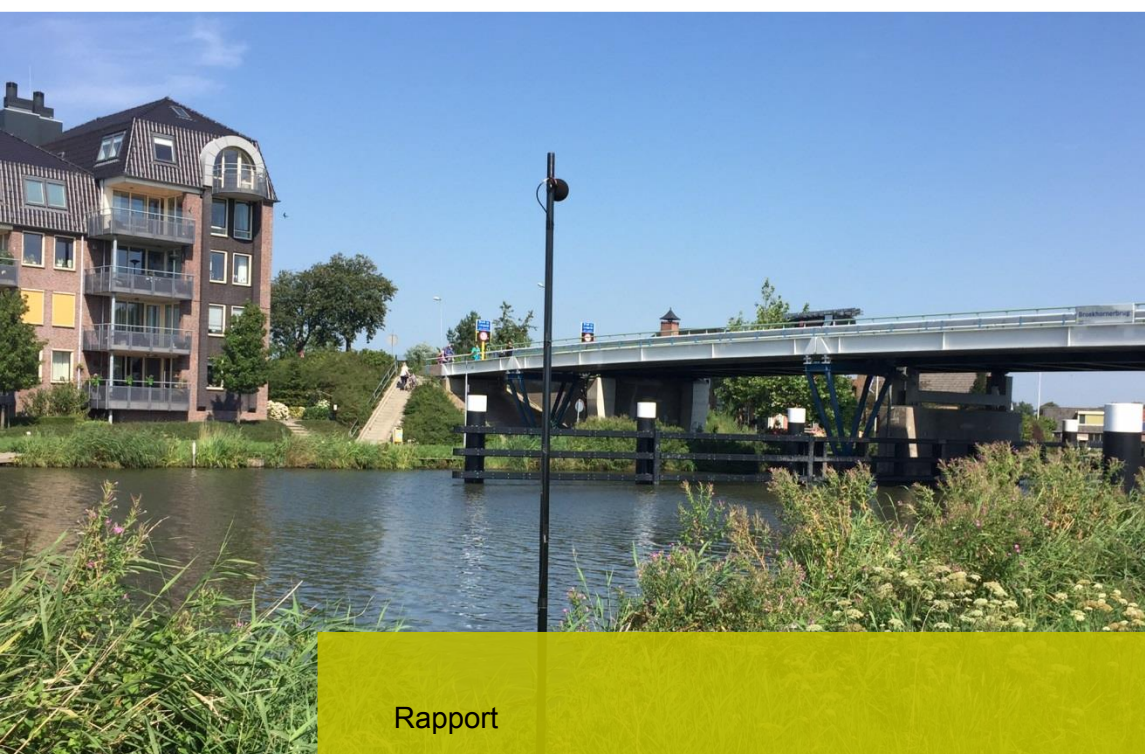




M+P | MBBM groep
Mensen met oplossingen



Rapport

Beoordelingsprotocol geluid bij bruggen

Colofon

Opdrachtnemer M+P raadgevende ingenieurs BV

Opdrachtgever Provincie Noord-Holland
Postbus 3007
2001 DA Haarlem

Opdrachtnummer 1000053702

Titel Beoordelingsprotocol geluid bij bruggen

Rapportnummer M+P.PNH.15.03.1

Revisie 0

Datum 22 april 2016

Aantal pagina's 20

Auteurs ing. Ronald van Loon
drs. ing. Christiaan Tollenaar
ir. Erik de Graaff

Contactpersoon Ronald van Loon | 073-6589050 | vught@mp.nl

M+P Wolfskamerweg 47 Vught | Postbus 2094, 5260 CB Vught
Visserstraat 50 Aalsmeer | Postbus 344, 1430 AH Aalsmeer

www.mp.nl | onderdeel van de Manner-BBM groep | Lid NLingenieurs | ISO 9001 gecertificeerd

Copyright © M+P raadgevende ingenieurs BV | Niets van deze rapportage mag worden gebruikt voor andere doeleinden dan is overeengekomen tussen de opdrachtgever en M+P (DNR 2011 Artikel 46).

Inhoud

1	Inleiding	4
1.1	Aanleiding	4
1.2	Vraagstelling	4
1.3	Leeswijzer	4
2	Wegverkeersgeluid bij bruggen	5
2.1	Aanstoting/voegovergang/slijtlaag	5
2.1.1	Voegovergangen	5
2.1.2	Brugdek	6
2.2	Ingangsimpedantie	7
2.3	Trilingsoverdracht	8
2.4	Afstraalefficiëntie	8
3	Metten en beoordelen	10
3.1	Uitgangspunten bij de beoordeling	10
3.1.1	Bestaande situaties	10
3.1.2	Nieuwe situaties	10
3.2	Aanstoting en afstraling	10
3.3	Metten van de aanstoting	12
3.3.1	Meetmethode	12
3.4	Metten van de afstraling	13
3.4.1	Meetmethode	13
3.5	Microfoonposities	15
3.6	Weersomstandigheden	17
3.7	Aandachtsgebied	18
3.8	Monitoren	18
4	Referenties	20

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In de provincie Noord-Holland wordt de komende tijd een aantal (beweegbare) kunstwerken vernieuwd.

Bruggen en viaducten geven steeds vaker aanleiding voor geluidhinder in de omgeving. Voor bestaande kunstwerken is de oorzaak dat het verkeersaanbod in de loop der jaren sterk is toegenomen. Vooral de beweegbare kunstwerken vormen vaak een bron van laagfrequent geluid en worden door de toegenomen verkeersbelasting een steeds grotere bron van hinder. Ook komt het voor dat de weg aan weerszijden van het kunstwerk stiller wordt door bijvoorbeeld geluidschermen of een stil wegdek. Het geluid van het onveranderde kunstwerk valt dan meer op en geeft meer hinder.

Wanneer een kunstwerk gerenoveerd wordt, is er eveneens een risico op het ontstaan of verergeren van geluidhinder. Een andere uitvoering, bijvoorbeeld een stalen kunstwerk in plaats van een betonnen, geeft een andere geluidafstraling en kan leiden tot een toename van de geluidniveaus.

De huidige regelgeving voor wegverkeerslawaai is vastgelegd in de wet Geluidhinder. De beoordeling van de geluidbelasting gebeurt op basis van het gewogen gemiddelde geluidsniveau per etmaal (L_{den}). Deze dosismaat is niet representatief voor de geluidhinder ten gevolge van wegverkeerslawaai bij kunstwerken. Enerzijds omdat de aanstoting van het kunstwerk door het voertuig een pulsachtig geluid geeft. Anderzijds doordat het laagfrequente aandeel in het geluid dat wordt afgestraald relatief groot is. Beide aspecten, piekgeluid en laagfrequent geluid, worden in de berekeningsmethode voor wegverkeerslawaai volgens de wet Geluidhinder onvoldoende meegenomen in de beoordeling.

Omdat er binnenkort een aantal (beweegbare) kunstwerken worden vervangen in de provincie Noord-Holland en omdat de wettelijke berekeningsmethode niet geschikt is voor het beoordelen van geluid van kunstwerken is er behoefte aan een alternatief beoordelingsprotocol voor geluid van kunstwerken.

1.2 Vraagstelling

Gevraagd wordt om een protocol op te stellen waardoor het ontstaan van nieuwe hindersituaties bij kunstwerken/bruggen wordt voorkomen. Dit protocol kan als een bindend contractdocument gebruikt worden bij de realisatie of renovatie van bruggen, viaducten en/of voegovergangen.

1.3 Leeswijzer

De geluidopwekkingsmechanismen bij kunstwerken worden beschreven in hoofdstuk 2. In hoofdstuk 3 worden de meetmethoden behandeld die gebruikt kunnen worden bij het beoordelen van geluid bij kunstwerken en bruggen.

2 Wegverkeersgeluid bij bruggen

Wegverkeer is een belangrijke bron van geluidhinder in Nederland. Het is evident dat in de omgeving van wegen vaak geluidhinder van wegverkeer wordt ervaren. Wanneer dit wegverkeer een brug of kunstwerk passeert, kan dat tot extra geluidhinder leiden. De mate van geluidhinder van een kunstwerk of brug wordt enerzijds veroorzaakt door de **aanstoting**. De dilatatie tussen het landhoofd en het brugdeel zorgt voor piekgeluid bij het oprijden en afrijden van de brug of kunstwerk ter plaatse van de voegovergang. Ook de slijtlaag op het brugdek kan aanleiding zijn voor een verhoogde aanstoting door passerende voertuigen. Anderzijds wordt door deze aanstoting het brugdeel in trilling gebracht en zal deze afhankelijk van bepaalde eigenschappen veel of weinig geluid **afstralen** naar de omgeving.

Het geluidopwekkingsmechanisme bij kunstwerken en bruggen wordt in de volgende subsystemen verdeeld:

- aanstoting; de vorm van de voeg bepaalt hoe groot de “klap” is waarmee de vrachtwagenband op het brugdek “slaat”. Een brede haakse voeg geeft een hoge kracht. Een smalle schuine voeg geeft een lage kracht. De textuur van de slijtlaag bepaalt hoe hard het brugdeel hoogfrequent wordt aangestoten door de autobanden die eroverheen rijden;
- ingangsimpedantie; de impedantie van de brugrand bepaalt hoeveel energie de brug opneemt van de klap van de vrachtwagenband. Een zware betonnen brugrand neemt weinig energie op. Een lichte plaatstalen brugrand neemt veel energie op;
- trillingsoverdracht; de massa, stijfheid en demping van de brug bepalen hoeveel de rest van de brug in trilling komt. Een brug met geschroefd houten brugdek reageert anders dan een brug met gelast stalen brugdek;
- afstraalefficiëntie; de stijfheid, vorm en omgeving van de brug bepalen hoe gemakkelijk de trillende brugdelen geluid afstralen naar de omgeving. Een brugdek met looppaden in de vorm van roosters straalt minder geluid uit dan een brugdek met looppaden in plaatstaal.

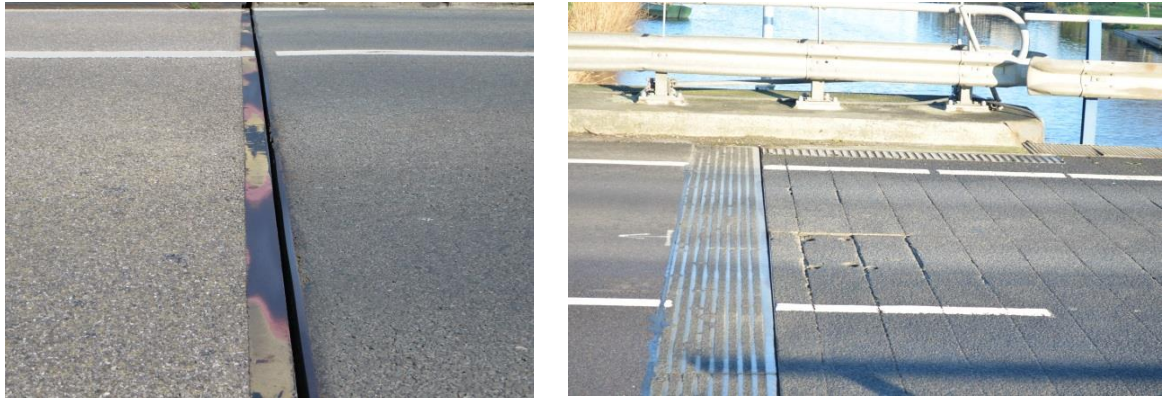
2.1 Aanstoting/voegovergang/slijtlaag

2.1.1 Voegovergangen

Als een voertuig over de voegovergang rijdt geeft iedere passage van een voertuigband of -as een pulsformige krachtsaanstoting. Deze krachtsaanstoting werkt in op zowel de voeg als op de autoband (actie is reactie). Omdat bij ieder voertuig meerdere banden of assen dicht achter elkaar passeren ontstaat zo een roffel van kort na elkaar volgende pulsen. Per kunstwerk zijn er altijd twee of meer voegovergangen. Afhankelijke van de lengte van het kunstwerk en de lengte van het voertuigen en het aantal assen per voertuig, kunnen zo meerdere roffels ontstaan en in elkaar overgaan, zodat de passage van één voertuig een roffel van meerdere seconden kan geven.

Bij de geluidemissie van voegovergangen kan onderscheid worden gemaakt tussen het geluid wat aan de bovenzijde van het kunstwerk wordt afgestraald en het geluid dat naar de onderzijde en zijwaarts wordt afgestraald. Het geluid aan de bovenzijde kenmerkt zich als een inhomogeniteit in het al aanwezige band/wegdekgeluid. De voegovergang veroorzaakt meestal een plotseling verhoging van het geluidniveau en dit piekgeluid is in een aantal gevallen duidelijk herkenbaar boven het overige wegverkeersgeluid op de aansluitende wegverhardingen. Het verschil tussen het wegdekgeluid en het voeggeluid is aan de bovenzijde groter voor personenwagenbanden dan voor vrachtwagenbanden. De geluidniveaus van personenwagenpassages worden voor de hinder als maatgevend beschouwd.

Het geluid wat via de onderzijde van de voegconstructie wordt afgestraald, kan in niveau sterk variëren en hangt sterk af van de voegconstructie zelf. De hoogte van de geluidniveaus zijn afhankelijk van het type voertuig wat de voeg passeert. Zwaardere voertuigen geven vanzelfsprekend een hoger geluidniveau. De passages van vrachtwagens zijn hierbij maatgevend voor de hinder. Dit geluid heeft vaak een laagfrequent karakter en kan daardoor ook op grotere afstand tot hinder leiden. Zeker wanneer er geluidschermen op het kunstwerk zijn geplaatst, valt het geluid aan de onderzijde van de brug of kunstwerk des te meer op.



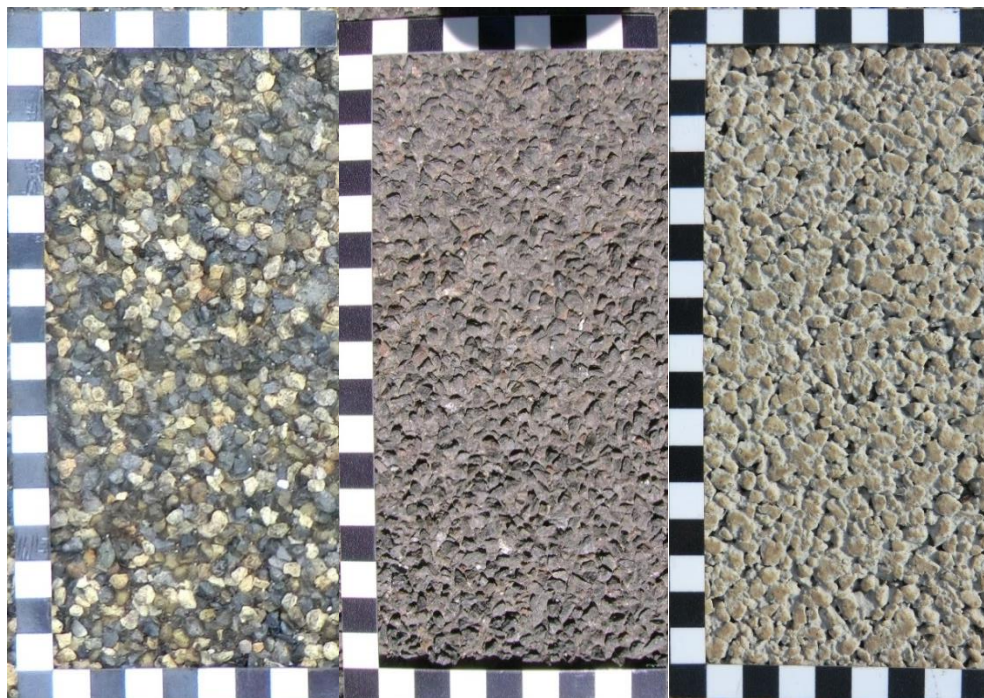
figuur 1 Voegovergangen

2.1.2 Brugdek

Op stalen brugdekken worden veelal slijtlagen gebruikt. Slijtlagen worden ervaren als een lawaaiig wegdektype, zeker wanneer de brug is omgeven door stillere wegverhardingen zoals bijvoorbeeld (tweelaags) ZOAB, dunne deklagen of akoestisch geoptimaliseerd SMA. Dit hangt samen met de oriëntatie van de steentjes. Bij de meeste wegdekken worden de steentjes tijdens de aanleg in de bitumen gewalst, waardoor de platte kanten van de steentjes naar boven gericht worden. Tussen deze vlak gewalste steentjes zijn er groeven, waardoor een negatieve textuur ontstaat (hoogvlakte met rivierdalen). Bij een slijtlaag worden de steentjes in een lijmlaag gestrooid, maar ontbreekt vaak de walsgang. Steentjes komen daardoor ook of vooral met de punten naar boven te liggen, waardoor een neutrale of zelfs positieve textuur ontstaat.

Als een autoband over de steentjes rijdt, ontstaat een wisselende kracht tussen band en brugdek. Deze kracht heeft een ruisachtig karakter met een breedbandig spectrum, iedere band van het passerende voertuig geeft een soortgelijke wisselende kracht. De totale duur van deze wisselende kracht komt overeen met de tijd dat er banden van het voertuig over de slijtlaag rijden.

Slijtlagen op stalen bruggen kunnen bijdragen aan de hoogfrequente geluidafstraling van de brug. De brug wordt op ieder afzonderlijk steentje door de autobanden aangestoten.



figuur 2 *Deklaagvarianties op stalen bruggen*

2.2 Ingangsimpedantie

De mechanischeingangsimpedantie is een eigenschap van een constructie. Het is de vaste verhouding tussen de aanstootkracht (oorzaak) en resulterende beweging (gevolg). Als een constructie een lageingangsimpedantie heeft, betekent dit dat deze relatief weinig kracht nodig heeft om in beweging te komen, of omgekeerd, veel beweegt per eenheid aanstootkracht.

De hoeveelheid akoestische energie die in een constructie wordt ingeleid, wordt bepaald door het product van de aanstootkracht en de resulterende beweging. In het geval van een voertuig op een kunstwerk is de kracht gegeven door de voeg, de slijtlaag en de massa van het voertuig. De resulterende beweging, en daarmee de ingeleide energie is af te leiden uit de mechanische impedantie.

Slappe en lichte constructies nemen meer energie op dan stijvere en zware constructies. Hoe meer energie in de constructie terecht komt hoe meer energie er kan worden doorgegeven naar de gehele constructie.

Voor een brug is vooral deingangsimpedantie in het rijspoor ter plaatse van de voegovergangen van belang. Hier vindt de pulsformige krachtaanstoting van het voegeluid plaats. Daarnaast is deingangsimpedantie over het gehele rijspoor van belang voor de breedbandige aanstoting door de slijtlaag.



figuur 3 Oude en nieuwe brug: lichte constructie met een slijtlaag op een houten rijdek versus een zware constructie met daarop een asfalt overlaging.

2.3 Trilingsoverdracht

De geluidafstraling van een stalen brug blijft zelden beperkt tot het gebied rond het aanstootpunt. Voor een efficiënte (laagfrequente) geluidafstraling zijn grote trillende oppervlakken nodig. De dynamische eigenschappen van de constructie bepalen in welke mate de ingebrachte energie binnen de constructie wordt doorgegeven naar de geluidafstralende delen van de brug. Hierbij is vooral de demping van belang. Demping kan bestaan uit interne (materiaal) demping, overgangsdemping op de randen van constructiedelen of demping van speciale trillingsdempende constructies. Soms spelen laag gedempte resonantiefrequenties een rol. Dit kan vooral relevant zijn als de hele brug quasi uit één geheel bestaat (bijvoorbeeld een gelaste stalen brug).

2.4 Afstraalefficiëntie

De afstraalgraad is een maat voor de efficiëntie waarmee de mechanische trilling in de plaatdelen worden afgestraald in geluidgolven in de lucht. Laagfrequente trillingen stralen doorgaans slechter af dan hoogfrequente trillingen. Voor effectieve afstraling moeten de golflengte in lucht en de trilvorm in de constructie gelijke afmeting hebben. Bij lage frequenties is de golflengte in lucht echter groter dan de trilvorm in de constructie. Hierdoor ontstaat akoestische kortsluiting. De lucht wordt dan lokaal rond de trillende constructie héén en weer gepompt, zonder dat deze luchtbevinging zich voortplant naar de omgeving. De overgang van hoogfrequent naar laagfrequent of efficiënte afstraling naar niet effectieve afstraling is niet vast, maar afhankelijk van de constructie en de omgeving. De afstraalefficiëntie kan dus ook bewust veranderd worden. Muziekinstrumenten en luidsprekers zijn ontworpen om zoveel mogelijk geluid af te stralen. Kunstwerken zouden zo ontworpen moeten worden dat ze zo min mogelijk geluid afstralen. Dit kan bijvoorbeeld door looppaden te maken van open roosters in plaats van massieve platen. De voor- en achterzijde van het rooster maken akoestische kortsluiting mogelijk waardoor dit minder geluid afstraalt dan een massieve plaat. Ook de ruimte tussen brug en water speelt een rol en kan als een gemakkelijk aan te stoten klankkast fungeren.



figuur 4 *Aangebouwd voetpad in de vorm van een rooster, waardoor minder geluid wordt afgestraald.*

3 Meten en beoordelen

3.1 Uitgangspunten bij de beoordeling

3.1.1 Bestaande situaties

Dat bij de renovatie of vervanging van een compleet kunstwerk of brug de akoestische kwaliteit moet worden beoordeeld, is evident. Zeker wanneer deze in de nabijheid ligt van bebouwing en in het verleden al leidde tot geluidhinderklachten bij omwonenden.

Maar ook door kleine wijzigingen aan het kunstwerk kan de akoestische situatie veranderen. Ook wanneer bijvoorbeeld alleen de voegovergang of slijtlaag wordt vervangen, bestaat het risico dat de gehele situatie verslechterd. Een slecht ingebouwde voeg of asfalt dat slecht aansluit op de voegovergang kan ervoor zorgen dat een kunstwerk meer geluid afstraalt zonder dat aan het brugdeel zelf fysiek iets is gewijzigd. Het is ook mogelijk dat door optredende spoorvorming van de aansluitende wegverharding de voeg en daarmee het kunstwerk effectiever wordt aangestoten waardoor die in de loop der tijd lawaaiiger wordt. Het is daarom ook aan te raden dat ook in die gevallen waarin slechts een onderdeel van het kunstwerk wordt vernieuwd, geluideisen te stellen.

Omdat de situatie en geometrie bij kunstwerken vaak complex is, is het niet mogelijk om vooraf een eis te kwantificeren voor de afstraling van het geluid van de brug naar de omgeving. De toetsing van de geluidafstraling vindt daarom plaats door de oude en nieuwe situatie met behulp van geluidmeting te vergelijken. Het uitgangspunt bij de beoordeling is dat de nieuwe situatie niet lawaaiiger mag zijn dan de situatie voor de wijziging of renovatie. Wanneer er in de oude situatie al sprake was van hinder van laagfrequent geluid in de categorie 'duidelijke hinder' of 'ernstige hinder' is het streven dat in de nieuwe situatie de hinderscore maximaal 'lichte hinder' is. De toelichting op deze hinderscores komt in 3.4.1 verder aan bod.

Aan de geluidemissie bij voegovergangen kan wel een vooraf kwantificeerbare geluideis worden gesteld. De eisen gesteld aan het maximaal acceptabele geluidniveau worden gerelateerd aan de geluidniveaus van het stilste aanliggende asfalt. Ook de aanwezigheid van een geluidscherm is van invloed op de geluideisen. Geluidmaatregelen als een stil wegdek of een geluidscherm geven al aan dat het een geluidgevoelige situatie betreft. De geluideisen aan voegovergangen zullen dus in die gevallen strenger zijn.

3.1.2 Nieuwe situaties

In situaties waar een nieuwe brug wordt gerealiseerd zal sowieso een akoestisch onderzoek worden uitgevoerd. De geluidbelasting ten gevolge van de nieuwe weg, inclusief het wegdek op het kunstwerk, zal worden getoetst aan de wet Geluidhinder. Het geluid van de voegen en eventuele afstraling worden in het akoestisch onderzoek niet meegenomen.

Omdat er geen referentiesituatie is, is het niet mogelijk om relatieve eisen (t.o.v. de oude situatie) te stellen. Wel wordt er een geluideis gesteld aan de voegovergangen en aan de hinderscore laagfrequent geluid.

3.2 Aanstoting en afstraling

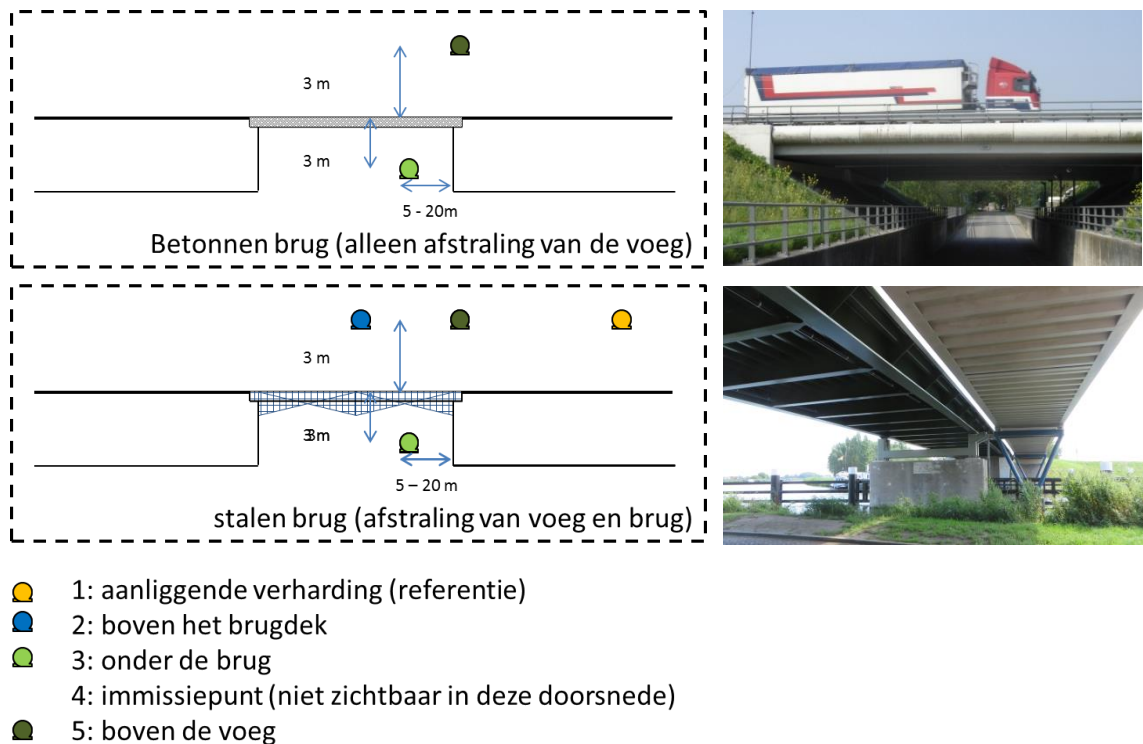
Bij het meten en het beoordelen van het geluid van kunstwerken wordt doorgaans onderscheid gemaakt tussen de **aanstoting** en de **afstraling**, ofwel het geluid van de voegovergangen (op

basis van maximale piekgeluidniveaus) en het geluid van het gehele kunstwerk, aangeduid als 'brugtoeslag' (tijdgemiddelde geluidniveau).

In situaties waarbij het brugdek een hogeingangsimpedantie heeft, zal het brugdek als geheel weinig geluid afstralen. De eventuele geluidhinder wordt in die gevallen veroorzaakt door de voegovergangen of het wegdektype op het brugdek zelf. De interactie tussen band en voeg of band en wegdek is maatgevend voor de hoogte van de geluidniveaus. Voor de beoordeling volstaat het om het geluid van de voegovergangen te beoordelen, zowel boven als onder het kunstwerk, en als daar aanleiding voor is, ook het wegdek op het brugdeel te beoordelen. Dergelijke beoordelingen zijn gebruikelijk bij de meeste betonnen kunstwerken op rijks- en provinciale wegen. De situatie wordt dus alleen getoetst op het niveau van aanstoting. Uitzondering is natuurlijk de beoordeling van de voegovergang aan de onderzijde van het kunstwerk. Zonder dat er sprake is van de afstraling van het hele brugdek, is er wel afstraling van de voegconstructie zelf. De geometrie van reflecterende vlakken onder het kunstwerk zorgen ook nog voor een effectieve afstraling van dit geluid naar de omgeving. Het meten en beoordelen van een voegovergang aan de onderzijde van het kunstwerk liggen dus wel op het niveau van afstraling.

Bij stalen (beweegbare) bruggen zal in veel gevallen deingangsimpedantie dusdanig laag zijn dat de hele brug geluid zal afstralen. Dat vraagt dus om een aangepaste beoordelingssystematiek. De aanstoting van de voegovergang kan nog steeds gemeten worden, maar zal alleen plaats vinden aan de bovenzijde van het kunstwerk. Omdat de gehele brug geluid afstraalt is het voeggeluid aan de onderkant van de brug niet als afzonderlijk aspect te meten. Hetzelfde geldt voor de slijtlaag op het brugdeel zelf. De geluidemissie ten gevolge van het wegverkeer op een bepaalde slijtlaag is niet te scheiden van het geluid dat het hele brugdeel afstraalt. Bij stalen bruggen meten en beoordelen we de situatie op het niveau van zowel aanstoting (alleen de voegovergang) als de afstraling (het gehele object).

In figuur 5 is zowel de meetopstelling weergegeven waarbij enkel gemeten wordt aan de afstraling van de voeg, als de meetopstelling waarbij aan de afstraling van het gehele kunstwerk wordt gemeten. In de volgende paragrafen worden beide meetmethoden verder toegelicht.



figuur 5 Boven: Meetposities bij een betonnen brug (alleen afstraling van de voeg). Onder: Meetposities bij een stalen brug (afstraling van zowel de voeg als de brug)

3.3 Meten van de aanstoting

3.3.1 Meetmethode

Voegovergangen

Het geluid van voegovergangen wordt beoordeeld door het meten van de maximale piekgeluidniveaus die optreden wanneer auto's over de voegovergang rijden. Voor de meetmethode wordt aangesloten bij de bestaande meetmethode voor voegovergangen die ontwikkeld is door Rijkswaterstaat (RTD 1007-3) [1].

Op de volgende punten wordt van de RTD 1007-3 afgeweken:

- Microfoonhoogte: Aan de bovenkant van de brug wordt ook op 5 meter hoogte gemeten. De nominale meetpositie op 3 meter hoogte kan door de aanwezigheid van hekwerken en/of geleiderailconstructies op bruggen in voorkomende gevallen onbruikbaar zijn.
- Op alle microfoonposities wordt het gemiddelde geluidsspectrum bepaald. In hoofdstuk 3.5 worden de microfoonposities uitgebreid beschreven.

Brugdek

Het geluid wat ontstaat ten gevolge van de slijtlaag wordt op gelijke manier gemeten als het geluid van de voegovergangen. Hiertoe dient een extra microfoonpositie op de brug geplaatst te worden zodat het band-wegdek geluid zowel op overall niveau als spectraal kan worden bepaald. De afstand van de microfoon tot de voegovergang dient zodanig te zijn dat het geluid van de voegovergang het meetresultaat niet beïnvloedt.

Aanvullend op de geluidmeting wordt een textuurmeting uitgevoerd. Uit de textuurmeting is de uitlijning en inbouwhoogte van de voegovergang af te leiden en zijn de textuurparameters van het wegdekoppervlak (slijtlaag) op de brug te bepalen. De textuurparameters geven een indicatie van de geluidemissie van het wegdek. Dit laatste geldt met name voor slijtlagen. Aangezien dit geen poreuze wegdekken zijn, is de geluidemissie voornamelijk gerelateerd aan de oppervlaktetextuur en aanverwante eigenschappen als steengrootte, vorm van de stenen, gradering et cetera.

De textuurmetingen worden gedurende de monitoring herhaald. Eventuele veranderingen in de geluidemissie van het kunstwerk kunnen hiermee worden verklaard.

3.4 Meten van de afstraling

De hierna beschreven meetmethode voor het bepalen van de brugtoeslag is gebaseerd op het voorstel wat gedaan is en beschreven is in het rapport, "geluidemissie beweegbare bruggen" [2] en op praktijkervaring die is opgedaan bij een negental metingen.

3.4.1 Meetmethode

Het waargenomen geluid in de omgeving van de brug wordt op twee manieren in kaart gebracht. Op het immissiemeetpunt wordt de 'extra hinder als gevolg van laagfrequent geluid' (hinderscore) bepaald. Daarnaast wordt met behulp van de referentiemeetpositie en de meetposities onder en boven de brug de brugtoeslag bepaald. Het resultaat van deze twee metingen vormt de akoestische handtekening van de brug.

Hinderscore

Om de hinderscore te bepalen wordt een langdurige equivalente geluidmeting (15 minuten) uitgevoerd op één positie op enige afstand van de brug. Tijdens de meting worden de voertuigpassages geteld (per categorie). Het verschil tussen het dB(C) en dB(A) gewogen geluidniveau wordt aan de hand van tabel I omgezet in een kwalitatieve hinderscore: 'geen', 'licht gehinderd', 'duidelijke hinder' of 'ernstige hinder'. Daarnaast wordt het geluidsspectrum gemeten en gerapporteerd.

Het verschil tussen het C-gewogen geluidniveau en het A-gewogen geluidniveau ($L_C - L_A$) is een maat voor de hinder door laagfrequent geluid. Bij meer laagfrequent geluid zal het verschil tussen het A-gewogen en het C-gewogen niveau groter zijn. Er zijn twee aspecten waarom laagfrequent geluid een goede maat is voor de hinderscore:

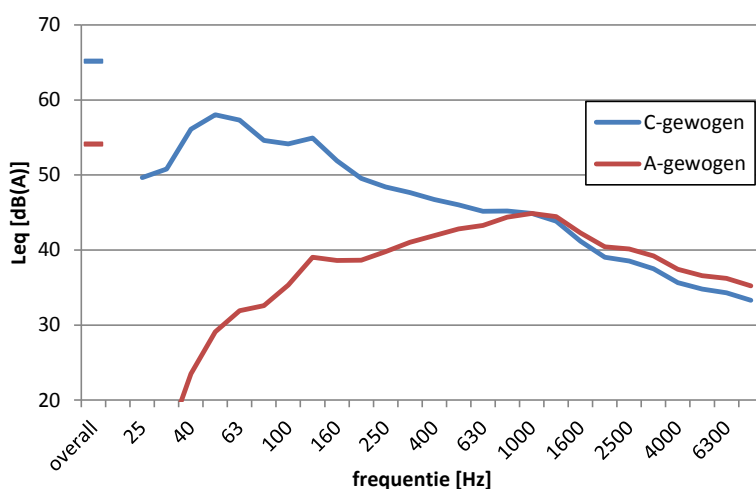
- Laagfrequent geluid plant zich goed voort door de lucht en is tot op grote afstanden waarneembaar. De luchtdemping is voor lage frequenties lager dan voor hoge.
- De gevelwering is voor geluid beter bij hoge frequenties dan voor lage. Laagfrequent geluid is dus ook binnenshuis vaak goed waarneembaar.

Er is sprake van extra hinder door laagfrequent geluid als $L_C - L_A \geq 10$ dB (zie beoordelingscriterium in tabel I).

tabel 1

Beoordeling hinder van laagfrequent geluid bij bruggen op grond van het verschil tussen dB(C) en dB(A) (uit [2])

dB(C) – dB(A)	extra hinder door laagfrequent geluid
< 10	geen
11 – 15	licht gehinderd
15 – 20	duidelijke hinder
> 20	ernstige hinder



figuur 6

Voorbeeld van gemeten A en C-gewogen 15 minuten L_{eq} -niveaus op een immissiepunt op enige afstand van een stalen brug

Brugtoeslag

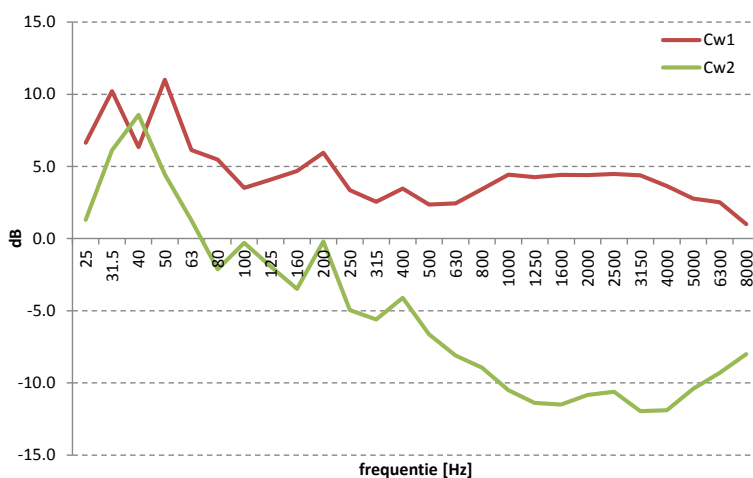
De brugtoeslag geeft het verschil weer tussen de verkeersstroom met en zonder de brug. Om de brugtoeslag te bepalen wordt uitgegaan van het verschil tussen het langdurige (15 minuten) equivalente geluidniveau op twee posities langs de weg en een referentiepositie langs de weg op enige afstand van de brug. Tijdens de meting worden de voertuigpassages geteld (per categorie).

Er wordt onderscheid gemaakt tussen de brugtoeslag boven de brug ($Cw1$) en de brugtoeslag onder de brug ($Cw2$).

Waarbij:

(1) $Cw1 = L_{p_boven_het_brugdek} - L_{p_weg}$

(2) $Cw2 = L_{p_onder_brug} - L_{p_weg}$



figuur 7

Voorbeeld van gemeten Cw1 en Cw2 waarden bij een stalen brug

3.5 Microfoonposities

Aan een brug wordt afhankelijk van het type brug op twee of vijf microfoonposities gemeten. De meetposities komen overeen met de meetposities uit de RTD 1007-3 [1] en zijn in lijn met het Meet- en Rekenvoorschrift geluidemissie beweegbare bruggen [2]. In figuur 8 zijn de meetposities schematisch weergegeven. Op de foto's zijn de microfoons weergegeven tijdens een meting.

Meetpositie 1 is de referentiepositie.

- Op dit meetpunt wordt het langdurige (15 minuten) equivalente geluidniveau bepaald (spectraal en op overall niveau). Het resultaat is nodig om de brugtoeslag (Cw1 en Cw2) te bepalen.

Meetpositie 2 is de meetpositie boven het brugdek.

- Op dit meetpunt wordt het langdurige (15 minuten) equivalente geluidniveau bepaald (spectraal en op overall niveau). Het resultaat is nodig om de brugtoeslag (Cw1) te bepalen.

Meetpositie 3 is de meetpositie onder het brugdek en onder de voegovergang.

- Op dit meetpunt wordt het langdurige (15 minuten) equivalente geluidniveau bepaald (spectraal en op overall niveau). Het resultaat is nodig om de brugtoeslag (Cw2) te bepalen.
- Op dit meetpunt worden tevens de maximale geluidniveaus gemeten van vrachtautopassages over de voegovergang. Het gemiddelde resultaat wordt gebruikt voor de beoordeling van het geluid van de voegovergang.

Meetpositie 4 is het immissiemeetpunt.

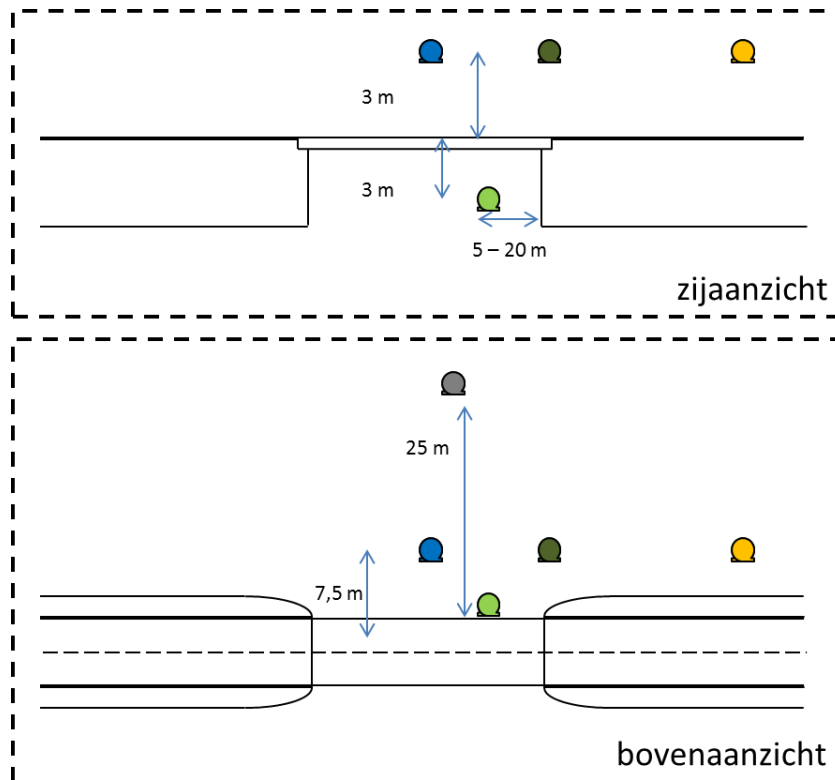
- Op dit meetpunt wordt het langdurige (15 minuten) equivalente A- en C-gewogen geluidniveau bepaald (spectraal en op overall niveau) waarmee de hinderscore wordt bepaald.

Meetpositie 5 is de meetpositie boven de voegovergang.

- Op dit meetpunt worden de maximale geluidniveaus gemeten van personenautopassages over de voegovergang. Het gemiddelde resultaat wordt gebruikt voor de beoordeling van het geluid van de voegovergang.

De microfoons op positie 1, 2 en 5 worden bij voorkeur geplaatst op 7,5 m van het hart van de rijbaan en op 3 m hoogte. Er kan van deze positie afgeweken worden om gegronde redenen, zolang de microfoons alle drie in de nabijheid van de weg op dezelfde afstand en hoogte geplaatst worden. De microfoon op positie 3 wordt aan de rand van het kunstwerk geplaatst, 3 m onder het

rijdek. De microfoon op het immissiepunt wordt op 25 m vanaf de rand van het kunstwerk gepositioneerd, haaks op de rijrichting, vrij van reflecterende en afschermende objecten. De microfoon wordt op 1,5 m hoogte gepositioneerd. Ook dit betreft een voorkeurspositie waarvan omwille van praktische of meettechnische redenen van wordt afgeweken. In dat geval wordt geprobeerd zo dicht mogelijk bij de voorkeurspositie te meten.



- 1: aanliggende verharding (referentie)
- 2: boven het brugdek
- 3: onder de brug
- 4: immissiepunt
- 5: boven de voeg



figuur 8 Opstelling microfoons bij geluidmetingen aan bruggen

3.6 Weersomstandigheden

Voor kunstwerken zal de omgevingstemperatuur van invloed zijn op het te meten geluidniveau van voegovergangen. Bij een lage omgevingstemperatuur zal de lengte van het kunstwerk afnemen. Daardoor wordt de verplaatsing die de voegovergang moet opnemen groter en neemt het geluidniveau toe. Bij een hoge omgevingstemperatuur is de op te nemen verplaatsing kleiner en zal het geluidniveau lager zijn.

Om de verplaatsingen als gevolg van temperatuurwisseling op te kunnen vangen worden bij de grote kunstwerken vaak meervoudige voegovergangen toegepast. Bij de middelgrote kunstwerken worden vaak randprofielen toegepast. De lengte van een kunstwerk varieert echter maar langzaam op de omgevingstemperatuur. Om het effect van temperatuur op het meetresultaat beperkt te houden zijn grenzen gesteld aan de lange termijn omgevingstemperatuur. De vijfdaagse gemiddelde luchttemperatuur in de periode voorafgaand aan de meetdag moet liggen tussen de 5 en 20 °C. De informatie over de luchttemperatuur dient te worden geraadpleegd van het dichtstbijzijnde KNMI-metstation, zie <http://www.knmi.nl/klimatologie/daggegevens/index.cgi>.

De meting zelf kan worden uitgevoerd bij een luchttemperatuur tussen de 5 en 30 °C. Op de meetresultaten wordt geen temperatuurcorrectie toegepast zoals dat gebruikelijk is voor SPB-

metingen. Er is namelijk te weinig onderbouwing om een temperatuurcorrectie voor voegovergangen vast te stellen.

Verder mogen de weersomstandigheden een betrouwbare werking van de geluidmeetapparatuur niet beïnvloeden. Metingen bij regen, sneeuw, mist of windsnelheden boven de 5 m/s moeten om die reden worden vermeden.

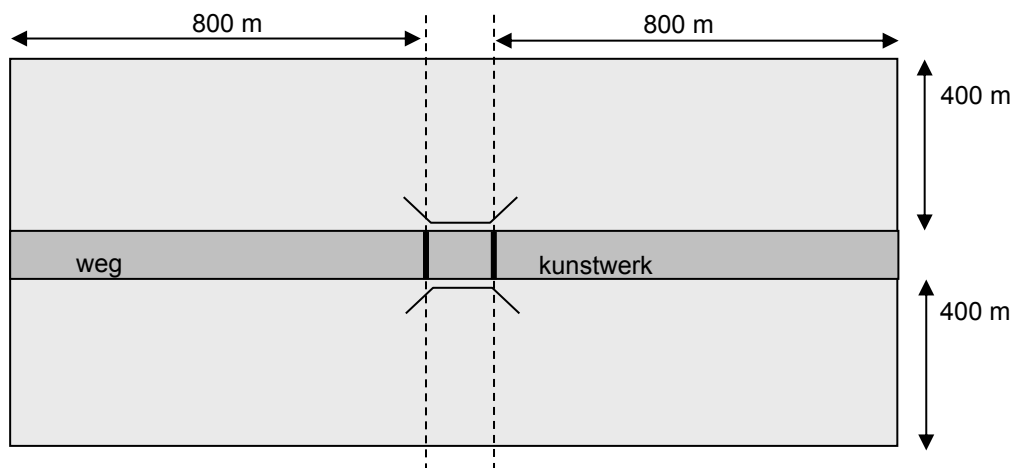
3.7 Aandachtsgebied

Bij de beoordeling van bestaande situaties zoals bij een klacht over een lawaaiige voegovergang of kunstwerk kan een onderzoek naar de geluidemissie plaatsvinden. Dit onderzoek is alleen dan noodzakelijk wanneer er woningen of andere geluidgevoelige bestemmingen aanwezig zijn in de nabijheid van het kunstwerk. Dit aandachtsgebied komt overeen met dat uit de RTD-1007-3 (geluideisen voegovergangen).

Om een invulling te geven aan het begrip "nabijheid" is een aandachtsgebied rondom het kunstwerk gedefinieerd. Bij klachten van bewoners binnen het aandachtsgebied is het redelijkerwijs te verwachten dat het geluid van het kunstwerk de oorzaak kunnen zijn van de hinderklacht en ligt een onderzoek naar de geluidemissie in de rede.

Indien een klacht van buiten het aandachtsgebied wordt geuit, is de verwachting dat het geluidniveau van het kunstwerk bij de woningen zodanig laag is dat er geen grond is voor nader onderzoek. Overigens wil dit niet zeggen dat de voegovergang in dat geval niet hoorbaar zal zijn.

Het aandachtsgebied is gedefinieerd als een rechthoek met een lengte van 800 m voor tot 800 m na de voegovergang en een breedte van 400 m vanaf de linkerkant verharding tot 400 m vanaf de rechterkant verharding. De afmetingen zijn vastgesteld op basis van expert judgement.



Figuur 6: Aandachtsgebied bij geluidhinder kunstwerken. Bij klachten ligt nader onderzoek voor de hand als zich binnen het gebied woningen of andere geluidgevoelige bestemmingen bevinden.

3.8 Monitoren

De geluidafstraling van een kunstwerk en de bijbehorende geluidhinder kan toenemen in de tijd. Hiervoor zijn diverse oorzaken te bedenken zoals:

- het lawaaiiger worden van de voegovergangen;

- het slechter aansluiten van het asfalt op de voegovergangen door slijtage of spoorvorming in het asfalt;
- het lawaaiiger worden van de wegverharding op het brugdek door veroudering;
- veroudering van de brugopleggingen;
- bewegingen in de constructie (bijvoorbeeld krimp en kruip van beton);
- bewegingen van de ondergrond (zettingen).

De levensduur van de verschillende onderdelen van het kunstwerk of brug varieert van ongeveer vijf jaar (denk bijvoorbeeld aan bitumineuze voegovergangen) tot honderd jaar (voor de gehele brugconstructie). Een beoordeling en toetsing van het geluid kort na de realisatie of renovatie van het kunstwerk is niet voldoende om toenemende geluidhinder in de toekomst uit te sluiten. Er is, voor zover bekend, nog geen informatie bekend van de ontwikkeling van de geluidemissie bij kunstwerken.

In de keten van aanstoting tot afstraling zijn de slijtage van voegen, aansluiting van het asfalt op de voegen en de veroudering van het wegdek als de risicofactoren die als eerste leiden tot toename van de geluidhinder. Gebaseerd op de verwachte levensduur van een wegdek en voegovergangen is vier jaar een goed interval voor monitoring. De minst duurzame voegen (bitumineus) hebben een levensduur van ongeveer vijf jaar. Eventuele aanstoting van stalen voegen door spoorvorming in het asfalt kan optreden na enkele jaren.

Wanneer monitoring door geluidmetingen wordt uitgevoerd, geniet het de voorkeur om de metingen zo mogelijk in dezelfde periode van het jaar uit te voeren.

4 Referenties

- [1] “Geluideisen voegovergangen”, Rijkswaterstaat Technisch Document, RTD 1007-3, 26-03-203;
- [2] “Onderzoek naar de geluidhinder bij bruggen, meet- en rekenvoorschrift geluidemissie beweegbare bruggen”, MNO-VDD-110020014, Utrecht, 8 december 2011.