
MER FICHE: TOOLS TUNNELMONDEN

Om de impact van tunnelmonden en (half-) open sleuven op de luchtkwaliteit en mogelijke milderende maatregelen te onderzoeken werd een studie uitgevoerd door VITO en Tractebel Engie. In deze studie werd een model opgesteld om luchtkwaliteit in tunnels en vervuiling ter hoogte van tunnelportalen te bepalen en een screeningsmodel om een onderbouwde inschatting te maken van de impact van een tunnelmond op de lokale luchtkwaliteit en hoe dit wijzigt bij het toepassen van milderende maatregelen. Beide tools worden kort toegelicht in deze fiche. Voor de volledige studie 'Onderzoeksrapport tunnelmonden', zie

<https://omgeving.vlaanderen.be/richtlijnenboeken-en-handleidingen>.

INHOUD

1	Inleiding.....	2
2	1D-Tunnelmodel.....	3
2.1	Doel	3
2.2	1D-Tunnelmodel berekeningstool	3
2.2.1	Ventilatiesystemen	3
2.2.2	Inputparameters	4
3	Screeningsmodel	6

1 INLEIDING

Het 1D-tunnelmodel maakt het mogelijk om de luchtkwaliteit in tunnels te evalueren. Deze module geeft als resultaat de concentratie aan het tunnelportaal en de snelheid waarmee de lucht de tunnel verlaat. Verschillende methodes voor ventilatie van een tunnel kunnen hierbij worden toegepast.

- Natuurlijke ventilatie
- Langsventilatie
- Dwarsventilatie
- Mechanisch geventileerde schouw

Op basis van deze twee variabelen, namelijk concentratie aan het tunnelportaal en de snelheid waarmee de lucht de tunnel verlaat, kan het screeningsmodel voor luchtkwaliteit nabij tunnelmonden toegepast worden om te bepalen welke luchtkwaliteit er rondom een tunnelmond kan worden verwacht. Hierbij is het eveneens mogelijk om de impact van volgende mitigerende maatregelen te evalueren:

- Schermen
- Bermen
- Insleuving
- Schouwen
- Poreuze overkapping
- Opening in het tunneldak
- Helling van de wanden van de insleuving
- Optimalisatie van de vorm van schermen

Deze tools kunnen gebruikt worden om een eerste inschatting te maken van mogelijke milderende maatregelen bij tunnels waarbij geen sprake is van street canyon effecten.

2 1D-TUNNELMODEL

2.1 DOEL

Een berekeningstool is uitgewerkt onder de vorm van uitgewerkte voorbeelden in een Excel rekenblad. Het doel van de tool is het bepalen van de concentratie van verontreinigende stoffen en de luchtstroomsnelheid op de grensvlakken tussen de tunnel en de buitenomgeving. De resultaten kunnen vervolgens gebruikt worden om milieuanalyses uit te voeren (zoals CFD-simulatie van de verspreiding van verontreinigende stoffen in het milieu) die buiten het bereik van de tool vallen.

De tool is ontworpen om te worden aangepast aan specifieke gevallen: waarden die verwijzen naar de geometrie van de tunnel, verkeersomstandigheden, voertuigkenmerken, enz. kunnen handmatig worden ingevoerd en gewijzigd door de gebruiker. Vervolgens worden de concentratieopbouw van de verontreinigende stof in de tunnel, de luchtstroomsnelheden en concentratie van verontreinigende stoffen aan het tunneleinde bepaald.

De volgende paragraaf geeft een overzicht van de tool.

2.2 1D-TUNNELMODEL BEREKENINGSTOOL

2.2.1 Ventilatiesystemen

Verskillende ventilatiesystemen zijn in overweging genomen:

1. langsventilatie
 - a. case 1A: natuurlijke ventilatie (geen mechanisch ondersteunde luchtstroom) voor normaal en druk verkeer (unidirectioneel)
 - b. case 1B: langsventilatie met jet fans voor normaal en druk verkeer (unidirectioneel)
2. volledige dwarsventilatie
 - a. case 2A: volledige dwarsventilatie voor normaal en druk verkeer (unidirectioneel)
 - b. case 2B: volledige dwarsventilatie voor normaal en druk verkeer (bidirectioneel)
3. mechanisch geventileerde schouw
 - a. case 3A: langsventilatie met mechanisch geventileerde schouw (unidirectioneel)

De berekeningstool stelt het volgende vast:

- de snelheid van de luchtstroom aan het einde van de tunnel
- de concentratie van de verontreinigende stof aan het einde van de tunnel
- voor case 1B: ook het aantal ventilatoren dat nodig is om een vaste concentratiewaarde in de tunnel te handhaven. In dit geval kan de gebruiker de gewenste waarden voor verontreinigende stoffen invoeren en de tool bepaalt het aantal te activeren stuwdrukventilatoren om de opgelegde limiet te handhaven. Merk op dat om realistische waarden te krijgen, een limiet moet worden ingevoerd die gelijk is aan of lager is dan de maximale concentratie van de verontreinigende stof van het equivalente geval zonder mechanische ventilatie.
- voor case 3A: ook de concentratie van de verontreinigde stof en de snelheid van de luchtstroom aan de schouw

De veronderstellingen gemaakt voor elk van de uitgewerkte gevallen worden gespecificeerd in het rekenwerkblad.

2.2.2 Inputparameters

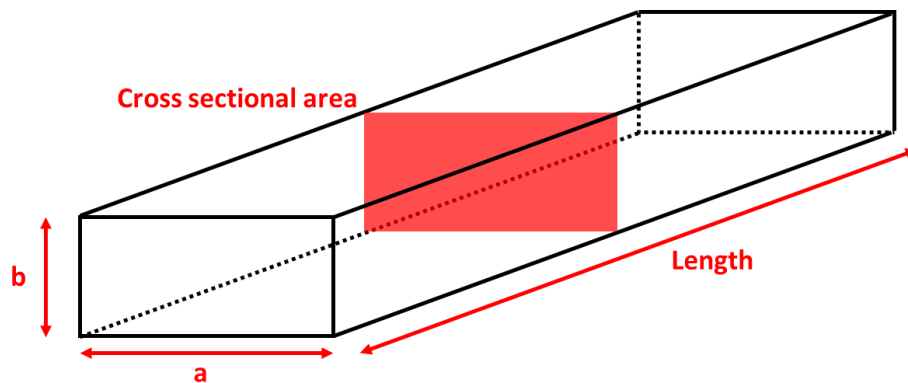
In het rekenblad werd een celkleurcode gemaakt om de volgende gegevens te onderscheiden:

	In te geven of te wijzigen parameters
Value	Berekende waarden
Output	Resultaten

De berekende waarden en de resultaten werden beveiligd in het rekenblad en kunnen niet aangepast worden.

De parameters die ingegeven of gewijzigd kunnen worden:

- **Tunnelkarakteristieken:** lengte (L), de dwarsdoorsnedeoppervlakte (A) en de hydraulische diameter (D_h)



$$\text{Hydraulic diameter} = \frac{4A}{P} = \frac{4A}{2(a+b)}$$

Figuur: Overzicht parameters tunneldimensies.

De geometrische eigenschappen van de tunnel kunnen worden aangepast. In de 1D-berekeningstool maakt een speciaal blad genaamd "HD" het mogelijk om de dwarsdoorsnedeoppervlakte en de hydraulische diameter van twee verschillende tunnelsecties (rechthoekig en half rond) te berekenen door de geometrische basiskenmerken van de sectie in te voeren.

- **wegtype:** U (urban=stedelijk), R (rural=platteland), H (highway=autosnelweg)
- **verontreinigende stof:** BC, CO, NO₂, NO_x, PM₁₀, PM_{2.5}
- **voertuigsnelheid (V_v)** bij normaal en overbelast verkeer in in km/h
- **voertuigcategorie:** LV (licht verkeer: auto's en bestelwagens), ZV (zwaar verkeer: vrachtwagens)
- gemiddelde **weerstandscoefficiënt** (C_d) en gemiddelde **frontale oppervlakte** (A_{voertuig}): deze waarden worden automatisch voorgesteld voor LV en ZV. Het is mogelijk om andere waarden in te geven indien deze beschikbaar zijn. In het MER moet wel gemotiveerd en onderbouwd worden waarom deze andere waarde gebruikt wordt.

- **verkeersvolume** voertuig type : aantal voertuigen van type 1/2 per uur. Indien enkel de dagwaarde (etmaalgemiddelde) beschikbaar is, kan deze gedeeld worden door 24 om het aantal voertuigen van een bepaald type per uur te bekomen.
- **dichtheid lucht** (ρ): ingesteld op 1,18 kg/m³
- **wrijvingsfactor** (f): ingesteld op 0,02
- tunnelingang **verliescoëfficiënt** (K_{port}): ingesteld op 0,6
- **karacteristieken jet ventilator**: diameter, uittrede snelheid, rendement
- **concentratie verontreinigende stof** aan tunnelingang ($C(0)$): ingesteld op 290 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dit is de gemiddelde waarde voor Vlaanderen. De gebruiker dient de juiste waarde in te geven indien deze beschikbaar is. In het MER moet wel gemotiveerd en onderbouwd worden waarom deze andere waarde gebruikt wordt.
- **concentratie verontreinigende stof** die door dwarsventilatie wordt binnengebracht (C_{in}): ingesteld op 232 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dit is de gemiddelde waarde voor Vlaanderen. De gebruiker dient de juiste waarde in te geven indien deze beschikbaar is. In het MER moet wel gemotiveerd en onderbouwd worden waarom deze andere waarde gebruikt wordt.
- **drukverschil** tussen in- en uitgang (p_1-p_2)
- **limiet voor de verontreinigende stof**: in case 1B kan het aantal ventilatoren berekend worden dat nodig is om een vaste concentratiewaarde in de tunnel te handhaven. Deze waarde moet gelijk of lager zijn dan de maximale concentratie van de verontreinigende stof indien er geen mechanische ventilatie zou zijn.
- **ventilatie-debiet** voor dwarsventilatie (Q_i)
- **aantal ventilatoren** (N_{fans})
- **karacteristieken van de schouw** (luchtsnelheid, lengte A en breedte B)
- **karacteristieken van de tunnel** (lengte van sectie 1 (L_1))

Het model maakt gebruik van emissiefactoren om de emissies en concentraties voor de verschillende polluenten te bepalen, namelijk PM₁₀, PM_{2.5}, BC, NO₂, NO_x en CO. De gewogen emissiefactoren zijn berekend m.b.v. FASTRACE. Het zijn vlootgemiddelde emissiefactoren per voertuigtype (LV/ZV), snelheidsprofiel en wegtype. Er wordt voor de verkeersintensiteiten gewerkt met een verdeling tussen licht verkeer (personenwagens, motoren en bestelwagens) en zwaar verkeer (vrachtwagens en autobussen). De gebruikte vloot is die voor het jaar 2018, zoals ook gehanteerd voor de emissierapportering 2020. De basisemissiefactoren zijn afkomstig van COPERT 5.3.

3 SCREENINGSMODEL

Op basis van CFD-modelleringen is een screeningstool samengesteld om een onderbouwde inschatting te maken van de impact van een tunnelmond op de lokale luchtkwaliteit en hoe dit wijzigt bij het toepassen van deze mitigerende maatregelen.

De screeningstool is opgemaakt in MS Excel. Er zijn twee rekenbladen beschikbaar waarbij de gebruiker de cellen in grijs aangeduid kan wijzigen om voor een specifieke tunnel het concentratieprofiel te bepalen. Volgende parameters zijn door de gebruiker instelbaar voor het eerste rekenblad voor schermen en bermen. De profielen voor schermen en bermen van 4m, 6m en 8m hoogte worden vergeleken met de situatie zonder bermen en schermen.

- Snelheid van de lucht die uit de tunnel stroomt - keuzemogelijkheden 1 m/s, 3 m/s, 7 m/s.
- Gemiddelde atmosferische windsnelheid – vrij instelbaar tussen 0,1 m/s en 10 m/s
- Polluentconcentratie aan het tunnelportaal – vrij instelbaar
- Achtergrondconcentratie – vrij instelbaar
- Oriëntatie van de tunnel – keuzemogelijkheden West-Oost (WE), Noord-Zuid (NS), Oost-West (EW) en Zuid-Noord (SN)

De snelheid van de lucht die uit de tunnel stroomt en de concentratie aan het tunnelportaal kunnen bepaald worden met het 1D-tunnelmodel. De invloed van de insleuingsdiepte kan in het tweede rekenblad geanalyseerd worden. Alle concentratieprofielen zijn geanalyseerd nabij de façade van de eerste bebouwing. De relatieve effecten zijn identiek voor de achterliggende gebouwen, maar de absolute concentraties omwille van de emissies uit de tunnel lopen uiteraard minder sterk op met toenemende afstand tot de tunnelmond.

Het effect van de verhouding tussen de bebouwingshoogte en de afstand van de bebouwing tot de weg is afzonderlijk onderzocht en niet opgenomen in het rekenblad. Er wordt standaard gewerkt met 10 m hoge bebouwing en 90 m afstand tussen de eerste bebouwing en het midden van de weg.

Het tweede rekenblad vergelijkt de impact van alle mitigerende maatregelen die in het kader van deze studie zijn onderzocht.

- Schermen
- Bermen
- Insleuving
- Schouwen
- Poreuze overkapping
- Opening in het tunneldak
- Helling van de wanden van de insleuving
- Optimalisatie van de vorm van schermen

Hierbij is enerzijds een vergelijking voor elke maatregel afzonderlijk en de varianten in dimensies hier van. Anderzijds is een overzicht van alle maatregelen in een overzicht opgenomen. De invoerparameters zijn grotendeels dezelfde parameters. In dit tweede rekenblad kan ook worden opgenomen of tunnelrecirculatie wordt opgenomen. Dit is het aandeel van de emissies dat via de ingang van de andere tunnelkoker weer het tunnelsysteem in gaat. Indien het tunnelportaal aan de andere zijde van de tunnel identiek is ingericht kan dit worden verwaarloosd.

Onderstaande figuren tonen een overzicht van de beide rekenbladen.

Dit rekenblad vergelijkt de impact van geluidsschermen en bermen nabij een tunnelmond op de concentraties ter hoogte van de bebouwing.

De windrichtingsstatistieken worden via het rekenblad 'Wind stats' ingelezen. De gebruiker kan volgende parameters aanpassen:

stroomsnelheid en concentratie aan het tunnelportaal, gemiddelde atmosferische windsnelheid op 10m hoogte, achtergrondconcentratie en de oriëntatie van de tunnel.

WE is West-Oost, EW is Oost-West, NS is Noord-Zuid, SN is Zuid-Noord.

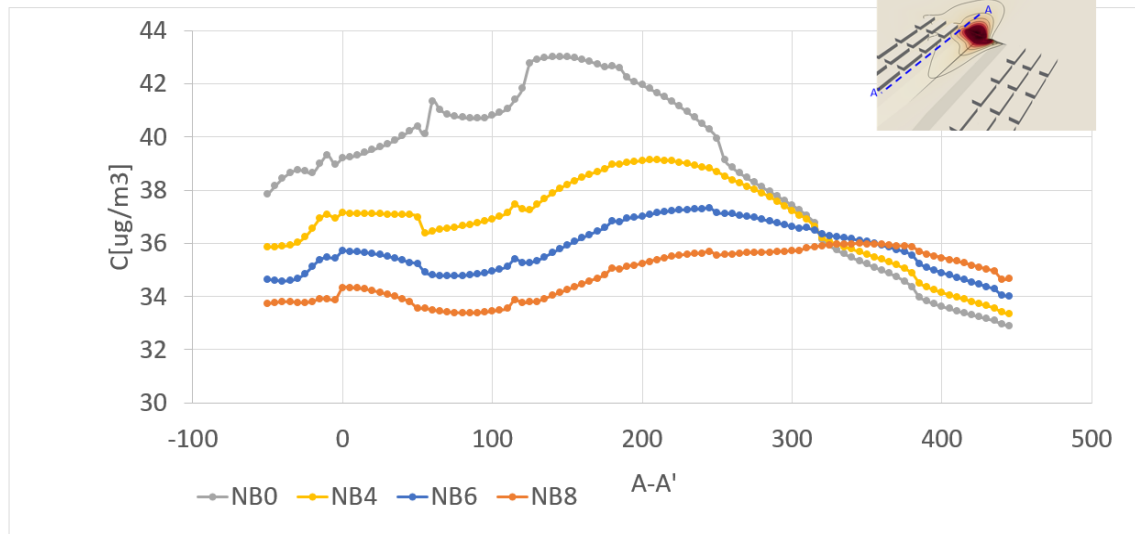
Invoer gebruikers - grijze cellen

Invoerdata gebruiker	Waarde	Eenheid	Beschikbare opties	Windstatistieken:	Oriëntatie tunnel:
Stroomsnelheid tunnel:	3	m/s	[1,3,7]		
Diepte insleuving:	10	m	10		
Gem. Windsnelheid @10m:	2	m/s	0.1-10		
Hoogte scherm of berm:	0,4,6,8				
Concentratie tunnelportaal:	1500	ug/m3			
Achtergrondconcentratie:	30	ug/m3			
Tunneloriëntatie:	SN		[WE,NS,EW,SN]		
Gebouwhoogte	10				
Afstand tot gebouwen	90				

Jaargemiddelde concentratieprofielen langs de façade van de gebouwen

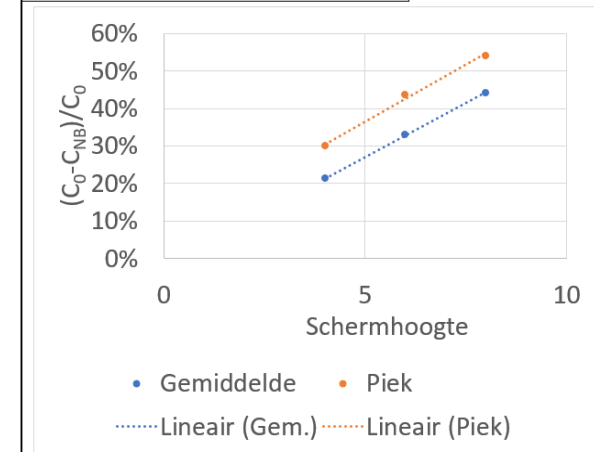
Schermhogtes: 0m (NB0), 4m (NB4), 6m (NB6) en 8m (NB8)

Geluidsschermen



Invloed van scherm op de concentraties - tunnelbijdrage

Hoogte	Gemiddelde	Ratio	Piek	Ratio
m	ug/m ³		ug/m ³	
0	8.76	-	13.02	-
4	6.89	21%	9.12	30%
6	5.87	33%	7.33	44%
8	4.89	44%	5.98	54%



Figuur: Voorbeeld rekenblad schermen en bermen

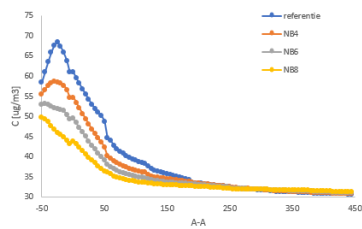
Dit rekenblad vergelijkt alle bestudeerde mitigerende maatregelen op basis van jaargemiddelde profielen. De stroomsnelheid uit de de tunnel is 3m/s. De gebruiker kan de concentratie aan het tunnelportaal, de tunneloriëntatie, de achtergrondconcentratie en de atmosferische windsnelheid instellen. De windrichtingsstatistieken worden via het rekenblad 'Wind stats' ingelezen.

Invoer gebruikers - grijze cellen

	Waarde	Eenheden	Beschikbare opties
Stroomsnelheid tunnel:	3	m/s	3
Gemiddelde windsnelheid @10m:	2	m/s	0.1-10
Concentratie tunnelportaal:	1500	ug/m3	
Achtergrondconcentratie:	30	ug/m3	
Tunneloriëntatie:	EW		[WE,NS,EW,SN]
Tunnelrecirculatie?	Yes		Yes / No *
Gebouwhoogte	10		
Afstand tot gebouwen	90		

*: Indien YES wordt gewerkt met tunnelrecirculatie. Er wordt rekening gehouden met de recirculatie van een deel van de emissies uit het tunnelportaal aan de andere zijde van de tunnel (identiek ingericht).
indien NO, wordt dit niet meegenomen, maar kan dit apart worden berekend met het 1D-tunnelmodel.

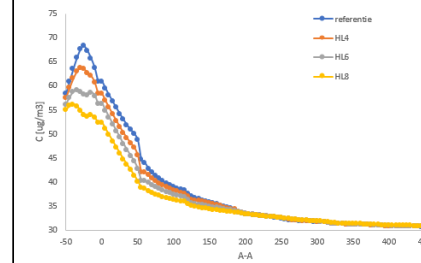
Geluidsschermen



NAAM	HOOGTE	Gemiddelde (ug/m ³)	Piek (ug/m ³)	% naar ingang
NB0	0	36.43	60.94	22%
NB4	4	35.08	54.63	25%
NB6	6	34.22	49.43	27%
NB8	8	33.38	43.83	30%

NAAM	Tunnelbijdrage		Totaal	
	Afname Gemiddelde	Afname Piek	Afname Gemiddelde	Afname Piek
NB4	21.0%	20.4%	3.7%	10.4%
NB6	34.4%	37.2%	6.1%	18.9%
NB8	47.4%	55.3%	8.4%	28.1%

Bermen



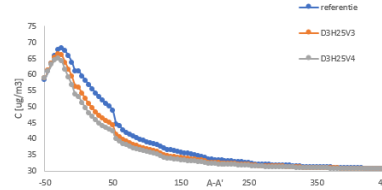
NAAM	HOOGTE	Gemiddelde (ug/m ³)	Piek (ug/m ³)	% naar ingang
HL0	0	36.43	60.94	22%
HL4	4	35.92	58.38	23%
HL6	6	35.39	56.27	24%
HL8	8	34.73	52.30	26%

NAAM	Tunnelbijdrage		Totaal	
	Afname Gemiddelde	Afname Piek	Afname Gemiddelde	Afname Piek
HL4	7.9%	8.3%	1.4%	4.2%
HL6	16.1%	15.1%	2.8%	7.7%
HL8	26.4%	27.9%	4.7%	14.2%

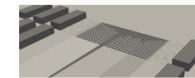
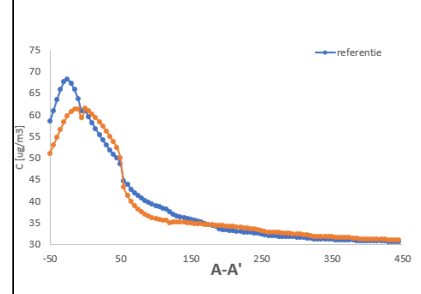
Schouwen

Hoogte	Diameter	V schouw (m/s)	Debiet [m3/h]	V Tunnel (m/s)	Gemiddelde (ug/m ³)	Piek [x>0] (ug/m ³)
0	0	0	0	3.0	36.4	60.9
5	3	3	76341	2.5	34.8	54.9
15	3	3	76341	2.5	34.8	55.5
25	3	3	76341	2.5	34.9	55.8
25	3	4	101788	2.3	34.3	53.0

V schouw en V tunnel zijn de stroomsnelheden door respectievelijk schouw en tunnel.



Poreuze overkapping



NAAM	Gem. [x>0] (ug/m ³)	Piek [x>0] (ug/m ³)	% naar ingang
Referentie	36.4	60.9	22.5%
Por. Overkapping	36.6	61.4	28.1%

NAAM	Tunnelbijdrage		Totaal	
	Afname Gemiddelde	Afname Piek	Afname Gemiddelde	Afname Piek
P. overkapping	-2.1%	-1.6%	-0.4%	-0.8%

Figuur: Voorbeeld rekenblad mitigerende maatregelen. Naast de hier getoonde delen voor schermen, bermen, schouwen en een poreuze overkapping, is er ook nog een overzicht voor diepte insleuving, helling insleuving, opening in tunneldak en een vergelijking van deze mitigerende maatregelen.

AFSPRAKEN

- De rekenbladen worden als bijlage bij het MER gevoegd.
- Wanneer de oriëntatie van de tunnel afwijkt van de 4 standaard oriëntaties in het rekenblad, worden de 2 oriëntaties die hier het dichtst bij aansluiten doorgerekend.
- Hoewel standaard gewerkt wordt met 10 m hoge bebouwing en 90 m afstand tussen de eerste bebouwing en het midden van de weg, kan het rekenblad gebruikt worden voor alle situaties met tunnel voor zover het niet om street canyons gaat.