



Toepassingsadvies: **T-toppen**

Beschrijving innovatie.....	3
Akoestische werking	3
Criteria basisscherm.....	5
Criteria T-top	5
Rekenregel.....	7
Criteria t.a.v. veiligheid	10
Windbelasting.....	11
Kosten.....	15
Bijlage A: Rekenregel in rekenprogrammatuur	16

Colofon

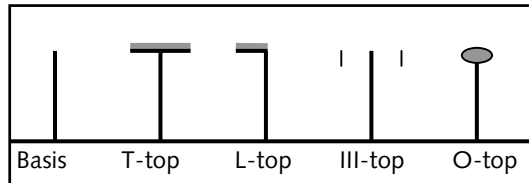
Uitgegeven door	RWS, Dienst Weg- en Waterbouwkunde
Contactpersoon	L.E.M. van Oostroom
Informatie	Telefoon 015 - 2518 494
Met medewerking van	W.W. van Hattem (BD) H. Kwint (AVV)
Rapportnummer	DWW-2006-042
Versie	31 maart 2006
Goedkeuring	Dr. P. Stienstra

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

Het Innovatieprogramma Geluid beoogt de invoering van een nieuwe set maatregelen om verkeerslawaaai bij rijkswegen en spoorwegen te verminderen bij de bron. Naast het testen van nieuwe maatregelen aan voertuigen, weg en rails is het versnellen van het implementeren van de innovaties een tweede belangrijke stap van het IPG. Invoering van de nieuwe maatregelen moet leiden tot een duidelijke geluidsvermindering en een halvering van de bestaande kosten van geluidmaatregelen.

Beschrijving innovatie

Een schermtop is een product dat bovenop een (bestaand) scherm gemonteerd kan worden en dat de akoestische werking van dat scherm verbetert in het afgeschermd gebied. Een schermtop kan verschillende vormen en afmetingen hebben.



Onderzoek heeft aangetoond dat van alle onderzochte toppen, de absorberende T-top (kortweg 'de T-top') de meest effectieve is. In dit document worden richtlijnen gegeven voor de toepassing van T-toppen.

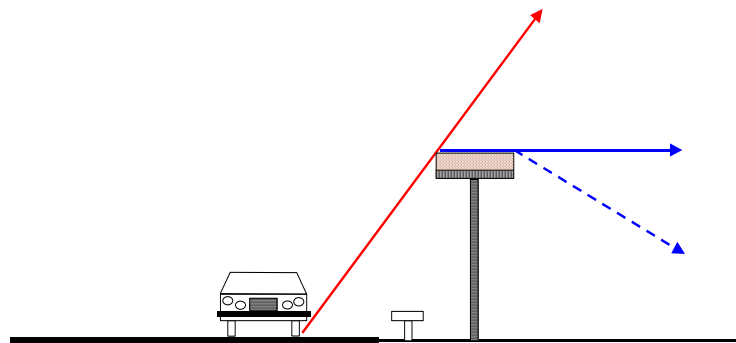
De rapportages van de verschillende onderzoeken naar schermtoppen zijn te downloaden van de site: www.innovatieprogrammagemuid.nl.



Akoestische werking

De akoestische werking van T-toppen kan worden toegeschreven aan de volgende fysische mechanismen:

- Verplaatsing van de eerste diffractierand¹ naar de bronzijde; De positie van de eerste diffractierand van de T-top ligt dicht bij de bron dan de diffractierand van het basisscherm. Hierdoor wordt het schaduwgebied achter het scherm vergroot. Ontvangstposities die bij het basisscherm reeds in het schaduwgebied vallen, zullen door het verschuiven van de diffractierand dieper in het schaduwgebied vallen en de schermwerking zal sterker zijn.



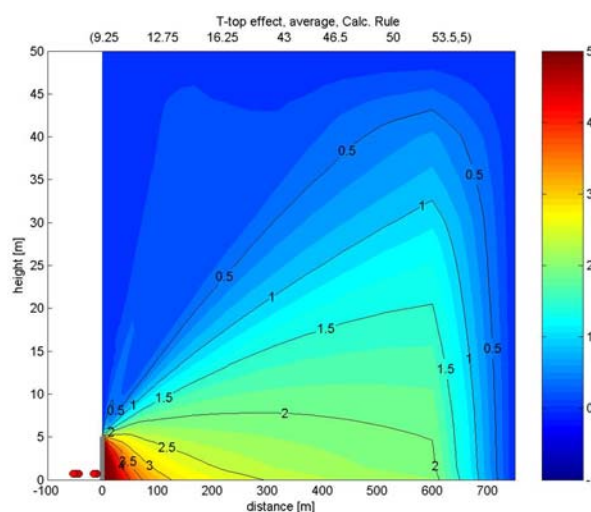
¹ Een diffractierand is een rand waarover het geluid afbuigt in een andere richting

- Een tweede diffracterand; De T-top heeft twee randen. De tweede diffracterand werpt een tweede schaduwgebied.
- Geluidsabsorptie in de T-top tussen de twee diffracteranden; De diffracteranden veroorzaken ook een terugkomend geluidsveld. Tussen de twee diffracteranden lopen geluidsgolven heen en weer. Het absorberend materiaal zorgt voor demping van deze geluidsgolven.

De effecten van de tweede diffracterand en de geluidsabsorptie nemen toe bij een grotere afstand tussen de eerste en de tweede diffracterand.

Het akoestische effect toegelicht aan de hand van een voorbeeld

Wanneer op het geluidsscherm bij de Meern (A12) een T-top zou worden geplaatst (zie onderstaande fotomontage) dan zou het extra akoestische effect in het achterliggende gebied zijn, als aangegeven in onderstaande grafiek (waarden zijn in dB(A)).

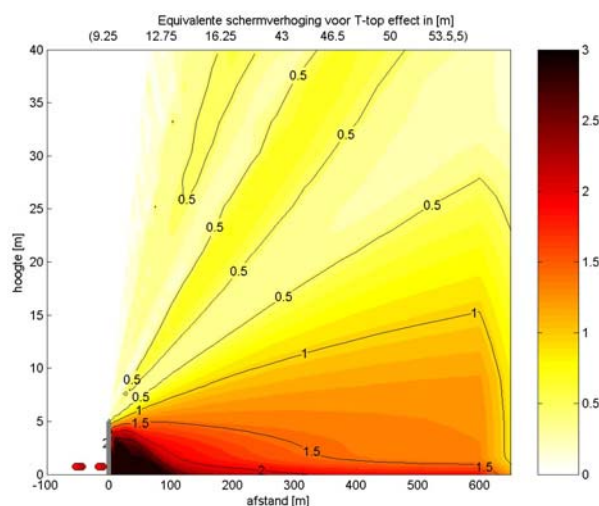


Een extra akoestisch effect kan ook verkregen worden door het geluidsscherm te verhogen.

In onderstaande grafiek (zelfde situatie: Meern, A12) wordt in het waarneemgebied het akoestische effect van de T-top in equivalente schermverhoging weergegeven.

Vergelijk van de effecten laat zien dat de T-top rondom de zichtlijn akoestisch gelijkwaardig is met een schermverhoging van een 0,5 m.

Dieper in de geluidsschaduw is de T-top akoestisch gelijkwaardig met 1 tot 2 m schermverhoging (of meer voor locaties diep in de geluidsschaduw, direct achter het geluidsscherm).

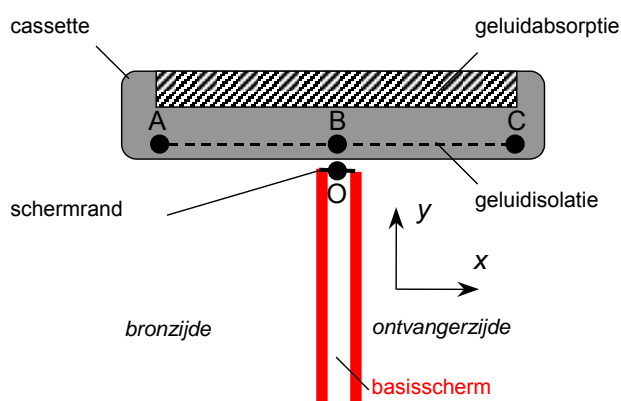


Criteria basisscherm

Het basisscherm is het geluidsscherm zonder T-top. Het basisscherm kan aanwezig zijn geweest voordat de T-top is geplaatst. Ook is het mogelijk dat het basisscherm en de T-top als nieuw geïntegreerd scherm worden geïnstalleerd. Voor de absorberende T-top is een rekenregel ontwikkeld. Deze is opgenomen in het reken- en meetvoorschrift. Met deze rekenregel kan het extra akoestische effect van de T-top berekend worden.

Akoestische criteria basisscherm

Er worden akoestische randvoorwaarden aan het basisscherm gesteld. Slechts in het geval dat het basisscherm hieraan voldoet, kan de rekenregel voor T-toppen toegepast worden.



Het basisscherm:

- moet een geluidsisolatie hebben die tenminste voldoet aan de eisen zoals gesteld in de GCW-2001²;
- kan reflecterend, absorberend, recht, gekromd zijn, verticaal of onder een hoek (van maximaal 30°) staan. Het scherm kan op een heuvel of talud staan, zolang de hoogte van het scherm maar minimaal 2 meter hoog is;
- moet ook met T-top blijven voldoen aan de overige (akoestische) eisen zoals gesteld in de GCW-2001.

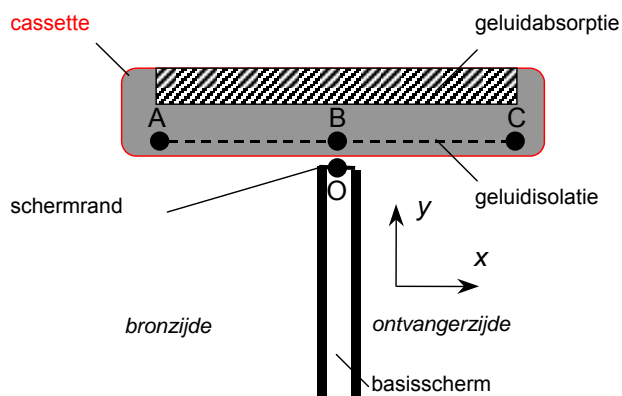
Overige criteria basisscherm

Het basisscherm:

- moet de extra windbelasting kunnen opvangen (zie hoofdstuk over windbelasting);
- moet verder ook geschikt zijn om een T-top op te plaatsen. Zo zal de top bevestigd moeten worden. Het is daarnaast niet heel praktisch als de rand van het scherm over de lengte veel in hoogte wisselt. Dit zijn moeilijk te definiëren aspecten en dit zal daarom in elke situatie opnieuw beoordeeld moeten worden.

Criteria T-top

Er worden ook akoestische randvoorwaarden aan de T-top gesteld. Slechts in het geval dat de T-top hieraan voldoet, kan de rekenregel toegepast worden. In het geval dat de T-top niet overeenkomt met onderstaande omschrijving, zal de extra akoestische werking met nader onderzoek vastgesteld moeten worden.



Cassette

De T-top kan worden opgebouwd m.b.v. een cassette. Deze cassette kan het absorptiemateriaal beschermen, de top visueel aantrekkelijker maken of de montage van de top vereenvoudigen.

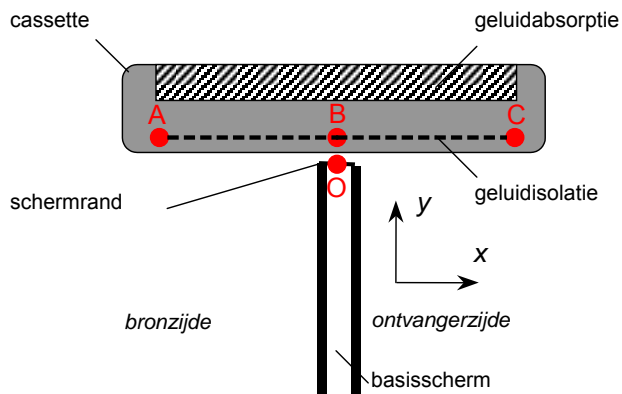
² Richtlijnen geluidbeperkende constructies langs wegen, GCW-2001, CROW publicatie 166

Een deel van de cassette kan daarnaast ook een akoestische functie hebben. Er worden in dit hoofdstuk alleen specificaties gegeven die een akoestische functie hebben. De overige delen van de cassette zijn uit akoestisch oogpunt vrij te ontwerpen.

Afmetingen top

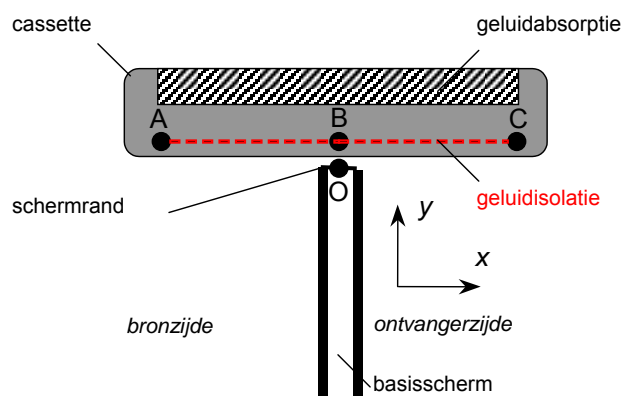
De geometrie van de T-top wordt beschreven aan de hand de volgende punten:

- Het punt O ligt in het midden (in x-richting) van de schermrand van het basisscherm.
- Punt A ligt aan de weg- of bronzijde van het scherm. De afstand tussen punt A en punt B is $1\text{ m} \pm 0,1\text{ m}$ in horizontale richting. Punt A ligt op gelijke hoogte als punt B met een tolerantie van $\pm 0,1\text{ m}$. Een kleinere afstand of een lagere positie van punt A zal leiden tot een lager T-top effect. Een grotere afstand of een hogere positie van A zal een hoger T-top effect als gevolg hebben, maar zal vanuit andere eisen als verkeersveiligheid, zichtbelemmering en toelaatbare windbelasting worden begrensd.
- Punt B ligt recht boven punt O. Bij de aansluiting van de T-top op het



basisscherm bij het punt O zijn spleten tot maximaal 10mm toelaatbaar, hetgeen overeenkomt met een maximale afstand van 10mm tussen punt O en B. Geadviseerd wordt deze spleet vanuit akoestisch oogpunt echter zo klein mogelijk te houden.

- Punt C ligt aan de ontvangerzijde van het scherm. De afstand tussen punt B en punt C is $1\text{ m} \pm 0,1\text{ m}$ in horizontale richting. Punt C ligt op gelijke hoogte als punt B $\pm 0,1\text{ m}$. Een kleinere afstand of een lagere positie van punt B zal leiden tot een lager T-top effect. De maximale hoogte zal onder andere worden begrensd door de maximaal toelaatbare windbelasting en/of zichtbelemmering.

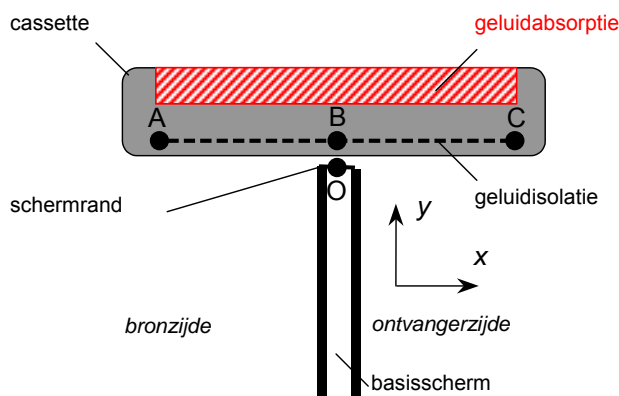


De functionele eisen

- Vormvastheid T-top: De posities van de punten A, B en C ten opzichte van punt O moeten onder invloeden van wind, vandalisme en veroudering bewaard blijven tot aan de minimale levensduur.
- Geluidsisolatie T-top: Tussen punten A en B en tussen punten B en C moet geluidsisolerend materiaal aanwezig zijn, bijvoorbeeld in de vorm van horizontale panelen. De geluidsisolatie hiervan dient minimaal $DL_R \geq 20\text{ dB(A)}$ te zijn, bepaald volgens NEN-EN 1793-2 voor het standaard-wegverkeersgeluidsspectrum (zie ook GCW-2001²).

Voor gesloten (niet poreuze) panelen is hieraan voldaan als het oppervlaktegewicht op de lichtste plaats ten minste 15 kg/m^2 is, waarbij de materiaalkeuze vrij is. Er kunnen afwateringskanalen in de panelen worden aangebracht mits aan de eis voor geluidsisolatie blijft worden voldaan. De panelen moeten voldoende duurzaam zijn om voor de minimale levensduur het gewicht per vierkante meter, de perforatiegraad en de afdichting tussen de punten A - B en B - C te behouden.

- Geluidsabsorptie top: Het geluidsabsorberend materiaal moet over de gehele breedte tussen punten A en C aanwezig zijn boven de geluidsisolerende panelen. Het



geluidsabsorberende materiaal mag zich niet bevinden onder de denkbeeldige lijn tussen punten A en C. De initiële geluidsabsorptie van een nieuwe T-top dient zodanig te zijn dat de niveaureductie door absorptie DL_{α} , zoals bepaald volgens NEN-EN 1793-1, tenminste 9 dB(A) is voor wegverkeerslawaai (zie ook GCW-2001²). De norm NEN-EN 1793-1 beschrijft een absorptiemeting in de galmkamer aan een stuk schermtop van 10 tot 12 m².

Het kan noodzakelijk zijn om het absorptiemateriaal te beschermen tegen bijvoorbeeld regen. De geluidsabsorberende eigenschappen dienen te gelden voor het materiaal met bescherming samen. Het materiaal moet de geluidsabsorberende eigenschappen behouden tot een minimum van $DL_{\alpha} = 6$ dB(A) gedurende een tijdsduur gelijk aan de onderhoudsvrije periode. Tijdens onderhoud aan de T-toppen kan het geluidsabsorberende materiaal gereinigd of vervangen worden zodat voor de daarop volgende onderhoudsvrije periode de geluidsabsorberende eigenschappen minimaal voldoen aan $DL_{\alpha} = 6$ dB(A). De vereiste initiële geluidsabsorptie, $DL_{\alpha} = 9$ dB(A), is hoger gesteld dan de minimale geluidsabsorptie, $DL_{\alpha} = 6$ dB(A). De reden hiervoor is dat voor alle in de praktijk bekende absorptiematerialen de geluidsabsorptie terugloopt als gevolg van veroudering en/of vervuiling.

Rekenregel

Reken- en Meetvoorschrift Wegverkeerslawaai

Het extra akoestische effect van een T-top - mits deze voldoet aan de omschreven criteria - kan in rekening gebracht worden met een correctieterm C_T . De rekenregel die gebruikt kan worden om dit extra effect te berekenen is opgenomen in het RMW2002.

De schermwerking ΔL_{SW} kan als volgt worden berekend:

$$\Delta L_{SW} = H F(N_f) + C_T - C_p$$

waarin:

- H de effectiviteit van het scherm is;
- $F(N_f)$ een functie met argument N_f (het fresnelgetal);
- C_T de correctieterm vanwege een schermtop; en
- C_p de profielafhankelijke correctieterm.

De rekenregel waarmee de correctieterm C_T kan worden berekend, wordt beschreven in dit hoofdstuk.

De rekenregel

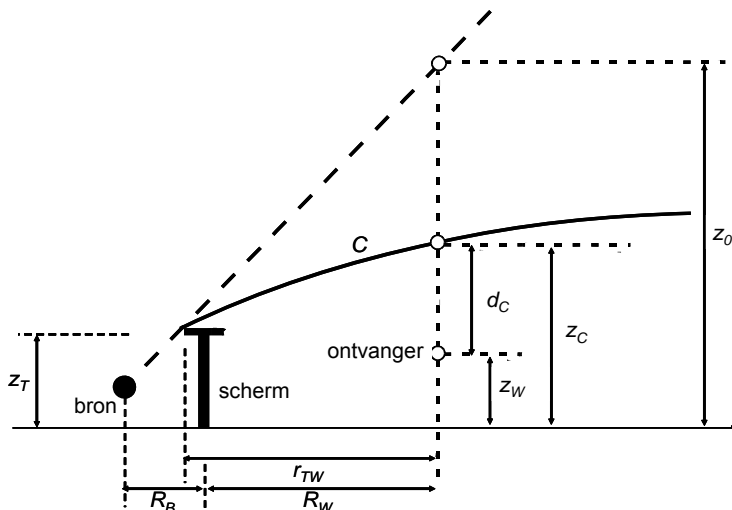
De waarde van de correctieterm C_T is onafhankelijk van de frequentie en dient voor iedere bronpunt - waarneempunt relatie afzonderlijk te worden berekend. De berekening gebeurt in twee stappen.

1. De eerste stap bepaalt een kromme C in het verticale vlak door een bronpunt en een waarneempunt. De kromme start voor elk sectorvlak in het punt op de rand van de schermtop aan de bronzijde. De kromme wordt beschreven door onderstaande formule.

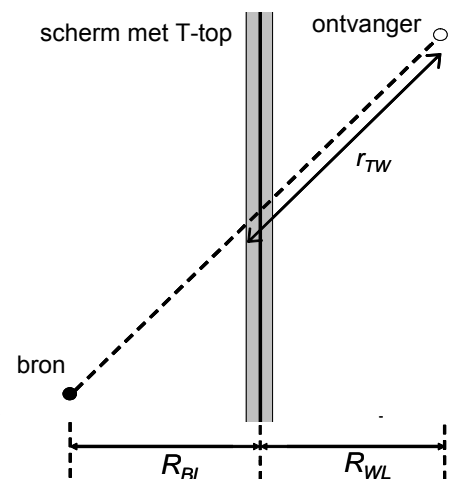
$$z_C(r_{TW}) = z_0(r_{TW}) - \frac{r_{TW}}{C_1} - \left(\frac{r_{TW}}{C_2} \right)^2$$

met:

- $z_C(r_{TW})$ de hoogte van de kromme C van de bron ter plaatse van het waarneempunt;
- $z_0(r_{TW})$ de hoogte van de zichtlijn van de bron ter plaatse van het waarneempunt;
- r_{TW} de horizontale afstand tussen de rand van de schermtop (aan de bronzijde) en de ontvanger;
- C_1 en C_2 constanten.



Dwarsdoorsnede van de berekening van de verticale afstand d_c tussen de kromme C en de ontvanger. De hoogte van de bron tot de gemiddelde weghoogte is 0,75 m (in SRM-II aangegeven met z_b)



Bovenaanzicht van de berekening van de afstand r_{TW} tussen het scherm en de ontvanger.

De verticale afstand d_c tussen de kromme C en het waarneempunt wordt berekend volgens:

$$d_C = z_W - z_C \quad \text{Formule 6.2 uit het RMW2002}$$

Daarbij is:

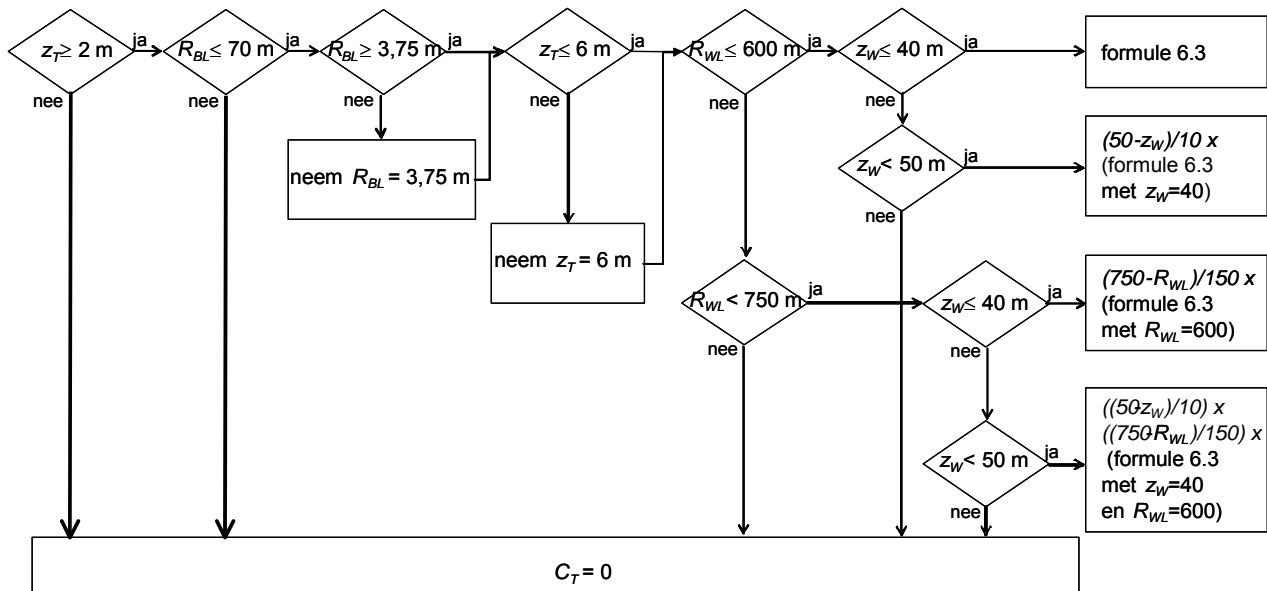
- z_W : de hoogte van het waarneempunt ten opzichte van het referentiepeil (horizontaal vlak waarin $z=0$) [m];
- z_C : de hoogte van de kromme C ten opzichte van het referentiepeil ter plaatse van het waarneempunt [m].

De term d_c is negatief als het waarneempunt lager is dan de kromme C.

2. In de tweede stap wordt de waarde van C_T bepaald.

Naast de reeds vermelde parameters d_C en r_{TW} , zijn de volgende gegevens nodig:

- R_B :de horizontaal gemeten afstand tussen de bron en het geluidsscherm langs een bepaald bron-waarneempunt-pad [m];
- R_W :de horizontaal gemeten afstand tussen waarneempunt en scherm langs een bepaald bron-waarneempunt-pad [m];
- R_{BL} :de afstand tussen bron en geluidsscherm gemeten langs de kortste verbindinglijn [m];
- R_{WL} :de afstand tussen geluidsscherm en waarneempunt gemeten langs de kortste verbindinglijn [m];
- z_T :de hoogte van de top van de afscherming ten opzichte van het referentiepeil [m];
- z_W :de hoogte van het waarneempunt ten opzichte van het referentiepeil [m].



De basisberekening van C_T is verloopt volgens de volgende formule:

$$C_T = \begin{cases} A & \text{voor } d_C \leq -C_3 r_{TW} \\ A \frac{C_3 r_{TW} - d_C}{2C_3 r_{TW}} & \text{voor } -C_3 r_{TW} < d_C < C_3 r_{TW} \\ 0 & \text{voor } d_C \geq C_3 r_{TW} \end{cases} \quad \text{Formule 6.3 uit het RMW2002}$$

met C_3 en A constanten

De waarden van de constanten voor de T-top zijn weergegeven in de onderstaande tabel. De constante C_0 heeft als waarde de breedte van de rand van de T-top aan de wegzijde ten opzichte van het midden van het scherm.

Constante	C_0	C_1	C_2	C_3	A
waarde voor schermtop	1,0	8,3	150	0,13	5,0

Voor een praktisch gebruik van de rekenregel moet deze opgenomen worden in de verschillende akoestische rekenpakketten (SRM II). In bijlage A wordt een beschrijving gegeven hoe deze rekenregel aan akoestische rekenpakketten kan worden toegevoegd.

Criteria t.a.v. veiligheid

Vanuit veiligheidsoogpunt worden er in criteria gesteld aan de plaatsing van het scherm (met eventuele T-top) achter de afschermingsconstructie.

Afschermen van de geluidsbeperkende constructie

Het plaatsen van de geluidsbeperkende constructie buiten de obstakelvrije zone leidt veelal tot grote, wellicht onaanvaardbare schermhoogtes. Per situatie moet worden afgewogen of de geluidsbeperkende constructie binnen of buiten de obstakelvrije zone wordt geplaatst. Geluidsbeperkende constructies die worden geplaatst binnen de obstakelvrije zone van de weg dienen te worden afgeschermd.

Voor de bepaling van de afmetingen van de obstakelvrije zone langs autosnelwegen wordt verwezen de 'Veilige inrichting van bermen' van de richtlijnen voor het ontwerpen van autosnelwegen (ROA)³. Voor die langs overige wegen wordt verwezen naar het handboek 'Veilige inrichting van bermen langs niet-autosnelwegen'⁴.

In deze CROW-publicaties zijn tevens de typen geleideconstructies beschreven die kunnen worden toegepast met de bijbehorende afmetingen zoals de afstand tussen de geluidsbeperkende constructie en de afschermende voorziening en de afstand van die voorziening tot de rand van de verharding.

Indien een geluidsscherm (met eventuele T-top) moet worden afgeschermd met een geleiderail gaat de voorkeur uit naar een zo flexibel mogelijke constructie. Hoe flexibeler de constructie hoe kleiner de kans op letsel bij de inzittenden.

In situaties waarin - door ruimtegebrek - het standaard dwarsprofiel met een flexibele geleiderailconstructie niet kan worden gerealiseerd, kan een passende oplossing worden gevonden door het verkleinen van de uitbuigruimte en de bergingszone en door het verstijven van de geleiderail. Effecten van de verstijving van de geleiderailconstructie zijn dat grotere voertuigvertragingen (hogere letselkans voor inzittenden), grotere uitrijhoeken (terugkaatsen in de eigen verkeersstroom) en een toename van het kantelgevaar voor voertuigen met een hoog zwaartepunt optreden.

Als laatste optie kan voor een stijf cq. star type geleideconstructie, zoals een geleidebarrier worden gekozen.

T-toppen

Op het geluidsscherm kan een T-top worden toegepast. Indien de T-top zich beneden de voorgeschreven doorrijhoogte bevindt, dient deze buiten de verticale lijn van de voorkant van de uitbuigende geleiderailconstructie te blijven (zie de figuur 9-10 'Doorrijhoogte onder kunstwerk'³). Bij toepassing van een T-top ware bij voorkeur de bovenwaarde van de bij de constructie genoemde uitbuigruimte aan te houden. Bij de toepassing van een verstijfde constructie geldt dit in versterkte mate wegens de hierbij optredende toename van het kantelgevaar voor voertuigen met een hoog zwaartepunt.

Overige veiligheidsaspecten

In deze paragraaf wordt aandacht besteed aan de overige veiligheidsaspecten waarmee bij de toepassing van een geluidsscherm rekening gehouden dient te worden. In het algemeen zullen deze aspecten moeten voldoen aan de eisen zoals aangegeven in de GCW 2001². Het toepassen van T-toppen stelt geen bijzonder eisen aan de daarin genoemde aspecten.

³ ROA-richtlijnen 'Veilige inrichting van bermen', CROW, mei 1999

⁴ 'Veilige inrichting van bermen niet-autosnelwegen', CROW-publicatie 202, november 2004

Obstakelvrees

In bermen zonder vluchtstrook staan geluidsschermen veelal dicht op de weg en obstakelvrees is een van de aspecten waaraan tijdens het ontwerp aandacht moet worden besteed. Door obstakelvrees gaan mensen dicht naar het midden van de weg rijden waardoor de onderlinge afstanden tussen voertuigen wordt verkleind. De kans op ongelukken wordt hierdoor groter. Dit is te voorkomen door het scherm niet al te massief en transparant over te laten komen. Gebruik van lichte vormen en kleuren kan hierbij helpen.

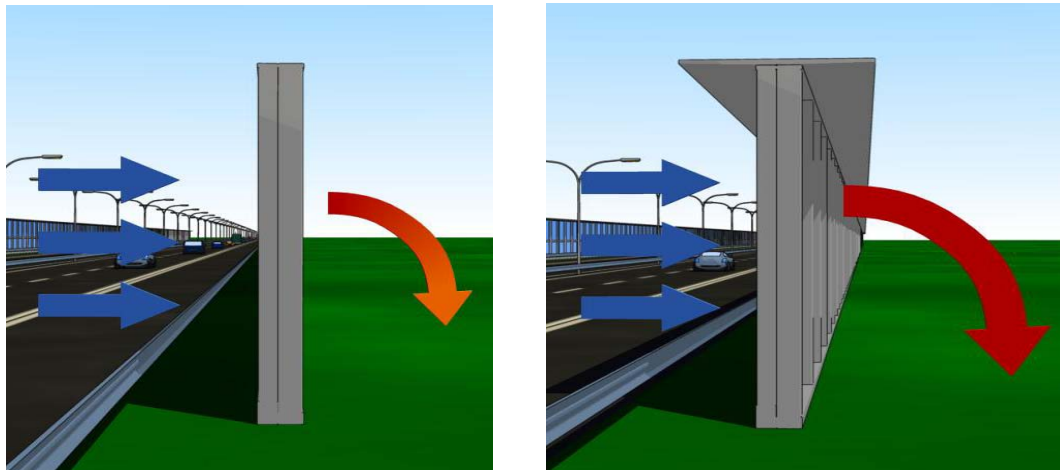
Afwerking schermen

Geluidsschermen die buiten de obstakelvrije zone worden geplaatst en niet behoeven te worden afgeschermd moeten wel veilig zijn uitgevoerd. Dat wil zeggen dat de geluidsbeperkende constructie dient te bestaan uit een nagenoeg gladde wand waar een voertuig bij aanrijding niet achter kan blijven haken.

Ook is het raadzaam ervoor te zorgen dat geluidsschermen glad zijn uitgevoerd indien deze achter een geleideconstructie zijn geplaatst. Bij zeer zware aanrijding van de geleideconstructie kan ook het geluidsscherm worden geraakt. In dat geval mogen ook geen onderdelen van het scherm afbreken die een gevaar zouden kunnen vormen voor het overige verkeer op de eigen rijbaan en dat op andere rijbanen.

Windbelasting

De windbelasting op een scherm met T-top is hoger dan op een scherm zonder T-top.



Bepaling van de windbelasting

De grootte van de windbelasting moet worden bepaald volgens NEN 6702:2001, artikel 8.6.1.3:

$$p_{\text{rep}} = C_{\text{dim}} \cdot C_{\text{index}} \cdot C_{\text{eq}} \cdot \phi_1 \cdot p_w$$

Waarin:

p_{rep} is de windbelasting, in kN/m²;

C_{dim} is een factor die de afmetingen van een bouwwerk in rekening brengt. Voor geluidsbeperkende constructies geldt $C_{\text{dim}} = 1$;

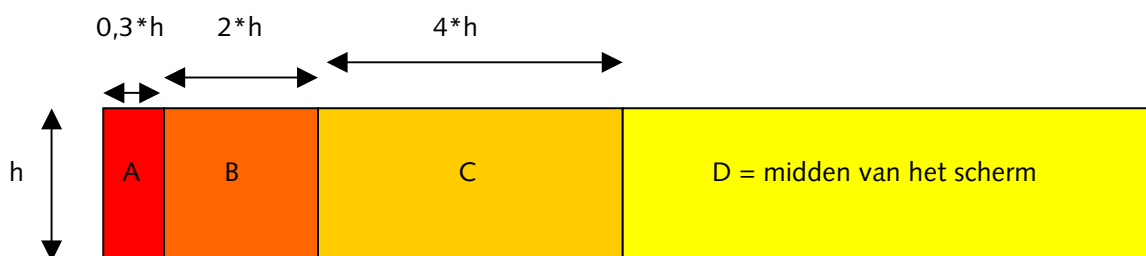
C_{index} zijn de windvormfactoren. Deze worden verderop gegeven;

C_{eq} is een drukvereffeningsfactor, voor geluidsbeperkende constructies geldt $C_{eq} = 1$;

ϕ_1 is de vergrotingsfactor die de dynamische invloed van wind in de windrichting op het bouwwerk in rekening brengt (zie ook GCW-2001²).

p_w is de extreme waarde van de stuwdruk te bepalen volgens NEN 6702:2001, artikel 8.6.2, in kN/m^2 .

Voor de bepaling van de windvormfactor wordt het geluidsscherm verdeeld in een aantal zones, conform EN-1991-1-4:2004. De zones A, B en C komen aan beide einden van het geluidsscherm voor, met zone A het dichtst bij de rand gelegen. Zone D is de 'middenzone' en betreft bij een geluidsscherm verreweg de grootste lengte van het scherm.



Vormfactoren

Voor verticale geluidsschermen, voor geluidsschermen die onder een hoek met de verticaal zijn geplaatst, beiden al dan niet voorzien met een T-top gelden de volgende waarden van de netto vormfactor op het geluidsscherm zelf per zone⁵:

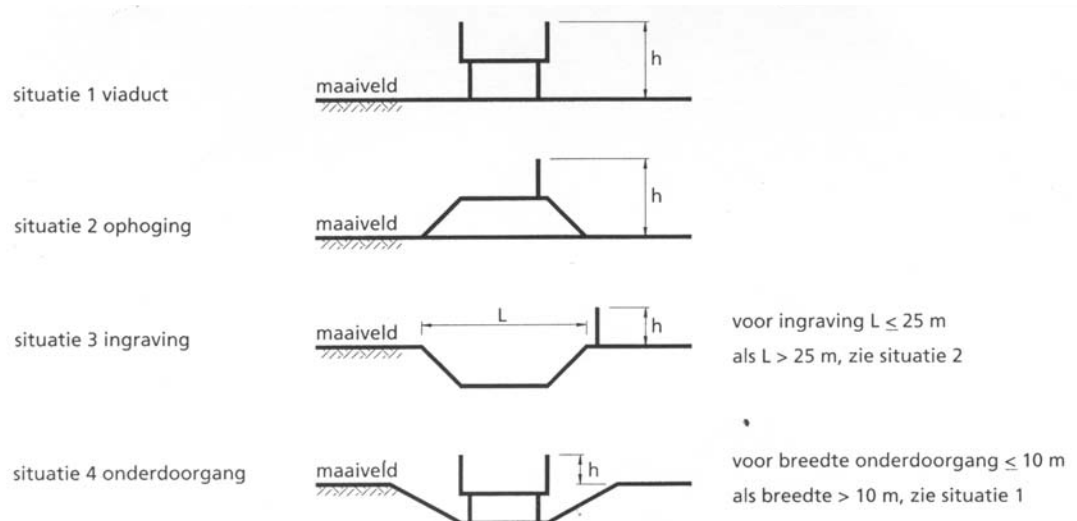
1	2	3	4	5
schermzone	C_{index} voor → → en $\alpha \leq \pm 5^\circ$ $\alpha \geq -20^\circ$	Toeslagen op C_{index} voor → α → α $5^\circ \leq \alpha \leq 10^\circ$ $10^\circ \leq \alpha \leq 20^\circ$		scherm met toepassing T-top
	A	3,4	0,1	
B	2,8			
C	1,7			
D	1,2			

Voorwaarden voor toepassing van deze tabel zijn:

- De vormfactoren zijn netto waarden. Dit betekent dat de vormfactor de combinatie van de overdruk aan de windopwaartse kant en de onderdruk aan de windafwaartse kant in rekening brengt;
- De waarde voor de vormfactor voor een hellend scherm en/of voorzien van een T-top wordt bepaald door bij de waarde van een verticaal scherm de relevante toeslagen op te tellen;

⁵ De waarden in tabel 1 en tabel 2 zijn gebaseerd op windtunnelonderzoek aan geluidsschermen. De resultaten zijn gerapporteerd in TNO rapport 2006-D-R0010, d.d. 21 maart 2006.

- Een verticaal scherm is gedefinieerd als een scherm met een maximale hoek ten opzicht van de verticaal van 5 graden;
- Voor hellingshoeken tussen 5 en 10 graden, en voor hellingshoeken tussen 10 en 20 graden, mag rechtlijnig worden geïnterpoleerd;
- Voor schermen onder een hoek van meer dan 20 graden is deze tabel niet van toepassing. Hiervoor dient aanvullend onderzoek te worden uitgevoerd;
- De breedte van de T-top is maximaal 2 meter, waarvan de uitkragingen aan beide zijden dus maximaal 1 meter bedragen;
- Deze vormfactoren zijn van toepassing voor zowel onbegroeide als begroeide schermen, mits de begroeiing niet boven het scherm uit komt. Indien de begroeiing wel boven het scherm uitkomt dient gerekend te worden met een hoger scherm. Dit betekent het aanhouden van een hogere referentiehoogte. Dit kan betekenen dat de stuwdruk hoger wordt;
- Bij toepassing van schermen op viaducten of bruggen gelden dezelfde netto vormfactoren. Voor de referentiehoogte dient de hoogte ten opzichte van maaiveld onder viaduct of brug te worden aangehouden, zie figuur⁶;



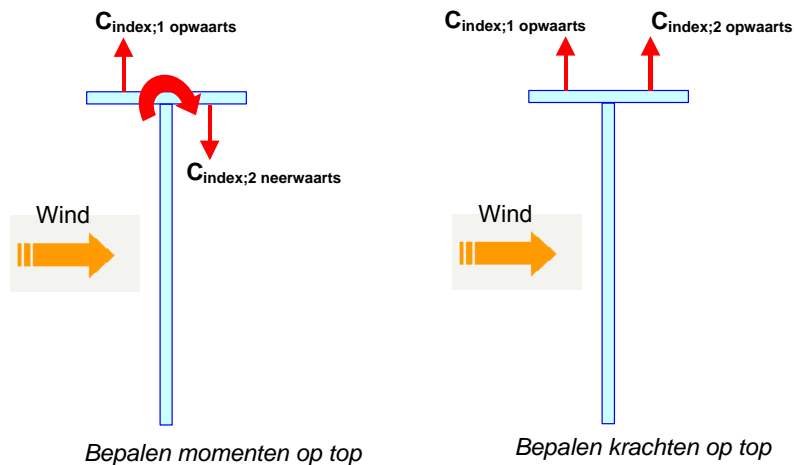
- Bij toepassing van een T-top dient aanvullend rekening gehouden te worden met de vormfactoren op de T-top zelf.

Voor de windbelasting op de T-top zijn verschillende netto vormfactoren van toepassing voor de windopwaartse en windafwaartse helft van de T-top. Dit zijn de netto vormfactoren $C_{index;1}$ voor de windopwaartse helft en $C_{index;2}$ voor de windafwaartse helft. De waarden voor $C_{index;1}$ en $C_{index;2}$ zijn gegeven in onderstaande tabel.

schermzone	$C_{index;1}$	$C_{index;2}$	
	opwaarts	opwaarts	neerwaarts
A	-3,0	-2,4	0,8
B	-2,2	-1,6	0,4
C	-1,8	-1,2	0,2
D	-1,6	-1,0	0,1

⁶ Bepaling referentiehoogte h ten opzichte van omringend maaiveld volgens TNO-Bouw rapport B-90-483, achtergronden van de windbelasting volgens NEN6702, bijlage A

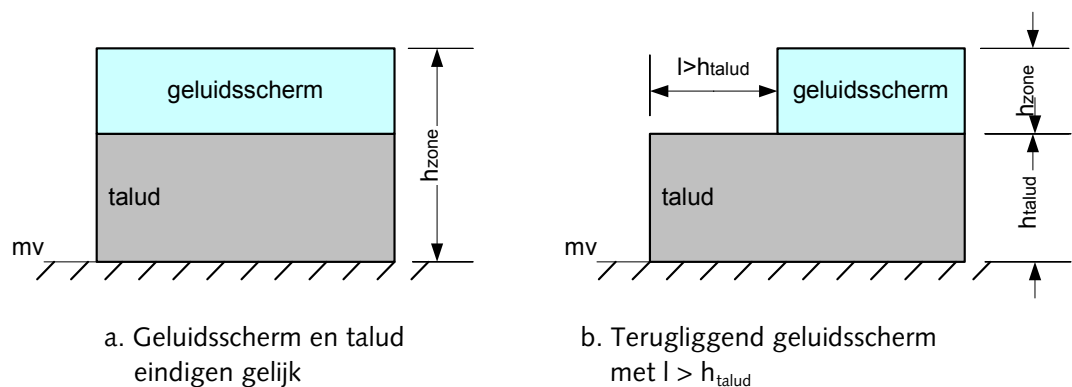
Voor de controle van de maximale opwaartse kracht moet $C_{index;1\ opwaarts}$ tezamen met de waarde voor $C_{index;2\ opwaarts}$ worden toegepast. Bij toetsing van het moment is $C_{index;1\ opwaarts}$ samen met $C_{index;2\ neerwaarts}$ van toepassing.



Het aangrijpingspunt van de resulterende krachten per halve T-top is in het midden van de betreffende helft.

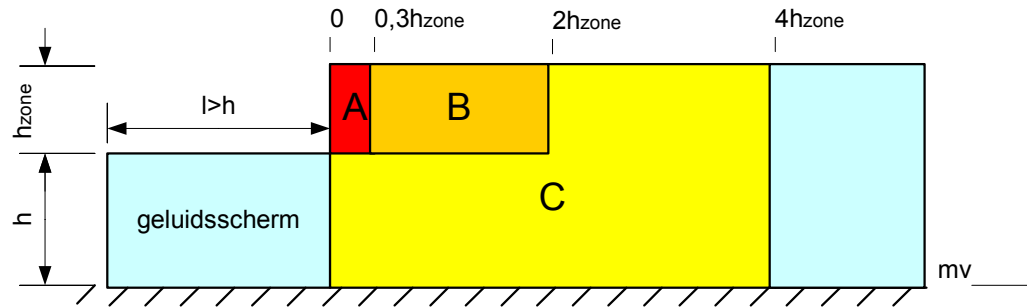
Beëindigen en overgangen

De afmetingen van de zones voor de schermbeëindigen worden bepaald aan de hand van de werkelijke hoogte van het geluidsscherm en, indien van toepassing, de positie op het talud. De volgende situaties kunnen worden onderscheiden:



Als het geluidsscherm gelijk eindigt met het talud dan moet de totale hoogte van talud en geluidsscherm in rekening worden gebracht bij het bepalen van de zones. Indien het geluidsscherm terugligt en het horizontale vrije gedeelte groter is dan de hoogte van het talud, dan hoeft alleen gerekend te worden met de hoogte van het geluidsscherm.

De afmetingen van de zones A, B en C bij sprongen in de schermhoogtes worden gebaseerd op het hoogteverschil ter plaatse van de sprong:



Als de horizontale afmeting l tussen schermeinde en de sprong korter is dan de gereduceerde hoogte van het scherm h dan dient met de totale hoogte, $h+h_{zone}$, rekening gehouden te worden voor de zones. De hoogte van zones A en B ter plaatse van de sprong is gelijk aan de hoogte van de sprong. Zone C loopt over de gehele hoogte van het scherm door, zoals in de figuur is aangegeven.

- Indien het einde van het scherm afloopt volgens een helling die kleiner is dan $h/l = 1/4$, dan behoeven geen randzones A en B te worden aangehouden.
- Bij stapsgewijs aflopen van het scherm aan de uiteinden, moeten de principes van de figuur worden gehanteerd.

Kosten

Uit onderzoek kan voorzichtig worden geconcludeerd dat het plaatsen van een top op een scherm (gemiddeld € 480, excl BTW per m^1) vergelijkbare kosten met zich meebrengt als het verhogen van dit scherm met een meter (gemiddeld € 475, excl BTW per m^1).

Op pagina 4 is in de onderste figuur te zien dat de T-top, afhankelijk van de waarneempositie, een vergelijkbaar akoestisch effect heeft met een schermverhoging van 0,5-2 meter.

Over het algemeen kan gesteld worden dat de T-top een kosteneffectieve maatregel is als de meeste waarneemposities wat dieper in de schaduw zitten. Dan heeft de T-top immers een akoestisch effect vergelijkbaar met een schermverhoging van ongeveer 2 meter.

Een top is altijd kosteneffectiever dan het slopen van een bestaand scherm plus het plaatsen van een geheel nieuw scherm.

Bijlage A: Rekenregel in rekenprogrammatuur

Meteocorrectie

Het T-top effect wordt gegeven voor een windsnelheid van 5 m/s in een richting die loodrecht staat op het scherm, van bron tot ontvanger. De meteocorrectie term moet toegepast worden op de geluidsdemping van het scherm met T-top om het effect van het scherm met de T-top te berekenen voor een uniforme distributie van de wind in alle richtingen.

Voorbeeld programmeercode

Deze programmeercode is ontwikkeld voor Matlab, dat lijkt op Fortran.

```
%%%%%%%%%%
%
% function [C_T]=T_top_eff_SRM(phi,Rb,zT,Rw,zw,C0,C1,C2,C3,A);
%
% Voor T-top geldt:
% C0 = 1.0; C1 = 8.3; C2 = 150; C3 = 0.13; A = 5.0
%
% phi = de hoek die een bepaald bron-waarneempunt-pad maakt met de normaal
%       op het geluidscherm (in graden)
% Rb = horizontale afstand tussen bron en scherm langs een bepaald
%       bron-waarneempunt-pad (Rb=R-Rw)
% zT = hoogte scherm vanaf gemiddeld wegdekniveau
% Rw = horizontale afstand tussen scherm en waarnemer langs een bepaald
%       bron-waarneempunt-pad
% zw = verticale hoogte van waarneempunt ten opzichte van wegdekniveau
%
%%%%%%%%%%

function [C_T]=T_top_eff_SRM(phi,Rb,zT,Rw,zw,C0,C1,C2,C3,A);

zb=0.75;
cos_phi=cos((phi)*pi/180);

% vergelijk invoergegevens op toepassingsgebied
if zT>6
    zT=6;
end
if Rb<3.75
    Rb=3.75;
end

if (Rb*cos_phi <= 70)&(zT >= 2)&(Rw*cos_phi <= 750)&(zw <= 50)
    if Rw*cos_phi>600
        Corr=(750-Rw*cos_phi)/150;
        Rw=600/cos_phi;
    else
        Corr=1;
    end
    if zw>40
        Corr=Corr*(50-zw)/10;
        zw=40;
    end
    talpha=(zT-zb)/(Rb-C0/cos_phi);
```

```

z_curve=(zT+(Rw+C0/cos_phi)*talpha-(Rw+C0/cos_phi)/C1-((Rw+C0/cos_phi)/C2).^2);
d=zw-z_curve;
C3_x=(Rw+C0/cos_phi)*C3;
if d<=C3_x
    if d<-1*C3_x
        C_T=A;
    else
        C_T=A*(C3_x-d)/(2*C3_x);
    end
else
    C_T=0;
end
C_T=(C_T)*Corr;
else
    C_T=0;
end
%
```

Testcases

In onderstaande tekst worden testcases gepresenteerd waarmee getest kan worden of de rekenregel op de juiste wijze in de akoestische rekenpakketten is toegevoegd.

Er worden drie programmacode testen gedefinieerd.

Program code test case 1

The following input parameters are used:

- angle ϕ equals 0° .

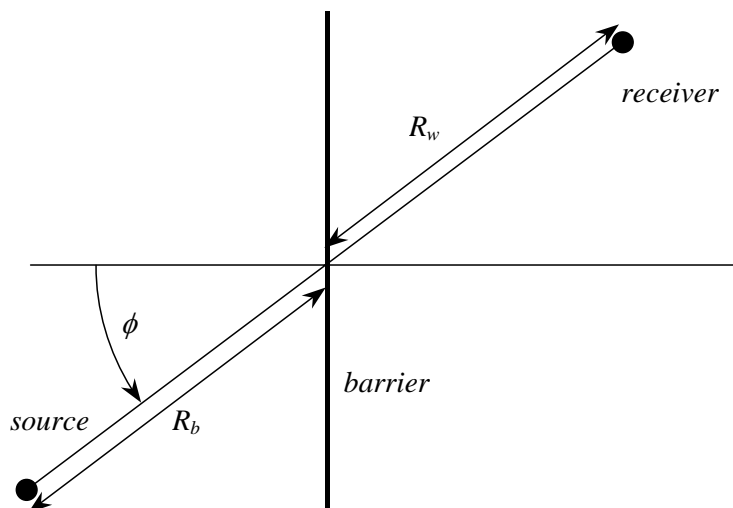


Figure :Top view of noise barrier with schematic layout of the parameters R_b , R_w en ϕ .

- horizontal measured distance between barrier and receiver (in SRM-II labeled as R_w) equals $5/\cos(\phi)$, $80/\cos(\phi)$, $150/\cos(\phi)$, $250/\cos(\phi)$, $350/\cos(\phi)$, $450/\cos(\phi)$, $550/\cos(\phi)$, $650/\cos(\phi)$ and $750/\cos(\phi)$ m behind the barrier,
- horizontal measured distance between source and barrier R_b (equal to $R-R_w$, with R the horizontal measured distance between source and receiver in SRM-II) equals $10/\cos(\phi)$ m,

- height of the source relative to average road surface level(see section 4.5) is fixed at 0.75 m (in SRM-II labeled as z_b for reference level at road surface),
- height of barrier top relative to average road surface level (in SRM-II labeled as z_T for reference level at road surface) equals **2** m,
- height of receiver relative to average road surface level (in SRM-II labeled as z_w for reference level at road surface) equals 2, 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28, 32, 36, 40, 45 and 50 m.

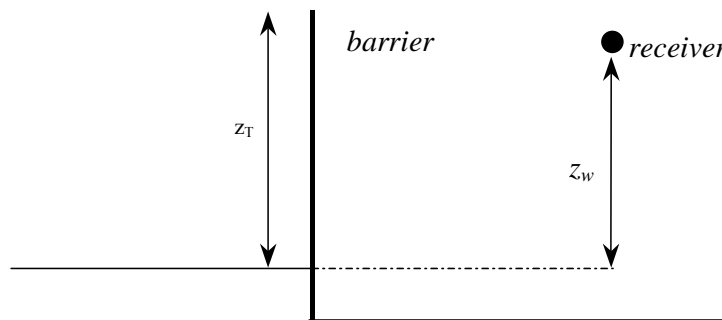


Figure: Side view of noise barrier with schematic lay-out of the parameters Z_T en Z_w .

The calculation results are given in table D.1

Table D.1: T-Top-effect for Program code test case 1

	5	80	150	250	350	450	550	650	750
2	2,8489	2,7847	2,7249	2,6395	2,554	2,4685	2,383	1,5602	0
4	0	2,3099	2,4702	2,4862	2,4444	2,3832	2,3132	1,5175	0
8	0	1,3602	1,9608	2,1798	2,2252	2,2127	2,1736	1,4322	0
12	0	0,4106	1,4514	1,8733	2,0061	2,0421	2,034	1,3469	0
16	0	0	0,9419	1,5668	1,7869	1,8715	1,8944	1,2616	0
20	0	0	0,4325	1,2604	1,5678	1,701	1,7548	1,1762	0
24	0	0	0	0,9539	1,3486	1,5304	1,6152	1,0909	0
28	0	0	0	0,6474	1,1295	1,3599	1,4756	1,0056	0
32	0	0	0	0,341	0,9103	1,1893	1,336	0,9202	0
36	0	0	0	0,0345	0,6912	1,0187	1,1964	0,8349	0
40	0	0	0	0	0,472	0,8482	1,0568	0,7496	0
45	0	0	0	0	0,236	0,4241	0,5284	0,3748	0
50	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Program code test case 2

The following input parameters are used:

- angle ϕ equals 30° .
- horizontal measured distance between barrier and receiver (in SRM-II labeled as R_w) equals $5/\cos(\phi)$, $80/\cos(\phi)$, $150/\cos(\phi)$, $250/\cos(\phi)$, $350/\cos(\phi)$, $450/\cos(\phi)$, $550/\cos(\phi)$, $650/\cos(\phi)$ and $750/\cos(\phi)$ m behind the barrier,
- horizontal measured distance between source and barrier R_b (equal to $R-R_w$, with R the horizontal measured distance between source and receiver in SRM-II) equals $20/\cos(\phi)$ m,
- height of the source relative to average road surface level(see section 4.5) is fixed at 0.75 m (in SRM-II labeled as z_b for reference level at road surface),
- height of barrier top relative to average road surface level (in SRM-II labeled as z_T for reference level at road surface) equals **4** m,



- height of receiver relative to average road surface (in SRM-II labeled as z_w for reference level at road surface) equals 2, 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28, 32, 36, 40, 45 and 50 m.

The calculation results are given in table D.2

Table D.2: T-Top-effect for Program code test case 2

	5	80	150	250	350	450	550	650	750
2	5	3,3631	3,1034	2,9168	2,7803	2,6606	2,5485	1,6627	0
4	3,0259	2,9519	2,8828	2,7841	2,6854	2,5867	2,488	1,6258	0
8	0	2,1294	2,4416	2,5187	2,4956	2,439	2,3671	1,5519	0
12	0	1,307	2,0004	2,2533	2,3058	2,2913	2,2462	1,478	0
16	0	0,4846	1,5593	1,9879	2,116	2,1436	2,1253	1,4041	0
20	0	0	1,1181	1,7225	1,9262	1,9959	2,0044	1,3302	0
24	0	0	0,6769	1,4571	1,7364	1,8482	1,8835	1,2563	0
28	0	0	0,2357	1,1916	1,5466	1,7004	1,7626	1,1824	0
32	0	0	0	0,9262	1,3568	1,5527	1,6417	1,1085	0
36	0	0	0	0,6608	1,1671	1,405	1,5208	1,0346	0
40	0	0	0	0,3954	0,9773	1,2573	1,3999	0,9607	0
45	0	0	0	0,1977	0,4886	0,6287	0,6999	0,4804	0
50	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Program code test case 3

The following input parameters are used:

- angle ϕ equals 60° .
- horizontal measured distance between barrier and receiver (in SRM-II labeled as R_w) equals $5/\cos(\phi)$, $80/\cos(\phi)$, $150/\cos(\phi)$, $250/\cos(\phi)$, $350/\cos(\phi)$, $450/\cos(\phi)$, $550/\cos(\phi)$, $650/\cos(\phi)$ and $750/\cos(\phi)$ m behind the barrier,
- horizontal measured distance between source and barrier R_b (equal to $R-R_w$, with R the horizontal measured distance between source and receiver in SRM-II) equals $40/\cos(\phi)$ m,
- height of the source relative to average road surface level(see section 4.5) is fixed at 0.75 m (in SRM-II labeled as z_b for reference level at road surface),
- height of barrier top relative to average road surface level (in SRM-II labeled as z_T for reference level at road surface) equals 6 m,
- height of receiver relative to average road surface (in SRM-II labeled as z_w for reference level at road surface) equals 2, 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28, 32, 36, 40, 45 and 50 m.

The calculation results are given in table D.3

Table D.3 T-Top-effect for Program code test case 3

	5	80	150	250	350	450	550	650	750
2	5	1,8138	1,474	1,2016	0,987	0,7918	0,6053	0,3427	0
4	4,6723	1,5764	1,3467	1,125	0,9322	0,7491	0,5704	0,3214	0
8	0	1,1015	1,0919	0,9717	0,8226	0,6638	0,5006	0,2787	0
12	0	0,6267	0,8372	0,8185	0,7131	0,5786	0,4308	0,236	0
16	0	0,1519	0,5825	0,6653	0,6035	0,4933	0,361	0,1934	0
20	0	0	0,3278	0,512	0,4939	0,408	0,2912	0,1507	0
24	0	0	0,0731	0,3588	0,3843	0,3227	0,2214	0,1081	0
28	0	0	0	0,2056	0,2747	0,2374	0,1516	0,0654	0
32	0	0	0	0,0523	0,1652	0,1522	0,0818	0,0227	0
36	0	0	0	0	0,0556	0,0669	0,012	0	0
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	0	0	0	0	0	0	0	0	0