

Rekenmodel voor gevelstructuur

Voorzet voor een nieuwe rekenmethode

Met een nieuw rekenmodel kan nauwkeuriger worden bepaald wat de invloed is van gevelstructuur, zoals balkons en galerijen, op de geluidbelasting van geluid uit de omgeving. Wat zijn de nadelen van bestaande methoden, hoe werkt het model en wat zegt de eerste validatie over de betrouwbaarheid?

Door: Martijn van den Berg

Over de auteur:

Ir. M.J. (Martijn) van den Berg werkt als specialist akoestiek bij Nieman Raadgevende Ingenieurs.

Inleiding

Een vraag die ik geregeld krijg van ontwikkelaars en architecten is: “Wat als we de borstwering aan de zijkant van het balkon verdiepingshoog uitvoeren?”, of een variatie daarop. De vraag is dan eigenlijk of de voorgestelde maatregel leidt tot de benodigde verlaging van de geluidbelasting op de achterliggende gevel, of geveldeel. Het doel is dan dat met de maatregelen een geluidluwe gevel wordt gerealiseerd, of voorkomen wordt dat een gevel als niet-geluidgevoelige gevel uitgevoerd moet worden. Maar hoe ga je dat bepalen?

In de advieswereld worden verschillende methoden gebruikt, maar ze hebben allemaal nadelen. Dit was voor ons, Nieman Raadgevende Ingenieurs, aanleiding om een nieuw rekenmodel te ontwikkelen, dat daar in hoge mate aan tegemoet komt. Het kan een eerste stap zijn naar een nieuwe genormaliseerde rekenmethode voor het bepalen van de invloed van gevelstructuur op de geluidoverdracht.

Om het eerste jargon vast toe te lichten: onder gevelstructuur verstaan we bijvoorbeeld balkons, loggia's, galerijen, terrasgevels en overstekken. Dus constructies aan de gevel of happen uit de gevel die een relevante invloed hebben op de geluidoverdracht. Deze structuur kan een geluidreductie- of juist toename van de belasting veroorzaken. Deze toe- of afname van de belasting op de gevel noemen we de gevelstructuurcorrectie¹.

Bestaande methoden

In de meeste gevallen wordt de invloed van gevelstructuur bepaald met de Nederlandse Praktijk Richtlijn 5272 (NPR 5272), bijlage C. Deze praktijkrichtlijn betreft het bepalen van de karakteristieke geluidswering van de gevel. De bijlage geeft kengetallen voor tien type gevelstructuren. Op basis van de onderste zichtlijn van de geluidbron op het gevelvlak en de geluidabsorptie van het plafond wordt een gevelstructuurcorrectie gegeven. Er kleven echter meerdere nadelen aan deze methode. De belangrijkste nadelen

voor toepassing van het beoordelen van de belasting op een gevel zijn de volgende:

- Het kengetal wordt gegeven op basis van twee variabelen. Maar er zijn meer effectieve maatregelen denkbaar, zoals absorptie op wanden of gedeeltelijk verdiepingshoge schermen.
- De gevelstructuur van een gebouw moet worden geïnterpreteerd als één van de tien type structuren waarvoor de kengetallen zijn gegeven. Dit is voer voor discussie.

De Rekenmethode Intergemeentelijke Werkgroep Bouwfysica van grote gemeenten van 1997 (GGG '97) biedt een alternatief. Hier wordt onderscheidt gemaakt tussen zones op een gevel. Een afgeschermd zone, een neutrale zone en een zone waar het plafond een effectieve (eerste) reflectie kan geven. Dit blijven echter kengetallen en deelt in essentie de meeste nadelen met de NPR 5272.

In het verleden werd Standaard Reken Methode II (SRM-II) nog wel eens gebruikt om het effect van gevelstructuur te schatten. Deze methode kan geen rekening houden met nauwkeurige meervoudige reflecties ná diffractie van het invallende geluidveld en is daarom onbetrouwbaar. De toepassing valt ook expliciet buiten het toepassingsbereik.

In plaats van het rekenen kan ook een mockup-meting op ware grootte worden gedaan. Het voordeel van een meting is dat er in de regel weinig discussie is over het resultaat, want “meten= weten”. Het is dan ook niet gebruikelijk om metingen te staven aan literatuur. Is een enkele bronpositie bijvoorbeeld voldoende voor het simuleren van een lijnbron? Los daarvan zijn er nadelen. De belangrijkste is dat het opzetten en uitvoeren van dit onderzoek veel tijd kost, helemaal als blijkt dat de eerste meetresultaten niet het gewenste antwoord geven en er aanvullend onderzoek nodig is. Dit laatste is bij schaalmetingen dan wat vergeeflijker.

Tot slot kan worden uitgeweken naar numerieke methoden, zoals de eindige elementen methode. Mits goed gemodelleerd en gevalideerd kan dit een goede methode zijn, maar de rekentijden zijn erg lang. Dit is te wijten aan de grote afmetingen van de structuren in verhouding tot de golflengte, die leiden tot zeer fijnmazige ‘mesh’.

Randvoorwaarden voor een rekenmodel

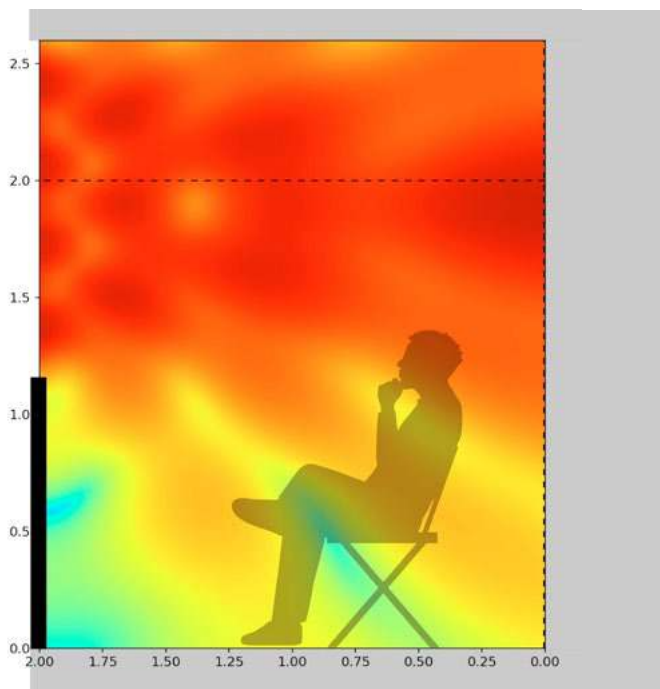
Met de verzameling van de hiervoor beschreven nadelen ontstaat vanzelf een wensenlijstje voor een nieuw model. Bij voorkeur is een nieuwe methode dus veel sneller dan een mockup-meting of de eindige elementenmethode, betrouwbaarder dan bijvoorbeeld SRM-II en flexibeler dan de NPR 5272 of GGG '97.

1 Let op Crg is het werkelijke verschil tussen de belasting en het geluidniveau op de gevel (L0m). Bij het geluidniveau op de gevel treedt wel een drukverdubbeling op (Crg is dus 6 dB bij een vlakke gevel).

Na het wensenlijstje volgt de vraag met welke natuurkundige verschijnselen rekening gehouden moet worden. De volgende vier aspecten worden betrokken in het model:

- 1 Diffactie van het invallende geluid als het met de structuur in aanraking komt (schermwerking); zie figuur 1.
- 2 Meervoudige reflecties van het gebogen/gebroken invallende geluidveld.
- 3 Interferentie van direct geluid en de genoemde reflecties.
- 4 Geluidabsorptie van de reflecterende constructies.

Met name punt drie vraagt enige toelichting, want dit wordt in akoestische rekenmodellen doorgaans niet betrokken. Een buitenruimte is in verhouding tot de meeste binnenruimten relatief klein. De oppervlakte bedraagt in veel gevallen circa 4 m^2 en als het beschouwd zou worden als ruimte is de inhoud circa 10 m^3 . Dat betekent dat geluidvoortplanting binnen deze ruimte niet versimpeld kan worden tot een eenvoudig stralenmodel, zoals bijvoorbeeld wordt gedaan met raytracing. De Schroeder-frequency, van een dergelijke buitenruimte bedraagt circa 2000 Hz.



Figuur 1: Visualisatie van de diffractie van een horizontaal invallend geluidveld bij 1000 Hz, 2D, zonder reflecties. Linksboven valt het geluid in boven een gesloten borstwering (1,2m hoog). De getallen zijn afmetingen. Berekend met een oude versie van het rekenmodel (huidige model maakt deze afbeeldingen niet).

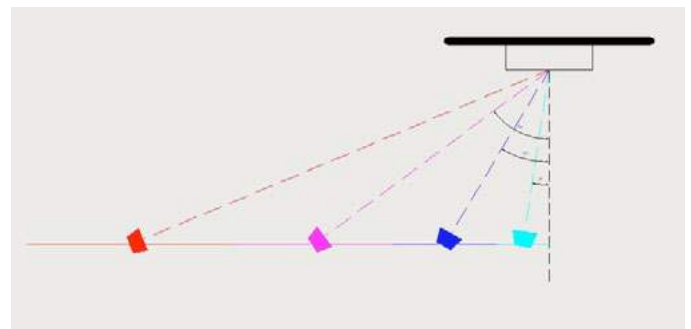
Met andere woorden: grofweg rond de 2000 Hz gaat het geluidveld over van een modaal veld in een diffuus veld. In het modale gebied kan de constructieve of destructieve interferentie van reflecties niet worden verwaarloosd omdat het ook invloed heeft op de terts- of octaafbandresultaten.

De aanname is vooralsnog dat andere fenomenen kunnen worden verwaarloosd. Zo geldt dat absorptie door lucht insignificant is door de geringe afstand die het geluid aflegt binnen de grenzen van de structuur. Een ander voorbeeld is verstrooiing. De veronderstelling is dat de begrenzendende vlakken van de buitenruimte dermate vlak zijn (plafond, vloer, wanden) dat er slechts beperkt verstrooiing optreedt.

Het model

Om de genoemde vier natuurkundige fenomenen te kunnen betrekken is een fundamenteel-theoretisch en deterministisch rekenmodel ontwikkeld, met de verwachting dat dit ook aan het wensenlijstje voldoet. Het model is geprogrammeerd in Python. Het Python-script exporteert een 3D-model voor het verifiëren van de invoer, dat geopend kan worden in 3D-CAD software zoals Blender (Zie figuur 3). Hieronder wordt stap voor stap de werking van het model op hoofdlijnen uitgelegd.

Van de werkelijke bron wordt eerst een versimpeling gemaakt. Een lijnbron zoals een weg wordt bijvoorbeeld opgedeeld in enkele segmenten, elk gepresenteerd door één puntbron. Dit is te vergelijken met de sectoren uit SRM-II/omgevingsregeling. Hiermee wordt de invalshoek van het geluid bepaald van de verschillende segmenten. Er wordt rekening gehouden met de relatieve bijdrage van de afzonderlijke segmenten. Zie figuur 2

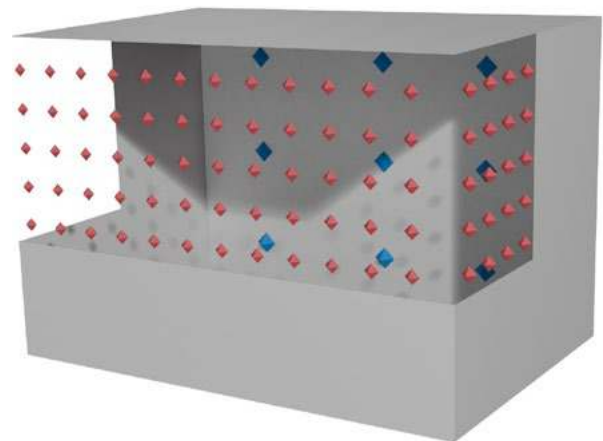


Figuur 2: Segmentering van lijnbron

Het eerste relevante verschijnsel dat optreedt is de diffractie van het invallende geluid. Bij het begin van de structuur wordt het geluidveld beschreven op basis van de positie van de genoemde segmenten.

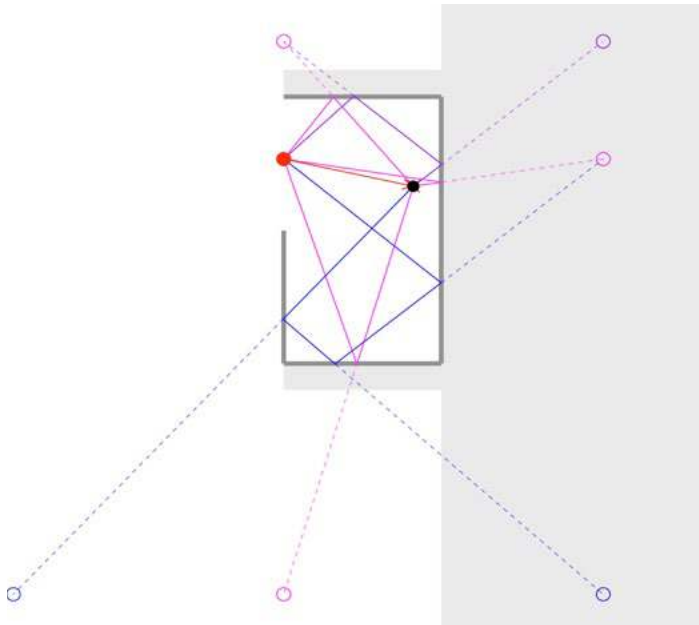
De geometrische begrenzing van het invallend veld wordt gedefinieerd door de bovenzijde van een verdiepingsvloer of borstwering, de zijkanten door schermen of wanden en eventueel een bovenzijde door een plafond.

De diffractie wordt berekend middels de Rayleigh-Sommerfeld diffractie (oppervlakte)integraal. De integraal wordt numeriek opgelost, zodat de opening wordt opgedeeld in oppervlakte elementjes. Zie figuur 3.



Figuur 3: Schematische voorstelling van het model. De rode punten zijn een voorstelling van de oppervlakte-elementen waarmee de oppervlakte-integraal wordt opgelost.

Na de diffractie van het geluidveld reflecteert het vervolgens tegen alle vlakken die de buitenruimte of structuur begrenst. De reflecties worden gemodelleerd middels de spiegelbronnenmethode. Het komt erop neer dat van elk oppervlakte-elementje de gespiegelde oppervlakte-elementjes worden gegenereerd. Zie figuur 4.



Figuur 4: Principe van het spiegelbronnenmodel. Rood de bron en het directe veld. In roze, paars en blauw een paar respectievelijk 1^e, 2^e en 3^e orde reflecties.

Door de hiervoor beschreven stappen wordt automatisch rekening gehouden met interferentie: om de diffractie te berekenen wordt al gerekend met complexe geluidsdruk. De reflecties zijn dus ook complex en daarmee wordt rekening gehouden met de interferentie van de reflecties en het directe veld. Het principe is weergegeven in figuur 5.

Methode voor validatie

Het model is gevalideerd middels geluidmetingen en geverifieerd met berekeningen met de eindige elementen methode.

De eindige elementen methode is gebruikt om kwalitatieve analyses te kunnen doen. Bijvoorbeeld de vergelijking van de geluidsniveaus ten gevolge van het directe veld uitgezet tegen de golf lengte.

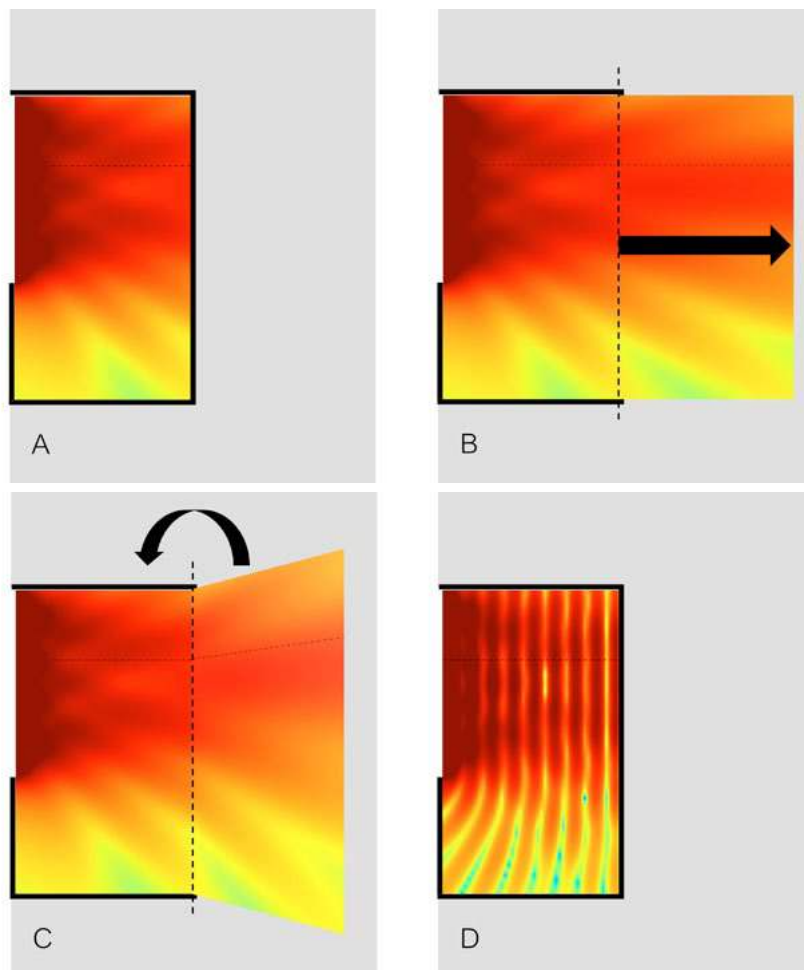
Geluidmetingen zijn gebruikt om kwantitatieve analyse te doen en de statistische afwijkingen te berekenen. Als bron zijn de schaalmodelmetingen gebruikt die TNO heeft uitgevoerd ten behoeve van het bepalen van de gevelstructuurcorrecties uit de NPR 5272. Deze zijn gepubliceerd in 'Schaalmodelonderzoek naar het effect van galerijen en balkons op de geluidreductie van gevels' van Ir. Gerretsen, E., ir. Van Toorn, J.D., datum 29 oktober 1983 (ref.: 320.865). Die metingen zijn geschikt vanwege de nauwkeurige beschrijving van de meetmethode, de rapportage van afwijkingen en het grote aantal metingen. In het rapport van TNO worden de resultaten gerapporteerd per octaafband en voor het onderste 1/3 geveldeel en het bovenste 2/3 geveldeel.

Validatie, de eerste resultaten

De resultaten op basis van validatie met de eerste negen gemeten structuren zijn veel belovend. De standaardafwijking voor een geveldeel is 1,0 dB (N = 18) voor de eengetalswaarde (spectrum 2, wegverkeerslawaai) en 1,4 dB voor de octaafbandresultaten van 125 tot en met 1000 Hz (N = 72). De energetisch gemiddelde afwijking in dit gebied is -0,1 dB, maar dat is waarschijnlijk een toevalstreffer.

De 63-Hz band waarde is echter nog onbruikbaar met een standaardafwijking van bijna 7 dB. Daarom kan het model (nog) niet worden gebruikt om een prognose te doen voor bijvoorbeeld industriellawaai of nestgeluid. Er zijn verschillende hypothesen voor het achterblijven van de betrouwbaarheid in dit gebied die nog worden onderzocht.

Doordat de rekentijd ook met dit model toeneemt met de frequentie is voor het bepalen van de eengetalswaarde uitgegaan van de 1000 Hz-octaafbandwaarde voor de banden 2000 Hz en 4000 Hz. In de volgende tabel zijn de resultaten gegeven van de negen situaties met het resultaat van de meting, het model, bijlage C uit de NPR 5272 en SRM-2.



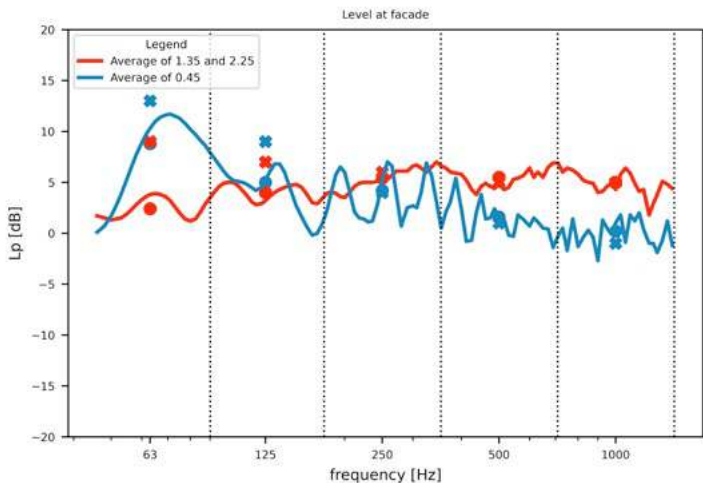
Figuur 5: A: Directe geluidveld. B: Voortplanting als er geen gevel was geweest. C: Spiegelen met spiegelbronnenmethode. D: Som van de complexe geluidsdruk van het directe veld en de reflectie tegen de gevel.

Resultaten gevelstructuurcorrectie C_{rg} – 6 dB, bovenste 2/3-deel van de gevel.

	Omschrijving1	Meting	Model	NPR	SRM-2
Galerijen	II-VL-PL-BW-4	-0,4	-0,4	-0	
	II-VL-BW-25	-4,8	-5,9	-3	-10
Balkons met prafond	II-SM-OD-BW-4	-1,6	-1,1	-1	
	II-BR-DI-BW-4	-1,1	-1,0	-1	-1,9
	T-BR-OD-BW-4	-1,9	-1,5	-1	
	II-SM-OD-BW-25	-0,9	-0,6	-1	
	II-BR-DI-BW-25	-2,2	-0,9	-1	
	T-BR-DI-BW-25	-3,0	-1,5	-1	-9,3
Terrasgevel	II-Terras-BW-25	-13,9	-11,6	-7	-10,3

1) II: bron loopt parallel, T: bron haaks, VL: galerijvloer, SM: smal balkon (2,7m), BR: breed balkon (4,0m), OD: ondiep (1,35m), DI: diep (2,7m), BW: borstwering 1,0m, 4 of 25: hoogte midden van de gevel t.o.v. maaiveld. De C_{rg} -waarde van de meetdata is bepaald uit de octaafbandresultaten, gewogen met spectrum 2.

De schaalmetingen van TNO zijn uitgevoerd met akoestisch harde materialen. Van de nu geteste structuren is alleen de tweede en laatste in de tabel zonder (hard) plafond. SRM-2 kan niet rekenen met reflecterende plafonds, dus alleen bij de tweede en laatste situatie kan je een vergelijking maken tussen SRM-2 en de andere methoden. In figuur 6 is weergegeven hoe de resultaten er in detail uitzien van, als voorbeeld, variant II-BR-DI-BW-4.



Figuur 6: Rekenresultaten van variant II-BR-DI-BW-4. Rode gegevens zijn het energetische gemiddelde van de zes punten op 1,35 en 2,25 meter. De blauwe gegevens dat van 0,45 meter. Dit is overeenkomstig de methodiek die TNO heeft gehanteerd bij het onderzoek. De ronde punten geven de octaafbandwaarden weer voor C_{rg} . De lijn is de C_{rg} uitgezet tegen de frequentie. De kruizen zijn de resultaten van de TNO-metingen..

Tussenstand

Hoe verhoudt dit model zich tot de bestaande methoden en ons wensenlijstje? Als dat erg was tegengevallen was dit artikel waarschijnlijk (nog) niet geschreven.

Zoals vermeld is de voorlopige conclusie dat de betrouwbaarheid hoog is voor weg- en railverkeerslawaaibronnen en vergelijkbare bronnen, maar vooralsnog onbetrouwbaar voor meer laagfrequente bronnen zoals industrie. De betrouwbaarheid is hoger dan de rekenmethode voor weg- railverkeerslawaaï uit de omgevingsregeling cq. SRM-2. De methode is waarschijnlijk ook betrouwbaarder dan de NPR 5272 en GGG '97 als de situatie niet exact overeenkomt met de situatie die is gemeten in het TNO-onderzoek.

De rekensnelheid van de huidige versie is in de orde van 2 tot 10 minuten, afhankelijk van de structuur en de rekeninstellingen. Dit is vele malen sneller dan het gebruik van eindige elementen of het doen van mockup-metingen.

De laatste wens was dat de flexibiliteit verbeterd zou worden ten opzichte van de NPR 5272 en de GGG '97. Dat is het geval. Er wordt rekening gehouden met de positie van de bron (niet alleen de zichtlijn), de geluidabsorptie per octaafband en de absorptie andere vlakken dan het plafond, de exacte afmetingen van constructies en er worden rekenresultaten gegeven voor specifieke posities.

Het model is wat ons betreft een eerste stap naar een standaardmethode voor het rekenen aan de gevelstructuur, die kan dienen als aanvulling op de kengetallen uit bijlage C van de NPR 5272. Voor de doorontwikkeling wordt idealiter samengewerkt met andere partijen, maar hoe het vervolg er concreet uit gaat zien staat nog niet vast.

Tot slot wil ik opmerken dat dit geen pleidooi is om op een geluidbelaste locatie als eerste naar bouwkundige oplossingsrichtingen te zoeken voor het realiseren van geluidluwe gevels. Het begint bij bron- en overdrachtsmaatregelen en een slim stedenbouwkundig ontwerp.