



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Aanpassing omgevingsregeling ten behoefte van **geluidsberekeningen** van lage schermen bij wegverkeerslawaaai

**Aanpassing omgevingsregeling ten behoeve van
geluidsberekeningen van lage schermen bij
wegverkeerslawaai**

RIVM-briefrapport 2023-0374

Colofon

© RIVM 2023

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave.

Het RIVM hecht veel waarde aan toegankelijkheid van zijn producten. Op dit moment is het echter nog niet mogelijk om dit document volledig toegankelijk aan te bieden. Als een onderdeel niet toegankelijk is, wordt dit vermeld. Zie ook www.rivm.nl/toegankelijkheid.

DOI 10.21945/RIVM-2023-0374

A. Kok (auteur), RIVM
L. Bouma (auteur), RIVM

Contact:
Arnaud Kok
Milieu en Veiligheid\Centrum Milieukwaliteit\Luchtkwaliteit en Geluid
arnaud.kok@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat in het kader van het Expertise Centrum Geluid

Dit is een uitgave van:
**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**
Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
Nederland
www.rivm.nl

Publiekssamenvatting

Aanpassing omgevingsregeling voor geluidsberekeningen van lage schermen bij wegverkeerslawaaï

In de jaren tachtig is een rekenvoorschrift ontwikkeld om het geluid van wegverkeer te berekenen. Geluid van wegverkeer ontstaat vooral door de interactie tussen het wegdek en de banden en door het geluid van de motor. Dit is in de rekenmethode samengevoegd tot één 'bronhoogte' van 75 centimeter van het wegdek.

Het geluid van motoren is de afgelopen jaren stiller geworden. Ook is het bandwegdekgeluid veel lager te horen dan op 75 centimeter. Deze veranderingen zijn nog niet in de rekenmethode verwerkt. Hierdoor schermen lage geluidschermen in de praktijk geluid van wegverkeer meer af dan wordt berekend.

Het RIVM heeft nu onderzocht of het berekende effect van het scherm op verkeersgeluid kan worden aangepast zodat het beter aansluit bij de metingen. Dat blijkt inderdaad te kunnen door niet één vaste bronhoogte te gebruiken maar deze aan te passen aan de hoogte van het scherm. Dan zijn er geen andere grote veranderingen in het modelleer- en rekenwerk nodig. Door deze aanpassing is het interessanter geworden om lagere geluidschermen te gebruiken.

Het RIVM heeft het effect van geluidschermen bij verschillende bronhoogtes onderzocht. Het adviseert de bronhoogte te verlagen naar 10 centimeter. Voor hele lage geluidschermen (tot 1 meter hoog) werkt deze oplossing niet en wordt de bronhoogte minder verlaagd.

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW). Aanleiding zijn de veranderingen die worden doorgevoerd omdat per 1 januari 2024 de Omgevingswet in werking zal treden.

Kernwoorden: Omgevingswet, geluid, rekenvoorschriften, geluidscherm, schermwerking, wegverkeer

Synopsis

Update to calculation method for effect of low noise barriers on road traffic noise

In the 1980s, instructions were developed for the calculation of road traffic noise. The main causes of road traffic noise are engine noise and the interaction between the road surface and vehicle tyres. The calculation instructions specify a single 'source altitude' for both causes, which is 75 centimetres above the road surface.

Engines have become quieter over the years. In addition, the noise caused by surface-tyre interaction can be heard at altitudes far below 75 centimetres. The current calculation instructions do not take these factors into account. As a consequence, low noise barriers shield road traffic noise in practice better than has been calculated so far.

In response, RIVM has investigated whether the method to calculate the effect of noise barriers on road traffic noise can be updated to bring the outcomes more in line with measurements. It turns out that this can indeed be achieved by replacing the single fixed source altitude with one that takes into account the height of the noise barrier. No other significant changes to modelling and calculation methods will then be required. Thanks to this update, the use of low noise barriers has become a more attractive proposition.

RIVM studied the effect of noise barriers at a variety of source altitudes. It recommends lowering the source altitude to 10 centimetres. As this is not a workable solution for very low noise barriers (up to 1 metre in height), a higher source altitude will be used for these barriers.

This study was commissioned by the Ministry of Infrastructure and Water Management (IenW). It was prompted by the changes being made in anticipation of the Environment and Planning Act coming into effect on 1 January 2024.

Keywords: Environment and Planning Act, noise, calculation instructions, noise barrier, barrier effect, road traffic

Inhoudsopgave

Samenvatting – 9

- 1 Inleiding en probleemstelling – 11**
- 2 Aandachtspunten en randvoorwaarden – 13**
- 3 Basisoplossing aanpassing Rekenvoorschrift – 15**
- 4 Effect varianten op schermwerking en vergelijking met andere rekenmethodes – 19**
- 5 Effecten varianten met modellen uit de praktijk – 23**
 - 5.1 Berekening N57 te Zeeland – 23
 - 5.2 Berekening A2 en A12 te Nieuwegein/Utrecht – 26
 - 5.3 Tussenconclusie gevoeligheidsanalyse – 29
- 6 Vergelijking met metingen – 31**
 - 6.1 Meetlocaties – 31
 - 6.2 Metingen 1,1 meter hoog scherm op Technology Base te Enschede – 31
 - 6.3 Metingen 0,75 meter hoog scherm op de N512 – 34
 - 6.4 Metingen aan een 3 meter hoog scherm in de VS – 36
 - 6.5 Tussenconclusie van het vergelijken met metingen – 37
- 7 Conclusie – 39**
- 8 Bibliografie – 41**

Samenvatting

Door verschillende commerciële partijen met innovatieve geluidreducerende maatregelen is het onderwerp schermwerking van lage schermen aangekaart. In het rekenvoorschrift voor wegen is de berekende afschermbende werking van lage schermen minder dan wat uit metingen zou blijken. De achterliggende oorzaak is dat de gehanteerde bronhoogte in het rekenvoorschrift voor wegen gelijk is aan één vaste hoogte van 0,75 meter boven lokaal maaiveld. In werkelijkheid vindt de afstraling plaats op meerdere hoogtes.

De maatgevende bron van geluidsemissie van motorvoertuigen wordt veroorzaakt door de interactie tussen banden en het wegdek. De geluidafstraling van dit band-wegdek geluid vindt in werkelijkheid veel dichterbij de weg plaats dan die 0,75 m hoogte. Het eerste rekenvoorschrift voor wegen dateert uit de jaren 80. Bij voertuigen in die tijd speelde motorgeluid een relatief grotere rol wat aanleiding geweest kon zijn voor de bronhoogte van 0,75 m. In sommige andere (nieuwere) rekenvoorschriften wordt dan ook een lagere bronhoogte gehanteerd.

In deze studie is gekeken of de berekening van de schermwerking in het rekenvoorschrift aangepast kan worden zodat er recht gedaan wordt aan de lagere bronhoogte van wegverkeer en waarmee een betere overeenstemming tot gemeten schermeffecten kan worden bereikt. Hiervoor zijn een aantal opties onderzocht die allen ingrijpen op de bronhoogte die gebruikt wordt. Deze aangepaste bronhoogte wordt alleen in de formules van de schermwerking gebruikt zodat andere aspecten van het voorschrift niet veranderen door deze wijziging.

Uit het onderzoek blijkt dat door een aangepaste bronhoogte toe te passen het schermeffect van met name lage schermen aanzienlijk beter wordt voorspeld. Bij hogere schermen (vanaf ca 3 meter) of schermen op grotere afstand tot de bron is het verschil relatief klein.

In de variantenstudie is ook gekeken of er bij het implementeren van een variant ongewenste neveneffecten kunnen ontstaan. Een ongewenst neveneffect is dat er afscherming berekend wordt terwijl dat in alle redelijkheid niet te verwachten valt.

Uiteindelijk is er gekozen voor een variant met een bronhoogte die niet vast ligt. Voor afschermbende objecten van 1 meter en hoger (ten opzichte van de weg) wordt de bronhoogte gelijk aan 0,1 meter. Voor objecten van 0,13 meter en lager is de bronhoogte gelijk aan 0,75 meter. Is de hoogte van een object tussen 0,13meter en 1 meter dan wordt lineair geïnterpoleerd tussen die waarde 0,1 en 0,75 meter voor de bronhoogte.

De gekozen variant laat geen negatieve neveneffecten zien en geeft een goede overeenkomst tussen meten en rekenen. Ook komt het berekende schermeffect beter overeen met andere rekenmodellen.

1 Inleiding en probleemstelling

Door verschillende commerciële partijen met innovatieve geluidreducerende maatregelen is het onderwerp schermwerking van lage schermen aangekaart. In het rekenvoorschrift [1] voor wegen is de berekende afschermdende werking van lage schermen minder dan wat uit metingen zou blijken [2] [3]. De achterliggende oorzaak is dat de gehanteerde bronhoogte in het rekenvoorschrift voor wegen gelijk is aan één vaste hoogte van 0,75 meter boven lokaal maaiveld. In werkelijkheid vindt de afstraling plaats op meerdere hoogtes.

De maatgevende bron van geluidsemissie van motorvoertuigen wordt veroorzaakt door de interactie tussen banden en het wegdek. De geluidafstraling van dit band-wegdek geluid vindt in werkelijkheid veel dichterbij de weg plaats dan die 0,75 m hoogte. Het eerste rekenvoorschrift voor wegen dateert uit de jaren 80. Bij voertuigen in die tijd speelde motorgeluid een relatief grotere rol wat aanleiding geweest kon zijn voor de bronhoogte van 75 cm.

In sommige andere (nieuwere) rekenvoorschriften wordt dan ook een lagere bronhoogte gehanteerd. Zo is de bronhoogte in het rekenvoorschrift CNOSSOS [4] gelijk aan 0,05 m. In andere methodes worden meerdere bronhoogtes voor meerdere soorten emissies gehanteerd. In Harmonoise/Imagine [5] worden bijvoorbeeld hoogtes van 0,01, 0,3 en 0,75 m gehanteerd voor verschillende componenten van de emissie van motorvoertuigen. De bron met een hoogte van 0,01 m in Harmonoise is de bron met de hoogste emissie.

Bij een hogere bronhoogte zal de afscherming van met name lage schermen beperkt zijn. Deze schermen doorsnijden het overdrachtspad niet of beperkt vergeleken met een situatie waarbij de bronhoogte lager ligt.

In dit rapport wordt gekeken naar de schermwerking in het rekenvoorschrift voor wegen¹ en wordt bekeken hoe het effect van lage schermen beter in het rekenvoorschrift kan worden meegenomen. In de basis is de oplossing om de bronhoogte te verlagen zonder ongewenste neveneffecten te introduceren. Als eerste wordt ingegaan op de randvoorwaarden voor een oplossing. Vervolgens worden potentiële oplossingen gepresenteerd. Daarna volgt een gevoeligheidsanalyse middels berekeningen en een vergelijking met metingen. Uiteindelijk volgt de conclusie met daarin opgenomen de voorkeursoplossing.

¹ Voor spoorwegen en industrie speelt dit niet. Daar wordt gerekend met andere bronhoogtes.

2 Aandachtspunten en randvoorwaarden

Het blijkt dat op korte afstand achter een laag scherm het aanpassen van de bronhoogte tot 0,1 meter leidt tot een veel betere overeenkomst tussen meten en rekenen. Er zijn echter een aantal aandachtspunten waar rekening mee gehouden moet worden.

- Er is een wisselwerking tussen bronhoogte en bodemdemping. Het verschil in totale schermffect tussen 0,1 en 0,75 m bronhoogte zal verschillend zijn bij een harde of zachte bodem. Er is geen validatie of de bodemdemping bij een bronhoogte van 0,1 m correct wordt berekend.
- Emissiekentallen zijn gebaseerd op metingen en omgerekend naar een situatie met een bronhoogte van 0,75 m.
- Bij een lage bron is het resultaat van een berekening veel gevoeliger voor modelleringsnauwkeurigheid. Stoepranden of verkanting van een weg kan al tot afscherming leiden. Ook zullen bij een weg op een talud de taludranden een schermwerking geven bij een verlaagde bronhoogte. Dit heeft sterke invloed op een berekend resultaat. Dit effect komt mede doordat in het rekenmodel de complexe emissie van voertuigen wordt vereenvoudigd tot 1 bronhoogte.

Naar aanleiding van bovenstaande aandachtspunten zijn de volgende randvoorwaarden voor een oplossing gedefinieerd:

- De oplossing heeft alleen effect op de schermwerking (voor reflecties, absorptie etc wordt de bronhoogte niet aangepast).
- Er treedt geen sterk verhoogde gevoeligheid voor modelleringsnauwkeurigheid van het maaiveld op.
- Er dient een verbeterde relatie te zijn met gemeten effecten van (met name lage) geluidsschermen.
- Het moet passend zijn binnen de rekenmethode.
- Er mogen geen grote wijzigingen in rekenresultaten ontstaan in situaties zonder afschermende objecten.
- Het moet generiek toepasbaar zijn.

3 Basisoplossing aanpassing Rekenvoorschrift

Er zijn meerdere varianten onderzocht die allen gebaseerd zijn op een vergelijkbare basisoplossing. De basisoplossing is een aanpassing (verlaging) van de bronhoogte voor het bepalen van de omwegberekening bij objecten (schermen, gebouwen en wallen). Het wordt alleen toegepast op de omwegberekening van een schermeffect (dat kan ook veroorzaakt worden door een geluidwal of gebouw) en niet op de bodemdemping, diffractoreffect, T-topeffect, meteocorrectieterm en reflectiepaden. De aanpassing is in regelgeving in te passen in hoofdstuk 2.10 van Bijlage IVe van de omgevingsregeling.

In bijlage IVe kan onderstaande tekst worden opgenomen in hoofdstuk 2.10 vanaf het kopje definities (tekst vet en figuur 2.5 is nieuw):

Z_B = de hoogte van de bron ten opzichte van het referentiepeil (= horizontaal vlak waarin $z = 0$) [m].

Z'_B = de rekenhoogte ten behoeve van het bepalen van het Fresnelgetal N_f voor de schermwerking van de bron ten opzichte van het referentiepeil [m].

Z_T = de hoogte van de top van de afscherming ten opzichte van het referentiepeil [m].

h_b : de hoogte van het bronpunt boven de gemiddelde maaiveldhoogte in het brongebied [m];

h_w : de hoogte van het waarneempunt boven de gemiddelde maaiveldhoogte in het waarneemgebied [m];

h_T : de hoogte van de top van de afscherming ten opzichte van het plaatselijk maaiveld. Het plaatselijk maaiveld bij een scherm is de gemiddelde maaiveldhoogte in een strook ter breedte van 5 m aan beide zijden van het scherm. Als aan beide zijden van het scherm de maaiveldhoogte verschillend is, wordt de grootste waarde van h_T genomen, zie figuur 2.4 [m];

R_o : de afstand tussen bron- en waarneempunt gemeten langs de kortste verbindinglijn [m];

R_w : de horizontaal gemeten afstand tussen waarneempunt en scherm [m];

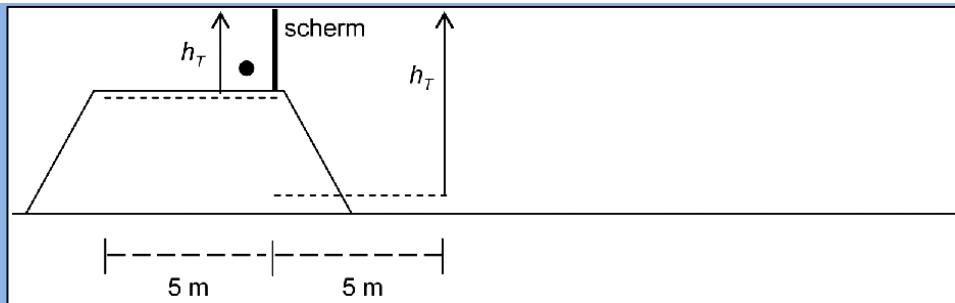
R : de horizontaal gemeten afstand tussen waarneem- en bronpunt [m];
en

–: het profiel van het afschermend object.

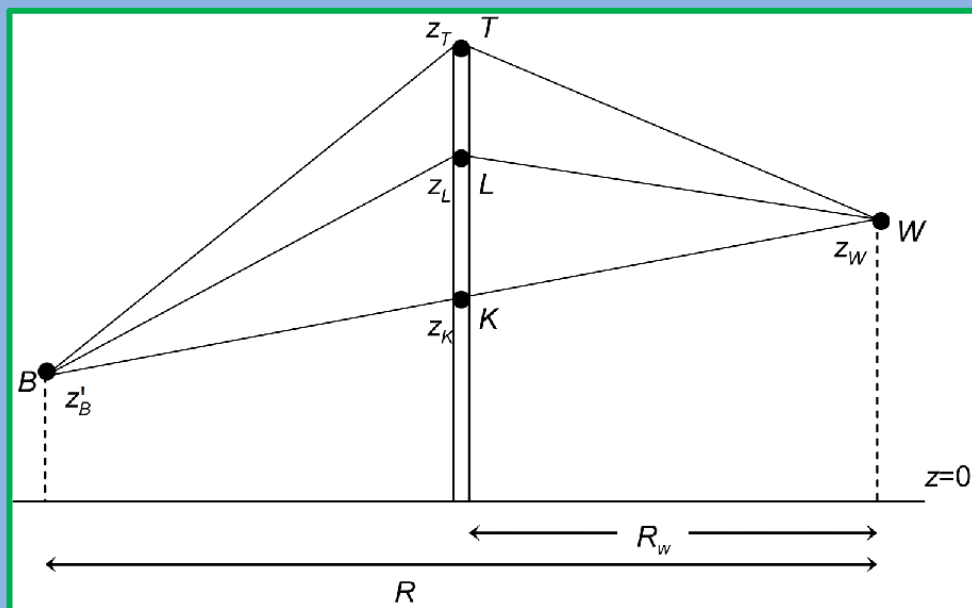
Waarbij

$$Z'_B = Z_B - \Delta Z_B$$

$$\text{met } \Delta Z_B = \begin{cases} 0,65 & \text{als } \alpha \cdot (Z_B - Z_T + \beta) < 0 \\ 0,65 - \alpha \cdot (Z_B - Z_T + \beta) & \text{als } 0 \leq \alpha \cdot (Z_B - Z_T + \beta) < 0,65 \\ 0 & \text{als } \alpha \cdot (Z_B - Z_T + \beta) \geq 0,65 \end{cases}$$



Figuur 2.4 De schermhoogte h_T bij een scherm op een verhoogd wegtalud. In dit voorbeeld is de situatie rechts bepalend voor h_T .



Figuur 2.5 Een sectorvlak met een ideaal scherm, waarop de punten K, T en L zijn aangegeven. De gebroken lijn BLW is een schematisering van een gekromde geluidstraal die onder meewindcondities van bron- naar waarneempunt loopt.

In bovenstaand blokje worden de termen α en β genoemd. Dit omdat voor dit onderzoek een aantal varianten zijn onderzocht. In het uiteindelijke advies zijn deze twee variabelen vervangen door getallen.

Met deze formule voor ΔZ_B zal bij de meeste schermen of afscherpende objecten de rekenhoogte van de bron (Z'_B) gelijk zijn aan 0,1 m. Alleen als het scherm of het maaiveld ten opzichte van de gemodelleerde bronhoogte heel laag wordt, dan zal de bronhoogte geleidelijk hoger worden. Het tempo waarin de bron omhooggaat wordt bepaald door α . Het omslagpunt vanaf wanneer de bron omhooggaat wordt bepaald door de term β .

Er zijn zes varianten onderzocht:

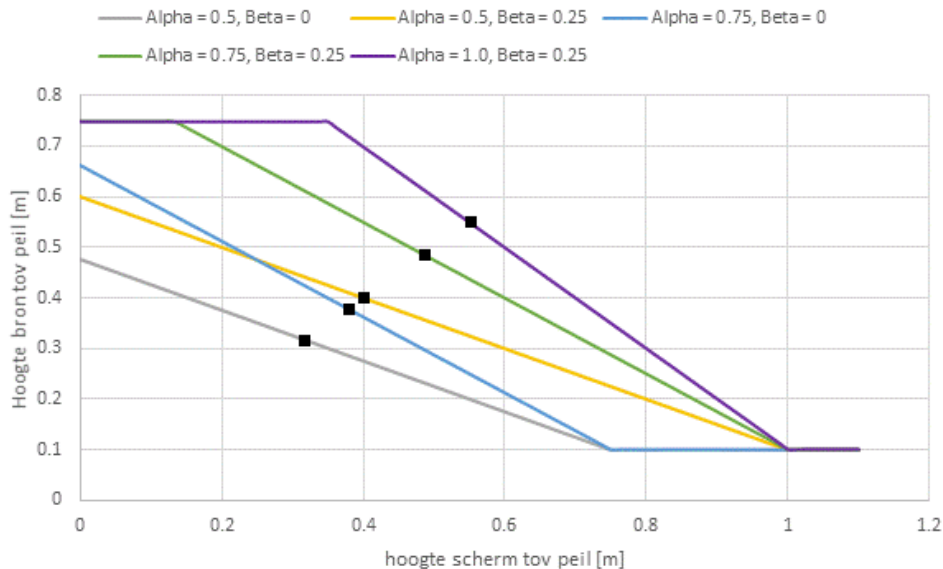
- $\Delta Z_B = 0,65$ (bronhoogte altijd 0,1 m)
- $\alpha = 0,5$, $\beta = 0$
- $\alpha = 0,5$, $\beta = 0,25$
- $\alpha = 0,75$, $\beta = 0$
- $\alpha = 0,75$, $\beta = 0,25$
- $\alpha = 1,0$, $\beta = 0,25$

In onderstaande tabel is de bronhoogte als functie van schermhoogtes (ten opzichte van het referentiepeil) weergegeven.

Tabel 1 Overzicht bronhoogtes [in meter] als functie van schermhoogte Z_T (ten opzichte van de maaiveldhoogte onder de bron).

scherm- hoogte [m]	$\alpha = 0,5$ $\beta = 0$	$\alpha = 0,5$ $\beta = 0,25$	$\alpha = 0,75$ $B = 0$	$\alpha = 0,75$ $\beta = 0,25$	$\alpha = 1,0$ $\beta = 0,25$	$\Delta Z_B = 0.65$
0	0,48	0,60	0,66	0,75	0,75	0,1
0,1	0,43	0,55	0,59	0,75	0,75	0,1
0,2	0,38	0,50	0,51	0,70	0,75	0,1
0,3	0,33	0,45	0,44	0,63	0,75	0,1
0,4	0,28	0,40	0,36	0,55	0,70	0,1
0,5	0,23	0,35	0,29	0,48	0,60	0,1
0,6	0,18	0,30	0,21	0,40	0,50	0,1
0,7	0,13	0,25	0,14	0,33	0,40	0,1
0,8	0,10	0,20	0,10	0,25	0,30	0,1
0,9	0,10	0,15	0,10	0,18	0,20	0,1
≥ 1	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,1

Het verloop van de bronhoogte als functie van schermhoogte van de vijf varianten is weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1 Dynamische bronhoogte als functie van hoogte van het scherm. De zwarte stipjes geven aan bij welke hoogte de gemodificeerde bron en schermhoogte gelijk zijn. Dat wil niet zeggen dat de zichtlijn dan wordt doorsneden of dat er een schermeffect wordt berekend. Dat hangt namelijk ook af van de hoogte van het waarneempunt en het snijpunt van de gekromde geluidstraal met het object. Als peil wordt de maaiveldhoogte onder de bron bedoeld.

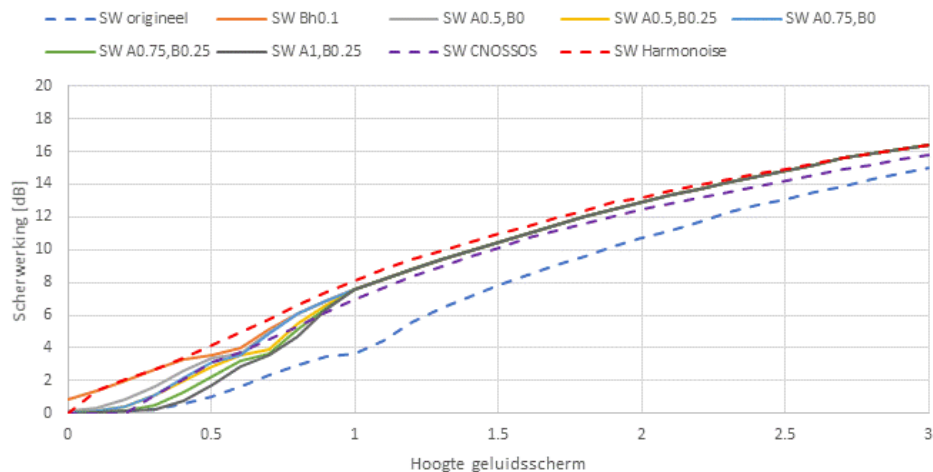
In Figuur 1 is te zien dat in de variant met $\alpha = 0,75$ en $\beta = 0,25$ voor objecthoogtes kleiner dan 0,14 m (zoals kant verharding of stoepranden) er niks verandert ten opzichte van het huidige

rekenvoorschrift, de bronhoogte is dan 0,75 m. Voor de variant $\alpha = 1$ en $\beta = 0,25$ is dat nog sterker. Daar geldt dat bij objecten lager dan 0,35 m de bronhoogte gelijk is aan 0,75 m. Voor de andere varianten is de bronhoogte altijd iets lager dan 0,75 m. Wanneer een afschermend object voldoende hoog is (hier vanaf 1 meter), is in alle varianten de bronhoogte gelijk aan 0,1 m.

Met deze dynamische bronhoogte wordt voorkomen dat modellen zeer gevoelig worden voor lage objecten. Deze lage objecten hoeven niet altijd fysiek aanwezig te zijn. Modellen kennen ook een zekere onnauwkeurigheid. Onterechte afscherming ten gevolge van deze onnauwkeurigheid wordt met de dynamische bronhoogte voorkomen.

4 Effect varianten op schermwerking en vergelijking met andere rekenmethodes

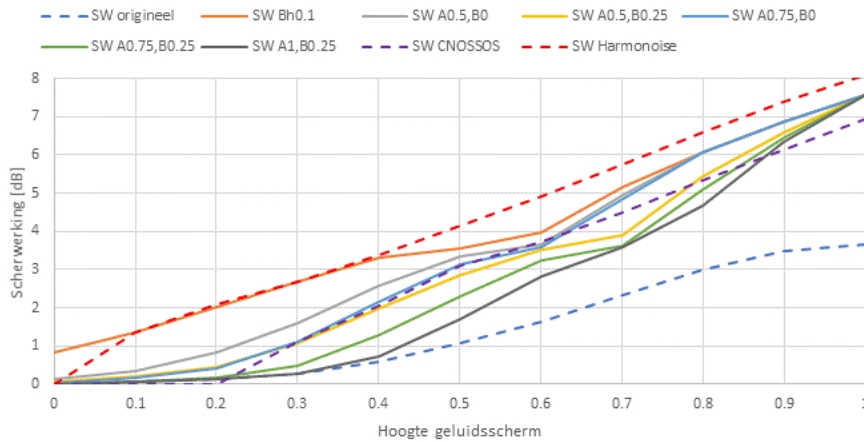
In Figuur 2 is de schermwerking weergegeven voor verschillende schermhoogtes van de vier varianten aangevuld met een variant waarbij de bronhoogte altijd 0,1 m is. Daarbij is ook de schermwerking zoals berekend met CNOSSOS en met Harmonoise toegevoegd. In het voorbeeld is de afstand van de bron tot het scherm 4 meter en van het scherm tot de ontvanger 10 meter. De ontvangerhoogte is 1,5 meter. Tussen de bron en het scherm is er sprake van een harde bodem, daarna van een zachte bodem. De weg en schermen zijn als oneindig lang te beschouwen (40 km lang in het model) waardoor alle zichthoeken een bijdrage leveren. Ook als het scherm lager is dan de bronhoogte kan er nog steeds een schermeffect zijn.



Figuur 2 Schermwerking in dB als functie van schermhoogte van de vijf varianten (SW A_,B_) aangevuld met schermwerking met bronhoogte van 0,1 meter (SW Bh0.1), de originele 0,75 meter (SW origineel) en volgens CNOSSOS (SW CNOSSOS) en Harmonoise (SW Harmonoise)². Te zien is dat vanaf 1 meter alle varianten hetzelfde resultaat geven. Dit omdat in alle varianten dan de bronhoogte 0,1 meter is. Tevens is te zien dat voor een 1 meter hoog scherm de schermwerking voor alle varianten bijna 4 dB meer is dan in de huidige situatie.

In Figuur 3 is ingezoomd op de eerste meter schermhoogte.

² Onder milde gunstige omstandigheden. Bodemfactor weg is G (harde oppervlakken) en buitengebied is D (normale niet compacte grond zoals bosbodem en weiden). Emissie berekend bij 50 km/uur met 3% zwaar verkeer, 6% middelzwaar verkeer en 91% licht verkeer.

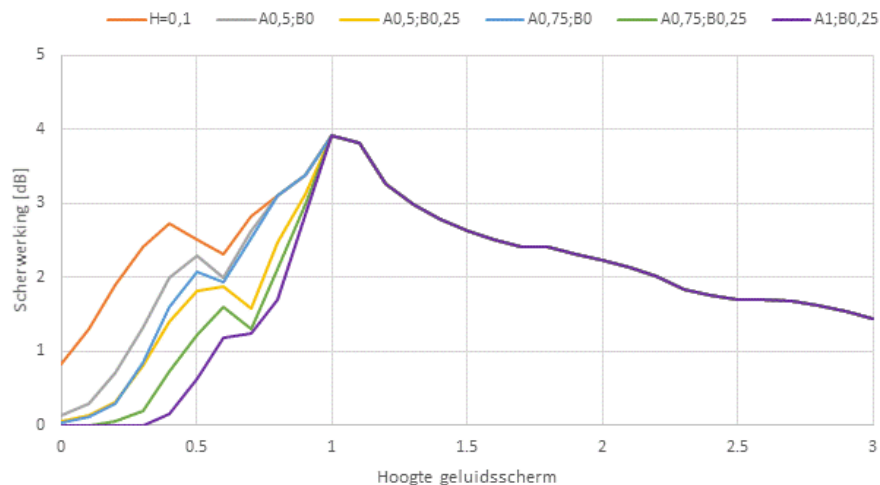


Figuur 3 Als Figuur 2 ingezoomd tot een schermhoogte van 1 meter.

In figuren 2 en 3 is te zien dat in een aantal varianten een scherm met hoogte 0 bij de rekensoftware³ al tot een schermwerking leidt. Dit omdat de negatieve omweg net klein genoeg is dat een afscherming wordt berekend. Bij een bronhoogte van 0,75 m is de negatieve omweg voldoende groot waardoor er geen schermwerking wordt berekend.

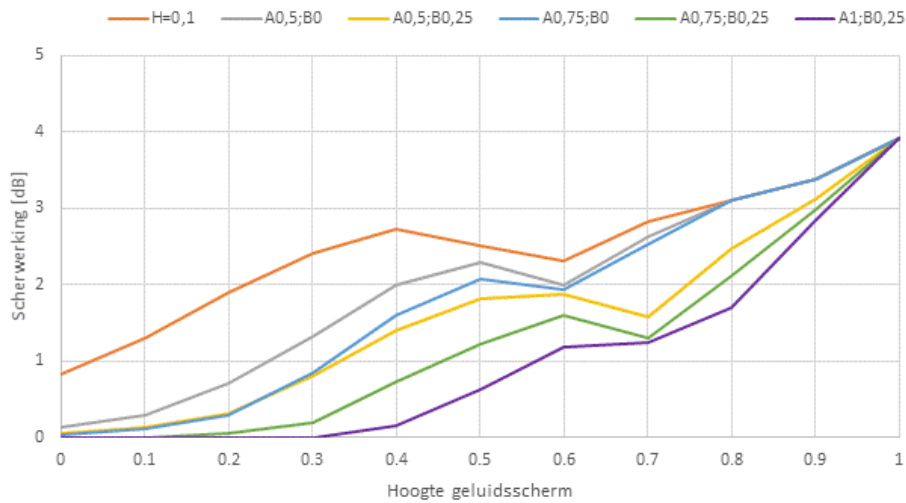
Wanneer de schermwerking vergeleken wordt met CNOSSOS en Harmonoise dan is te zien dat de schermwerking bij een bronhoogte van 0,75 m relatief klein is en dat de overige varianten een betere overeenstemming laten zien.

Zoals is figuur 2 is te zien wordt het verschil tussen een bronhoogte van 0,75 m en 0,1 m kleiner wanneer het scherm hoger wordt. Dit verschil in schermwerking is ten opzichte van de huidige situatie (bronhoogte 0,75 m) weergegeven in Figuur 4 en Figuur 5.



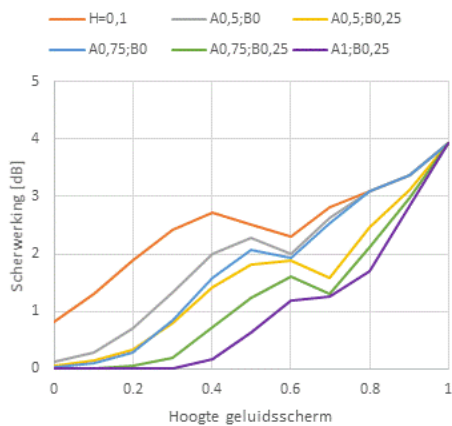
Figuur 4 Verschil in schermwerking ten opzichte van de huidige situatie (bronhoogte 0,75m) als functie van schermhoogte tot 3 meter hoog.

³ In het rekenvoorschrift staat dat als een object kan afschermen deze meegenomen dient te worden. Dit is voor software lastig te interpreteren. Hier kan dus een scherm met hoogte 0 worden ingevoerd.

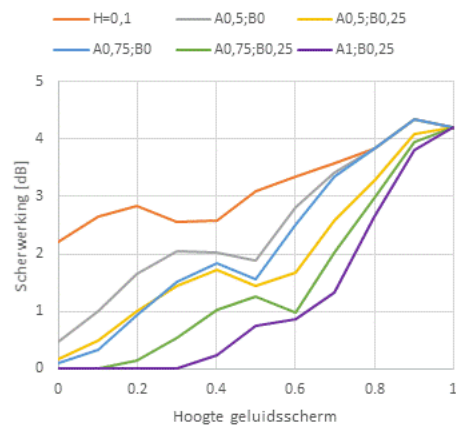


Figuur 5 Verschil in schermwerking ten opzichte van de huidige situatie (bronhoogte 0,75 m) als functie van schermhoogte tot 1 meter hoog. Dit is dezelfde data als getoond in figuur 4, maar ingezoomd op een geluidsscherm van 0 tot 1 m hoog.

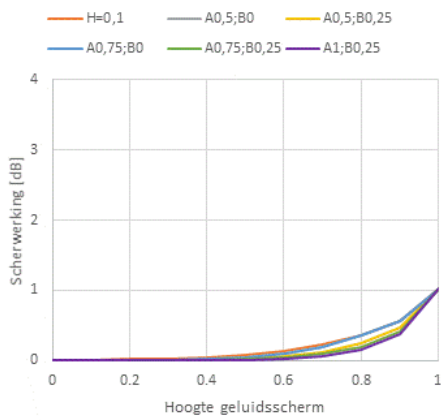
Bovenstaande verschilberekening geldt voor één enkele geometrie. Om te onderzoeken wat het effect is bij andere situaties zijn ook enkele andere geometrieën doorgerekend. In de onderstaande figuren is voor een waarneemhoogte van 1,5; 5 en 8 meter hoogte en voor 10 en 30 meter achter het scherm het verschil in schermeffect van alle varianten weergegeven.



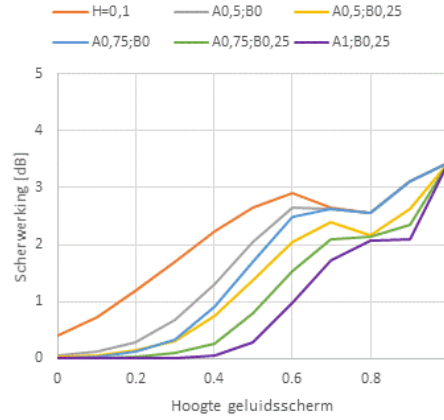
10 meter achter scherm
1,5 meter waarneemhoogte



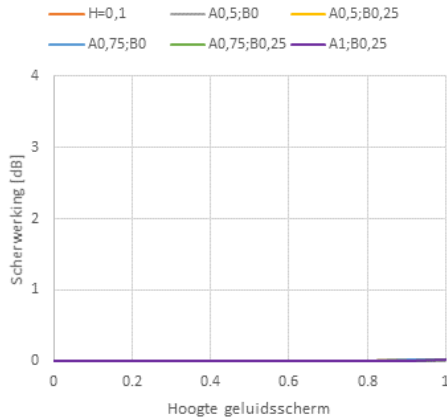
30 meter achter scherm
1,5 meter waarneemhoogte



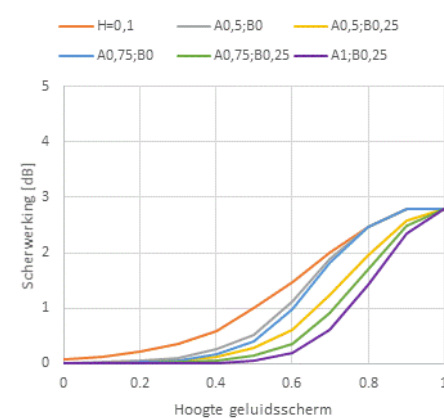
10 meter achter scherm
5 meter waarneemhoogte



30 meter achter scherm
5 meter waarneemhoogte



10 meter achter scherm
8 meter waarneemhoogte



30 meter achter scherm
8 meter waarneemhoogte

Figuur 6 Verschil schermwerking voor verschillende varianten en geometrieën.

In de figuren is te zien dat bij hogere waarneemhoogtes het verschil kleiner is. Bij een waarneemhoogte van 8 meter en 10 meter achter het scherm is er nauwelijks sprake van schermwerking. Wat verder opvalt is dat bij een lage ontvangerhoogte en op een grotere afstand er in veel varianten al een schermwerking wordt berekend, zelfs met een objecthoogte van 0 m. Dit komt omdat er met een kleine negatieve omweg (het geluidpad gaat vlak over een object heen) er al afscherming plaatsvindt. Dit is een issue dat software lastig kan interpreteren. Is er sprake van een laag object dat kan afschermen of een element in het rekenmodel waaruit het maaiveld verloop wordt opgebouwd. Dergelijke artefacten in een rekenmodel dienen zoveel mogelijk voorkomen te worden. Te zien is dat dat in de varianten $\alpha = 0,75$ of 1 en $\beta = 0,25$ voorkomen wordt.

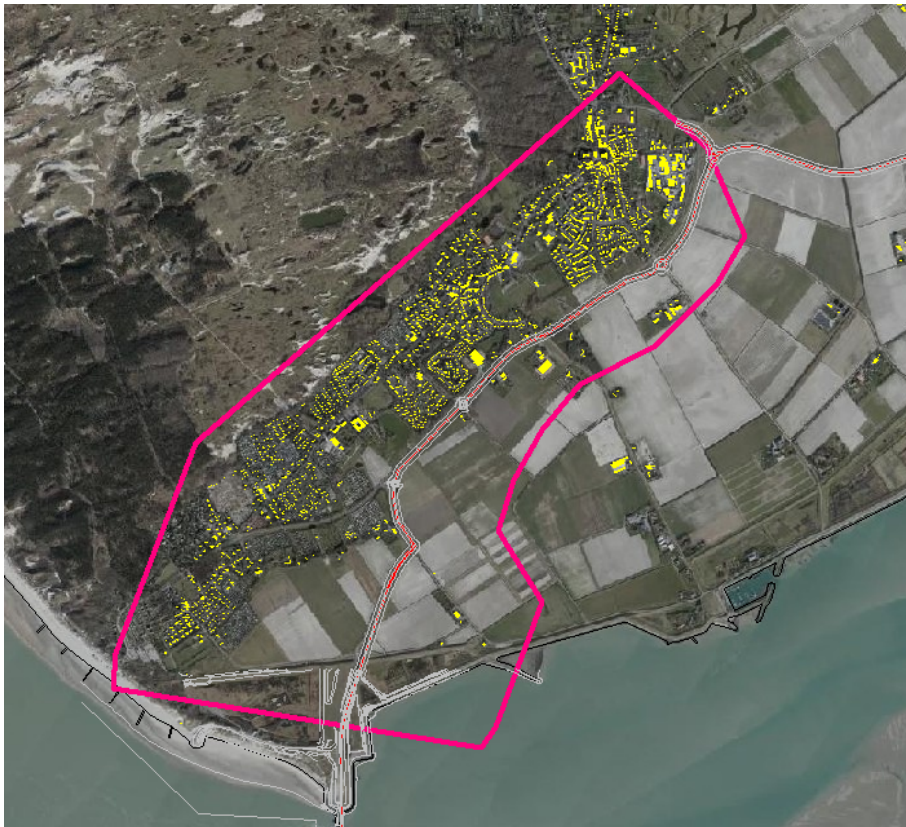
5 Effecten varianten met modellen uit de praktijk

Naast de berekening van de varianten met fictieve/gestileerde situaties is ook bij twee verschillende reguliere rekenmodellen gekeken naar het effect van de varianten. Deze SRM2 rekenmodellen zijn doorgekend met een door RIVM aangepaste versie van het dBvision rekenhart. Er zijn verschilcontouren berekend ten opzichte van de huidige vaste bronhoogte van 0,75 m. De berekeningen geven inzicht in het effect van de varianten en tonen ook hoe gevoelig rekenresultaten zijn op de aanpassing van de bronhoogte.

Het eerste model is een situatie zonder geluidschermen, maar met een talud dat oploopt naar een brug toe in Zeeland. Het tweede is een complexere situatie met schermen en met en zonder bebouwing bij de A2 en A12 rond Nieuwegein/Utrecht.

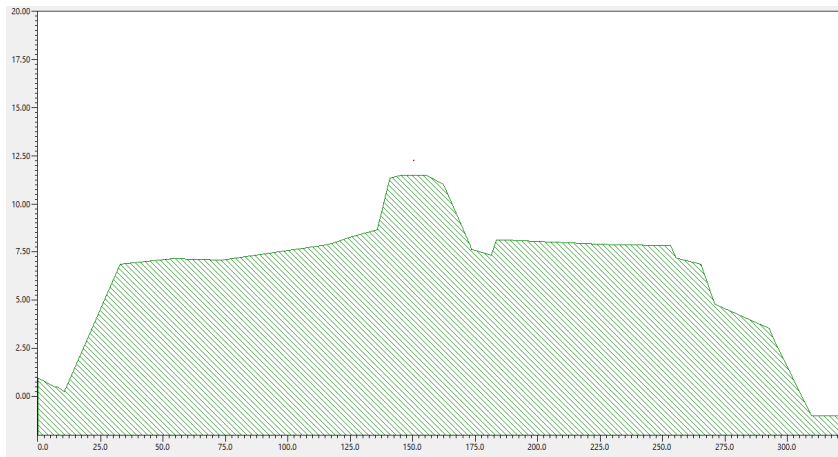
5.1 Berekening N57 te Zeeland

Op basis van de uitlevering van Rijkswaterstaat in het kader van berekeningen voor de Richtlijn omgevingslawaai is een rekenmodel gemaakt. Een overzicht van het model en de locatie is weergegeven in Figuur 7.



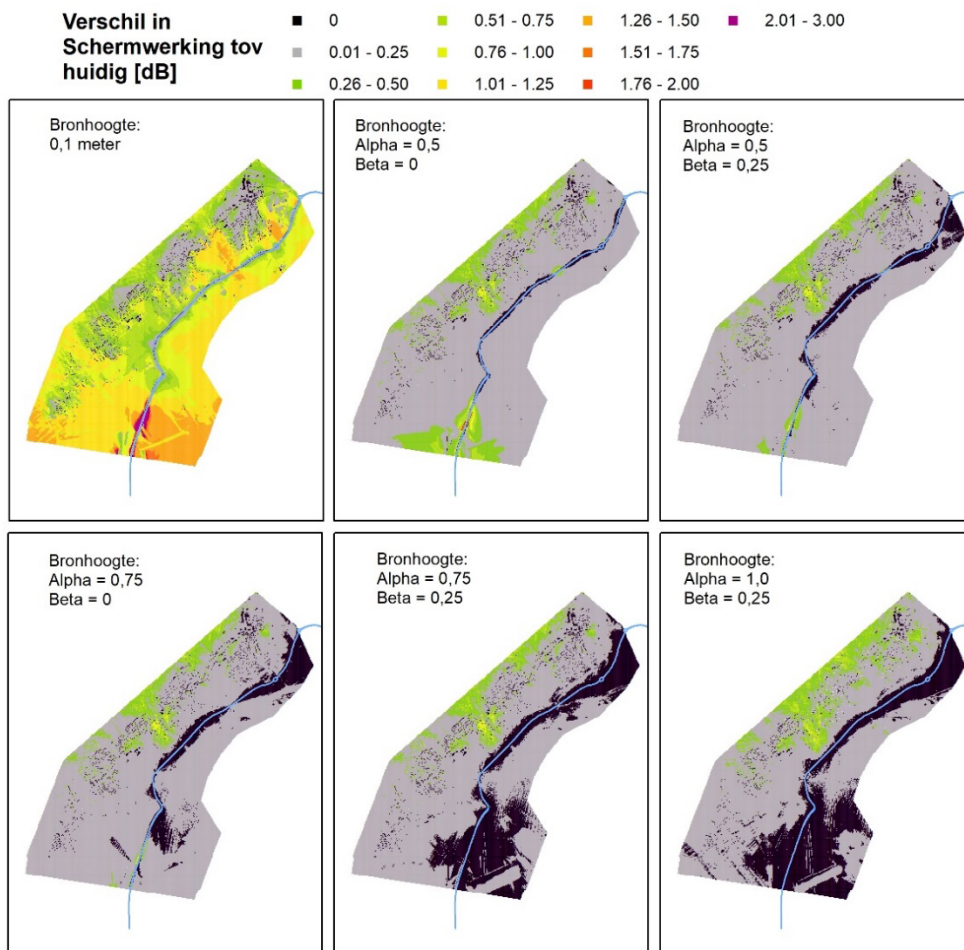
Figuur 7 Een raster (1,5 meter hoogte, 10x10 meter) ten noorden van de Oosterschelde.

De maximale hoogte van het talud binnen de contour bedraagt ca 12 meter ten opzichte van het verder afgelegen maaiveld. In Figuur 8 is een dwarsdoorsnede van de weg ter hoogte van de zuidelijke grens van de contour weergegeven.



Figuur 8 Doorsnede van de weg ter hoogte van de zuidelijke rand van de contour.

In Figuur 9 is op een raster het verschil tussen de situatie met bronhoogte van 0,75 m en met ieder van de vijf varianten weergegeven. De waarneemhoogte is hier 1,5 meter.

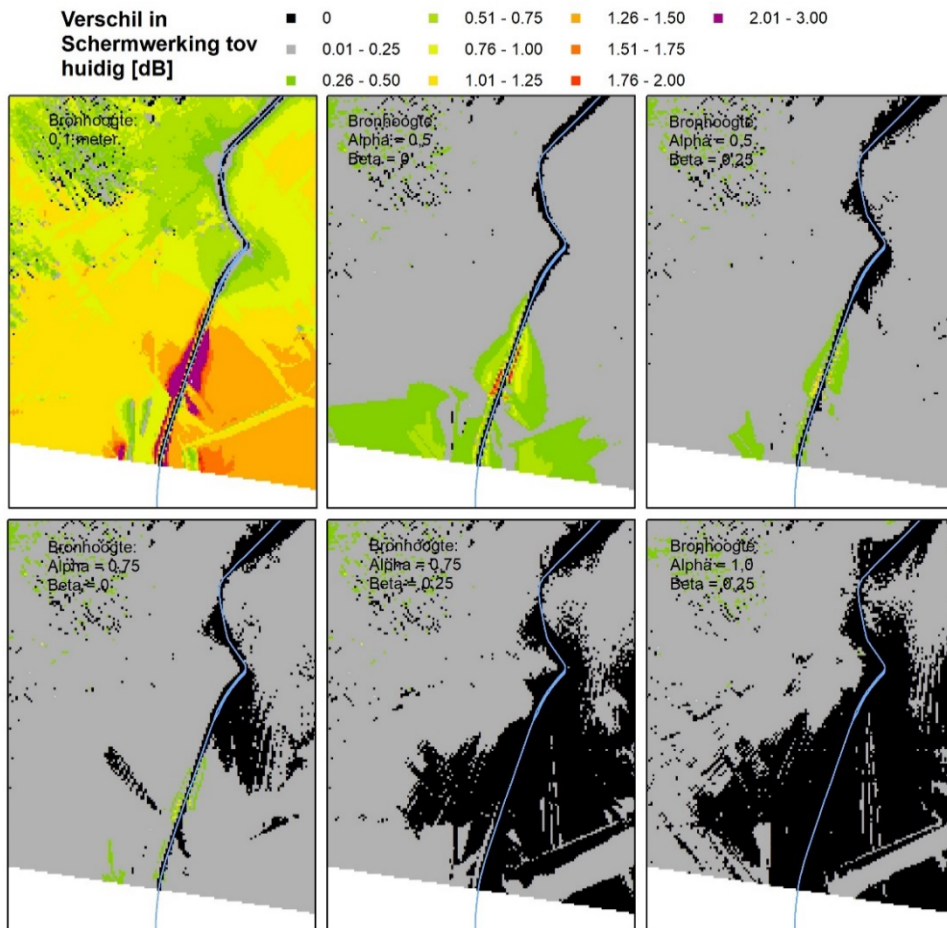


Figuur 9 Verschillen in geluidbelasting voor de verschillende varianten voor een situatie in Zeeland met een weg gedeeltelijk op verhoogd dijklichaam.

In Figuur 9 is te zien dat bij een bronhoogte van 0,1 m de taludranden van de weg (hier gemodelleerd als scherm met 2 dB profielcorrectie) tot vrij hoge afscherming leidt. Dit geldt het sterkst verder van de weg af. Bij dichte bebouwing is dit effect minder omdat daar in zowel het geval met bronhoogte 0,75 als 0,1 m het maatgevend scherm de gebouwen zijn (waarbij de diffractierand hoger ligt). Bij de varianten is te zien dat het (ongewenste) afschermende effect van taludranden sterk vermindert. Alleen wanneer het talud hoger wordt (zuidzijde figuur) is er nog een groter schermefect te zien dan bij een bronhoogte van 0,75 m. Dit effect is vanaf de variant met $\alpha = 0,75$ en $\beta = 0,25$ verwaarloosbaar. Bij de variant met $\alpha = 1,0$ en $\beta = 0,25$ treedt er nog maar weinig verschil op vergeleken met de variant $\alpha = 0,75$ en $\beta = 0,25$.

In alle gevallen is er rond de bebouwing een effect. Dit wordt veroorzaakt doordat de bebouwing hoger is dan de bron en voor de punten achter deze bebouwing de maatgevende afscherming wordt bepaald door de bebouwing. Hiermee zal voor (vrijwel) alle sectorhoeken de bronhoogte 0,1 m zijn (zie tabel 1, waarbij de hoogte van het afschermende element groter is dan 1 m).

In Figuur 10 is hetzelfde weergegeven als in Figuur 9, maar dan ingezoomd op het talud/dijklichaam aan de zuidzijde.

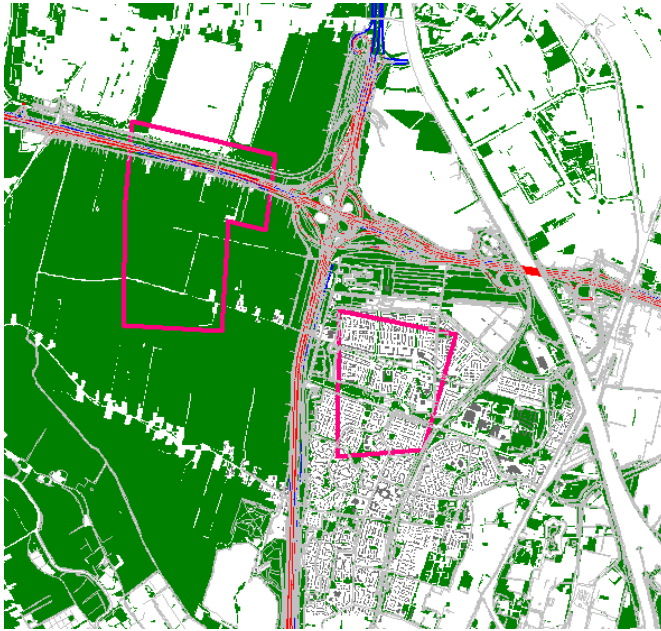


Figuur 10 Verschillen in geluidbelasting voor de verschillende varianten voor een situatie in Zeeland met een weg gedeeltelijk op verhoogd dijklichaam ingezoomd op het talud. De afbeelding toont een gebied van ongeveer 1,5 bij 2 kilometer.

In Figuur 10 is te zien dat alleen in de variant met $\alpha=0,75$ en $\beta = 0,25$ er vrijwel geen extra afscherming vanwege taludranden plaatsvindt vergeleken met de huidige bronhoogte van 0,75 meter.

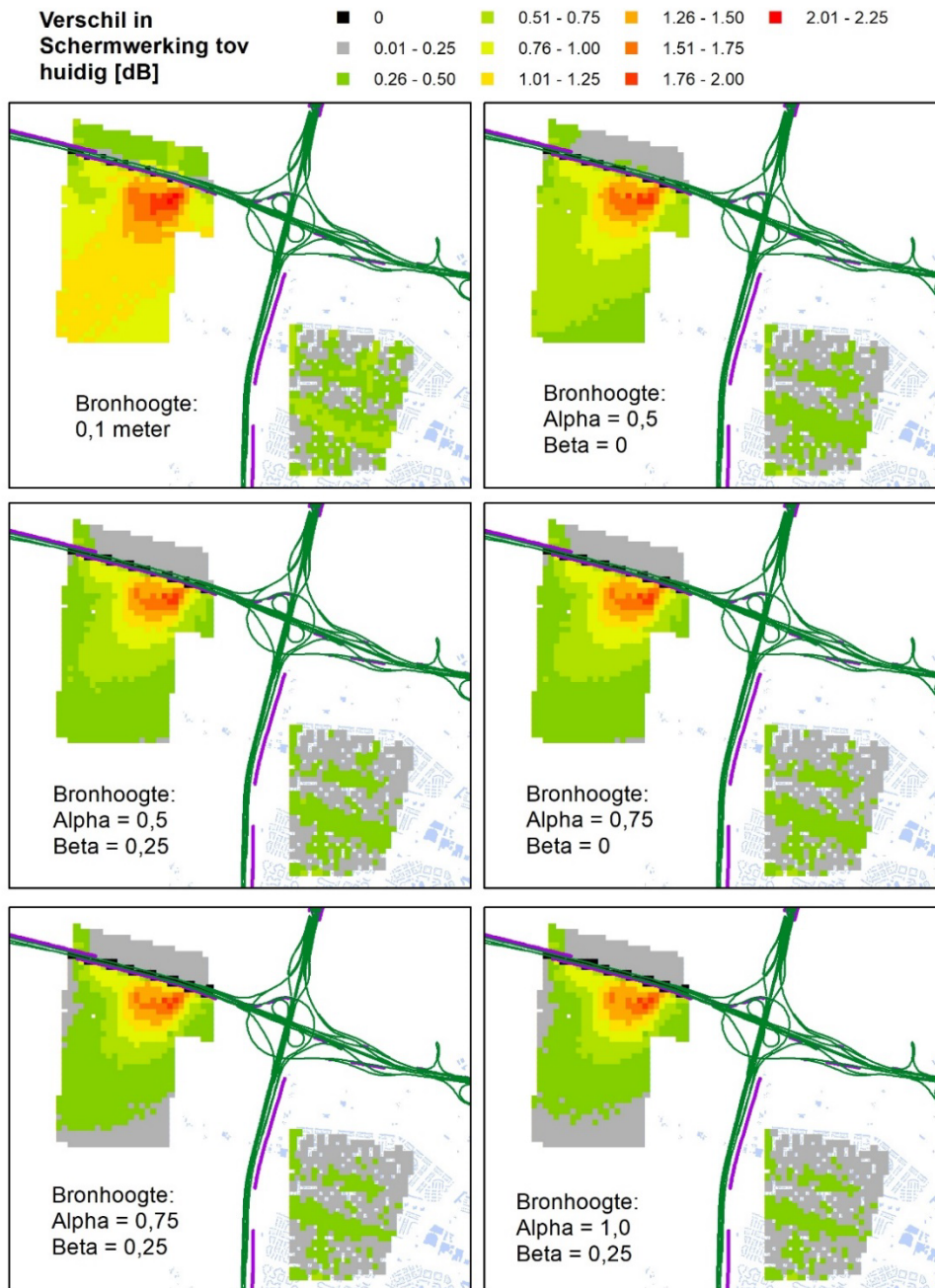
5.2 Berekening A2 en A12 te Nieuwegein/Utrecht

Op basis van geluidregister data en het DTB aangevuld met gegevens uit het 3D basisbestand geluid is een SRM2 model opgesteld van de A2 en A12 rond het knooppunt Oudenrijn. Er zijn twee contouren berekend. Een contour in Nieuwegein en een contour in de polder. Het model is weergegeven in Figuur 11. Ter hoogte van de contour in de polder is een geluidsscherm aanwezig. Er is gerekend op 4 meter hoogte.



Figuur 11 Twee rasters (4 meter hoogte, 50x50 meter) rond knooppunt Oudenrijn

In Figuur 12 is op een raster het verschil tussen de situatie met bronhoogte van 0,75 m en met ieder van de vijf varianten weergegeven.



Figuur 12 Verschillen in geluidbelasting voor de verschillende varianten voor een open veld locaties met geluidsscherm aan de zuidkant van de weg (links) en in een stad (rechts).

In Figuur 12 is te zien dat in de woonwijk de verschillen tussen de varianten gering zijn. Dit komt omdat de maatgevende afscherming bij veel zichthoeken veroorzaakt wordt door de bebouwing. Die zit op relatief grote afstand van de bron waardoor het voor de omweg niet veel uitmaakt of er een bronhoogte van 0,1 of 0,75 meter is en blijft het verschil beperkt tot ongeveer 0,5 dB.

Aan de zuidzijde van de A12 is een geluidsscherm aanwezig over de gehele contourbreedte. Deze is ca 3 meter hoog aan de zijkanten en iets minder dan 2 meter hoog in het midden. Een foto is te zien in figuur 13.

De verhoogde afscherming van het relatief lage schermdeel is goed zichtbaar. Dit is voor alle varianten ongeveer gelijk. Het verschil tussen de varianten op grotere afstand van dit scherm wordt veroorzaakt door andere delen van de A12/A1. Daar vindt in sommige varianten afscherming van taludranden plaats.



Figuur 13 Aanzicht twee schermdelen langs de A12 met een laag deel (links) en een hoger deel (rechts). Foto Google Streetview

5.3 Tussenconclusie gevoeligheidsanalyse

De berekeningen laten zien dat bij een vaste bronhoogte van 0,1 m in een groot gebied lagere geluidniveaus worden berekend door de software. Omdat de software geen onderscheid kan maken of van een taludlijn in redelijkheid te verwachten valt of deze afschermt vindt er in veel gevallen afscherming plaats die in redelijkheid niet te verwachten is. Om die reden is deze oplossingsrichting onwenselijk.

In het RMG en bijlage IVe staat "Indien zich binnen een sector objecten bevinden waarvan de zichthoek ten minste samenvalt met de openingshoek van de betreffende sector en waarvan tevens in redelijkheid is te verwachten dat die de geluidsoverdracht zullen belemmeren, wordt de schermwerking ΔLSW tezamen met een verminderde bodemdemping (vervat in de termen S_w en S_b , zie Tabel 2.6 van § 2.8) in rekening gebracht."

Een vaste bronhoogte van 0,1 m leidt ertoe dat niet aan bovenstaande eis wordt voldaan.

Voor de overige varianten geldt dat die gevoeligheid al aanzienlijk minder is en dat deze in software geïmplementeerd kunnen worden. De variant met $\alpha = 0,75$ en $\beta = 0,25$ leidt tot vrijwel geen situaties waarbij er afscherming berekend wordt waar dat in redelijkheid niet te verwachten valt. De variant met $\alpha = 1,0$ en $\beta = 0,25$ waarbij deze gevoeligheid nog lager is, leidt niet tot betere resultaten.

Indien blijkt uit vergelijking met metingen dat de variant met $\alpha = 0,75$ en $\beta = 0,25$ voldoet dan heeft die variant ook de voorkeur. Als die niet voldoet, dan is de variant $\alpha = 1,0$ en $\beta = 0,25$ een alternatief.

6 Vergelijking met metingen

6.1 Meetlocaties

De voorgestelde rekenregel wordt gevalideerd middels een vergelijking tussen meten en rekenen. Doelstelling van de rekenregel is immers dat de werkelijkheid beter wordt benaderd. Hoewel het aantal metingen beperkt is, geeft dit inzicht of de rekenregel een verbetering oplevert ten opzichte van de huidige situatie.

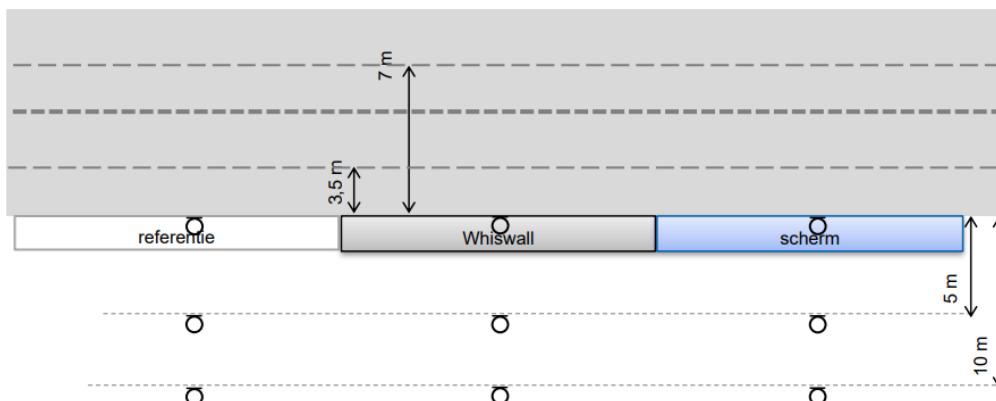
Om het effect van de rekenregel te bepalen zijn berekeningen vergeleken met geluidsmetingen op drie verschillende locaties met verschillende schermhoogtes.

1. 1,1 meter hoog scherm te Technology base te Enschede [2]
2. 0,75 meter hoog scherm op de N512 te Egmond aan den Hoef [3]
3. 3 meter hoog scherm in de Verenigde Staten [6].

Er is gekozen voor metingen met een schermhoogte tot maximaal 3 meter. Bij hogere schermen is het verschil in schermwerking tussen de twee bronhoogtes klein en kan, gegeven meetonnauwkeurigheden, geen uitspraak gedaan welke variant een betere overeenstemming geeft tot metingen

6.2 Metingen 1,1 meter hoog scherm op Technology Base te Enschede

De proefopstelling op Technology Base te Enschede is te zien in Figuur 14. De relevante delen zijn in dit geval de doorsnede van de referentie zonder scherm en de doorsnede met het scherm. Achter de doorsnedes bevinden zich microfoonlocaties op 5 meter en op 10 meter afstand. De hoogtes van de microfoons zijn 1,2; 2; 3 en 5 meter. Op de doorsnede zit nog een referentie microfoon met als hoogte 2,1 meter.

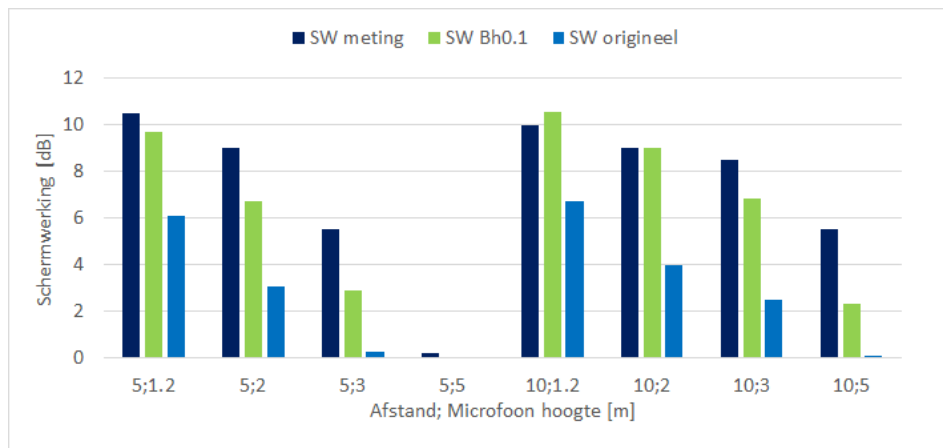


Figuur 14 Proefopstelling Technology Base te Enschede.

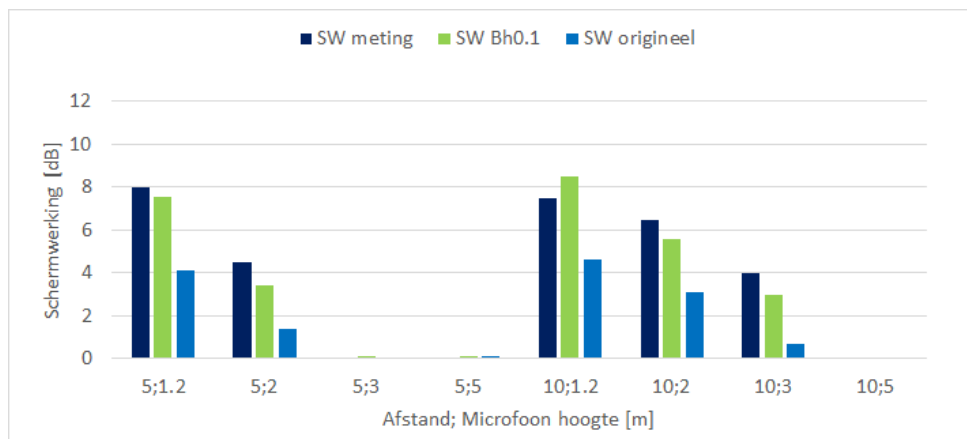
Op de testlocatie is een set metingen gedaan met lichte motorvoertuigen die langs de doorsnedes reden met een snelheid van 50 km/h. Deze situatie is nagebootst en berekend met het rekenhart voor een vaste bronhoogte van 0,1 meter én de originele bronhoogte

van 0,75 meter van de schermwerking. Er is niet gekeken naar verschillende varianten omdat het scherm hoger is dan 1 meter. In dat geval is voor alle varianten van de schermwerking de bronhoogte gelijk aan 0,1 meter.

Figuur 15 laat de resultaten zien voor de aanliggende rijbaan. In de figuur is het duidelijk te zien dat de originele schermwerking te laag werd berekend. De verandering naar een bronhoogte van 0,1 m geeft een duidelijk betere overeenkomst met de gemeten waarden. Figuur 16 laat de resultaten zien voor de afliiggende rijbaan. In dat figuur is hetzelfde effect te zien als in Figuur 15, echter omdat de rijstrook verder van het scherm ligt is er nu minder schermwerking.



Figuur 15 Schermwerking voor de aanliggende rijbaan van lichte motorvoertuigen met een snelheid van 50 km/h. De meetlocaties zijn 5 en 10 meter achter het scherm en op 1,2; 2, 3 en 5 meter hoogte.



Figuur 16 Schermwerking voor de afliiggende rijbaan van lichte motorvoertuigen met een snelheid van 50 km/h. De meetlocaties zijn 5 en 10 meter achter het scherm en op 1,2; 2, 3 en 5 meter hoogte.

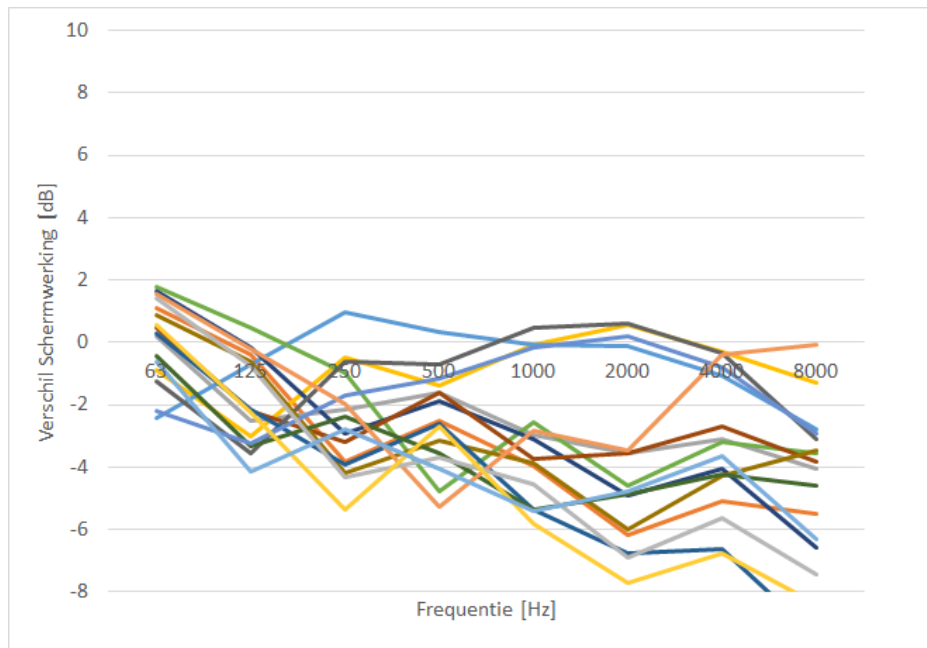
Het rekenvoorschrift rekent in 8 octaafbanden. Daarom wordt ook gekeken naar de spectrale resultaten. De spectrale resultaten zijn alleen beschikbaar voor de metingen op Technology Base te Enschede. Opnieuw is gekeken naar de schermwerking voor lichte motorvoertuigen met een snelheid van 50 km/h. Figuur 17 laat de gemiddelde schermwerking voor alle microfoons posities zien voor 8 verschillende

octaafbanden. In de figuur is te zien dat de berekening aanzienlijk dichterbij de gemeten waarde ligt voor alle frequenties.

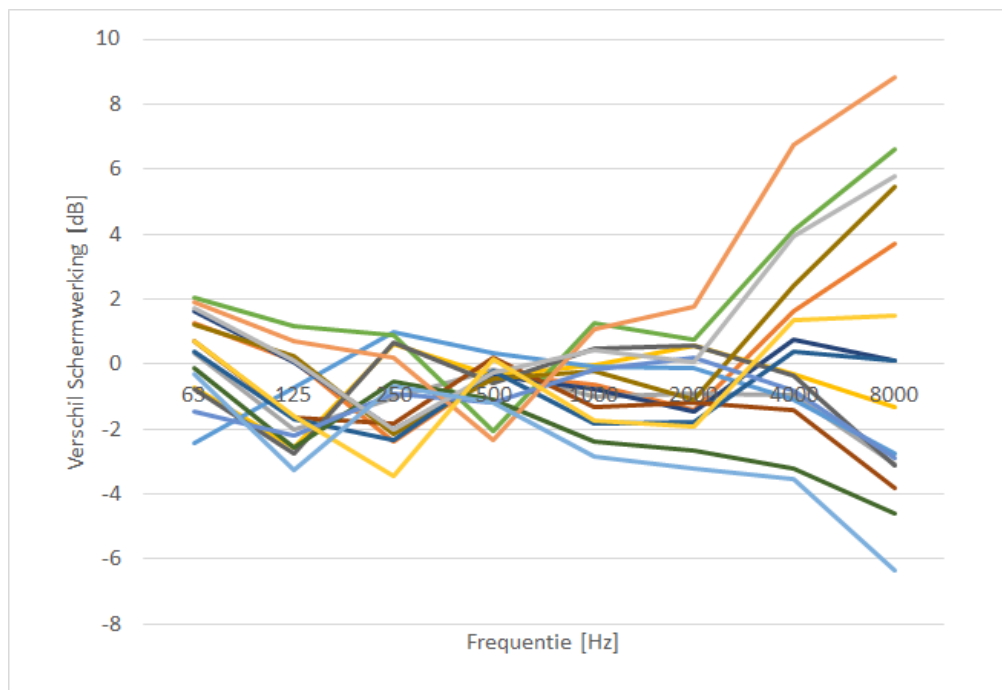


Figuur 17 Berekende en gemeten gemiddelde schermwerking van alle microfoon posities.

In Figuur 18 en Figuur 19 zijn de verschillen van de meting met de berekende waarden weergegeven. Figuur 18 geeft de verschillen van meten en rekenen voor de originele rekenregel weer. De verschillende kleuren lijnen representeren hier alle verschillende microfoon posities (zie Figuur 14 en bijbehorende tekst). Figuur 19 geeft hetzelfde weer maar dan nu voor een bronhoogte van 0,1 meter. Opvallend is om te zien dat voor lage en middel frequenties de variant met een bronhoogte van 0,1 meter het een stuk beter doet. Bij de hoge frequenties voor beide rekenregels grote uitschieters. Dit kan mede veroorzaakt worden door meeton nauwkeurigheden. Gemiddeld geeft de variant met 0,1 meter echter een goede overeenkomst met de metingen.



Figuur 18 Verschil tussen gemeten en berekende schermwerking bij verschillende octaafbanden en een bronhoogte van 0,75 m voor alle microfoonposities.

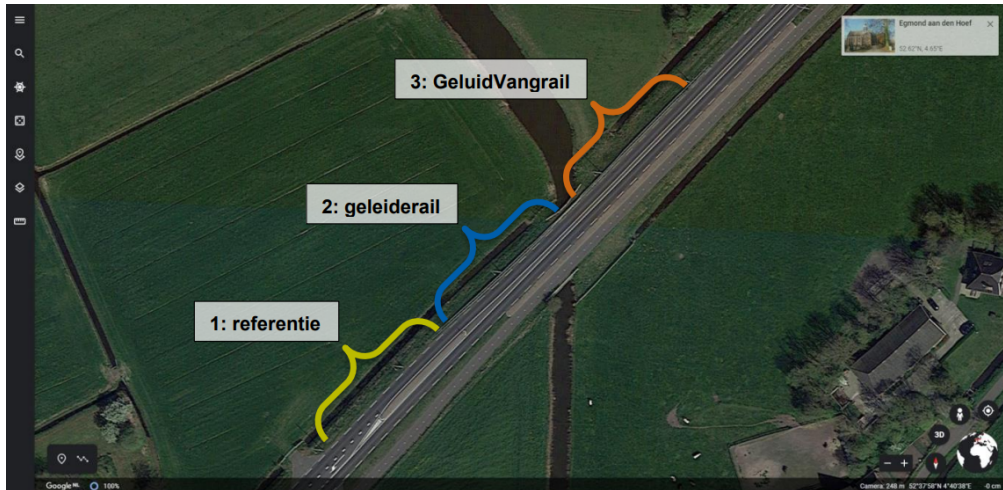


Figuur 19 Verschil tussen gemeten en berekende schermwerking bij verschillende octaafbanden en een bronhoogte van 0,10 m voor alle microfoonposities.

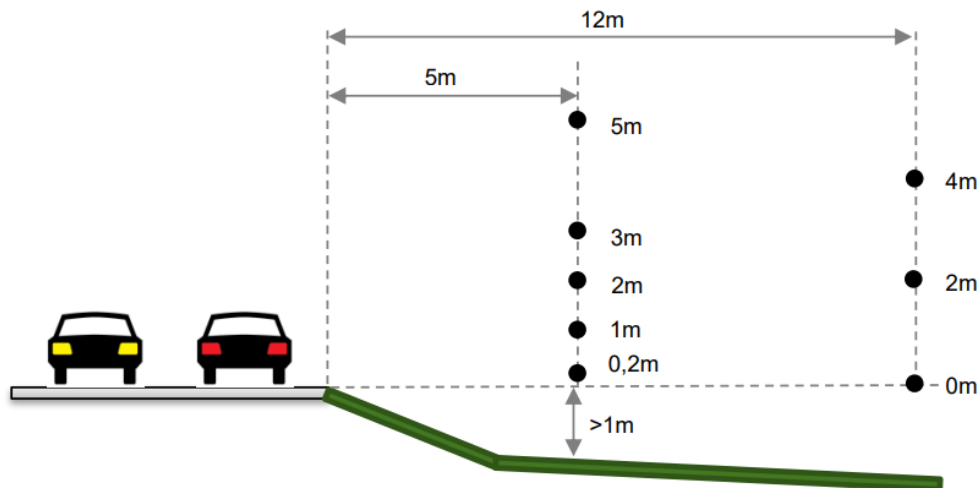
6.3 Metingen 0,75 meter hoog scherm op de N512

De metingen aan de N512 zijn gedaan om het effect van een zogenaamde "geluidvangrail" te bepalen. De geluidvangrail kan beschouwd worden als een geluidsscherm van 0,75 meter hoog. De locatie van de proefopstelling is te zien in Figuur 20.

Er zijn vier metingen van elk 15 minuten op de 3 verschillende locaties uitgevoerd. In Figuur 21 is het hoogteverloop en de microfoonlocaties van een enkele meetlocatie te zien. Te zien is dat de weg hier iets verhoogd ligt en dat er op meerdere hoogtes achter het geluidsscherm is gemeten.

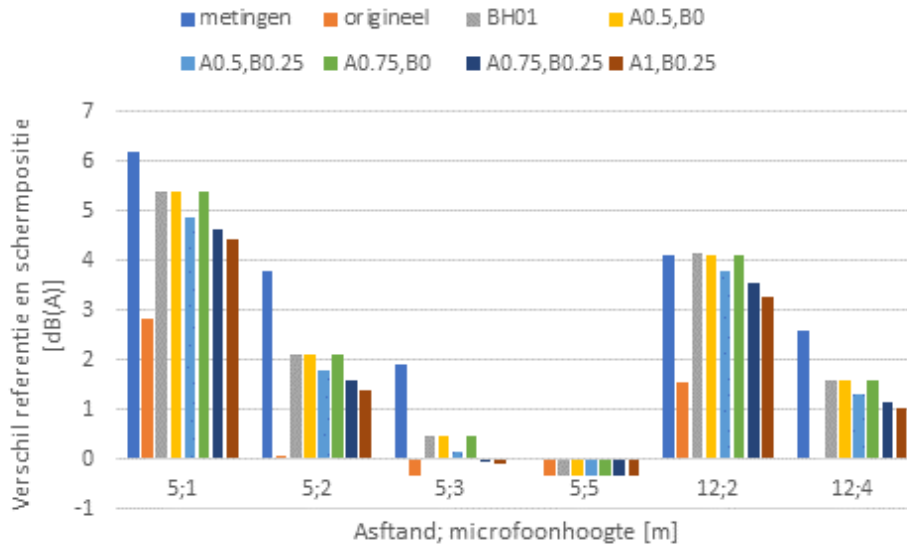


Figuur 20 Drie meetlocaties van de geluidsmeting op de N512, de gekleurde lijnen geven ongeveer de doorsnede aan van de meting.



Figuur 21 Dwarsdoorsnede van de meetlocaties en de locaties van de microfoons.

Deze situatie is gemodelleerd in een rekenmodel en doorgerekend met de verschillende varianten voor de bronhoogte. Figuur 22 laat deze resultaten zien. Er zijn geen resultaten voor de microfoonhoogte 0,2 en 0,0 meter omdat uit de rapportage bleek dat door bodemeffecten het effect van enkel het scherm niet goed te meten was.

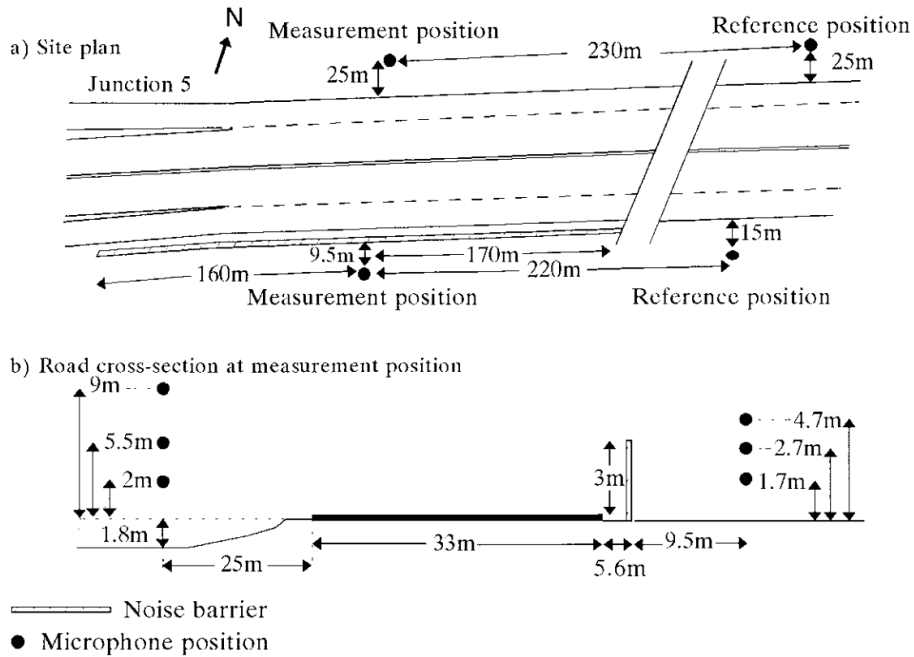


Figuur 22 Berekend en gemeten verschil tussen referentiepositie en schermpositie voor meetlocatie ten noorden van Egmond aan den Hoef voor verschillende varianten van de aanpassing van het rekenvoorschrift.

In de figuur is te zien dat tussen de varianten verschillen optreden van ongeveer 1 à 2 dB. Dit komt door de verschillende bronhoogtes bij een scherm van 0,75 m (zie Figuur 1). Te zien is dat alle varianten een aanzienlijk betere overeenstemming geven tot de metingen vergeleken met de huidige bronhoogte van 0,75 m. Op de het meetpunt van 5 meter hoog en 5 meter achter het scherm is een klein negatief berekend effect te zien. Hier is direct achter het scherm geen schermwerking. Bij de referentiepositie is de middenberm iets breder, waardoor de verafgelegen rijbaan iets verder van het waarneempunt ligt. Dit geeft een klein verschil tussen deze twee locaties.

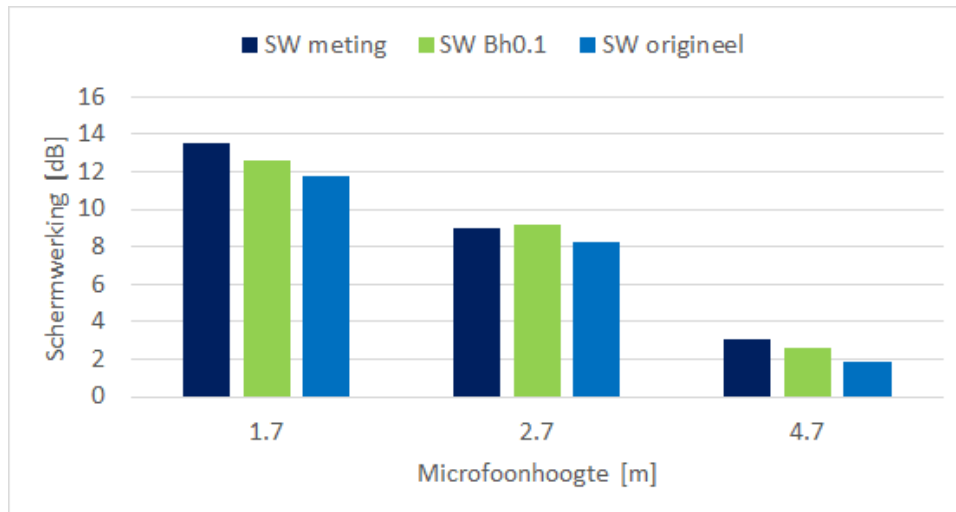
6.4 Metingen aan een 3 meter hoog scherm in de VS

Door Watts [6] zijn in 1998 geluidmetingen uitgevoerd achter een drie meter hoog scherm. In dat onderzoek zijn 3 microfoons op verschillende hoogtes geplaatst op 9,5 meter achter het scherm. Ook is er op een locatie langs dezelfde weg, waar geen scherm staat, een referentiemicrofoon geplaatst. Om een vergelijking te maken tussen de schermwerking bij meten en rekenen is het verschil bepaald van de microfoonposities achter het scherm ten opzichte van de referentiemicrofoon. De locatie en geometrie van de meetopstelling is te zien in Figuur 23.



Figuur 23 Meetopstelling van het onderzoek van Watts [6].

De situatie van Figuur 23 is gemodelleerd in een rekenmodel, waarbij voor iedere rijstrook een bronlijn is ingevoerd. Dit model is doorgerekend met de originele bronhoogte en een bronhoogte van 0,1 meter. Figuur 24 laat de resultaten zien.



Figuur 24 Schermwerking van de situatie in Figuur 23.

In de figuur is te zien dat het effect van de bronverlaging gering is maar dat de bronhoogte van 0,1 meter een iets betere overeenstemming geeft met de metingen.

6.5 Tussenconclusie van het vergelijken met metingen

De varianten van de rekenregel zijn vergeleken met meetresultaten van verschillende locaties met verschillende schermhoogtes. Uit de vergelijking blijkt dat de bronhoogte van 0,1 meter een betere

overeenstemming geeft met de metingen. Bij lage schermen (0,75 m en 1,1 m) komen de berekeningen veel beter overeen met de metingen. Dit geldt ook voor de individuele octaafbanden.

Voor de meting achter het 0,75 meter hoog scherm treedt er een verschil op tussen de varianten. De berekeningen met een bronhoogte van 0,1 meter (de varianten waarbij $\beta = 0$) komt het beste overeen met de metingen. Het verschil tussen de varianten is echter klein. Hieruit volgt geen sterke voorkeur voor een variant.

7 Conclusie

In dit onderzoek is gekeken of een bij aangepaste bronhoogte de schermwerking in het rekenvoorschrift voor wegen leidt tot een betere overeenstemming met de werkelijkheid. Het blijkt dat wanneer de bronhoogte wordt aangepast van 0,75 m naar 0,1 m de rekenresultaten een grotere overeenstemming hebben met metingen. Ook is er een betere overeenstemming met schermwerking zoals dat in de rekenmethodes CNOSSOS en Harmonoise/Imagine wordt berekend.

Door de lagere bronhoogte wordt er tot 3 à 4 dB hoger schermeffect berekend bij een laag scherm (1 meter). Bij hoge schermen en in situaties dat het diffractie punt ver van de bron bevindt is het verschil in schermeffect tussen een bronhoogte van 0,1 m of 0,75 m gering.

Het gebruik van een vaste bronhoogte van 0,1 meter kan echter tot ongewenste neveneffecten leiden. Een voorbeeld is dat taludranden snel tot afscherming zullen leiden. In het Reken- en Meetvoorschrift en de omgevingsregeling bijlage IVE staat dat alleen objecten die in redelijkheid tot afscherming kunnen leiden meegenomen moeten worden in de berekening voor de schermwerking. Of dit het geval is, is niet goed door software geautomatiseerd te bepalen. Wanneer zal een taludrand of rand van een brug wel of niet afschermen?

Uit testberekeningen blijkt dat in situaties dat geen afscherming wordt verwacht er bij een bronhoogte van 0,1 meter vaak afscherming wordt berekend. Om dit te voorkomen en de foutgevoeligheid van modellen te beperken zijn een aantal opties voor het verlagen van de bronhoogte onderzocht. Deze opties gaan uit van een dynamische bronhoogte. Voor hele lage, potentieel afschermende objecten wordt uitgegaan van een hogere bronhoogte dan voor iets hogere objecten. Zo zal de bronhoogte relatief hoog zijn voor een object van 0,1 m hoog en juist laag zijn bij een object van 1 meter hoog. Het verschil tussen de opties zit in twee factoren. Dat is hoe snel de bronhoogte wordt verlaagd bij hoger wordende schermhoogte en vanaf welke schermhoogte de bronhoogte wordt verlaagd.

Uit een gevoeligheidsanalyse van enkele mogelijke varianten van de dynamische bronhoogte blijkt dat de verschillen tussen deze varianten beperkt zijn. Een uitzondering wordt gevormd bij situaties met taluds. Daar blijkt dat de bron in sommige gevallen dusdanig laag is waardoor taludranden ten onrechte gaan afschermen.

Bij een vergelijking van berekeningen met metingen blijkt dat alle varianten een aanzienlijk betere overeenstemming met metingen laten zien dan met de bronhoogte van 0,75 meter. Vanaf een schermhoogte van 1 meter is er geen verschil tussen de onderzochte varianten. Bij een scherm van 0,75 meter hoog is het verschil tussen de varianten beperkt. Vanuit deze vergelijking tussen meten en rekenen volgt geen voorkeur voor één of meerdere van de onderzochte varianten.

Uiteindelijk wordt de volgende variant als geschikt om te implementeren in het rekenvoorschrift beoordeeld:

$$\text{met } \Delta Z_B = \begin{cases} 0,65 & \text{als } 0,75 \cdot (Z_B - Z_T + 0,25) < 0 \\ 0,4625 - 0,75 \cdot (Z_B - Z_T) & \text{als } 0 \leq 0,75 \cdot (Z_B - Z_T + 0,25) < 0,65 \\ 0 & \text{als } 0,75 \cdot (Z_B - Z_T + 0,25) \geq 0,65 \end{cases}$$

Er is gekozen voor deze variant omdat:

- Uit vergelijking van metingen en berekeningen er geen voorkeur ontstaat voor een variant. Alle varianten zijn ongeveer gelijkwaardig.
- In tegenstelling tot sommige enkele andere varianten er geen afscherming plaats zal vinden bij een object van 0 meter hoogte.
- Uit modellen zoals deze in de praktijk gebruikt kunnen worden blijkt dat deze variant geen ongewenste neven effecten laten zien zoals afscherming door taludranden. Bij andere varianten kwam dat wel voor.
- De variant waarbij bronhoogtes hoger kunnen zijn dan hier geen beter resultaat geeft vergeleken met deze variant. Die variant presteert net iets minder bij een vergelijking meten en rekenen bij een scherm van 0,75 m hoog.

De wijziging van het rekenvoorschrift zal ertoe leiden dat berekende geluidniveaus gelijk of lager zijn vergeleken met het huidige voorschrift. Het zal ook gevolgen kunnen hebben voor een maatregelafweging en op berekende geluidproductieplafonds. Het beschermingsniveau bij geluidproductieplafonds verandert niet omdat zowel de plafondwaarde als een nalevingswaarde even veel zal veranderen.

8 Bibliografie

- [1] Regeling van de Staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu, van 12 juni 2012, nr. IENM/BSK-2012/37333, houdende vaststelling van regels voor het berekenen en meten van de geluidsbelasting en de geluidproductie ingevolge de Wet geluidhinder en de Wet mi, Staatscourant 11810, 2012.
- [2] M+P.RGPO.20.04.3, Geluidmetingen aan diffractoren op Technology Base voor RMG-rekenregel, 2020.
- [3] S. Voeten, Adviesrapport GeluidVangrail Praktijkproef - meten en rekenen, Movares, 2021.
- [4] DIRECTIVE 2002/49/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL relating to the assessment and management of environmental noise, EU, 2002.
- [5] R. Nota, R. Barelds en D. van Maercke, Harmonoise WP 3 Engineering method for road traffic and railway noise after validation and fine-tuning, Technical Report HAR32TR-040922-DGMR20, 2005.
- [6] G. Watts en N. Godfrey, „Effects on roadside noise levels of sound absorptive materials in noise barriers,“ *Applied Acoustics, Volume 58, Issue 4,,* pp. 385-402, 1999.

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven

Nederland

www.rivm.nl

augustus 2023

De zorg voor morgen
begint vandaag