

Overkappingen bij tunnelmonden

Deze rapportage geeft op gestructureerde wijze inzicht in de mogelijkheden van overkappingen om de luchtkwaliteit nabij tunnelmonden te verbeteren.

Augustus, 2009

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

Overkappingen bij tunnelmonden

Deze rapportage geeft op gestructureerde wijze inzicht in de mogelijkheden van overkappingen om de luchtkwaliteit nabij tunnelmonden te verbeteren.

Augustus, 2009

Colofon

1. Rapportnummer

3. Ontvanger catalogusnummer

5. Datum rapport

@@ augustus 2009

7. Schrijver(s)

ir. T.J. Spanjer

ir. R.J.A. Groen

9. Naam en adres opdrachtnemer

Witteveen+Bos

Alexanderstraat 21

Postbus 85948

2508 CP Den Haag

12. Naam en adres opdrachtgever

Rijkswaterstaat DVS

Van der Burghweg 1

Postbus 5044

2600 GA Delft

15. Opmerkingen

Aanvulling op rapport: 'Overkappen en Luchtbehandeling – Handleiding en beoordelingstabellen (2008)

17. Referaat

Deze rapportage geeft op gestructureerde wijze inzicht in de mogelijkheden van overkappingen om de luchtkwaliteit nabij tunnelmonden te verbeteren.

18. Distributie systeem

-

21. Aantal blz.

23. Acceptatie projectleider

25. Acceptatie afdelingshoofd IP

2. Serienummer

4. Titel en ondertitel

Maatregelen bij bestaande tunnelmonden – handleiding en beoordelingstabellen

6. Code uitvoerende organisatie

Witteveen+Bos

8. Nummer rapport uitvoerende organisatie

RW1649-4/@@@/@@@

10. Projectnaam

beoordeling overkappingen bij tunnelmonden

11. Contractnummer

13. Type rapport

Eindrapport

14. Code andere opdrachtgever

-

16. Trefwoorden

Luchtkwaliteit, overkappingen, tunnelmonden, IPL, Witteveen+Bos

19. Classificatie

-

20. Classificatie deze pagina

-

22. Prijs

-

24. Acceptatie programmamanager IPL

26. Acceptatie directeur Infrastructuur

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

Inhoudsopgave

Abstract 1

1. Inleiding 2

2. Uitgangspunten beoordeling 3

2.1 Twaalf overkappingsvarianten 3

2.2 Beoordelingscriteria 3

3. Het effect voor de referentiesituatie 5

3.1 Uitgangspunten referentiesituatie 5

3.2 Beoordelingstabellen 5

4. Het effect voor de eigen situatie 9

4.1 Randvoorwaarden en uitsluitingen 9

4.2 Handleiding tool 9

Bijlage 1: Achtergrondnotitie 12

Abstract

Dit rapport geeft inzicht in de effecten en de kosten van twee soorten overkappingen waarmee bestaande tunnels verlengd kunnen worden. Door een deel van de emissies via gaten in het dak van de overkapping naar buiten te laten stromen, wordt er minder emissie aan de tunnelmond uitgestoten. Hiermee kan de 'piek' in de lokale concentratiebijdrage worden verminderd.

De rapportage besteedt aandacht aan de uitgangspunten en presenteert de rekenresultaten voor de gemodelleerde situaties ten opzichte van de referentiesituatie. Met behulp van interpolatie zijn deze resultaten breder toepasbaar gemaakt zodat probleemeigenaren (gemeenten, provincies, Rijkswaterstaat) snel en eenvoudig kunnen beoordelen of het verlengen van een bestaande tunnel een geschikte maatregel is om de luchtkwaliteit aan de tunnelmond te verbeteren.

This study aims to give insight into the effects and costs of two types of road covers as an extension to existing tunnels. By dosing the traffic emissions partly through the roof of the road cover, less air pollution is left to be emitted at the end of the road cover. In this way the local concentration 'peak' at the end of the tunnel can be reduced.

In this report the assumptions and results of the study are presented. The different configurations of the road cover are compared to the reference situation. Beside the modelled results, appliance has been tried to improve by making use of linear interpolation, so that stakeholders (problem holders) like local, provincial or national government are able to assess if a road cover as an extension to existing tunnels is an appropriate measure in their own specific situation.

1. Inleiding

Binnen het Innovatieprogramma Luchtkwaliteit (IPL) zijn verschillende maatregelen onderzocht die kunnen bijdragen aan de verbetering van de luchtkwaliteit op en rond snelwegen. Eén van die mogelijke maatregelen is het verlengen van bestaande tunnels met een (lichte) overkapping. Door een deel van de emissies via gaten in het dak van de overkapping naar buiten te laten stromen, wordt er minder emissie aan de tunnelmond uitgestoten. Deze verdeling van de emissies leidt er toe dat de concentratiepiek aan de nieuwe tunnelmond kleiner is dan de concentratiepiek aan de oorspronkelijke tunnelmond.

In 2007 is onderzocht welke effect een lichte overkapping kan hebben op de luchtkwaliteit langs een rijksweg¹. Een nieuw te realiseren overkapping op maaiveld vormde hierbij het uitgangspunt. Zonder de beoordelingsmethodiek te wijzigen is toen ook gekeken naar de effecten van de verlenging van een tunnel op de luchtkwaliteit aan de tunnelmond. Al tijdens deze studie bleek echter dat voor knelpuntsituaties bij tunnelmonden een andere beoordelingsmethodiek nodig is dan voor knelpuntsituaties op maaiveld.

In 2009 zijn modelberekeningen uitgevoerd waarmee voor één specifieke tunnelmondsituatie (referentiesituatie) de effecten verschillende overkappingen op de luchtkwaliteit zijn bepaald. Met behulp van interpolatie zijn deze specifieke resultaten breder toepasbaar gemaakt zodat probleemeigenaren (gemeenten, provincies, Rijkswaterstaat) snel en eenvoudig kunnen beoordelen of het verlengen van een bestaande tunnel een geschikte maatregel is om de luchtkwaliteit aan de tunnelmond te verbeteren.

Onderhavige rapportage besteedt aandacht aan de uitgangspunten bij de berekeningen en presenteert de rekenresultaten voor de referentiesituatie. Tevens wordt beschreven hoe met behulp van de separaat geleverde digitale tool inzicht kan worden gegeven in de effecten op een door de gebruiker gespecificeerde tunnelmondsituatie.

¹ Witteveen+Bos (2007); Opstellen beoordelingsmatrix met configuraties overkappingen en luchtbehandeling; Referentie RW1649-1/AKKR/014 d.d. 9 november 2007.

2. Uitgangspunten beoordeling

Dit hoofdstuk geeft een samenvatting van de uitgangspunten die zijn gehanteerd bij het uitvoeren van het onderzoek. Ook worden de verschillende beoordelingscriteria toegelicht. In bijlage 1 wordt hierop uitgebreider ingegaan.

2.1 Twaalf overkappingsvarianten

In de studie uit 2007 is geconcludeerd dat het effect van natuurlijke uitstroom minimaal even groot is als het effect van schoorstenen, mechanische ventilatie en/of zuivering, terwijl de kosten voor schoorstenen, mechanische ventilatie en/of zuivering vele malen groter zijn. Daarom zijn in 2009 alleen varianten met natuurlijke ventilatie bestudeerd. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen twee verschillende soorten overkappingen (configuraties) en daarnaast is er gevarieerd in de lengte van de overkapping (lengtevarianten) en in de verdeling van de emissievracht (uitstroomvarianten). In totaal zijn er twaalf verschillende overkappingsvarianten benoemd (zie tabel 2.1).

tabel 2.1. Twaalf verschillende overkappingsvarianten

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
g	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

2.2 Beoordelingscriteria

2.2.1. 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.

2.2.2. Kosten

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

-
- investeringskosten;
 - bouw van de overkapping;
 - aanschaf systeem voor emissiebehandeling;
 - realisatie van veiligheidsvoorzieningen;
 - jaarlijkse kosten;
 - energie;
 - onderhoud;
 - Life Cycle kosten;
 - totale kosten bij een economische levensduur van 10 jaar.

uitgangspunten bij bepalen Life Cycle kosten

De som van de investeringskosten en de jaarlijkse kosten gedurende de economische looptijd vormen gezamenlijk de Life Cycle kosten. Binnen het achterliggende onderzoek is uitgegaan van een economische looptijd van 10 jaar. Na deze 10 jaar is de overkapping afgeschreven en is er geen restwaarde meer.

Life Cycle kosten = investeringskosten + 10 x jaarlijkse kosten.

2.2.3. 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

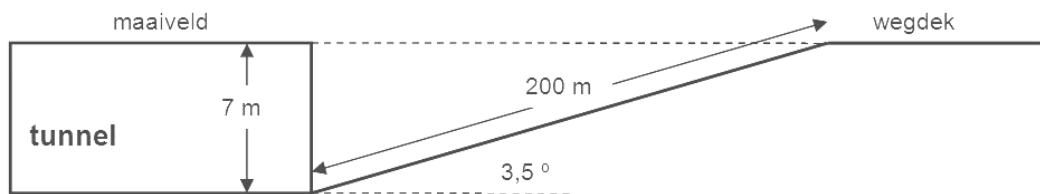
De genoemde verbetering van de luchtkwaliteit is de relatieve verandering van de verkeersbijdrage aan de nieuwe tunnelmond ten opzicht van de oude tunnelmond.

3. Het effect voor de referentiesituatie

3.1 Uitgangspunten referentiesituatie

De effecten van de verschillende configuraties zijn berekend voor één specifieke referentiesituatie. De referentiesituatie is een fictieve situatie die representatief wordt geacht voor de Nederlandse situatie.

De referentiesituatie bestaat uit een verdiept liggende tunnelmond in een binnenstedelijke omgeving. Het wegdek aan de tunnelmond ligt 7 meter onder maaiveld. De lengte van de uitrit bedraagt 200 meter. De hellingshoek is dan 3,5 graden (zie figuur 3.1).



figuur 3.1. Schematische weergave van een bestaande tunnelmond

Tevens zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- verkeersintensiteit: 120.000 motorvoertuigen per etmaal;
- percentage vrachtverkeer: 8 % zwaar en 4 % middelzwaar;
- géén specifieke categorie bussen;
- 2 x 3 rijbanen afzonderlijk gemodelleerd
- geen onderscheid in verkeerssamenstelling op de afzonderlijke rijbanen;
- lengte oorspronkelijke tunnel: 1.000 meter;
- tunnel is noord-zuid georiënteerd
- alle dwarsprofielen zijn oost-west georiënteerd;
- hoogte overkapping: 7 meter (doorrijhoogte 5 meter + 2 meter constructiehoogte);
- breedte overkapping van één rijbaan (3 rijstroken): 20 meter;
- verticale uitstroomsnelheid sleuf/doseerpunt: 0,6 m/s;
- jaargemiddelde achtergrondconcentratie PM10: 21,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (inclusief zeezoutcorrectie van 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$);
- jaargemiddelde achtergrondconcentratie NO₂: 27,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

3.2 Beoordelingstabellen

De beoordelingstabellen geven op gestructureerde wijze inzicht in de effecten, de kosten en de kosteneffectiviteit van de overkappingen waarmee bestaande tunnels verlengd kunnen worden.

type overkapping		relatieve verandering verkeersbijdrage NO ₂
1.	verlenging met een sleuf	
a	100 meter 25 % uitstroom via dak	- 19 %
b	100 meter 50 % uitstroom via dak	- 40 %
c	100 meter 75 % uitstroom via dak	- 61 %
d	200 meter 25 % uitstroom via dak	- 56 %
e	200 meter 50 % uitstroom via dak	- 65 %
g	200 meter 75 % uitstroom via dak	- 75 %
2.	verlenging met doseerpunten	
a	100 meter 25 % uitstroom via dak	- 20 %
b	100 meter 50 % uitstroom via dak	- 42 %
c	100 meter 75 % uitstroom via dak	- 64 %
d	200 meter 25 % uitstroom via dak	- 56 %
e	200 meter 50 % uitstroom via dak	- 66 %
f	200 meter 75 % uitstroom via dak	- 76 %

tabel 3.1. Relatieve verandering van de verkeersbijdrage NO₂ ter hoogte van de nieuwe tunnelmond

type overkapping		relatieve verandering verkeersbijdrage PM ₁₀
1.	verlenging met een sleuf	
a	100 meter 25 % uitstroom via dak	- 22 %
b	100 meter 50 % uitstroom via dak	- 44 %
c	100 meter 75 % uitstroom via dak	- 67 %
d	200 meter 25 % uitstroom via dak	- 60 %
e	200 meter 50 % uitstroom via dak	- 70 %
g	200 meter 75 % uitstroom via dak	- 80 %
2.	verlenging met doseerpunten	
a	100 meter 25 % uitstroom via dak	- 22 %
b	100 meter 50 % uitstroom via dak	- 45 %
c	100 meter 75 % uitstroom via dak	- 69 %
d	200 meter 25 % uitstroom via dak	- 60 %
e	200 meter 50 % uitstroom via dak	- 71 %
f	200 meter 75 % uitstroom via dak	- 81 %

tabel 3.2. Relatieve verandering van de verkeersbijdrage PM₁₀ ter hoogte van de nieuwe tunnelmond

type overkapping		investeringskosten (mln€)
1.	verlenging met een sleuf	
a	100 meter 25 % uitstroom via dak	0.8
b	100 meter 50 % uitstroom via dak	0.8
c	100 meter 75 % uitstroom via dak	0.8
d	200 meter 25 % uitstroom via dak	1.6
e	200 meter 50 % uitstroom via dak	1.6
g	200 meter 75 % uitstroom via dak	1.6
2.	verlenging met doseerpunten	
a	100 meter 25 % uitstroom via dak	0.8
b	100 meter 50 % uitstroom via dak	0.8
c	100 meter 75 % uitstroom via dak	0.8
d	200 meter 25 % uitstroom via dak	1.6
e	200 meter 50 % uitstroom via dak	1.6
f	200 meter 75 % uitstroom via dak	1.6

tabel 3.3. Totale investeringskosten

type overkapping		Life Cycle kosten (mln€/10jr)
1.	verlenging met een sleuf	
a	100 meter 25 % uitstroom via dak	0.8
b	100 meter 50 % uitstroom via dak	0.8
c	100 meter 75 % uitstroom via dak	0.8
d	200 meter 25 % uitstroom via dak	1.6
e	200 meter 50 % uitstroom via dak	1.6
g	200 meter 75 % uitstroom via dak	1.6
2.	verlenging met doseerpunten	
a	100 meter 25 % uitstroom via dak	0.8
b	100 meter 50 % uitstroom via dak	0.8
c	100 meter 75 % uitstroom via dak	0.8
d	200 meter 25 % uitstroom via dak	1.6
e	200 meter 50 % uitstroom via dak	1.6
f	200 meter 75 % uitstroom via dak	1.6

tabel 3.4. Life Cycle kosten

type overkapping		kosteneffectiviteit NO ₂
1.	verlenging met een sleuf	
a	100 meter 25 % uitstroom via dak	2,4
b	100 meter 50 % uitstroom via dak	5,0
c	100 meter 75 % uitstroom via dak	7,6
d	200 meter 25 % uitstroom via dak	3,5
e	200 meter 50 % uitstroom via dak	4,1
g	200 meter 75 % uitstroom via dak	4,7
2.	verlenging met doseerpunten	
a	100 meter 25 % uitstroom via dak	2,5
b	100 meter 50 % uitstroom via dak	5,2
c	100 meter 75 % uitstroom via dak	8,0
d	200 meter 25 % uitstroom via dak	3,5
e	200 meter 50 % uitstroom via dak	4,1
f	200 meter 75 % uitstroom via dak	4,8

tabel 3.5. Kosteneffectiviteit o.b.v. het effect NO₂ bij nieuwe tunnelmond t.o.v. oude tunnelmond

type overkapping		kosteneffectiviteit PM10
1.	verlenging met een sleuf	
a	100 meter 25 % uitstroom via dak	2,7
b	100 meter 50 % uitstroom via dak	5,5
c	100 meter 75 % uitstroom via dak	8,4
d	200 meter 25 % uitstroom via dak	3,8
e	200 meter 50 % uitstroom via dak	4,4
g	200 meter 75 % uitstroom via dak	5,0
2.	verlenging met doseerpunten	
a	100 meter 25 % uitstroom via dak	2,8
b	100 meter 50 % uitstroom via dak	5,7
c	100 meter 75 % uitstroom via dak	8,6
d	200 meter 25 % uitstroom via dak	3,8
e	200 meter 50 % uitstroom via dak	4,4
f	200 meter 75 % uitstroom via dak	5,1

tabel 3.6. Kosteneffectiviteit o.b.v. het effect PM10 bij nieuwe tunnelmond t.o.v. oude tunnelmond

4. Het effect voor de eigen situatie

Met behulp van de bijgeleverde digitale tool krijgt een probleemeigenaar inzicht in de effecten bij zijn tunnelmond. Hiertoe moet de gebruiker enkele locatiespecifieke kenmerken invullen. Dit hoofdstuk geeft aan welke gegevens ingevoerd worden en welke resultaten worden gepresenteerd.

Om met de tool te kunnen werken is het noodzakelijk dat de computer macro's inschakelt. Indien de computer het inschakelen van macro's niet (automatisch) toestaat, dan kan deze instelling in MsExcel als volgt gewijzigd worden:

1. Klik in het menu **Extra** op **Opties**.
2. Klik op het tabblad **Beveiliging**.
3. Klik op Macrobeveiliging onder Macrobeveiliging.
4. Klik op het tabblad **Beveiligingsniveau** en selecteer het gewenste beveiligingsniveau ('gemiddeld' of 'laag').

4.1 Randvoorwaarden en uitsluitingen

De tool presenteert resultaten op basis van interpolatie van een beperkte set modelresultaten. De tool is expliciet geen rekenmodel die de lokale situatie berekent. De inzichten die met de tool verkregen worden, dienen dan ook alleen ter indicatie van de effecten. Voor nauwkeurige lokale inzichten moeten altijd aanvullende berekeningen worden uitgevoerd.

De inzichten zijn bepaald voor een tunnelmond met een verdiepte ligging in een binnenstedelijke omgeving (zie afbeelding 3.1). Verder gaat het verkeerskundig gezien om een snelwegsituatie. Hoe sterker de tunnel hier in de praktijk van afwijkt, hoe sterker de werkelijke concentratie zal van de gepresenteerde waarde.

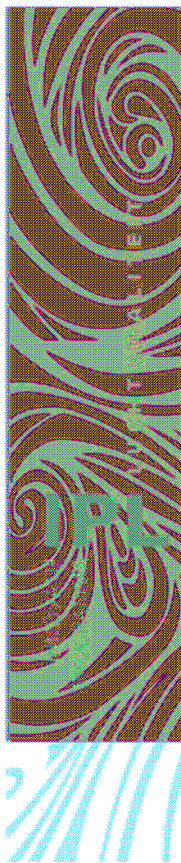
Er zijn grenzen aan de resultaten die met behulp van interpolatie getoond kunnen worden. Wanneer de totale emissievracht bij de nieuwe tunnelmond groter is dan bij de bestaande tunnelmond, is de interpolatie niet betrouwbaar (namelijk buiten de bandbreedte) en worden de resultaten niet weergegeven in de tool. Dit doet zich met name voor bij korte tunnels die worden voorzien van een overkapping met een lage uitstroom via het dak.

4.2 Handleiding tool

De startpagina (figuur 4.1) biedt de gebruiker drie mogelijkheden:

- naar de toelichting op de tool;
- naar de achterliggende rapportage (onderhavige rapportage);
- naar inzicht in eigen situatie.

Wanneer men kiest voor 'inzicht in eigen situatie' dan komt men uit bij de tool die zowel inzicht biedt in de door de gebruiker opgegeven situatie als in de referentiesituatie. De gebruiker kan zijn situatie opgeven in het invoerveld en vervolgens worden de resultaten weergegeven in het uitvoerveld. Figuur 4.2 geeft een overzicht van het scherm.



Innovatieprogramma Luchtkwaliteit (IPL)

Overkappen en Luchtbehandeling

Overkappingen bij tunnelmonden

[>> naar toelichting tool](#)

[>> naar rapportage](#)

[>> naar inzicht in eigen situatie](#)

figuur 4.1. Startscreen tool

Invoer

1. Kies gewenste component NO₂

2. Vul in:

lengte tunnel	
achtergrondconcentratie	
totale concentratie	

3. Kies gewenste verlening 100

specifieke situatie		uitgangssituatie	
meter		1000 meter	
ug/m ³		27 ug/m ³	
ug/m ³		42 ug/m ³	
		100 meter	

Uitvoer

reguliere verkeersbijdrage (op 25 meter)

Resultaten ter hoogte van de *bestaande* tunnelmond

indicatie verkeersbijdrage (op 25 meter)

indicatie totale concentratie (op 25 meter)

Resultaten ter hoogte van de *nieuwe* tunnelmond (ug/m³)

hoge emissievracht via het dak (75 %)

gemiddelde emissievracht via dak (50 %)

lage emissievracht via dak (25 %)

Life Cycle Kosten (miljoen EURO per 10 jaar)

bij 100 meter verlening

Kosteneffectiviteit

hoge emissievracht via het dak (75 %)

gemiddelde emissievracht via dak (50 %)

lage emissievracht via dak (25 %)

specifieke situatie				uitgangssituatie			
				15 ug/m ³			
				75 ug/m ³			
				102 ug/m ³			
doseerpunten		sleuf		doseerpunten		sleuf	
Verkeersbijdrage	Totale concentratie	Verkeersbijdrage	Totale concentratie	Verkeersbijdrage	Totale concentratie	Verkeersbijdrage	Totale concentratie
				27	54	29	56
				43	71	45	72
				60	87	60	88
				0,8			
				0,8			
				8,0			
				7,6			
				5,3			
				5,0			
				2,5			
				2,4			

figuur 4.2. Hoofdscherm tool

4.2.1. Invoer

Bovenaan het blad kan worden aangegeven of de gebruiker geïnteresseerd is in de effecten op de jaargemiddelde concentratie NO₂ of PM10.

De volgende locatiespecifieke kenmerken moeten worden ingevoerd:

- lengte van de tunnel;
- achtergrondconcentratie;
- totale concentratie.

De totale concentratie en de achtergrondconcentratie worden gebruikt om de reguliere verkeersbijdrage op een doorsnede te bepalen. Bij knelpuntsituaties zullen deze gegevens doorgaans al bekend zijn. Zo niet, dan kunnen de op te geven totale concentratie en achtergrondconcentratie worden bepaald met behulp van het verspreidingsmodel ISL2, Pluim Snelweg, of ter indicatie met CARII. Let er op dat voor een correcte omrekening van de resultaten de gegevens op een afstand van 25 meter van de wegas moeten worden opgegeven (dit komt bij een snelwegsituatie doorgaans overeen met 10 meter van de rand van de weg).

Indien de achtergrondconcentratie en/of de totale concentratie niet door de gebruiker worden ingevoerd, dan worden automatisch de waarden uit de referentiesituatie gebruikt.

4.2.2. Uitvoer

De tool geeft inzicht in de volgende beoordelingscriteria:

- 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 (ná ingreep);
- totale concentratie ter hoogte van de nieuwe tunnelmond (ná ingreep);
- Life Cycle kosten;
- kosteneffectiviteit.

De inzichten worden gepresenteerd voor de overkapping met de doseerpunten en de overkapping met een sleuf in het dak.

Bijlage 1: Achtergrondnotitie

<<pdf van Witteveen+Bos notitie toevoegen >>

Witteveen+Bos
Alexanderstraat 21
postbus 85948
2508 CP Den Haag
telefoon 070 370 07 00
telefax 070 360 00 98

onderwerp	achtergronden effecten en kosten	
project	beoordeling overkappingen bij tunnelmonden	
opdrachtgever	Rijkswaterstaat: Innovatieprogramma Luchtkwaliteit	
projectcode	RW1649-4	
referentie	RW1649-4/@@@/@@@"	
opgemaakt door	ir. T.J. Spanjer	
goedgekeurd door	ir. R.J.A. Groen	paraaf
status	definitief	
datum opmaak	30 juli 2009	
bijlagen	contourenkaart	

aan Innovatieprogramma Luchtkwaliteit L. Kok
T. Cornelissen

1. INLEIDING

In 2007 is onderzocht welk effect een lichte overkapping kan hebben op de luchtkwaliteit langs een rijksweg¹. Een nieuw te realiseren overkapping op maaiveld vormde hierbij het uitgangspunt. Zonder de beoordelingsmethodiek te wijzigen is toen ook gekeken naar de effecten van de verlenging van een tunnel op de luchtkwaliteit aan de tunnelmond. Al tijdens het onderzoek bleek echter dat maatregelen bij tunnelmonden niet op dezelfde manier beoordeeld kunnen worden als maatregelen op maaiveld. Dit komt doordat de uitgangssituatie van een knelpunt op maaiveld afwijkt van die bij een tunnelmond. Daarnaast zijn niet alle configuraties die op maaiveld mogelijk zijn, ook bij tunnelmonden van toepassing. De beoordeling van maatregelen bij tunnelmonden is daarom nu afzonderlijk onderzocht.

Eind 2008 is verkend op welke wijze er inzicht gegeven kan worden in de luchtkwaliteitseffecten van het verlengen van tunnels². Deze verkenning is enerzijds uitgevoerd om relevante configuraties van elkaar te kunnen onderscheiden en anderzijds om na te gaan hoe de effecten bij tunnelmonden bepaald zouden kunnen worden. Op basis van deze verkenning is besloten om aanvullende berekeningen uit te voeren. Deze berekeningen zijn begin 2009 uitgevoerd.

Deze achtergrondnotitie geeft inzicht in de uitgangspunten en aannames die zijn gehanteerd bij het bepalen van de luchtkwaliteitseffecten en de kosten van het verlengen van tunnels. De generieke resultaten van de berekeningen zijn opgenomen in de IPL-rapportage 'Overkappingen bij tunnelmonden'. Daarin wordt ook de digitale tool toegelicht die binnen deze studie is opgesteld. Deze tool kan worden gebruikt om te bepalen in hoeverre een overkapping in staat is om een tunnelmond te saneren.

¹ Witteveen+Bos (2007); Opstellen beoordelingsmatrix met configuraties overkappingen en luchtbehandeling; Referentie RW1649-1/AKKR/014 d.d. 9 november 2007.

² Witteveen+Bos (2008); Verkenning van luchtkwaliteitmaatregelen bij bestaande tunnelmonden; Referentie RW1649-3/haam3/011 d.d. 19 december 2008.

2. OVERKAPPINGSVARIANTEN

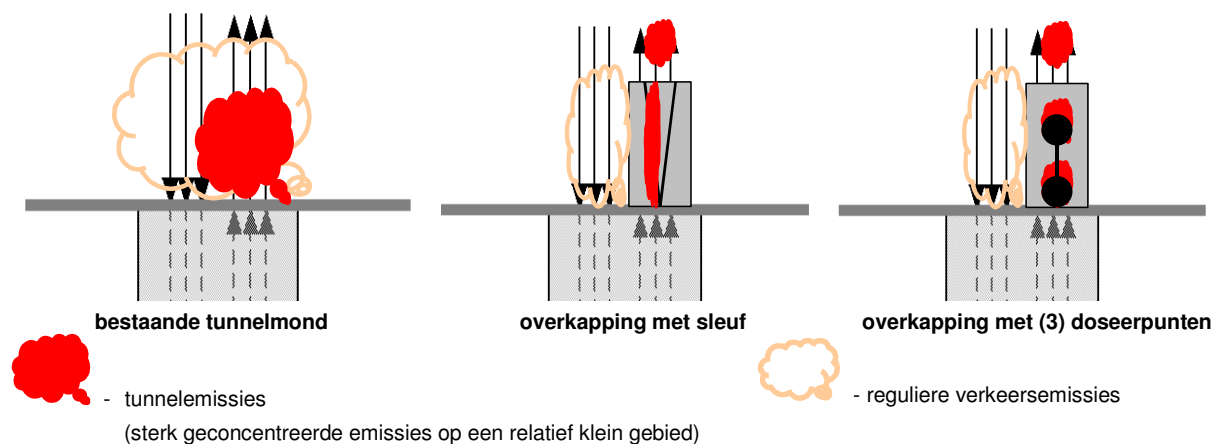
Met de verlenging van tunnels wordt beoogd de sterk geconcentreerde verkeersemissies aan de tunnelmond gedoseerd en over grotere afstand vrij te laten komen. Hiermee kan de 'piek' in de lokale concentratiebijdrage worden afgevlakt.

In de studie uit 2007 is geconcludeerd dat het effect van natuurlijke uitstroom minimaal even groot is als het effect van schoorstenen, mechanische ventilatie en/of zuivering, terwijl de kosten voor schoorstenen, mechanische ventilatie en/of zuivering vele malen groter zijn. Daarom is besloten om binnen deze studie alleen varianten met natuurlijke ventilatie te bestuderen. Hierbij is onderscheid gemaakt naar twee verschillende soorten verlengingen (twee 'configuraties') en daarnaast is er gevarieerd in de lengte van de verlenging en in de verdeling van de emissievracht. In totaal zijn er twaalf verschillende verlengingsvarianten benoemd.

2.1. Twee configuraties

Er wordt onderscheid gemaakt tussen een overkapping met een sleuf in het dak en een overkapping met doseerpunten in het dak. In afbeelding 2.1 zijn deze twee configuraties weergegeven, tevens is hier de referentiesituatie in weergegeven (bestaande tunnelmond).

afbeelding 2.1. Schematische weergave referentiesituatie en verlengingsconfiguraties



De sleuf in de 'overkapping met een sleuf in het dak' wordt dusdanig vormgegeven dat de tunnelemissies gelijkmatig over de hele lengte van de overkapping worden verdeeld. Hiervoor moet de breedte van de sleuf toenemen naarmate deze verder van de oorspronkelijke tunnelmond komt te liggen (V-vorm).

De doseerpunten in de 'overkapping met doseerpunten in het dak' worden dusdanig vormgegeven dat de tunnelemissies gelijkmatig over de doseerpunten worden verdeeld. Hierbij geldt dat hoe minder doseerpunten, hoe breder de doorsnede van de doseerpunten. Overigens wordt de nieuwe tunnelmond ook als een apart doseerpunt gezien. Een overkapping met drie doseerpunten heeft dan dus twee openingen in het dak en één opening aan de tunnelmond.

2.2. Twee lengtevarianten

Er wordt onderscheid gemaakt tussen een verlenging van 100 meter en van 200 meter. Een verlenging met doseerpunten van 100 meter wordt uitgerust met twee doseerpunten. Eén doseerpunt komt in het dak ter hoogte van de bestaande tunnelmond en het andere doseerpunt wordt gevormd door de nieuwe tunnelmond. Bij een verlenging van 200 meter krijgt de overkapping drie doseerpunten. Eén opening komt ter hoogte van de bestaande tunnelmond, één halverwege de overkapping en het derde doseerpunt wordt gevormd door de nieuwe tunnelmond.

2.3. Drie verschillende uitstroomvarianten

Er worden drie verschillende uitstroomvarianten gehanteerd, met ieder een kenmerkende emissievrachtverdeling. De emissievrachtverdeling geeft aan hoeveel emissie er aan de nieuwe tunnelmond wordt uitgestoten en hoeveel er via het dak wordt uitgestoten. In tabel 2.1 is een overzicht gegeven van de verschillende emissieverdelingen. De gepresenteerde verdelingen zijn (reële) aannames. Het is echter aan de uiteindelijke ontwerper van de overkapping om te bepalen hoe groot hij de sleuf of de gaten maakt om de betreffende emissieverdeling te realiseren.

tabel 2.1 Emissievrachtverdelingen

variant	uitstroom via dak	uitstroom via tunnelmond
lage uitstroom via dak	25 %	75 %
gemiddelde uitstroom via dak	50 %	50 %
hoge uitstroom via dak	75 %	25 %

2.4. Twaalf verschillende overkappingsvarianten

De combinatie van de twee verschillende configuraties, twee verschillende lengtes en drie verschillende emissievrachtverdelingen resulteert in twaalf verschillende varianten (zie tabel 2.2).

tabel 2.2. Twaalf verschillende overkappingsvarianten

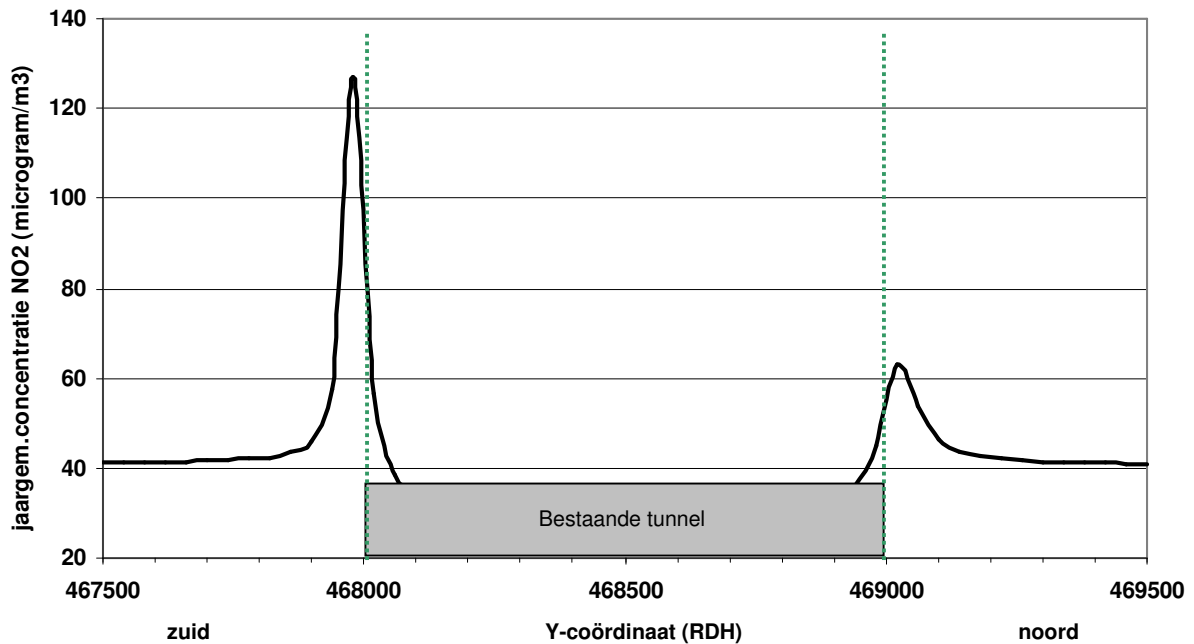
1.	verlenging met een sleuf	
a	100 meter	25 % uitstroom via dak
b	100 meter	50 % uitstroom via dak
c	100 meter	75 % uitstroom via dak
d	200 meter	25 % uitstroom via dak
e	200 meter	50 % uitstroom via dak
f	200 meter	75 % uitstroom via dak
2.	verlenging met doseerpunten	
a	100 meter	25 % uitstroom via 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

3. EFFECT OP DE LUCHTKWALITEIT

3.1. Aanpak en uitgangspunten

Met behulp van ADMS-Urban zijn op verschillende doorsneden de concentraties NO₂ en PM₁₀ bepaald. Het ruimtelijke effect op de luchtkwaliteit is in beeld gebracht met een contourenkaart (zie bijlage). 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. Direct ter hoogte van de tunnelmond is de concentratiebijdrage nog niet maximaal (zie ter illustratie afbeelding 3.1).

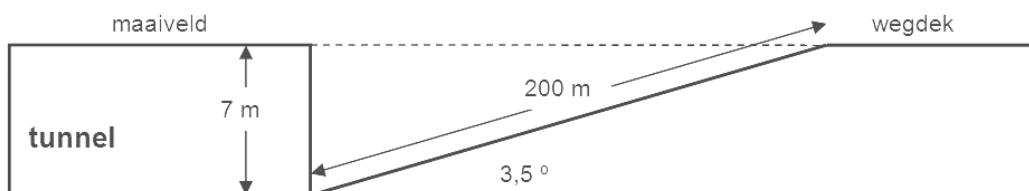
Afbeelding 3.1 Concentratiepiek ten opzichte van tunnelmond (lengteprofiel; receptorpunt op 25 meter van het midden van de weg)



Ten behoeve van de vergelijkbaarheid zijn zoveel mogelijk dezelfde uitgangspunten gehanteerd als bij de studie in 2007.

De afmeting van de overkapping en de situering van de tunnelmond is voor alle configuraties gelijk. Voor de breedte van de overkapping is uitgegaan van een rijksweg van twee rijbanen met elk drie rijstroken en een vluchtstrook. De overkapping wordt alleen geplaatst over de rijbaan waar het verkeer de tunnel uit komt rijden. Inclusief de benodigde ruimte voor de constructie van de overkapping is de benodigde overspanning vastgesteld op 20 meter. Het wegdek van de tunnelmond ligt op 7 meter onder maaiveld. De lengte van de uitrit bedraagt 200 meter en kent een hellingshoek van 3,5 graden (zie afbeelding 3.2).

afbeelding 3.2. Schematische weergave van een bestaande tunnelmond (niet op schaal)



Tevens worden de volgende generieke uitgangspunten gehanteerd:

- verkeersintensiteit: 120.000 motorvoertuigen per etmaal;
- percentage vrachtverkeer: 8 % zwaar en 4 % middelzwaar;
- géén specifieke categorie bussen;
- 2 x 3 rijbanen afzonderlijk gemodelleerd
- geen onderscheid in verkeerssamenstelling op de afzonderlijke rijbanen;
- lengte oorspronkelijke tunnel: 1.000 meter;
- tunnel is noord-zuid georiënteerd
- alle dwarsprofielen zijn oost-west georiënteerd;
- hoogte overkapping: 7 meter (doorrijhoogte 5 meter + 2 meter constructiehoogte);
- breedte overkapping van één rijbaan (3 rijstroken): 20 meter;
- verticale uitstroomsnelheid sleuf/doseerpunt: 0,6 m/s;
- jaargemiddelde achtergrondconcentratie PM10: 21,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (inclusief zeezoutcorrectie van 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$);
- jaargemiddelde achtergrondconcentratie NO₂: 27,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

3.2. Modelling

ADMS-Urban kan verschillende brontypen tegelijkertijd modelleren en is daarmee geschikt voor het modelleren van tunnelmonden en verdiepte liggingen. De overkappingsvarianten zijn gemodelleerd met behulp van een combinatie van lijn-, punt-, en volumebronnen. In afbeelding 3.2 is schematisch weergegeven dat de emissie aan de tunnelmond is gemodelleerd als een volumebron en dat de sleuf en de doseerpunten zijn gemodelleerd als verschillende puntbronnen. Het regulier verkeer is gemodelleerd als lijnbron.

De volumebron, waarmee de tunnelmondemissies zijn gemodelleerd, bevindt zich bij zowel de referentiesituatie als bij de verlenging met 100 meter op maaiveld. Bij een verlenging van 200 meter bevindt deze volumebron zich echter op een hoogte van 3 meter. Deze volumebron heeft de volgende afmetingen:

- lengte:
 - 40 meter;
- breedte:
 - 20 meter;
- hoogte:
 - 4 meter (van 3 tot 7 meter).

De volumebronnen, waarmee de verdiept liggende in- en uitritten zijn gemodelleerd, bevinden zich op een halve meter onder maaiveld en hebben de volgende afmetingen:

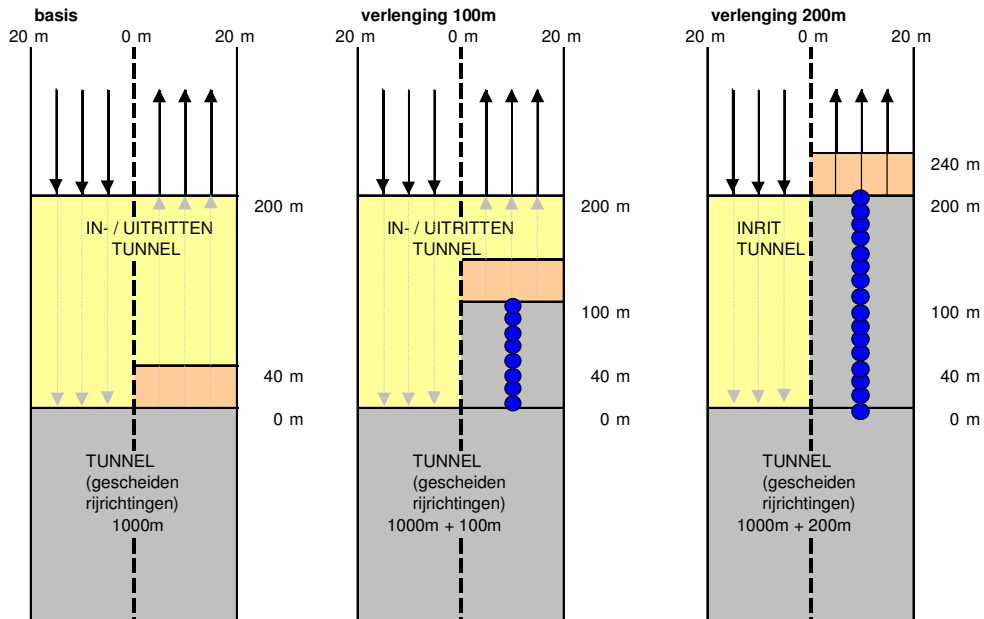
- lengte:
 - 200 meter;
- breedte:
 - 20 meter;
- hoogte:
 - 0,5 meter (van 0 – 0,5 meter).

De sleuf is gemodelleerd als een serie puntbronnen met gelijke emissie maar met toenemende hoogte. Bij een verlenging van 100 meter loopt de hoogte op tot 3,5 meter en bij een verlenging met 200 meter loopt de hoogte op tot 7 meter.

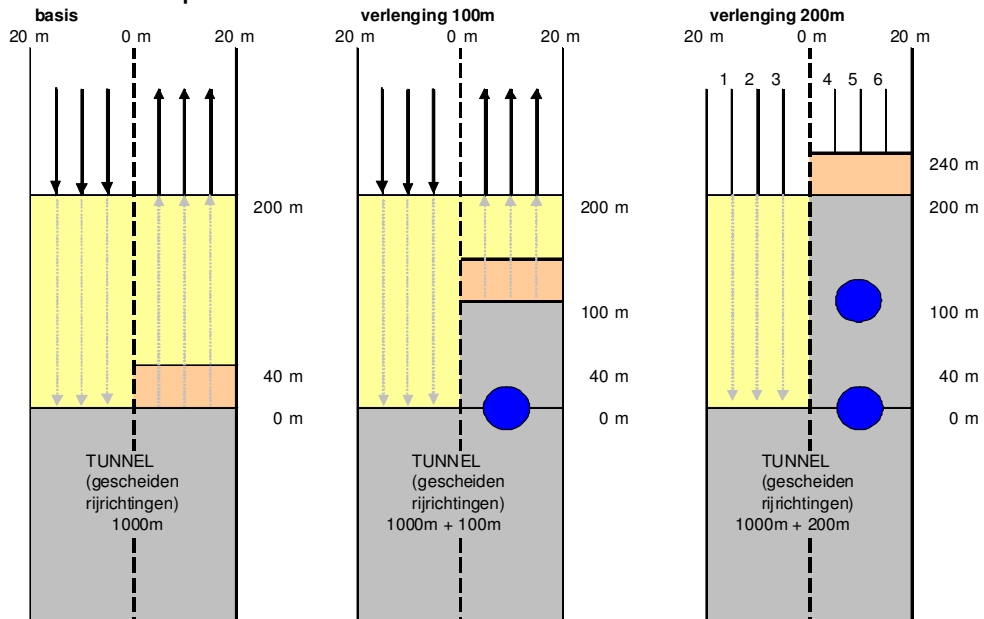
De doseerpunten zijn gemodelleerd als puntbronnen met een gelijke emissie maar op verschillende hoogte. Bij een verlenging van 100 meter (twee doseerpunten) ligt één doseerpunt op maaiveld en één op 3,5 meter hoogte. Bij een verlenging van 200 meter (drie doseerpunten) ligt één doseerpunt op maaiveld, één op 3,5 meter hoogte en één op 7 meter hoogte.

afbeelding 3.3. Schematische weergave modellering (bovenaanzicht)






varianten met een sleuf



varianten met doseerpunten



toelichting:

-  tunnelmond emissie: volumebron (bevindt zich bovenop onderliggende volume- / lijnbron)
-  verdiepte ligging van tunnel in- en uitrit: volumebron
-  sleuf: benaderd door middel van serie puntbronnen
-  doseerpunt: puntbron
-  rijbanen: lijnbronnen

3.3. Effect van de maatregelen

3.3.1. Verandering emissie

De verlenging van de bestaande tunnel resulteert in een toename van de emissie aan de (nieuwe) tunnelmond. Tegelijkertijd zorgen de doseerpunten/de sleuf ervoor dat een deel van de emissie via het dak wordt uitgestoten, zodat de emissie aan de (nieuwe) tunnelmond kan afnemen. De emissie aan de nieuwe tunnelmond kan worden bepaald aan de hand van de volgende formule:

- emissie aan de nieuwe tunnelmond = oorspronkelijke emissie * (nieuwe lengte tunnel/oude lengte tunnel) * (100 % - percentage uitstroom door het dak).

In tabel 3.1 is voor verschillende varianten de geïndexeerde omvang van de emissie aan de nieuwe tunnelmond weergegeven. Tabel 3.2 geeft de geïndexeerde emissievracht per doseerpunt. Onderstaand kader ligt deze berekening toe.

tabel 3.1. Omvang emissievrachten aan nieuwe tunnelmond (geïndexeerd: emissievracht bij tunnelmond in referentie = 100)

verlengingsvariant	totale emissie ³	emissie uitstroom via dak	emissie bij nieuwe tunnelmond
verlenging: 100 meter, uitstroom via dak: 25 %	110	27,5	82,5
verlenging: 100 meter, uitstroom via dak: 50 %	110	55	55
verlenging: 100 meter, uitstroom via dak: 75 %	110	82,5	27,5
verlenging: 200 meter, uitstroom via dak: 25 %	120	30	90
verlenging: 200 meter, uitstroom via dak: 50 %	120	60	60
verlenging: 200 meter, uitstroom via dak: 75 %	120	90	30

tabel 3.2. Omvang emissievrachten per doseerpunt (geïndexeerd: emissievracht bij tunnelmond in referentie = 100)

verlengingsvariant	emissie uitstroom via dak	aantal doseerpunten in dak		emissie per dossierpunt	
		sleuf ⁴	doseerpunt	sleuf	doseerpunt
verlenging: 100 meter, uitstroom via dak: 25 %	27,5	10	1	2,75	27,5
verlenging: 100 meter, uitstroom via dak: 50 %	55	10	1	5,5	55
verlenging: 100 meter, uitstroom via dak: 75 %	82,5	10	1	8,25	82,5
verlenging: 200 meter, uitstroom via dak: 25 %	30	20	2	1,5	15
verlenging: 200 meter, uitstroom via dak: 50 %	60	20	2	3,0	30
verlenging: 200 meter, uitstroom via dak: 75 %	90	20	2	4,5	45

³ De totale emissie aan de nieuwe tunnelmond bestaat uit de oorspronkelijke emissie aan de tunnelmond (index: 100) + de extra emissie als gevolg van de verlenging van de tunnel met respectievelijk 100 meter (index 10) en 200 meter (index 20).

⁴ De sleuf is gemodelleerd als een serie doseerpunten (puntbronnen).

Indexering emissievrachten

Een rekenvoorbeeld:

- huidige situatie: een bestaande tunnel met een lengte van 1 kilometer
- soort verlenging: overkapping van 200 meter lengte waarbij 25 % van de emissie door het dak wordt uitgestoten.

In deze situatie betekent een verlenging van 200 meter een toename van de totale emissievracht met 20 %. De totale emissievracht wordt dus 120 % ten opzichte van de oude emissievracht, dus bedraagt 120 eenheden. Via het dak wordt 25 % van de emissievracht uitgestoten en aan de nieuwe tunnelmond nog maar 75 %. De emissievracht via het dak bedraagt dus (25% van 120 eenheden =) 30 eenheden en aan de nieuwe tunnelmond (75%=) 90 eenheden. De netto verandering van de emissievracht bij de nieuwe tunnelmond ten opzichte van de bestaande tunnelmond is dus van 100 naar 90 (= netto 10% afname).

3.3.2. Verandering concentraties

Als gevolg van de veranderde emissie, veranderen ook de concentraties. Ten opzichte van de referentiesituatie resulteren ook de tunnels met een verlenging nog steeds in een lokale concentratiepiek. Omdat een deel van de emissies echter uit de sleuf of de doseerpunten stroomt, is de concentratiepiek wel kleiner.

Hoewel absolute concentratiewaarden voor afzonderlijke knelpunten zeer interessant zijn, is het voor de vergelijking met andere (verkeers)maatregelen wenselijk om het effect op de luchtkwaliteit uit te drukken in de relatieve verandering van de verkeersbijdrage. In de tabellen 3.2 en 3.3 zijn deze relatieve veranderingen weergegeven. Daarnaast is het gebruikelijk om het effect locatiegebonden te bepalen. In dit onderzoek is in overleg met IPL er voor gekozen om het effect echter te bepalen op basis van de maximale concentratie op 25 meter. Dit houdt in dat de piekconcentratie bij de nieuwe tunnelmond is vergeleken met de piekconcentratie bij de bestaande tunnelmond. De gedachte hierbij is dat een gebruiker juist geïnteresseerd is in de mate waarin een eventueel knelpunt met piekconcentraties oplost, afgezien van het feit dat het knelpunt opschuift. Evenwel moet in gedachte worden gehouden dat ter hoogte van de bestaande tunnelmond de concentraties aanzienlijk meer afnemen dan het effect zoals in dit onderzoek weergegeven, hetgeen interessant kan zijn wanneer dicht bij de bestaande tunnelmond (woon)bebouwing aanwezig is. Tegelijkertijd is bij de nieuwe tunnelmond vanzelfsprekend sprake van een toename van de concentraties.

tabel 3.2. Relatieve afname verkeersbijdrage NO₂ op 20 meter van de nieuwe tunnelmond

	emissiereductie bij nieuwe tunnelmond	reductie verkeersbijdrage doseerpunten	reductie verkeersbijdrage sleuf
verlenging 100 meter			
hoge uitstroom (75 %)	-73%	-64 %	-61 %
gemiddelde uitstroom (50 %)	-45%	-42 %	-40 %
lage uitstroom (25 %)	-18%	-20 %	-19 %
verlenging 200 meter			
hoge uitstroom (75 %)	-70%	-76 %	-75 %
gemiddelde uitstroom (50 %)	-40%	-66 %	-65 %
lage uitstroom (25 %)	-10%	-56 %	-56 %

tabel 3.3. Relatieve afname verkeersbijdrage PM10 op 20 meter van de nieuwe tunnelmond

	emissiereductie bij nieuwe tunnelmond	reductie verkeersbijdrage doseerpunten	reductie verkeersbijdrage sleuf
verlenging 100 meter			
hoge uitstroom (75 %)	-73%	-69 %	-67 %
gemiddelde uitstroom (50 %)	-45%	-45 %	-44 %
lage uitstroom (25 %)	-18%	-22 %	-22 %
verlenging 200 meter			
hoge uitstroom (75%)	-70%	-81 %	-80 %
gemiddelde uitstroom (50%)	-40%	-71 %	-70 %
lage uitstroom (25%)	-10%	-60 %	-60 %

3.4. Interpolatie van effecten

Om de toepasbaarheid van het onderzoek te vergroten, is lineaire interpolatie toegepast op de modelresultaten. De interpolatie is toegepast op de afzonderlijke resultaten voor:

- de referentiesituatie (zonder verlenging)
- overkappingsconfiguratie met sleuf, variant 100 meter
- overkappingsconfiguratie met sleuf, variant 200 meter
- overkappingsconfiguratie met doseerpunten, variant 100 meter
- overkappingsconfiguratie met doseerpunten, variant 200 meter

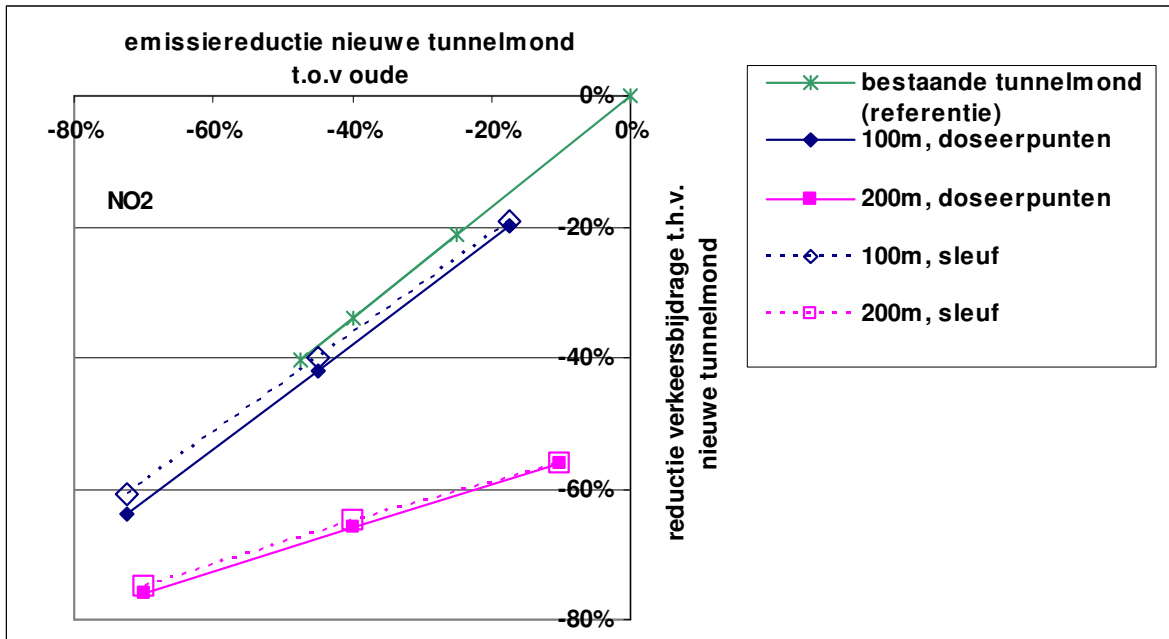
Per overkappingsconfiguratie geven de drie uitstroomvarianten een bandbreedte van het effect op de maximale verkeersbijdrage op 25 meter afstand van de wegas, als gevolg van de emissiereductie aan de nieuwe tunnelmond. Dit resulteert in 12 modelwaarden. In onderstaande afbeelding 3.4 zijn deze punten weergegeven voor de jaargemiddelde concentratie NO₂. Voor de jaargemiddelde concentratie PM10 zijn de resultaten vergelijkbaar.

Uit afbeelding 3.4 blijkt dat de berekeningsresultaten (de punten) voor iedere configuratie uitstekend met een lineaire trendlijn zijn te verbinden ($R^2 = 1$). Dit bevestigt de veronderstelling dat voor tussenliggende waarden van de emissiereductie (als gevolg van een andere tunnellingte, verkeerssamenstelling, of zichtjaar) de reductie van de verkeersbijdrage is te berekenen door middel van lineaire interpolatie.

Tevens is in de afbeelding de referentiesituatie weergegeven (groene lijn in afbeelding 3.4). Deze lijn laat zien in welke mate een reductie van de emissievracht bij een ongewijzigde (niet verlengde) tunnelmond leidt tot een reductie van de verkeersbijdrage. Hiervoor zijn resultaten ontleend van eerdere modelberekeningen in het kader van Overkappen van snelwegen⁵.

⁵ Witteveen+Bos (2007); Opstellen beoordelingsmatrix met configuraties overkappingen en luchtbehandeling; Referentie RW1649-1/AKKR/014 d.d. 9 november 2007.

afbeelding 3.4. Reductie tunnelmondemissie uitgezet tegen de reductie verkeersbijdrage



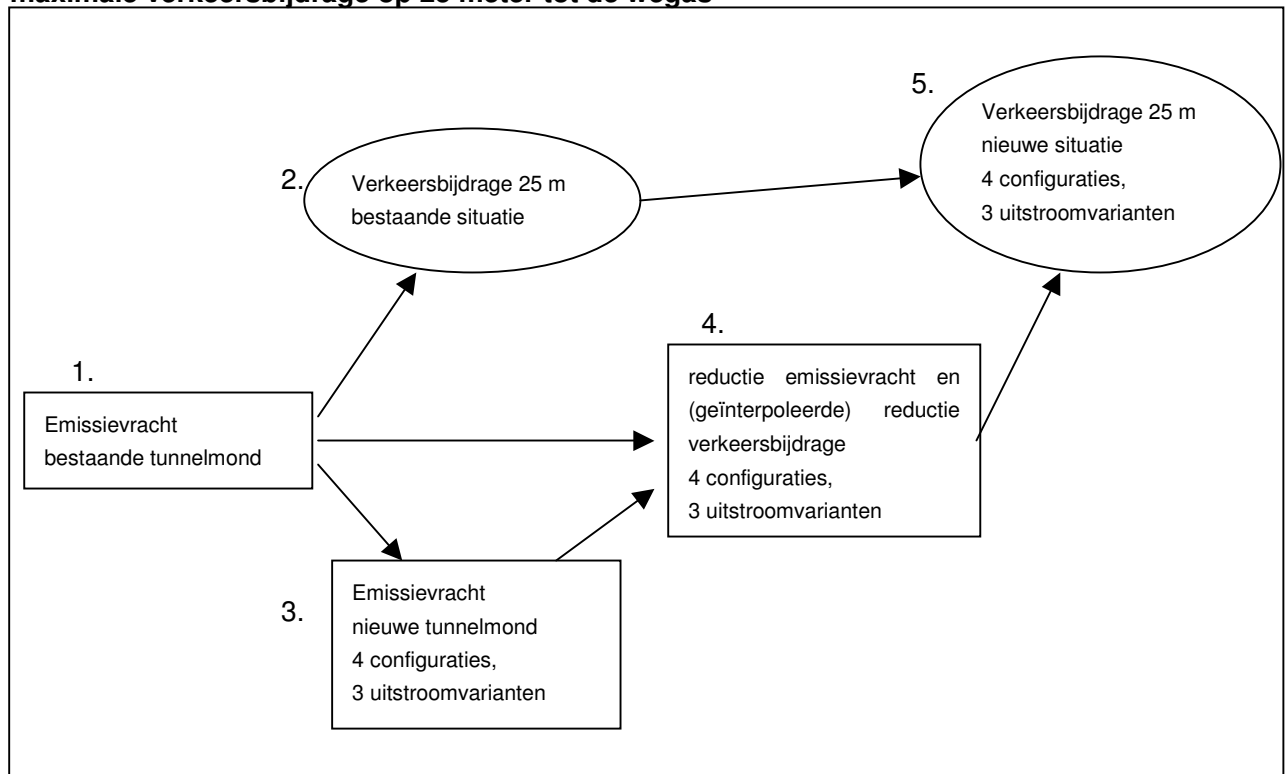
Uit de resultaten blijkt dat bij een verlenging van 100 meter de emissievracht aan de nieuwe tunnelmond afneemt met circa 20 – 70% ten opzichte van de oude tunnelmondemissie, afhankelijk van het deel van de vracht dat uit het dak uitstroomt. De verkeersbijdrage neemt daarbij af met 20 – 60%. Een verlenging van 200 meter neemt de emissievracht af met circa 10 – 70%, maar de verkeersbijdrage neemt aanzienlijk sterker af, namelijk met 55 – 80%. Deze sterkere afname komt enerzijds doordat de emissies bij de nieuwe tunnelmond op een grotere hoogte vrijkomen, zodat een relatief lage reductie van de emissievracht leidt tot een grote reductie van de verkeersbijdrage op 25 meter. Anderzijds kan door de grotere lengte van de overkapping de emissies uit het dak meer worden verspreid (verdund).

Verder blijkt uit de resultaten dat de verschillen tussen de sleuf- en de doseerpuntconfiguraties slechts enkele procenten zijn, dus nauwelijks onderscheidend. Desondanks is ervoor gekozen om beide configuraties mee te nemen in de verdere verwerking.

berekening overige situaties

Om de reductie van de (maximale) verkeersbijdrage op 25 meter te berekenen voor andere situaties met bijvoorbeeld een andere tunnellingte, verkeerssamenstelling, of zichtjaar, zijn de rekenstappen uitgevoerd zoals weergegeven in afbeelding 3.5.

afbeelding 3.5. schematische weergave van de rekenstappen voor de berekening van de nieuwe maximale verkeersbijdrage op 25 meter tot de wegas



1. Berekening specifieke emissievracht bij de bestaande tunnelmond op basis van door de gebruiker ingevoerde tunnallengte, achtergrondconcentratie en reguliere verkeersbijdrage op 25 meter van de wegas.

2. Berekening specifieke (maximale) verkeersbijdrage op 25 meter tot de wegas op basis van lineaire interpolatie van modelresultaten zonder verlenging. Gebruik wordt gemaakt van de verhouding ten opzichte de berekende referentie situatie (bestaande tunnelmond zonder verlenging). Resultaten uit eerdere berekeningen (Overkappen van snelwegen; met gelijke uitgangspunten) vormen hiervoor de basis.

3. Berekening nieuwe emissievrachten bij nieuwe tunnelmond voor de 4 configuraties en de 3 uitstroomvarianten. Dit is het resultaat van enerzijds een toename doordat de tunnel verlengd wordt, anderzijds een afname doordat een deel van de emissievracht uit het dak van de verlenging vrijkomt (hetzij door een sleuf, hetzij door doseerpunten).

4. Berekening van de reductie van de emissievracht ten opzichte van de bestaande emissievracht. Op basis van deze reductie wordt door middel van interpolatie (lineaire trend) per configuratie de reductie van de verkeersbijdrage op 25 meter bepaald voor de 3 uitstroomvarianten.

5. Met de geïnterpoleerde verkeersbijdrage op 25 meter in de bestaande situatie en de geïnterpoleerde reductie van de verkeersbijdrage in de nieuwe situatie kan de nieuwe verkeersbijdrage op 25 meter worden berekend.

4. KOSTEN

4.1. Aanpak bepaling kosten

Bij het bepalen van de kosten van de verlenging van de tunnelmond is onderscheid gemaakt tussen investeringskosten, jaarlijkse kosten en life cycle kosten. Onder investeringskosten vallen de bouwkosten en de kosten voor de realisatie van de verschillende veiligheidsvoorzieningen. Kosten voor energie, beheer en onderhoud vallen onder de jaarlijkse kosten. De verschillende kostenposten worden samengevat in de zogenoemde life cycle kosten. Dit zijn de totale kosten gedurende de tijd dat de overkapping in gebruik is. Hierbij is uitgegaan van een levensduur van 10 jaar.

In vergelijking met normale infrastructurele werken is een levensduur van 10 jaar zeer kort. De levensduur is in deze studie echter niet gebaseerd op de fysieke houdbaarheid van de constructie, maar op de aanname dat over circa 10 jaar de luchtkwaliteitsproblematiek is opgelost en de overkapping daarmee zijn oorspronkelijke functie verliest.

De kosten zijn weergegeven in de vorm van kentallen. Deze kostenkentallen zijn sterk vereenvoudigd en zijn primair bedoeld om inzicht te geven in de orde van grootte van de kosten ('gemiddelde kosten') en kunnen niet worden gebruikt voor het opstellen van begrotingen en/of budgetreserveringen.

Ten behoeve van de onderlinge vergelijkbaarheid van de verschillende studies zijn de hier gepresenteerde kostenkentallen gebaseerd op de kostenkentallen zoals die zijn gebruikt tijdens de studies naar de kosteneffectiviteit van overkappingen op maaiveld (en verdiepte ligging).

4.2. Kosten per onderdeel

Bij het benoemen van de kosten van een verlenging van de bestaande tunnelmond zijn de volgende onderdelen onderscheiden:

- de overkappingconstructie;
- de veiligheidsvoorzieningen.

Bij de studie naar overkappingen op maaiveld is ook gekeken naar de kosten voor de realisatie van schoorstenen, de kosten voor de afzuig- en ventilatiesystemen en de kosten voor de emissiezuiveringssystemen. Bij de verlenging van de tunnelmond met een sleuf of met doseerpunten wordt echter geen gebruik gemaakt van schoorstenen en emissiezuiveringssystemen. Ook zijn er geen (extra) afzuig- en ventilatiesystemen nodig. Deze kostenposten spelen dus geen rol.

4.2.1. De overkappingconstructie

De lengte van de overkapping is het enige onderdeel dat van onderscheidend belang wordt geacht voor de bouwkosten van de verlenging van de tunnelmond. Van het aanbrengen van een sleuf of doseerpunten met een verschillende omvang in de constructie wordt verondersteld dat dit niet noemenswaardig de kostprijs laat variëren. Eventuele kostenbesparing vanwege besparingen op materiaal zullen waarschijnlijk gecompenseerd worden door een iets duurdere constructie. Dit betekent dat er voor wat betreft de bouwkosten slechts twee varianten zijn, namelijk verlenging met 100 meter en verlenging met 200 meter.

De kosten van de realisatie van een lichte overkapping op maaiveld met een lengte van 1 kilometer zijn hoofdzakelijk afhankelijk van het ontwerp en de gebruikte materialen. Verschillende ontwerpers/leveranciers hebben lichte overkappingen ontworpen en de kosten hiervan variëren van 6 tot 65 miljoen euro per kilometer overkapping. De gemiddelde kosten voor een overkapping op maaiveld zijn geschat op 10 miljoen euro per kilometer (zie tabel 4.1).

tabel 4.1. Investeringskosten van overkappingen⁶

ontwerper overkapping	type	kosten (miljoen euro/km)
DHV/NIO	beton met lichte ribben	65
TU Eindhoven/Booghal	stalen spanten met folie	6
Bosvariant/TNO	glazen kas	7
Samenwerking CI etc	aluminium constructie met doek	12
Lammerts van Bueren	tent (exclusief opbouwkosten)	7
Movares	koudgebogen glas	20
	gemiddelde	20
	gemiddelde - DHV	10
	gemiddelde - DHV & Movares	8

Een constructie die aansluit op een bestaande tunnelmond wordt deels op maaiveld geplaatst en deels boven een verdiept liggende weg. Dit betekent aan de ene kant dat er materiaal kan worden bespaard (bijvoorbeeld de wanden), maar aan de andere kant moeten er ook aanpassingen gemaakt worden om de overkapping op de tunnel te laten aansluiten. Gezien het hoge abstractieniveau van de kostenkennallen is het niet aannemelijk dat een overkapping die aansluit op een bestaande tunnelmond in prijs veel zal afwijken van een overkapping op maaiveld.

Het feit dat een overkapping aan een bestaande tunnelmond slechts één rijbaan hoeft te overspannen en niet beide rijbanen, is wel van invloed op de prijs. Doordat er een minder grote overspanning gerealiseerd hoeft te worden, kan de constructie minder zwaar worden uitgevoerd. Halvering van de kosten is echter een overschatting van de kostenbesparing, omdat de engineeringkosten en materiaalkosten niet gehalveerd kunnen worden. Naar verwachting zijn de constructiekosten van een op een bestaande tunnelmond aansluitende overkapping 8 miljoen euro per kilometer. Voor een verlenging van 100 meter bedragen de kosten dan 0,8 miljoen euro en voor een verlenging van 200 meter 1,6 miljoen euro.

tabel 4.2. Kosten voor de overkappingconstructie per tunnelbuis

	kosten miljoen euro's
verlenging met 100 meter	0,8
verlenging met 200 meter	1,6

De jaarlijkse kosten van de overkappingsconstructie bestaan uit de kosten voor onderhoud en energie. Omdat wordt verondersteld dat het onderhoud van de verlenging kan worden meegenomen binnen het onderhoud van de bestaande tunnel, zijn de meerkosten hiervan binnen deze studie verwaarloosbaar. Ook de kosten voor energie zijn verwaarloosbaar omdat het hier alleen gaat om de energie voor verlichting en niet om bijvoorbeeld de energie ten behoeve van een afzuiginstallatie.

4.2.2. De veiligheidsvoorzieningen

Omdat de verlenging van de tunnelmond wordt uitgevoerd met een sleuf in het dak of met doseerpunten, is er geen sprake van een volledig gesloten overkapping. Hierdoor is het niet nodig om aanvullende veiligheidsvoorzieningen te treffen gericht op de risico's bij brand en explosies (onder andere rookontwikkeling). Omdat de verlenging niet ondergronds wordt gerealiseerd, is het ook relatief eenvoudig om vluchtvoorzieningen te treffen en vormt de bereikbaarheid voor hulpdiensten geen al te groot probleem. Wel is het nodig om de tunneltechnische installaties door te trekken in de verlengde tunnelmond. Omdat de basisinfrastructuur⁷ hier reeds voor bestaat, beperken de kosten zich tot het

⁶ IPL (2007); Overkappen van Wegen en Luchtbehandeling; Een maatregel voor de luchtkwaliteit langs hoofdwegen; Rapportnummer DWW-2007-009.

⁷ Hierbij is uitgegaan van de situatie dat de bestaande tunnel aan de tunnelwet moet voldoen en daarom reeds beschikt over de als gevolg hiervan benodigde veiligheidsvoorzieningen. Het merendeel van de bestaande tunnels is langer dan 500 meter en daarmee vallen zij onder de tunnelwet (http://nl.wikipedia.org/wiki/Lijst_van_tunnels#Wegverkeer). Wanneer de huidige tunnel niet aan de tunnelwet hoeft te voldoen en door verlenging van de tunnelmond juist wel, dan zijn de kosten voor de veiligheidsvoorzieningen vele malen hoger omdat dan de gehele tunnel van veiligheidsvoorzieningen moet worden voorzien. Deze kosten kunnen oplopen tot vele

monteren van extra waarschuwingssystemen en sproei-installaties. De kosten hiervan worden ingeschat op EUR 10.000,00 per 100 meter overkapping. In vergelijking tot de kosten voor de constructie zijn zowel de investeringskosten als de jaarlijkse kosten voor de veiligheidsvoorzieningen verwaarloosbaar.

4.2.3. Kosten per configuratie

In de vorige paragrafen zijn de kosten van de verschillende onderdelen van een verlenging van de tunnelmond gepresenteerd. Door per configuratie de kosten van de verschillende onderdelen bij elkaar op te tellen wordt inzicht verkregen in de totale kosten van een configuratie. In tabel 4.3 zijn de investeringskosten gepresenteerd en tabel 4.4 geeft de Life Cycle Kosten weer. Omdat de jaarlijkse kosten binnen het detailniveau van deze studie verwaarloosbaar zijn, zijn de investeringskosten en Life Cycle kosten even hoog.

tabel 4.3. Investeringskosten per configuratie

investeringskosten in miljoen euro			
1.	verlenging met een sleuf		
a	100 meter	25 % van emissievracht via dak	0,8
b	100 meter	50 % van emissievracht via dak	0,8
c	100 meter	75 % van emissievracht via dak	0,8
d	200 meter	25 % van emissievracht via dak	1,6
e	200 meter	50 % van emissievracht via dak	1,6
g	200 meter	75 % van emissievracht via dak	1,6
2.	verlenging met doseerpunten		
a	100 meter	25 % van emissievracht via dak	0,8
b	100 meter	50 % van emissievracht via dak	0,8
c	100 meter	75 % van emissievracht via dak	0,8
d	200 meter	25 % van emissievracht via dak	1,6
e	200 meter	50 % van emissievracht via dak	1,6
f	200 meter	75 % van emissievracht via dak	1,6

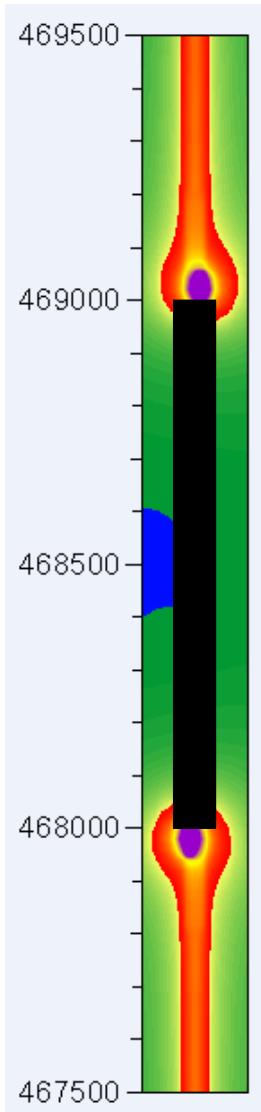
tabel 4.4. Life cycle kosten (10 jaar) per configuratie

life cycle kosten in miljoen euro (10 jaar)			
1.	verlenging met een sleuf		
a	100 meter	25 % van emissievracht via dak	0,8
b	100 meter	50 % van emissievracht via dak	0,8
c	100 meter	75 % van emissievracht via dak	0,8
d	200 meter	25 % van emissievracht via dak	1,6
e	200 meter	50 % van emissievracht via dak	1,6
g	200 meter	75 % van emissievracht via dak	1,6
2.	verlenging met doseerpunten		
a	100 meter	25 % van emissievracht via dak	0,8
b	100 meter	50 % van emissievracht via dak	0,8
c	100 meter	75 % van emissievracht via dak	0,8
d	200 meter	25 % van emissievracht via dak	1,6
e	200 meter	50 % van emissievracht via dak	1,6
f	200 meter	75 % van emissievracht via dak	1,6

miljoenen euro's. De hier gepresenteerde kostenkennallen zijn dus niet toepasbaar op tunnels die als gevolg van de verlenging aan de tunnelwet moeten voldoen.

BIJLAGE I Contourenkaarten

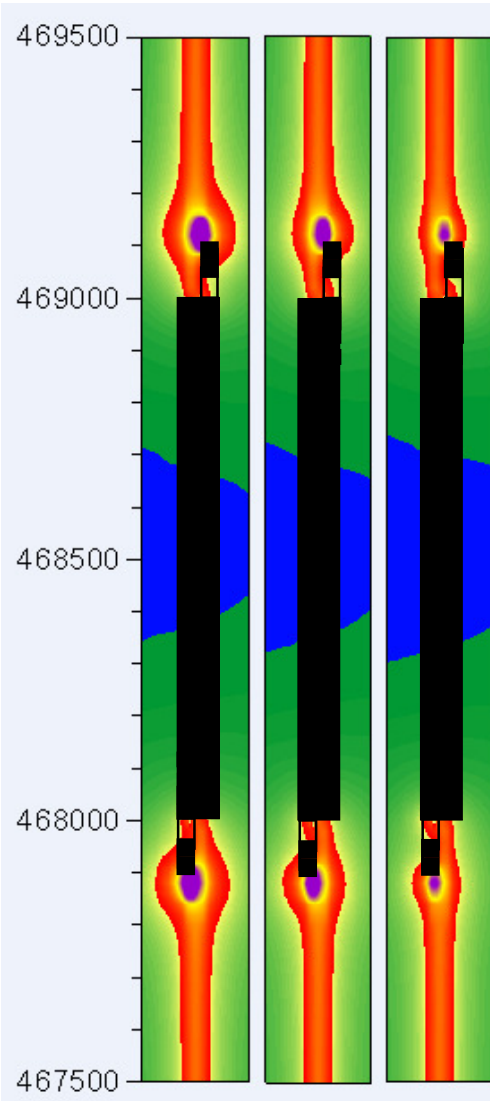
referentiesituatie



verlenging met doseerpunten

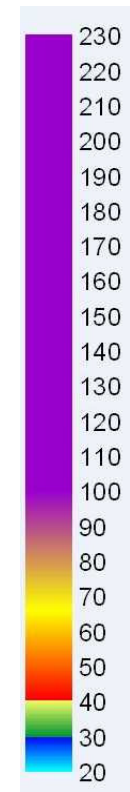
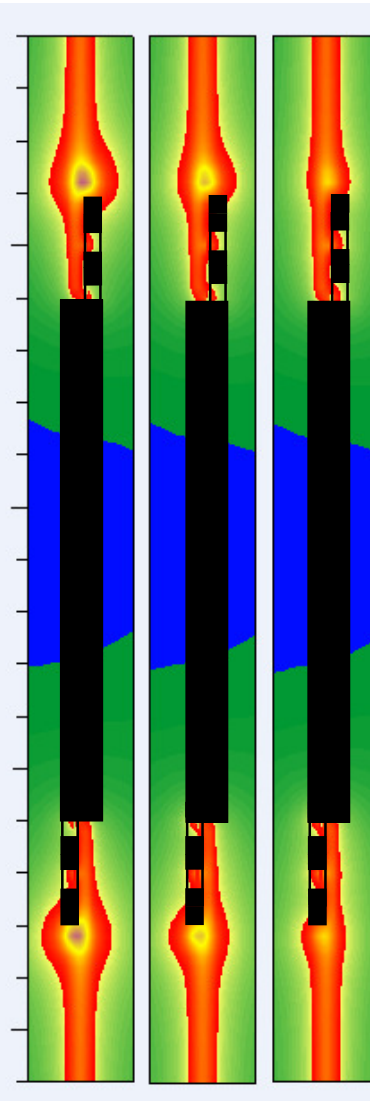
verlenging 100 meter

25 % via dak 50 % via dak 75 % via dak

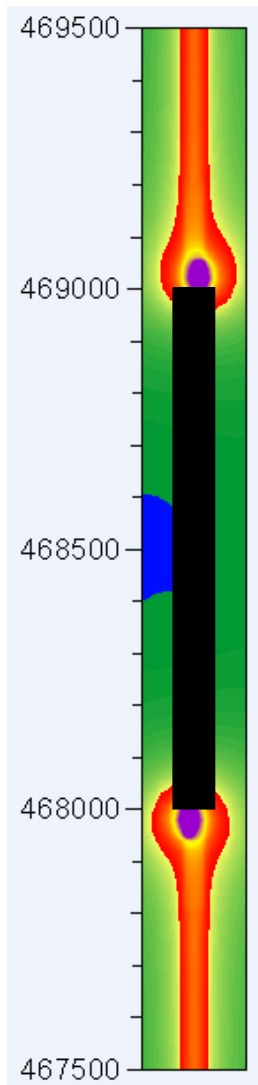


verlenging 200 meter

25 % via dak 50 % via dak 75 % via dak



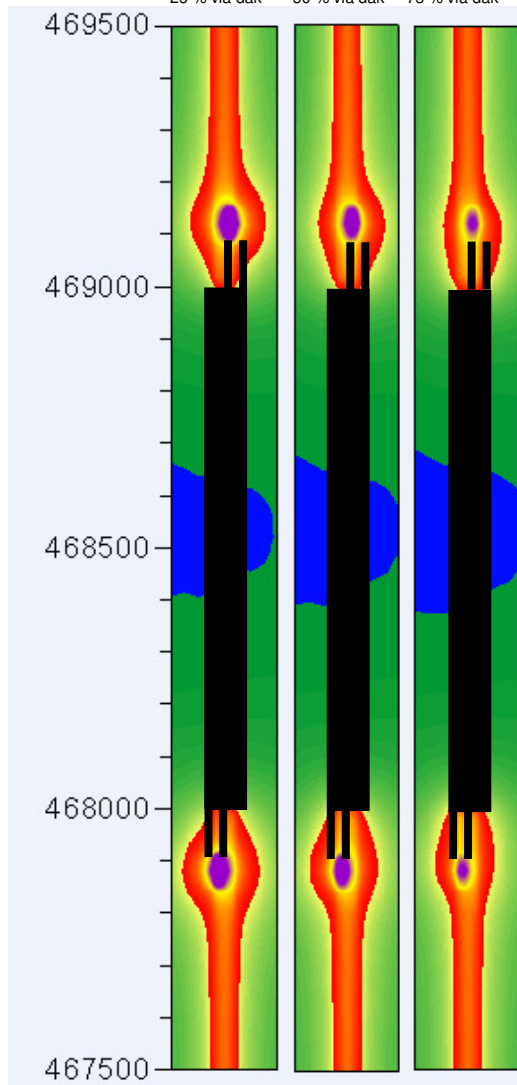
referentiesituatie



verlenging met een sleuf

verlenging 100 meter

25 % via dak 50 % via dak 75 % via dak



verlenging 200 meter

25 % via dak 50 % via dak 75 % via dak

