Oude Waalsdorperweg 63
2597 AK Den Haag
Postbus 96864
2509 JG Den Haag

www.tno.nl

T +31 88 866 10 00

TNO-rapport

2020 R11690

Aanvullend geluidonderzoek schermen en viaducten voor Tracébesluit Ring Utrecht

Datum	2 november 2020
Auteur(s)	Arno Eisses, Eef Brouns
Aantal pagina's	26 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	1
Opdrachtgever	Rijkswaterstaat
Projectnummer	060.43623

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.
Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2020 TNO

Inhoudsopgave

1 Inleiding 3

2 Rechte, verticale in plaats van hellende schermen 4
2.1 Akoestische eisen vanuit het Ontwerp-tracébesluit 4
2.2 Eisen en wensen ten aanzien van de vormgeving 4
2.3 Onderzoeksvragen 5
2.4 Onderzoekslocaties 6
2.5 Methode van onderzoek 7
2.6 Uitgangspunten 7
2.7 Resultaten geluidberekeningen 8
2.8 Verwacht effect van een rooster met begroeiing over het geluidscherm 12
2.9 Geluidabsorberend materiaal voor verticale schermen 14
2.10 Overwegingen bij de schermkeuze vanuit de akoestische randvoorwaarden 15
2.11 Toepassing geluidabsorptie verticale schermen op overige locaties 16

3 Open viaducten Rijnsweerd 18
3.1 Openingen tussen rijbanen op viaducten 18
3.2 Methode van onderzoek 19
3.3 Uitgangspunten 19
3.4 Resultaten 20
3.5 Samenvatting van de resultaten 23

4 Ondertekening 25

Bijlage(n)
A Overzicht van geluidabsorptie van schermen

1 Inleiding

Ten behoeve van het Tracébesluit voor de reconstructie van de rijkswegen van de ring Utrecht heeft TNO in opdracht van Rijkswaterstaat onderzoek uitgevoerd naar de consequenties voor de geluidbelasting van twee specifieke wijzigingen die ten opzichte van het Ontwerp-tracébesluit (van 10 mei 2016) in het Tracébesluit A27/A12 Ring Utrecht[1] zijn opgenomen. Het betreft:

a) het toepassen van rechte, verticale geluidschermen in plaats van 10 graden achterover hellende schermen en
b) het open uitvoeren van de viaducten in rijksweg A27 bij de onderdoorgangen Archimedeslaan, Weg tot de Wetenschap en Kromme Rijn.

Deze wijzigingen zijn beschreven in de Nota van Wijzigingen en waren nog niet opgenomen in het (vernietigde) Tracébesluit van 8 december 2016.

In voorliggend rapport worden de consequenties van de twee bovenstaande wijzigingen apart van elkaar beschreven in de hoofdstukken 2 en 3. Aan het eind van deze hoofdstukken zijn de conclusies van het betreffende onderwerp opgenomen.

[1] Bedoeld is het Tracébesluit 2020 dat is opgesteld na de vernietiging op 17 juli 2019 van het Tracébesluit van 8 december 2016 door de Raad van State.

2 Rechte, verticale in plaats van hellende schermen

2.1 Akoestische eisen vanuit het Ontwerp-tracébesluit

Het Ontwerp-tracébesluit voorziet (evenals het vernietigde Tracébesluit[2] van 2016) in de realisatie van geluidschermen die achterover hellend worden geplaatst onder een hoek van 10 graden (vanaf de weg gezien) en aan de wegzijde geluid-absorberend worden uitgevoerd. Een uitzondering hierop zijn de transparante (niet-absorberende) hellende schermen in het gedeelte tussen de aansluiting Nieuwegein/Papendorp (ten westen van de Galecopperbrug) en het Merwedekanaal.

Voor het Ontwerp-tracébesluit is akoestisch onderzoek uitgevoerd voor de gehele Ring Utrecht, conform de rekenmethode (Standaard rekenmethode 2) van het Reken- en meetvoorschrift geluid (RMG2012). Omdat deze methode geen mogelijkheid biedt om bij schermen (of andere obstakels) rekening te houden met een schuine stand van een reflecterend vlak, is uitgegaan van verticale schermen. Daarbij is een absorptiecoëfficiënt van 0,8 (80% absorptie) aangenomen over het gehele frequentiespectrum. Met deze modellering van de geluidschermen zijn de geluidbelastingen bij woningen en andere geluidgevoelige objecten vastgesteld en opgenomen in het Ontwerp-tracébesluit.

Wanneer voor andere schermen wordt gekozen dan omschreven in het Ontwerp-tracébesluit, geldt de eis dat de afwijkende vormgeving akoestisch gelijkwaardig is, wat betekent dat de wijziging niet mag leiden tot overschrijding van de in het Ontwerp-tracébesluit vastgelegde geluidgrenzen bij woningen (of andere geluid-gevoelige objecten). De geluidgrens bij een woning is ofwel de voorkeurs-grenswaarde ofwel de in het akoestisch onderzoek berekende waarde, indien die berekende waarde hoger is dan de voorkeursgrenswaarde.

2.2 Eisen en wensen ten aanzien van de vormgeving

Na vaststelling van het Ontwerp-tracébesluit is het Esthetisch programma van eisen (EPvE) voor het project A27/A12 Ring Utrecht opgesteld. Hierin is gekozen voor een andere vormgeving van de geluidschermen, namelijk rechte, verticale geluid-schermen die zoveel mogelijk aan twee kanten begroeid worden, waardoor de vormgeving aan de wegzijde en de omgevingszijde gelijk is. Dit wordt het Stads-scherm Utrecht genoemd.

Langs rijksweg A12, direct ten westen van de Galecopperbrug tot en met de kruising met het Merwedekanaal, is een transparant geluidscherm gewenst en is in het Ontwerp-tracébesluit een transparant, achteroverhellend geluidscherm opgenomen. In het EPvE is hieraan invulling gegeven met een zogenoemd ‘zaagtandscherm’, dat bestaat uit verschillende verspringende vlakken boven elkaar, die elk de in het Ontwerp-tracébesluit genoemde hellingshoek van 10 graden hebben.

[2] Voor wat betreft de geluidschermen is het vernietigde Tracébesluit gelijk aan het Ontwerp-tracébesluit.

Hiermee komt de top van het scherm vanaf de weg gezien minder ver naar achteren te liggen dan bij een scherm dat uit één hellend vlak bestaat. Figuur 2.1 toont een foto van een dergelijk scherm dat op een andere locatie is gerealiseerd.

Figuur 2.1 Foto met een voorbeeld van het ‘zaagtandscherm’.

2.3 Onderzoeksvragen

Rijkswaterstaat heeft TNO gevraagd om te onderzoeken hoe de eisen die voortkomen uit het akoestisch onderzoek behorende bij het Ontwerp-tracébesluit en de wensen die er zijn ten aanzien van de vormgeving van de schermen met elkaar zijn te verenigen.

Voor het niet-transparante geluidscherm is de vraag of het rechte, verticale Stadsscherm Utrecht akoestisch gelijkwaardig is met de eerder beschreven schermen van het Ontwerp-tracébesluit. Op de locaties waar in het EPvE voor een transparant geluidscherm is gekozen, moet het zaagtandscherm met geluidreflecterende, transparante panelen (zoals op de foto van figuur 2.1) akoestisch gelijkwaardig zijn met een 10 graden hellend scherm dat uit één vlak bestaat. In een eerder onderzoek[3] is al vastgesteld dat het 10 graden hellende scherm in een transparante (dus geluidreflecterende) uitvoering akoestisch gelijkwaardig is met een 80% geluidabsorberend scherm, zodat het 10 graden hellende, reflecterende scherm de referentie is waarmee het zaagtandscherm wordt vergeleken.

[3] Zie Dgmr-rapport M.2015.0853.01.R001 van 27 november 2015.

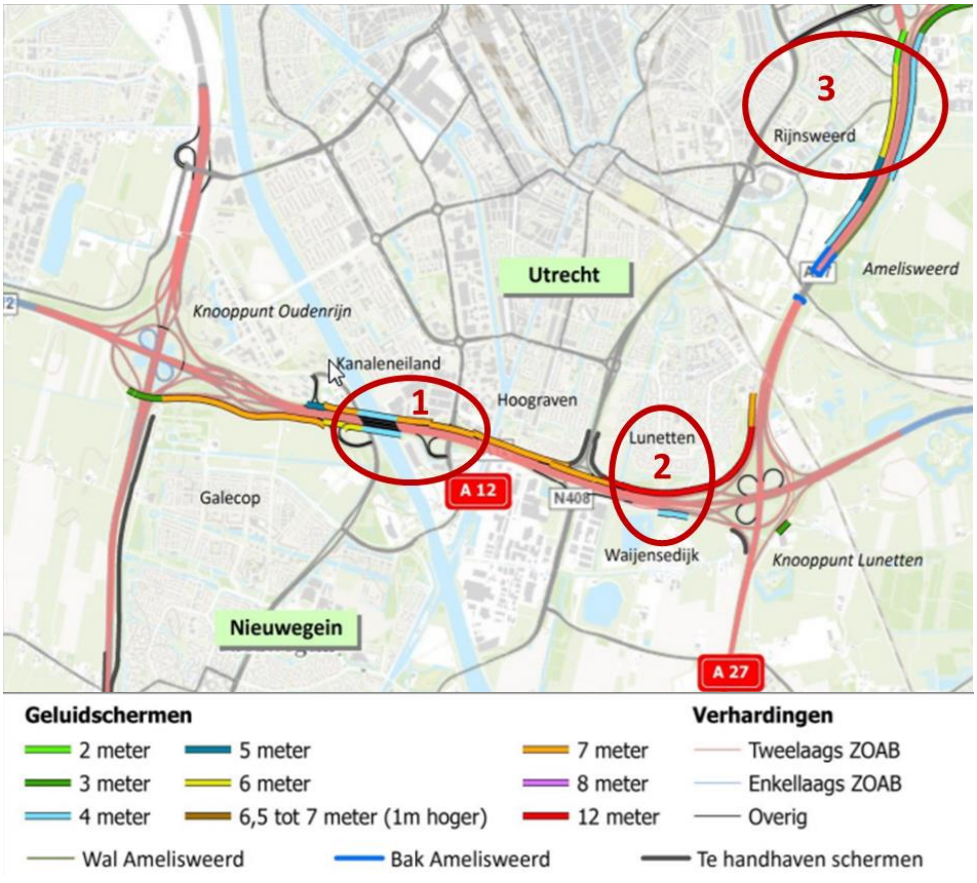
2.4 Onderzoekslocaties

Voor het onderzoek zijn drie locaties langs de Ring Utrecht geselecteerd, die voor de geluidreflecties tegen de schermen het meest kritisch zijn:

1) Rijksweg A12 vanaf de Galecopperbrug tot de kruising met het Merwedekanaal;
2) Rijksweg A12 ter hoogte van Lunetten / Waijensedijk en
3) Rijksweg A27 ter hoogte van Rijnsweerd / De Uithof.

Deze locaties zijn weergegeven in figuur 2.2. Op locatie 1 zijn de schermhoogten aan beide zijden van de weg 4 meter. Locatie 2 heeft een 4 meter hoog scherm aan de zuidzijde en een 12 meter hoog scherm aan de noordzijde. Langs rijksweg A27 in situatie 3 zijn de schermhoogten 6 meter aan de westzijde en 4 meter aan de oostzijde.

Op locaties waar de schermhoogten aan weerszijden van de weg ongelijk zijn, is de meest kritische wegzijde voor de geluidreflecties de kant van het hoge scherm, waar de geluidbelasting (door de hogere afscherming) lager is. De reflectie tegen het scherm aan de andere wegzijde heeft dan de grootste nadelige invloed op de effectiviteit van de afscherming.



Figuur 2.2 De (toekomstige) schermhoogten langs de Ring Utrecht en de drie locaties (in rood omcirkeld) die zijn onderzocht.

2.5 Methode van onderzoek

Om de effectiviteit van verschillende schermvormen onderling te vergelijken zijn berekeningen uitgevoerd met geavanceerde overdrachtsmodellen, die worden toegepast in situaties die buiten het toepassingsbereik vallen van de zogenoemde standaardrekenmethoden van het Reken- en meetvoorschrift. De reden om van de standaardmethoden af te wijken is in dit geval dat volgens het voorschrift aanvullend onderzoek nodig is bij reflectie tegen obstakels die een grotere hoek met de verticale lijn maken dan 5 graden.

In het verleden heeft TNO in soortgelijke onderzoeken gebruik gemaakt van het geluidpadenmodel TOMAS. Wanneer op grotere afstanden van de weg de invloed van wind belangrijk wordt voor de vergelijking tussen de effectiviteit van schermen, werd TOMAS gecombineerd met het PE-model voor geluidpropagatie onder invloed van een als functie van de hoogte variërende geluidsnelheid. Omdat het model TOMAS niet geschikt is voor berekeningen aan een zaagtandscherm, zijn in het onderzoek voor de Ring Utrecht de meeste berekeningen uitgevoerd met de combinatie van een eindige-elementenmodel en PE.

Voor de weersomstandigheden is uitgegaan van een situatie met goede geluid-overdracht, zoals optreedt bij wind in de richting van de geluidbron naar het waarneempunt. De richting van het geluid buigt in die situatie naar beneden (richting de bodem), zodat de geluidpaden gekromd zijn met de bolle kant naar boven. De windsnelheid is in overeenstemming gekozen met de ‘stralenkromming’ die in de standaard rekenmodellen van het Reken- en meetvoorschrift is aan-genomen en overeenkomt met 5 m/s op 10 meter hoogte bij een logaritmisch windsnelheidsprofiel (kracht 3 op de schaal van Beaufort).

Het rekenmodel is niet gebruikt voor het bepalen van de invloed van de omhulling van de geluidschermen met begroeiing. De vraag of met begroeiing nog kan worden voldaan aan de eisen is beantwoord op basis van de akoestische expertise binnen TNO, voor zover mogelijk onderbouwd met resultaten van een Europees onderzoek naar ‘groene’ schermen.

2.6 Uitgangspunten

De benodigde gegevens voor het onderzoek zijn afgeleid uit het akoestisch model van de Ring Utrecht, dat ingenieursbureau RoyalHaskoningDHV in opdracht van Rijkswaterstaat heeft gemaakt. Het betreft gegevens zoals de wegbreedte, de schermhoogten, de verdeling van de rijstroken over de wegbreedte en de hoogte van de weg ten opzichte van het omliggende maaiveld.

Voor elke situatie (dwarsprofiel van de weg met omgeving) is het geluidniveau berekend op afstanden van de weg variërend van 50 tot 600 meter en hoogten ten opzichte van het maaiveld tot 40 meter.

Het geluidniveau wordt bepaald door de bronsterkte en de berekende geluidoverdracht, waarbij de bronsterkte is overgenomen uit het bovengenoemde akoestisch model. De bronsterkte (geluidemissie) is afhankelijk van de verkeersintensiteiten, het wegdektype, de rijsnelheden en de samenstelling van het verkeer (het aandeel lichte en zware voertuigen). Omdat in het onderzoek de effectiviteit van verschillende schermvormen wordt vergeleken, zijn de resultaten nagenoeg onafhankelijk van de verkeersgegevens. Een hogere of lagere verkeersintensiteit (bij gelijkblijvende rijsnelheid en verkeerssamenstelling) heeft zelfs geheel geen invloed op de resultaten, omdat die in beide schermsituaties zorgt voor een gelijke toe- of afname van het geluid in het gehele frequentiegebied, die bij het bepalen van het verschil wegvalt.

2.7 Resultaten geluidberekeningen

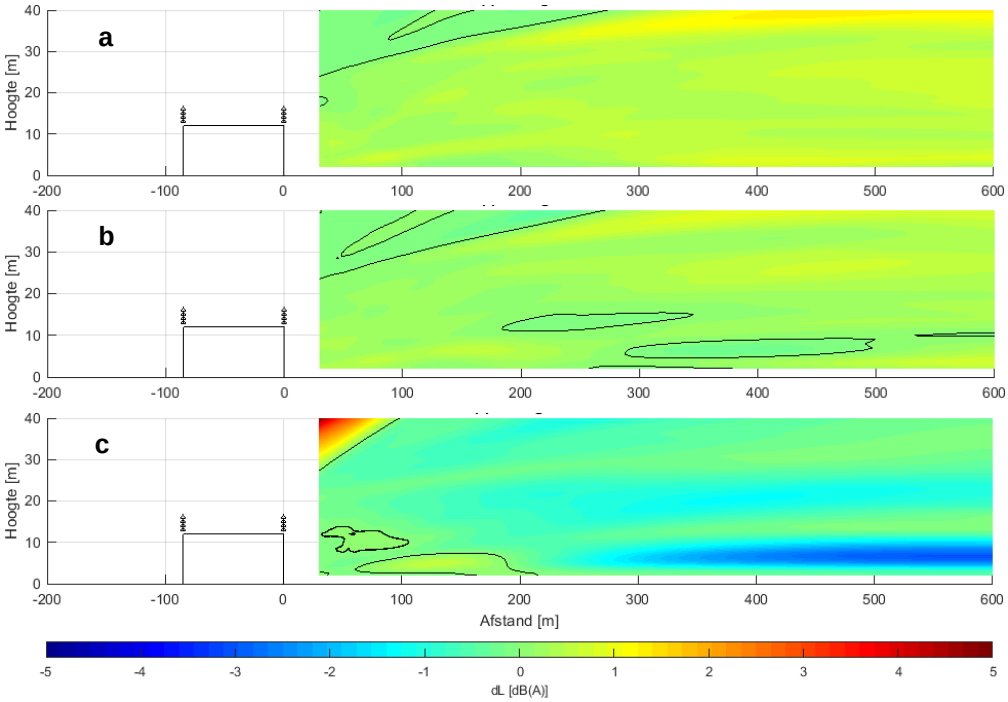
De resultaten van de geluidberekeningen laten de verschillen zien tussen de geluidbelastingen in de situatie met de van het Ontwerp-tracébesluit afwijkende schermvorm, en de referentiesituatie, met het scherm dat voldoet aan de uitgangspunten van het Ontwerp-tracébesluit. De verschillen variëren van plaats tot plaats en zijn dus afhankelijk van de afstand tot de weg en de waarneemhoogte. In de onderstaande figuren is dit weergegeven met kleuren in een verticaal vlak loodrecht op de weg (dwarsdoorsnede), op een schaal van -5 tot +5 dB. Groen geeft aan dat het verschil dicht bij nul ligt. Bij een negatief verschil varieert de kleur van lichtblauw tot donkerblauw. De geluidbelasting met de alternatieve schermvorm is dan lager dan in de referentiesituatie. Als de kleur van groen overgaat naar geel of rood, dan wordt het verschil steeds meer positief en neemt de effectiviteit van de alternatieve schermvorm af ten opzichte van de referentie. Met een zwarte lijn is de nullijn weergegeven. Wanneer de kleuren in het hele vlak groen of blauw zijn, kan het alternatieve scherm worden toegepast zonder dat dit ergens leidt tot een hogere geluidbelasting dan in de situatie die het uitgangspunt was voor het akoestisch onderzoek voor het Ontwerp-tracébesluit.

Galecopperbrug (locatie 1)

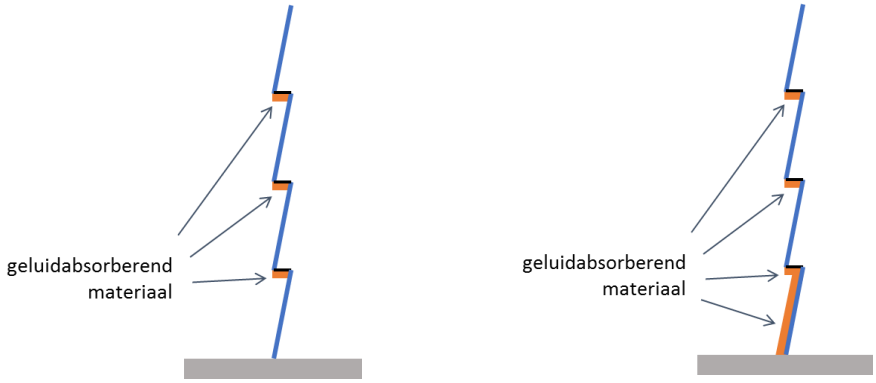
Figuur 2.3a laat voor de noordkant van rijksweg A12 de vergelijking zien tussen geluidbelastingen in de situatie met ‘zaagtandschermen’ en de situatie met 10 graden hellende (reflecterende) schermen op de Galecopperbrug. De zaagtandschermen bestaan uit vier verspringende schermpanelen van 1 meter hoogte met een hellingshoek van 10 graden. Afgezien van het gebied boven 30 meter waarneemhoogte liggen de verschillen tussen -0,5 en +1 dB. Plaatselijk zal dus door toepassing van het zaagtandscherm de geluidbelasting (met maximaal 1 dB) toenemen, vooral op afstanden tussen 400 en 600 meter en waarneemhoogten tot 10 meter boven het maaiveld.

Een mogelijkheid om de effectiviteit van het zaagtandscherm te verbeteren is het toevoegen van geluidabsorptie aan de onderzijde van de horizontale verbindingsvlakken tussen twee hellende schermpanelen (figuur 2.4). Die verbindingsvlakken zijn bij een hellingshoek van 10 graden ongeveer 17 cm breed, waarmee het totale absorberende oppervlak relatief klein is ten opzichte van het schermoppervlak (ongeveer 10%).

Toch is in figuur 2.3b te zien dat de effectiviteit van het scherm verbetert. De toename van de geluidbelasting ten opzichte van de referentie neemt af van maximaal 1 dB tot maximaal 0,5 dB.



Figuur 2.3 Verschil tussen de geluidbelasting met een 10 graden hellend scherm en een zaagtandscherm (beide transparant, dus geluidreflecterend), voor het gebied ten noorden van de Galecopperbrug. Het zaagtandscherm bestaat uit 10 graden hellende schermpanelen van 1 meter hoogte. In figuur a heeft het zaagtand-scherm geen absorptie. In figuur b is geluidabsorptie toegevoegd op de horizontale verbindingsvlakken tussen de panelen van het zaagtandscherm (zie figuur 2.4 links) en in figuur c is aanvullend daarop ook geluidabsorptie aangebracht tegen het onderste paneel (zie figuur 2.4 rechts).



Figuur 2.4 Geluidabsorberend materiaal tegen de onderzijde van de verbindingsvlakken tussen de schermpanelen van het zaagtandscherm (links) en in aanvulling daarop absorptie tegen het onderste van de vier schermpanelen van het zaagtandscherm.

De toename van 0,5 dB kan op de meeste plaatsen worden weggenomen wanneer in combinatie met het geluidabsorberende materiaal het onderste van de vier panelen absorberend wordt uitgevoerd (figuur 2.4). In figuur 2.3c treedt met dit scherm alleen in het gebied tussen 75 en 200 meter afstand van de weg nog een toename van degeluidbelasting op van maximaal enkele tienden van een dB, maar in dat gebied liggen geen geluidgevoelige bestemmingen.

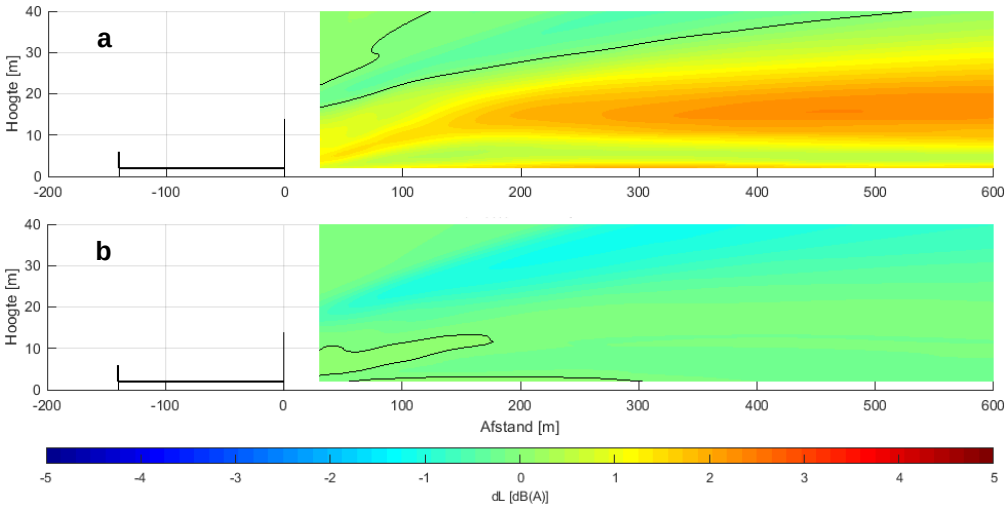
Er zijn ook andere variaties op het zaagtandscherm onderzocht met panelen van 2 meter in plaats van 1 meter hoogte (twee panelen in plaats van vier) en met een hellingshoek van 20 graden in plaats van 10 graden. Deze variaties leiden zonder toevoeging van geluidabsorptie op de panelen niet tot een relevante verbetering van de effectiviteit.

A12 Lunetten (locatie 2)

Voor de situatie bij Lunetten (noordzijde rijksweg A12) geeft figuur 2.5 de resultaten van de berekende geluidbelasting met verticale schermen met verschillende geluidabsorberende materialen, ten opzichte van de geluidbelasting in de referentie-situatie (van het Ontwerp-tracébesluit). Beide materialen in figuur 2.5 hebben een met de frequentie toenemende absorptie. Het verschil tussen de materialen zit vooral in het lage deel van het frequentiespectrum, in de octaaf-banden van 63 t/m 250 Hz. De absorptie in de octaafband van 125 Hz is 45% voor het materiaal (‘type 1’) in de bovenste figuur en 80% in de onderste figuur (‘type 2’). (Zie ook paragraaf 2.9.) In figuur 2.5b is er geen toename van de geluidbelasting ten opzichte van de referentie-situatie met verticale, 80% geluidabsorberende schermen.

Uit figuur 2.5 blijkt dat in het schaduwgebied van het 12 meter hoge geluidscherm een hoge geluidabsorptie bij lage frequenties nodig is om een akoestisch gelijk-waardige situatie te bereiken ten opzichte van geluidabsorberende schermen met een geluidabsorptie van 80% in het gehele frequentiegebied. Dat juist de geluidabsorptie bij lage frequenties van belang is, komt doordat de verzwakking van het geluid die met de 12 meter hoge afscherming wordt bereikt sterk toeneemt met de frequentie, zodat achter het scherm vooral het laagfrequente geluid over blijft en bepalend is voor de totale A-gewogen geluidbelasting[4]. Materiaal met hoge geluid-absorptie bij lage frequenties moet worden aangebracht op het relatief lage scherm van 4 meter hoogte aan de zuidkant, dat het geluid van rijksweg A12 richting het noorden reflecteert, over het 12 meter hoge scherm heen.

[4] Naarmate het scherm hoger wordt, neemt de afscherming toe en het geluidniveau af. Dat geldt voor het gehele frequentiespectrum, maar de afname van het geluid is sterker bij hogere frequenties.



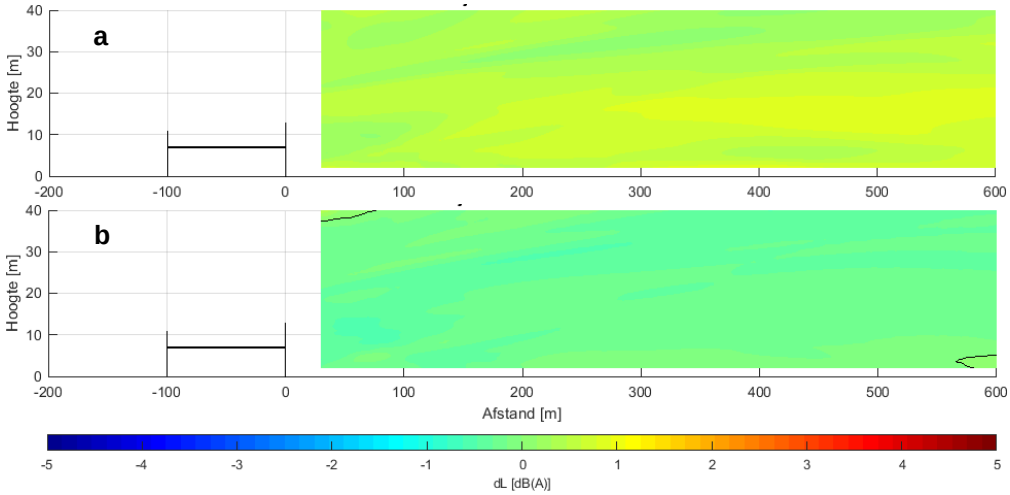
Figuur 2.5 Geluidbelasting met *verticale* schermen met twee verschillende geluid-absorberende materialen, ten opzichte van de geluidbelasting in de referentie-situatie met geluidschermen die in het gehele frequentiegebied een geluid-absorptie hebben van 80%, voor de situatie Lunetten (met een 12 meter hoog scherm aan de waarneemzijde van de weg en een 4 meter hoog scherm aan de overzijde). Het materiaal in figuur b heeft bij lage frequenties een hogere geluid-absorptie dan het materiaal in figuur a.

Voor het 12 meter hoge scherm aan de noordzijde is uitgegaan van geluidabsorptie van het bovengenoemde type 1. De hoge geluidabsorptie van 80% in de octaaf-banden van 125 en 250 Hz van type 2 is voor dit scherm niet nodig om een toename van de geluidbelasting door reflectie bij geluidgevoelige bestemmingen aan de zuidzijde van rijksweg A12 te voorkomen.

A27 Rijnsweerd (locatie 3)

In figuur 2.6 zijn de resultaten voor de situatie Rijnsweerd weergegeven (westzijde van rijksweg A27), op dezelfde manier als in figuur 2.5 voor de situatie bij Lunetten.

In figuur 2.6a is de verhoging van de geluidbelasting ten opzichte van de referentie maximaal 0,8 dB. Daarmee is de situatie in Rijnsweerd minder kritisch dan in Lunetten, waar met geluidschermen met dezelfde geluidabsorptie (figuur 2.5a) de verhoging plaatselijk ruim 2 dB bedraagt. (Een groot deel van het gebied dat in figuur 2.5a geel tot rood is gekleurd is in figuur 2.6a groen tot geel.) De verklaring hiervoor is dat bij Rijnsweerd de schermhoogte lager is dan in Lunetten, waardoor het aandeel van het laagfrequente geluid in het totale frequentiespectrum in Rijnsweerd kleiner is.



Figuur 2.6 Geluidbelasting met *verticale* schermen met twee verschillende geluidabsorberende materialen, ten opzichte van de geluidbelasting in de referentiesituatie met geluidschermen die in het gehele frequentiegebied een geluidabsorptie hebben van 80%, voor de situatie Rijnsweerd (met een 6 meter hoog scherm aan de waarneemzijde van de weg en een 4 meter hoog scherm aan de overzijde). Het materiaal in figuur b heeft bij lage frequenties een hogere geluidabsorptie dan het materiaal in figuur a.

2.8 Verwacht effect van een rooster met begroeiing over het geluidscherm

Voor de keuze om geluidschermen al dan niet te laten begroeien is het van belang dat de effectiviteit van het scherm dat zich achter de begroeiing bevindt niet nadelig wordt beïnvloed. Het principe is hieronder in figuur 2.7 geïllustreerd voor een verticaal absorberend geluidscherm. Links wordt een deel van het invallende geluid geabsorbeerd en een deel gereflecteerd. Het gereflecteerde geluid is dus zwakker dan het invallende geluid. In de rechter figuur gaat het grootste deel van het invallende geluid door de begroeiing heen, waarna hetzelfde gebeurt als in de linker figuur. Maar het is mogelijk dat een klein deel van het geluid in de begroeiing wordt geabsorbeerd en een deel tegen de begroeiing wordt gereflecteerd. Die reflectie zal bij hoge frequenties meer verstrooiing zijn, dat wil zeggen reflectie in alle richtingen.

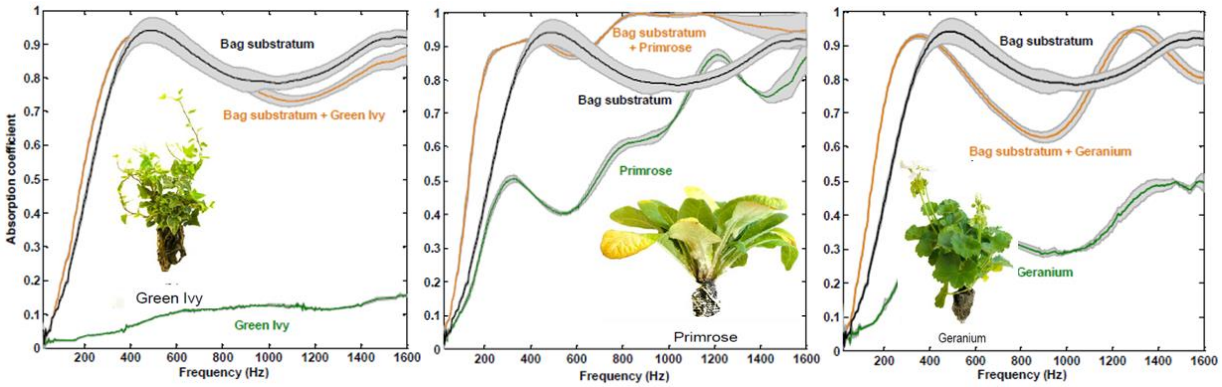
Figuur 2.7 Illustratie van reflectie, absorptie en verstrooiing van geluid bij een verticaal geluidabsorberend scherm (links) en hetzelfde scherm dat is omhuld door een met planten begroeid rooster (rechts).

Zowel het verticale rooster als de begroeiing die zich aan het rooster hecht kunnen voor reflectie zorgen, maar van een rooster dat uit ronde stangen of ruitvormig strekmetaal bestaat en voor meer dan 80% open is mag worden verondersteld dat het de effectiviteit van de schermen niet nadelig zal beïnvloeden. Daarom wordt hieronder alleen ingegaan op de invloed van de begroeiing.

In de wetenschappelijke literatuur wordt onderzoek aan geluidschermen met vegetatie beschreven door Kirill Horoshenkov en de universiteit van Bradford. Bij dit onderzoek is een Frans bedrijf betrokken, dat een sterk poreuze ondergrond (substraat) voor diverse planten[5] produceert, die aangebracht kan worden op verticale wanden, zoals geluidschermen of gevels van gebouwen.

Voor het Europese project ‘Hosanna’ zijn geluidabsorptiemetingen uitgevoerd aan het substraat, al dan niet voorzien van begroeiing met planten. Zonder begroeiing heeft het materiaal vanaf 300 Hz een absorptie van meer dan 80%, zoals de zwarte lijn laat zien in figuur 2.9. Met begroeiing neemt de geluidabsorptie af (oranje lijn). Links is het substraat begroeid met ‘Green Ivy’ (klimop), daarnaast met ‘Primrose’ (sleutelbloem) en rechts met geranium.

In figuur 2.8 links is er een afname van de geluidabsorptie bij hoge frequenties vanaf 800 Hz als het substraat is begroeid met klimop. Bij ‘Primrose’ is te zien dat de plant zonder het substraat ook al een relatief hoge geluidaborptie heeft (de groene lijn), die ervoor zorgt dat de geluidabsorptie van het totaal van plant plus substraat zelfs toeneemt. Bij de geranium is er door de begroeiing bij bepaalde frequenties een toename van de absorptie, maar in een belangrijk deel van het frequentiegebied (400 – 1000 Hz) een afname.



Figuur 2.8 Gemeten geluidabsorptie van een ‘substraat’ zonder begroeiing (zwarte lijn) en met begroeiing door verschillende beplanting (oranje lijnen). De groene lijnen geven de absorptie van de beplanting zonder substraat.

[5] Bij deze metingen is het geluidabsorberende materiaal tevens de voedingsbodem waaruit de planten groeien. Dit is ook mogelijk bij een (hellend) geluidscherm. Het vlak van de begroeiing krijgt dan dezelfde helllingshoek als het scherm.

In het frequentiegebied waar de geluidabsorptie door de beplanting afneemt, mag ervan worden uitgegaan dat een deel van het invallende geluid reflecteert tegen de blaadjes van de planten. In principe kan dit in de situatie van figuur 2.7 een reflectiebijdrage geven die een negatieve invloed heeft op de effectiviteit van de geluidabsorptie van het achterliggende scherm.

Als dit effect alleen bij hoge frequenties optreedt (zoals in figuur 2.8 links), zal de reflectie vooral 'verstrooiing' zijn van het geluid in alle richtingen, in plaats van reflectie waarbij de geluidenergie zich in een bepaalde richting concentreert. Er is dan geen significante negatieve invloed van de begroeiing op de effectiviteit van de schermen te verwachten.

2.9 Geluidabsorberend materiaal voor verticale schermen

Er zijn twee gebruikelijke manieren om de mate van absorptie van het materiaal dat voor schermen wordt toegepast te kwalificeren: de reflectieverzwakking (*DLα*) en de categorie-aanduiding A gevolgd door een cijfer (A1 t/m A5). De reflectie-verzwakking geeft aan wat de sterkte is van het gereflecteerde geluid ten opzichte van het invallende geluid. Bij een reflectieverzwakking van 10 dB(A) is het gereflecteerde geluid 10 dB(A) zwakker dan het invallende geluid. De aanduiding met letter A volgt direct uit de waarde van *DLα*. Feitelijk hangt de reflectie-verzwakking in dB(A) af van het frequentiespectrum van het invallende geluid, maar in de waarde voor *DLα* wordt uitgegaan van een 'standaard' verkeersspectrum. Meestal worden twee waarden voor *DLα* gegeven voor de frequentiespectra van wegverkeer en van railverkeer.

Als het invallende geluid sterk laagfrequent is en het materiaal vooral een goede absorptie heeft bij hoge frequenties, zal de reflectieverzwakking lager zijn, dan wanneer hoogfrequent geluid op het scherm invalt. Hierdoor is er geen goede correlatie tussen *DLα* (of de categorie-aanduiding) en de absorptie bij lage frequenties. Een hoge waarde van *DLα* wordt vooral bereikt met een sterke absorptie in de octaafbanden van 500 en 1000 Hz, die in het standaard verkeers-spectrum sterk vertegenwoordigd zijn.

De resultaten van paragraaf 2.7 laten zien dat er ten behoeve van het gebied aan de noordzijde van rijksweg A12 bij Lunetten een hoge geluidabsorptie bij lage frequenties nodig is voor het 4 meter hoge scherm aan de zuidzijde. In een bestand van gegevens van de geluidabsorptie van 50 materialen die voor schermen verkrijgbaar zijn, is er slechts één materiaal dat hiervoor in aanmerking komt, met een absorptie van 84% bij 125 Hz. De waarde *DLα* van dit materiaal is 8 dB(A), waarmee het valt in categorie A3.

In het onderstaande overzicht is aangegeven welke mate van geluidabsorptie nodig is voor de geluidschermen om aan de akoestische eisen te voldoen. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen geluidabsorberend materiaal 'type 1' en 'type 2'.

Type 1 heeft een waarde *DLα* van 10 dB(A) en een absorptie in de octaafbanden van 125 en 250 Hz van respectievelijk 45% en 75%. Bij type 2 is *DLα* 8 dB(A) en is de absorptie 80% in de octaafbanden van 125 en 250 Hz[6].

Voor de vier meter hoge 'zaagtandschermen' op de Galecopperbrug is geluidabsorberend materiaal type 1 nodig op het onderste schermpaneel tot 1 meter hoogte boven het wegdek en aan de onderzijde van de horizontale verbindingsvlakken tussen de schermpanelen (zoals geschetst in figuur 2.4).

	verticale schermen	
Lunetten (A12)	12 m: type 1	4 m: type 2
Rijnsweerd (A27)	6 m: type 1	4 m: type 2

2.10 Overwegingen bij de schermkeuze vanuit de akoestische randvoorwaarden

Bij de keuze van de vorm van de geluidschermen voor de Ring Utrecht zijn vanuit de akoestische randvoorwaarden de volgende overwegingen van belang.

1. Verticaal geplaatste schermen kunnen net zo effectief zijn als hellende schermen, maar stellen hogere eisen aan het benodigde geluidabsorberende materiaal.
2. Alleen de drie meest kritische locaties voor wat betreft de geluidreflectie (en de nadelige invloed daarvan op de effectiviteit van de geluidschermen) zijn onderzocht. Uit de rekenresultaten zijn in paragraaf 2.11 principes afgeleid voor absorptie-eisen aan schermen op de andere locaties.
3. Het is mogelijk om zonder significante nadelige invloed op de akoestische prestatie een hellend scherm te laten begroeien met planten tegen een rooster of 'kooi' van bijvoorbeeld ijzeren stangen of strekmetaal. Van belang is dat de beplanting niet te dicht is, zodat het geluid voldoende wordt doorgelaten naar het achterliggende schermvlak, dat het geluid deels absorbeert en deels omhoog reflecteert. Dichte beplanting tegen een verticaal vlak dat (vanaf de weg gezien) voor het geluidscherm staat, zou een (relatief klein) deel van het geluid in een ongunstige richting kunnen reflecteren en daarmee een negatieve invloed kunnen hebben op de effectiviteit van het scherm. Dit risico is kleiner wanneer de begroeiing tegen het schermoppervlak zit en dus de helling van het scherm volgt.

[6] Type 1 en type 2 worden gebruikt in deze rapportage voor de Ring Utrecht en zijn geen algemeen toegepaste aanduidingen. Type 2 is in bepaalde situaties effectiever, vanwege de sterkere absorptie bij lage frequenties.

4. In het onderzoek is uitgegaan van de schermhoogten en randvoorwaarden volgens het Ontwerp-tracébesluit. Situaties met hogere schermen volgens het ‘bovenwettelijk pakket’ zijn niet getoetst aan de geluidbelastingen die met dit pakket worden nagestreefd. Desondanks geldt voor de situatie bij Lunetten dat ervan mag worden uitgegaan dat het verlengen van het vier meter hoge scherm aan de zuidzijde van rijksweg A12 en het plaatselijk verhogen van dit scherm met één meter niet leidt tot andere eisen aan de toe te passen geluid-absorberende materialen dan aangegeven in paragraaf 2.9. Bij Rijnsweerd is de verhoging van het scherm aan de westzijde van rijksweg A27 van 6 naar 8 meter wel aanleiding om hogere eisen te stellen aan de geluidabsorptie van het scherm aan de oostzijde. (Zie paragraaf 2.11.)
5. Binnen het uitgevoerde onderzoek is niet van plaats tot plaats gekeken naar de eventuele invloed van reflectie van geluid tegen de achterzijde (bewonerszijde) van de geluidschermen. Het gaat daarbij niet om het geluid van verkeer op de Ring Utrecht, maar om geluid van bijvoorbeeld andere wegen, brommers op fietspaden, honden of spelende kinderen. Het is niet zo dat de kans op hinderlijke reflecties groter wordt bij verticale schermen in plaats van de hellende schermen van het Ontwerp-tracébesluit, maar om te voorkomen dat er hinderijke reflecties op gaan treden, zouden alle geluidschermen veiligheidshalve aan de bewonerszijde absorberend uitgevoerd kunnen worden, behalve op plaatsen waar kan worden aangetoond dat de geluidabsorptie aan de bewonerszijde geen toegevoegde waarde heeft.

2.11 Toepassing geluidabsorptie verticale schermen op overige locaties

De hiervoor beschreven resultaten (voor de drie locaties waarvoor gedetailleerde berekeningen zijn uitgevoerd) zijn vertaald in eisen die aan de geluidabsorptie moeten worden gesteld aan de schermen langs de Ring Utrecht, op alle plaatsen waar verticaal geplaatste schermen worden toegepast.

Om ervoor te zorgen dat de geluidbelastingen van het wegverkeer op de Ring Utrecht niet hoger zijn dan vastgelegd in het Ontwerp-tracébesluit voor de wettelijke schermen en in de Bestuursovereenkomst voor de bovenwettelijke schermen, gelden de volgende eisen.

- Op locaties waar aan één kant van de weg een rechtopstaand, verticaal geluidscherm wordt geplaatst, wordt dit scherm voorzien van geluidabsorberend materiaal ‘type 1’.
- Op locaties waar aan beide kanten van de weg een rechtopstaand, verticaal geluidscherm wordt geplaatst en de schermhoogten aan beide kanten niet hoger zijn dan 4 meter, worden beide schermen voorzien van geluidabsorberend materiaal ‘type 1’.
- Op locaties waar aan beide kanten van de weg een rechtopstaand, verticaal geluidscherm wordt geplaatst met een schermhoogte van maximaal 4 meter aan de ene kant en van meer dan 4 meter aan de andere kant, wordt het hoge scherm voorzien van geluidabsorberend materiaal ‘type 1’ en het lage scherm voorzien van geluidabsorberend materiaal ‘type 2’.
- Op locaties waar aan beide kanten van de weg een rechtopstaand, verticaal geluidscherm van meer dan 4 meter hoogte wordt geplaatst, worden beide schermen voorzien van geluidabsorberend materiaal ‘type 2’.

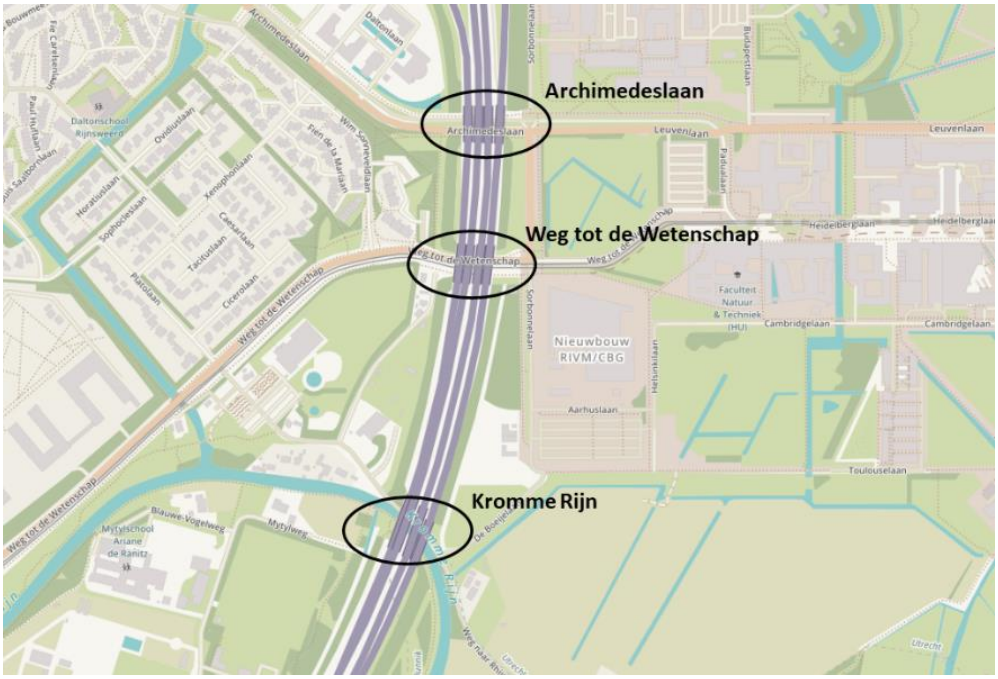
Type 1 en type 2 zijn specifieke aanduidingen voor het project Ring Utrecht. In paragraaf 2.9 is aangegeven welke eisen hiervoor gelden.

De in deze paragraaf genoemde principes zijn toegepast op de locaties en hoogten van de geluidschermen zoals genoemd in het Ontwerp-tracébesluit. Het resultaat is aangegeven in bijlage A. Daarbij is rekening gehouden met de extra en hogere geluidschermen die zijn opgenomen in het bovenwettelijke maatregelenpakket volgens de Bestuursovereenkomst (BOK) met de provincie en gemeenten.

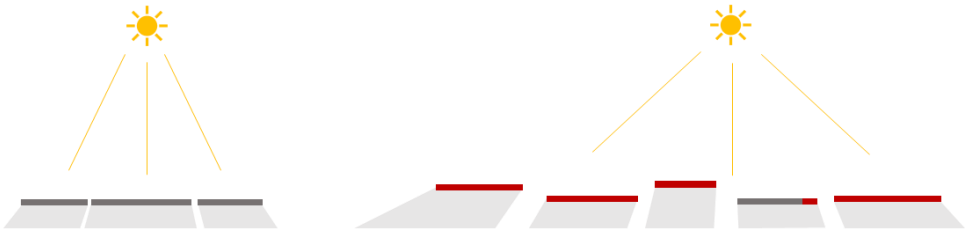
3 Open viaducten Rijnsweerd

3.1 Openingen tussen rijbanen op viaducten

In rijksweg A27 van de Ring Utrecht nabij het knooppunt Rijnsweerd worden de onderdoorgangen van de viaducten over de Archimedeslaan, de Weg tot de Wetenschap en de Kromme Rijn deels vernieuwd. Ter plaatse van deze onderdoorgangen ontstaat een hoogteverschil tussen de doorgaande rijbanen van rijksweg A27 en de verbindingen van en naar rijksweg A28. Het hoogteverschil neemt toe in de richting van knooppunt Rijnsweerd, richting het noorden (boven) in figuur 3.1. Vanwege technische redenen en om daglicht onder het viaduct te laten doordringen, zal er open ruimte zijn tussen de rijbanen. Dit is geschetst in figuur 3.2.



Figuur 3.1 Locaties met viaducten van rijksweg A27.



Figuur 3.2 Schets van een viaduct in de bestaande situatie (links) en de toekomstige situatie (rechts) met openingen tussen de rijbanen.

Volgens het Ontwerp-tracébesluit worden langs de buitenzijden van de bundel van rijbanen geluidschermen geplaatst. De openingen tussen de viaducten van de hoofd- en parallelbanen zorgen ervoor dat geluid onderlangs naar de omgeving wordt uitgestraald, zonder dat het over de geluidschermen aan de buitenzijden van de buitenste viaducten heen hoeft. Dit extra geluidpad zorgt voor een vermindering van de effectiviteit van de geluidschermen.

Rijkswaterstaat heeft TNO gevraagd om voor drie locaties in figuur 3.1 te onderzoeken in hoeverre de openingen tussen de viaducten leiden tot hogere geluidbelastingen dan in de situatie zonder openingen (die het uitgangspunt was van het akoestisch onderzoek voor het Ontwerp-tracébesluit) en hoe eventuele verhogingen teniet gedaan kunnen worden met geluidschermen tussen de hoofd- en parallelbanen.

3.2 Methode van onderzoek

Met een numeriek rekenmodel (eindige elementenmethode) is het effect van openingen tussen de viaducten onderzocht. Het effect is bepaald door een vergelijking te maken tussen de (met hetzelfde model berekende) geluidbelasting in de situatie met openingen en in de situatie zonder openingen (waar in het akoestisch onderzoek voor het Ontwerp-tracébesluit vanuit is gegaan).

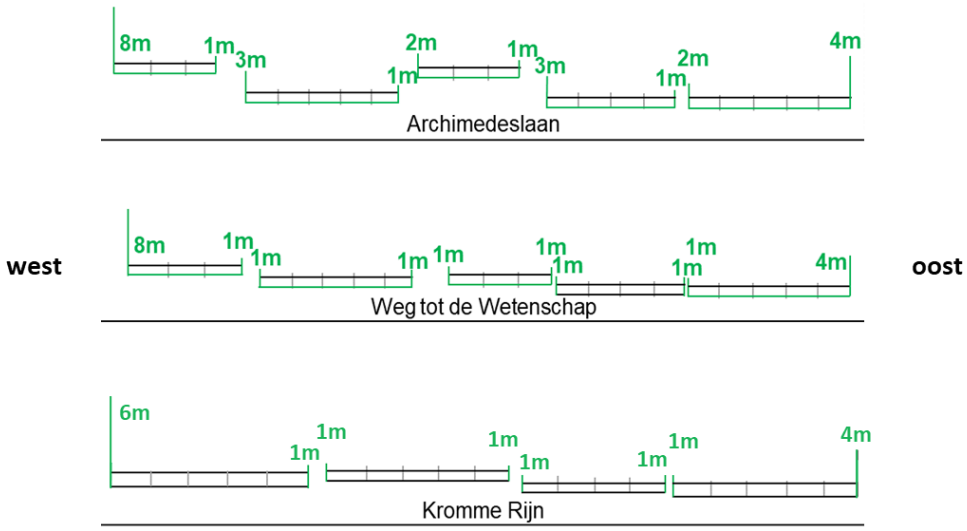
Om de effecten op grote afstand te bepalen zijn de resultaten van de eindige elementenmethode gekoppeld aan een PE-model. Met dit model wordt ook de invloed van de weersomstandigheden in rekening gebracht, uitgaande van een situatie met goede geluidoverdracht met de wind in de richting van de bron naar het waarneempunt. In dat geval neemt de geluidsnelheid toe met de hoogte en wordt geluid naar beneden toe afgebogen.

3.3 Uitgangspunten

Er zijn twee technische maatregelen mogelijk om de bijdrage van het geluid te beperken dat via de openingen onder de geluidschermen door gaat: het plaatsen van absorberende schermen tussen de rijbanen en het absorberend uitvoeren van de onderzijde van de viaducten.

Figuur 3.3 laat het ontwerp zien per locatie. Voor de hoogte van de geluidschermen aan de buitenzijde van de buitenste viaducten is uitgegaan van de ‘bovenwettelijke schermhoogten’ volgens de Bestuursovereenkomst. Het uitgangspunt voor de hoogte van de schermen tussen de rijbanen is 1 meter. Vanwege de grote afstanden tussen de viaducten boven de Archimedeslaan en de hoogteverschillen tussen de viaducten zijn de absorberende schermen tussen de rijbanen op deze locatie voor een deel hoger dan 1 meter. Ter plaatse van de Kromme Rijn zijn de openingen tussen de viaducten relatief klein, waardoor een absorberende onderzijde van deze viaducten niet nodig is. Het geluidabsorberende materiaal aan de onderzijde van de viaducten is in figuur 3.3 in groen aangegeven.

Voor het geluidabsorberend materiaal van de schermen en de onderzijde van de viaducten is uitgegaan van de specificaties van ‘type 2’[7]. Dit materiaal heeft een waarde *DLα* van minimaal 8 dB(A) en een relatief hoge absorptie in de octaafbanden in de octaafbanden van 125 en 250 Hz van tenminste 80%. (Zie ook paragrafen 2.7 en 2.11.)



Figuur 3.3 Ontwerpen van de drie locaties met van boven naar beneden de Archimedeslaan, Weg tot de Wetenschap en Kromme Rijn. In groen zijn de geluidabsorberende oppervlakken weergegeven.

De geluidbelasting tot een afstand van 600 meter van bovenstaande ontwerpen is vergeleken met de geluidbelasting bij het ontwerp volgens het akoestisch onderzoek van het Ontwerp-tracébesluit. Een hogere of lagere verkeersintensiteit (bij gelijkblijvende rijsnelheid en verkeerssamenstelling) heeft geen invloed op de resultaten, omdat die in beide situaties zorgt voor een gelijke toe- of afname van het geluid in het gehele frequentiegebied. Bij een andere verkeerssamenstelling of rijsnelheid kan er een verandering optreden in het frequentiespectrum van de geluidbron, waardoor ook de resultaten veranderen, maar in de praktijk zal de mogelijke verandering gering zijn (niet meer dan enkele tienden van een dB).

3.4 Resultaten

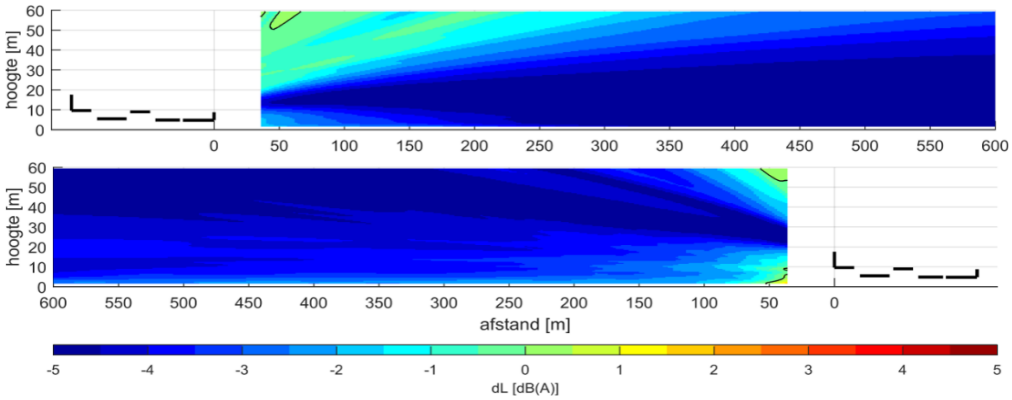
De resultaten van de berekeningen laten de verschillen zien tussen de geluidbelastingen in de referentiesituatie (het uitgangspunt voor het akoestisch onderzoek van het Ontwerp-tracébesluit) en de ontwerpen zoals voorgesteld. De verschillen variëren van plaats tot plaats en zijn dus afhankelijk van de afstand tot de weg en de waarneemhoogte. In de onderstaande figuren is dit weergegeven met kleuren in een verticaal vlak loodrecht op de weg (dwarsdoorsnede), op een schaal van -5 tot +5 dB(A).

[7] ‘Type 2’ is als benaming aangehouden in deze rapportage voor de Ring Utrecht en is geen algemeen toegepaste aanduiding. Zie paragraaf 2.9.

Groen geeft aan dat het verschil dicht bij nul ligt. Bij een positief verschil varieert de kleur van geel tot rood. De geluidbelasting met de toepassing van het onderzochte ontwerp is dan hoger dan in de referentiesituatie. Als de kleur van groen overgaat naar blauw, dan wordt het verschil negatief en neemt de geluidbelasting af in vergelijking met de referentie. Wanneer de kleuren in het hele vlak groen of blauw zijn, kan het ontwerp worden toegepast zonder dat een hogere geluidbelasting optreedt dan in het akoestisch onderzoek voor het Ontwerp-tracébesluit is berekend.

Archimedeslaan

Voor het viaduct over de Archimedeslaan is gekeken naar het effect van openingen tussen de viaducten. Het resultaat is weergegeven in figuur 3.4. De resultaten laten zien dat openingen tussen de viaducten mogelijk zijn indien er absorberende schermen tussen de rijbanen worden toegepast (in hoogte variërend tussen 1 en 3 meter) en de onderzijde van de viaducten met absorberend materiaal wordt bekleed. De resultaten laten alleen een toename zien in de eerste 50 meter na het viaduct, maar in dit gebied bevinden zich geen geluidgevoelige objecten en is deze toename dus niet kritisch.

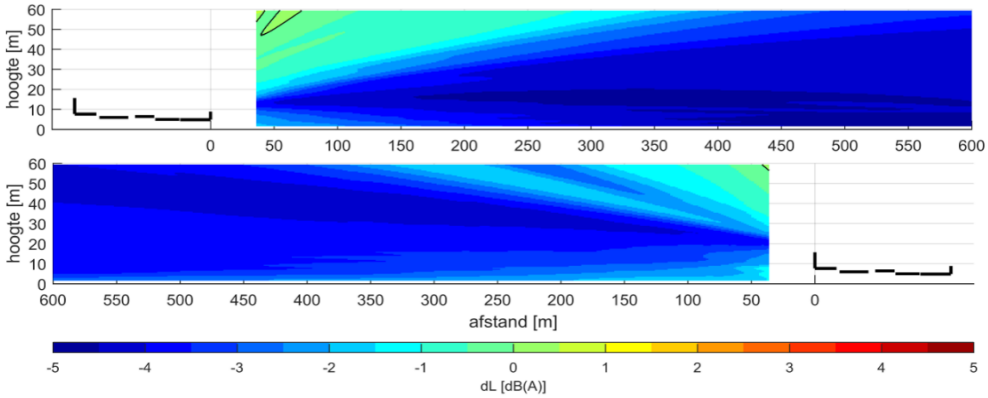


Figuur 3.4 Geluidbelasting met openingen tussen de viaducten ter hoogte van de Archimedeslaan en schermen tussen de rijbanen (volgens figuur 3.3), ten opzichte van de geluidbelasting in de referentie-situatie van het Ontwerp-tracébesluit. De bovenste figuur geeft de resultaten aan de oostzijde (De Uithof) en de onderste figuur aan de westzijde (Rijnsweerd).

Weg tot de Wetenschap

De invloed van openingen tussen de viaducten over de Weg tot de Wetenschap is weergegeven in figuur 3.5. De doorsnede van de Weg tot de Wetenschap in figuur 3.3 laat zien dat het hier gaat om minder grote openingen en minder grote hoogteverschillen tussen de rijbanen dan bij de Archimedeslaan. Dit is ook te zien in de resultaten. In de nabijheid van het Weg tot de Wetenschap bevinden zich wel geluidgevoelige objecten, maar door de minder grote openingen is hier geen toename op korte afstand.

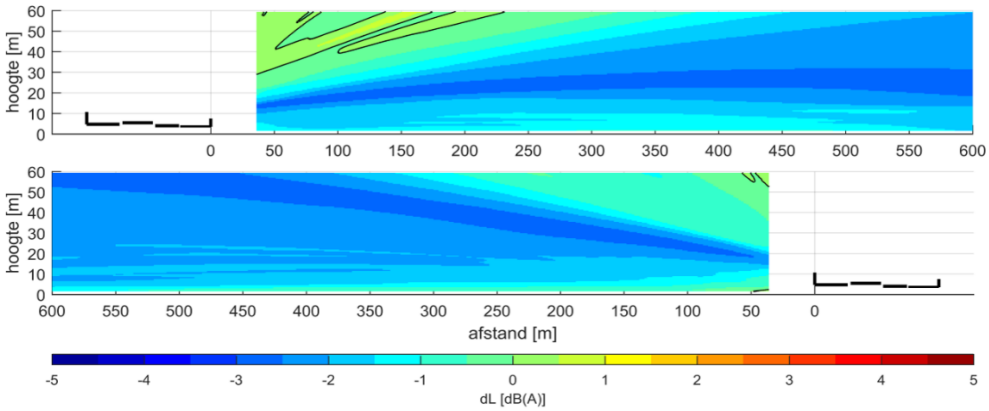
Met de 1 meter hoge schermen tussen de rijbanen (zoals aangegeven in figuur 3.3), is het mogelijk om open viaducten over de Weg tot de Wetenschap toe te passen zonder toename van de geluidbelasting voor de omgeving.



Figuur 3.5 Geluidbelasting met openingen tussen de viaducten ter hoogte van de Weg tot de Wetenschap en 1 meter hoge schermen tussen de rijbanen (volgens figuur 3.3), ten opzichte van de geluidbelasting in de referentie-situatie van het Ontwerp-tracébesluit. De bovenste figuur geeft de resultaten aan de oostzijde (De Uithof) en de onderste figuur aan de westzijde (Rijnsweerd).

Kromme Rijn

De invloed van openingen tussen de viaducten over de Kromme Rijn is weergegeven in figuur 3.6. Openingen tussen de rijbanen bij het viaduct over de Kromme Rijn leveren geen toename van de geluidbelasting, wanneer schermen van 1 meter hoogte tussen de rijbanen worden geplaatst zoals in figuur 3.3.



Figuur 3.6 Geluidbelasting met openingen tussen de viaducten ter hoogte van de Kromme Rijn en 1 meter hoge schermen tussen de rijbanen (volgens figuur 3.3) ten opzichte van de geluidbelasting in de referentie-situatie van het Ontwerp-tracébesluit. De bovenste figuur geeft de resultaten aan de oostzijde (De Uithof) en de onderste figuur aan de westzijde (Rijnsweerd).

3.5 Samenvatting van de resultaten

Door het (volgens de specificaties in paragraaf 3.3) toepassen van geluid-absorberende schermen tussen de rijbanen en het toepassen van geluid-absorberend materiaal aan de onderzijde van viaducten zorgen de openingen tussen de viaducten van de afzonderlijke rijbanen van rijksweg A27 niet voor een hogere geluidbelasting dan in de situatie zonder openingen, die het uitgangspunt is geweest voor het akoestisch onderzoek voor het Ontwerp-tracébesluit. De geluid-belasting van geluidgevoelige objecten zal als gevolg van de openingen met de onderstaande maatregelen niet hoger zijn dan opgenomen in het Ontwerp-tracébesluit of nagestreefd volgens de Bestuursovereenkomst.

locatie	maatregelen	
	schermen tussen rijbanen	absorptie onderzijde viaducten
Archimedeslaan	hoogte variërend van 1 tot 3 m	ja
Weg tot de Wetenschap	1 m hoog	ja, m.u.v. bestaande viaduct
Kromme Rijn	1 m hoog	nee

De schermen tussen de rijbanen moeten voorbij de beëindigingen van de openingen nog 20 meter doorlopen, zoals aangegeven in figuur 3.7.

Archimedeslaan

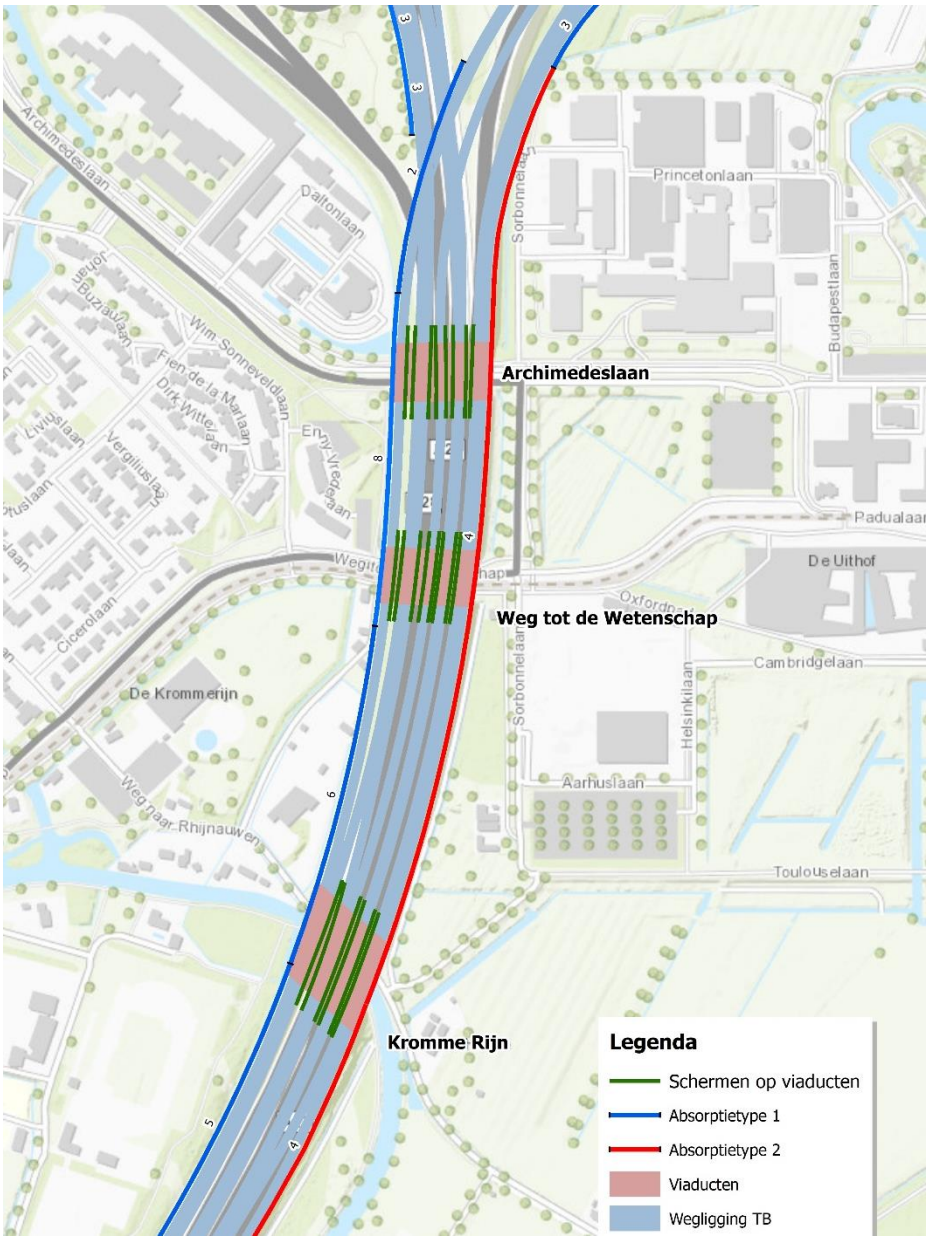
Voor de kruising met de Archimedeslaan is het effect van openingen tussen de viaducten van de afzonderlijke rijbanen onderzocht. Verhoging van de geluid-belasting door geluid dat tussen de openingen doorgaat wordt voorkomen wanneer de onderzijde van de viaducten absorberend wordt uitgevoerd en er geluid-absorberende schermen tussen de rijbanen worden geplaatst, variërend in hoogte tussen 1 en 3 meter. Met die maatregelen laten de resultaten een afname zien van de geluidbelasting ten opzichte van het Ontwerp-tracébesluit.

Weg tot de Wetenschap

De openingen tussen de viaducten over de Weg tot de Wetenschap zorgen niet voor een toename van de geluidbelasting naar de omgeving, indien absorberende schermen tussen de rijbanen van 1 meter hoogte worden toegepast en de onder-zijde van de viaducten geluidabsorberend wordt uitgevoerd.

Kromme Rijn

Het viaduct over de Kromme Rijn kan worden uitgevoerd als open variant, maar absorberende schermen van 1 meter hoogte tussen de rijbanen zijn dan nodig om een toename van de geluidbelasting op de omgeving te voorkomen. De onderzijde van de viaducten hoeft niet geluidabsorberend te worden uitgevoerd.



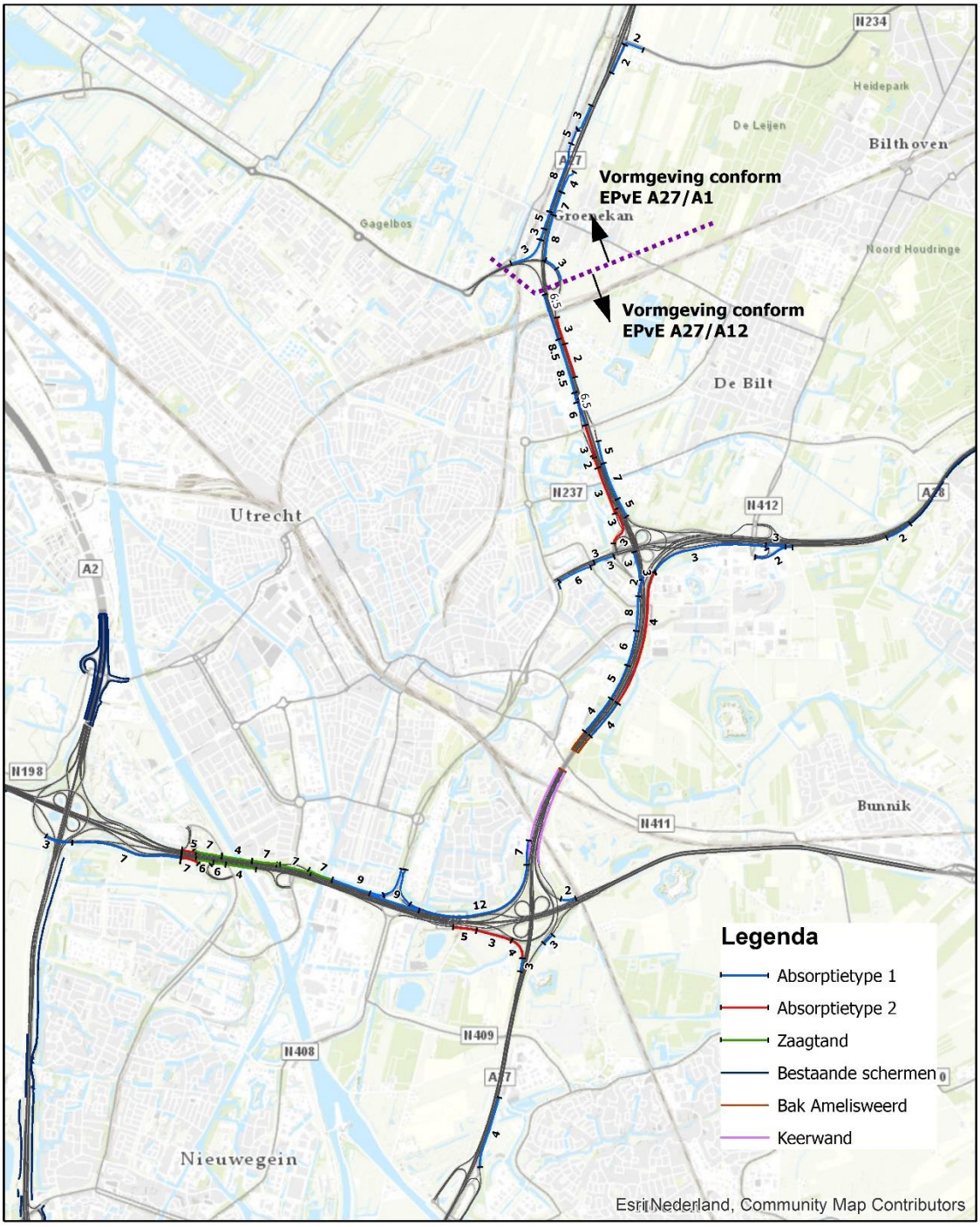
Figuur 3.7 Schematisch bovenaanzicht van een viaduct met openingen en schermen tussen de rijbanen, die tot 20 meter voorbij de openingen worden doorgetrokken.

4 Ondertekening

Den Haag, 2 november 2020

TNO

C.M. Ort
Afdelingshoofd

ir. A.R. Eisses
Auteur

A Overzicht van geluidabsorptie van schermen