringskosten
 - bouw van de overkapping
 - aanschaf systeem voor emissiebehandeling
 - realisatie van veiligheidsvoorzieningen
- 2) jaarlijkse kosten: kosten voor onder andere energie en onderhoud

Vanuit 1) en 2) volgen de *life cycle kosten*: totale kosten bij een economische levensduur van 10 jaar

Ad3) Kosteneffectiviteit

De kosteneffectiviteit geeft inzicht in de verhouding tussen de kosten en het verkregen effect en wordt berekend met de volgende formule:

kosteneffectiviteit = verbetering luchtkwaliteit / Life cycle kosten

De genoemde verbetering van de luchtkwaliteit is de relatieve verandering van de verkeersbijdrage aan de nieuwe tunnelmond ten opzicht van de oude tunnelmond.

5.3.3

Software tool beoordelingsmatrix tunnelmonden

Met behulp van de digitale beoordelingsmatrix kan inzicht worden gekregen in de volgende punten:

- reguliere verkeersbijdrage (van de weg, maar zonder tunnelmondeffect);
- verkeersbijdrage ter hoogte van de bestaande tunnelmond (vóór ingreep);
- totale concentratie ter hoogte van de bestaande tunnelmond (vóór ingreep);
- verkeersbijdrage ter hoogte van de nieuwe tunnelmond (na ingreep);
- totale concentratie ter hoogte van de nieuwe tunnelmond (na ingreep);
- Life cycle kosten;
- kosteneffectiviteit.

De inzichten worden gepresenteerd voor de overkapping met de doseerpunten en de overkapping met een sleuf in het dak. Met behulp van de digitale beoordelingsmatrix kan worden beoordeeld of het verlengen van een bestaande tunnel een geschikte maatregel is om de luchtkwaliteit aan de tunnelmond te verbeteren. De digitale beoordelingsmatrix is opgenomen op de cd-ROM behorend bij deze rapportage.

6 Conclusies en aanbevelingen

Op basis van de uitgevoerde onderzoeken komen binnen het project 'Overkappen en luchtbehandeling' de volgende conclusies en aanbevelingen naar voren:

Voor het thema 'Overkappen'

Algemeen

- Wanneer een (snel)weg wordt uitgevoerd met een (lichte) overkapping zal de omgeving van de weg niet direct worden blootgesteld aan verontreiniging ten gevolge van de weg. Het aanbrengen van een (lichte) overkapping is dan ook een mogelijke oplossing om een locatie met woningen en andere gevoelige bestemmingen te ontwikkelen waar het anders, op grond van bestaande wetgeving, niet mogelijk is om ontwikkelingen uit te voeren.
- 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. Als dit het geval is, zullen maatregelen nodig zijn, bijvoorbeeld behandeling van de verontreinigde tunnellucht of het toepassen van constructies waardoor het mogelijk is de lucht te verdunnen, om aan de luchtkwaliteitsnormen te voldoen.

Onderzochte constructies

- Constructietechnisch gezien is het mogelijk een (lichte) overkapping te bouwen met een gegarandeerde levensduur van 30 jaar.
- De geraamde kostprijs voor een (lichte) overkapping varieert –afhankelijk van het toegepaste ontwerp- van €6.000.000/km tot €65.000.000/km (opmerking: de kosten van €6.000.000/km zijn te laag ingeschat omdat er bij deze kostenbepaling geen ontwikkel- en voorbereidingskosten zijn meegenomen). De geraamde kostprijs betreft alleen kosten die betrekking hebben op de overkapping zelf (geen tunneltechniek, bewegwijzering, verlichting, luchtbehandeling, kosten van specifieke veiligheidseisen en operationele kosten).
- Nader onderzoek moet nog worden uitgevoerd op de aspecten temperatuur/energielevering, veiligheid en vergunningstrajecten. Daarnaast verdient het aanbeveling om bij het toepassen van een (lichte) overkapping een uitgebreid monitoringsprogramma op te zetten, waarbij onder andere gelet wordt op: vervuiling van binnen- en buitenkant, gedrag van weggebruikers, vandalisme en rendement luchtbehandeling.

Rendabele toepassingssituaties

- De meerwaarde van het toepassen van een (lichte) overkapping is naar verwachting het hoogst op locaties in een grootstedelijke omgeving waar:
 - dicht bij de weg ruimte is en de wens bestaat om (met name) woningen te bouwen
 - zonder voorzieningen voor geluid, veiligheid en luchtkwaliteit geen woningbouw mogelijk is op een strook van enige omvang naast de snelweg
 - de grondopbrengsten per m² de €220 overstijgt
 - hogere gebouwen worden gerealiseerd

Aandachtspunten bij overkappen

De volgende aandachtspunten bestaan nog bij het toepassen van een lichte overkapping. Binnen het IPL zijn deze aandachtspunten niet verder onderzocht.

- Veiligheid: op welke manier kan het beste worden voldaan aan de eisen die in de Tunnelwet staan.
- Juridische haalbaarheid: in hoeverre kan een overkapping worden gerealiseerd wanneer in het (ontwerp)tracébesluit gerekend is met schermen.

Voor het thema 'Luchtbehandeling'

Algemeen

- Het verdunnen van de verontreinigde lucht (door middel van ventilatie, schoorstenen of sleuven) 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 de tunnel of bij een overkapte weg is mogelijk, maar is vanwege de kosten en de milieubalans minder voor de hand liggend. Er zijn 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.

Onderzochte concepten voor luchtbehandeling

- Het "Ballenbakfilter" is in theorie een interessant concept, maar de eerste praktijkmetingen wijzen uit dat er twijfels bestaan over de effectiviteit ervan.
- De praktijkmetingen in de Thomassentunnel wijzen uit dat er potentie is voor het Elektrostatisch concept om fijn stof in tunnels af te vangen. Nader onderzoek naar deze technologie is echter noodzakelijk.
- De proef op laboratoriumschaal laat zien dat NO_x-verwijdering uit lucht technisch goed mogelijk is met Corona-techniek. Nader onderzoek naar deze technologie is echter noodzakelijk.

Tunnelventilatieconcepten

- Uitgaande van concepten die de lucht in de tunnel "vasthouden" ontstaat de vraag hoe ver de concentraties luchtverontreiniging in de tunnel mogen oplopen. Er zijn momenteel geen wettelijke normen voor tunnels. Op grond van literatuurgegevens wordt een grenswaarde voor NO₂, de kritische parameter, in tunnels voorgesteld tussen 2.000 en 30.000 µg/m³. Andere componenten in de tunnellucht, zoals fijn stof en koolmonoxide, zijn niet kritisch bij het ventilatieconcept en kunnen beneden de voorgestelde grenswaarden voor tunnels worden gehouden.
- De onderzochte tunnelventilatiesystemen (op basis van respectievelijk tegenstroomventilatie en meestroomventilatie) zijn in staat om de lucht in de tunnel volledig vast te houden en te filteren.
- Een optimaal tunnelventilatieconcept zou mogelijk kunnen worden ontwikkeld door combinatie van de twee bovengenoemde modellen. Dit combinatiemodel zou het vertraagd meestroom model (hybride model) kunnen worden genoemd. In een eventueel vervolgonderzoek zou een nauwkeuriger modellering voor een gecombineerd model op kunnen worden gezet.

Voor het thema 'Verspreiding van emissie bij (bestaande) tunnelmonden'

Beschikbare modellen

- Er is ruimte voor verbetering van de Nederlandse rekenmethoden. Of dat een eigen ontwikkeling dan wel overnemen van bestaande rekenmethoden moet zijn zal nader moeten worden bestudeerd.
- Het is wenselijk de inzet van passieve maatregelen (= die geen energie kosten) te vergroten, door verschillende beschikbare maatregelen goed kwantificeerbaar te maken kan er een betere afweging worden gemaakt om dit doel te bereiken.
- Rekenresultaten moeten worden gevalideerd en de betrouwbaarheid van rekenmodellen moet worden vastgesteld.
- Modelleringsinzake luchtberekeningen voor tunnelmonden (inclusief maatregelen) moet worden geüniformeerd en in de Regeling beoordeling luchtkwaliteit worden vastgelegd. Op deze wijze ontstaat een duidelijk en voor ieder toepasbaar juridisch kader.

Praktijkmetingen Wijkertunnel 2009

- De absolute concentraties NO₂ direct aan de rand van de tunnelmond zijn hoger dan circa 100 µg/m³. De gemeten concentraties op de meetlocaties op grotere afstand (10 tot 100 m) rond de verdiept gelegen rijbanen naar de tunnelmond zijn in absolute zin waarschijnlijk vergelijkbaar met concentraties langs snelwegen in een landelijke omgeving. Dit geldt zowel voor NO₂ als voor PM₁₀.
- Er zijn (nog) geen vergelijkingen gemaakt met resultaten op basis van de wettelijke rekenmethoden.
- Het betroffen metingen bij één tunnel gedurende een beperkte tijd. Het is daarom niet mogelijk algemene conclusies te trekken.

Beoordelingsmatrix

De beoordelingsmatrix is een instrument voor wegeigenaren (gemeenten, provincies en Rijkswaterstaat) om inzicht te krijgen in het effect dat een bepaald type overkapping en opties voor luchtbehandeling hebben op een bepaalde locatie. Daarnaast wordt inzicht gegeven in de indicatieve kosten van het type overkapping. Op basis van deze informatie kan de wegeigenaar beoordelen of een overkapping een geschikte of doelmatige maatregel is om de luchtkwaliteit te verbeteren.

7 Literatuuroverzicht

Onderstaande rapportages zijn terug te vinden op de cd-rom in de achterkast van dit rapport.

- 1 (Innovatieatelier, 2005), Verslag Innovatieatelier 'Verbetering luchtkwaliteit bij tunnelmonden'
- 2 (CI Structures et al, 2005)
Lichtgewicht overkappen autosnelwegen, een eerste haalbaarheidsstudie
- 3 (Dix, A, 2006), Managing air outside of tunnels: contract No. 6400/3003
- 4 (TU Eindhoven en Booghal BV, 2006),
Toepassing van de booghal als overkapping van autowegen ter bestrijding van de fijn stof en NO₂ problematiek, rapport 64002919
- 5 (DHV en NIO Architecten, 2006)
Lichte overkapping voor autosnelwegen, DT-DE20060322
- 6 (COB, Van Daalen, A. en Jorg, O., 2006)
D10 Verbetering luchtkwaliteit rondom ondergrondse bouwwerken
- 7 (Bendall, E., Latham, S. en Fry, C., 2006)
IPL program: Innovatie dmv analyseren van patenten, UPR/IE/180/06
- 8 (Workshop, 2006), Verslag van workshop 'Grote (tunnel)projecten en luchtkwaliteit'
- 9 (TNO en BosVariant ScheppingsStrategen, 2006), GreenRoad
- 10 (Innovatieprogramma Luchtkwaliteit, Cornelissen, T., 2007)
Overkappen van wegen en luchtbehandeling, DWW-2007-009 (NB: IPL samenvatting van bovenstaande 9 documenten).
- 11 (Witteveen+Bos, Muntinga, J.K., 2007)
Opstellen beoordelingsmatrix met configuraties overkappingen en luchtbehandeling, RW1649-1/akkr/014
- 12 (Witteveen+Bos, Spanjer, T.J. en Groen, R.J.A., 2008)
Overkappen en luchtbehandeling, handleiding en beoordelingstabellen, DVS-2008-050
- 13 (Witteveen+Bos, Spanjer, T.J. en Groen, R.J.A., 2009)
Overkappingen bij tunnelmonden, RW1649-4
- 14 (DLA+, Derks, H.W.W en Naaijer, V., 2008), De Ballenbak, 4499
- 15 (Decisio BV, 2009), MKBA De Duurzame Weg Rotterdam
- 16 (Gemeente Rotterdam Gemeentewerken Ingenieursbureau, Stroeve, K. en Hewitt, F., 2009), De duurzame weg, contra-expertise, HT986
- 17 (TNO, Duyzer, J.H. en Voogt, M.H., 2009)
Praktijkonderzoek 'Elektrostatisch concept in Thomassentunnel', DVS-2009-015
- 18 (Oranjewoud, Smulders, R., 2009), Onderzoek NOx-verwijdering, Corona toepassing voor NOx verwijdering uit tunnellucht, 200765
- 19 (COB, Huijben, J.W., 2009), Literatuuronderzoek modellering emissieverspreiding bij tunnelportalen, 1031-09
- 20 (Oranjewoud, Smulders, B. 2009)
Onderzoek naar effecten van twee tunnelventilatieconcepten, 169605
- 21 (M+P, Oudelaar, J., Tollenaar, C. en Van Bon, T., 2009)
Onderzoek luchtkwaliteit, emissieverspreiding bij tunnelportalen, Wijkertunnel A9, M+P.COB.09.01
- 22 Rapportage luchtreiniging (Camfil), september 2006