

# Oplossingen voor geluidhinder van stalen bruggen door slimme aanpak snel gevonden!

drs. ing. Christiaan Tollenaar  
M+P

ir. Erik de Graaff  
M+P

## Samenvatting

Geluidhinder van wegverkeer wordt in Nederland op grote schaal aangepakt. Hoewel het op de meeste plaatsen ook echt stiller wordt, blijken er situaties te zijn waar de geluidhinder toeneemt of juist ontstaat. De stalen voegovergangen tussen de weg en een brugdek zijn hiervan een bekend voorbeeld. Doordat er in de oude situatie een lawaaiig wegdek lag, viel het geluid van de voegen niet op. Na toepassing van het stille asfalt valt het voeggeluid ineens wel op en ontstaat er (extra) geluidhinder.

De laatste jaren blijken ook bestaande (beweegbare) stalen bruggen een bron van geluidhinder te worden. De klachten gaan meestal over het laagfrequente geluid dat ontstaat als het verkeer over de brug rijdt. Vooral vrachtauto's zorgen in de vroege ochtend voor overlast. De oorzaak ligt enerzijds bij de toepassing van stil asfalt rondom de brug. Anderzijds nemen de moderne lichtgewicht stalen brugdekken gemakkelijk trillingsenergie op en stralen ze effectief geluid af naar de omgeving.

M+P onderzocht de laatste jaren de geluid- en trillingseigenschappen van verschillende stalen bruggen en ontwikkelde een aanpak om kosteneffectief tot een vermindering van de geluidhinder te komen zonder direct een zeer uitgebreid onderzoek uit te voeren.

Goede communicatie met gehinderden is bij het wegnemen van hinderbeleving van groot belang. Met geluidmetingen conform het beoordelingsprotocol voor bruggen kan het effect van genomen maatregelen eenduidig worden gekwantificeerd.

## Steekwoorden

Geluid meting trillingen hinder beweegbare stalen brug wegverkeer voegovergangen efficiënt maatregelonderzoek

## **Inleiding**

Geluidhinder van wegverkeer wordt in Nederland op grote schaal aangepakt. Onder andere door het toepassen van geluidschermen en stille wegdekken. Hoewel het op de meeste plaatsen ook echt stiller wordt, blijken er situaties te zijn waar de geluidhinder toeneemt of juist ontstaat. De stalen voegovergangen tussen de weg en een brugdek zijn hiervan een bekend voorbeeld. Doordat er in de oude situatie een lawaaiig wegdek lag, viel het geluid van de voegen niet op. Na toepassing van het stille asfalt valt het voeggeluid ineens wel op en ontstaat er (extra) geluidhinder [1]. Toepassing van gevelisolatie of geluidschermen geeft een vergelijkbaar beeld: het hoogfrequente band/wegdek geluid wordt beter afgeschermd, maar het laagfrequente geluid (LFG) van de voeg blijft gelijk, valt meer op en wordt als meer storend ervaren.

Nu ook op het provinciale wegennet op grote schaal stil asfalt wordt aangelegd, blijken ook bestaande (beweegbare) stalen bruggen een bron van geluidhinder te worden [2]. De klachten gaan meestal over het laagfrequente geluid dat ontstaat als het verkeer over de brug rijdt. Vooral vrachtauto's zorgen in de vroege ochtend voor overlast.

Dat het geluid van stalen wegverkeersbruggen steeds vaker voor hinder zorgt, kan niet meer alleen aan de toepassing van stillere wegdekken rondom de brug worden toegeschreven. Bij onderzoek aan verschillende types oudere bruggen [3] is vastgesteld dat de geluidemissie van de brugconstructie zelf meestal te verwaarlozen is. Echter, de laatste jaren worden veel brugdekken vernieuwd. Oude stalen of betonnen constructies worden vervangen door veel lichtere en sterkere stalen dekken. Het gewicht per m<sup>2</sup> van het 'standaard' stalen rijdek is in de periode 1970 - 1990 al met bijna de helft gereduceerd naar ca. 250 kg/m<sup>2</sup>. De gewichtsafname bij vervanging van een betonnen rijdek door een stalen dek, is nog vele malen hoger.

Stijve lichtgewicht constructies hebben belangrijke voordelen. Zo kan de verkeerscapaciteit van het dek vergroot worden zonder dat de bestaande onderbouw moet worden aangepast. Keerzijde is dat lichtere constructies gemakkelijker in trilling worden gebracht en daardoor potentieel geluid naar de omgeving kunnen afstralen.

Bij moderne orthotrope stalen brugdekken speelt niet alleen de voegovergang maar ook het stalen dek een belangrijke rol bij de geluidemissie naar de omgeving. Uit metingen die wij aan verschillende bruggen hebben uitgevoerd is gebleken dat delen van de stalen constructie hoge trillingsniveaus laten zien. Deze trillingen kunnen niet alleen worden gevoeld, maar ook gehoord. Trillingen met een frequentie boven de 20 Hz stralen namelijk af als hoorbaar geluid. Van 20 tot 200 Hz spreekt men van laagfrequent geluid (LFG). Zo kan het dat door vervanging van een oude stalen brug door een modern stalen exemplaar plotseling geluidklachten ontstaan bij omwonenden.



*Voorbeeld van een provinciale weg met een stalen brug te midden van een waterrijk dorp*

## **2. Theoretisch kader**

### **2.1 Basisaspecten geluid van moderne stalen bruggen**

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 pulsvormig geluid bij het oprijden en afrijden van de brug of kunstwerk ter plaatse van de voegovergang. Ook de (soms extra ruwe) slijtlaag op het brugdek kan aanleiding zijn voor een verhoogde aanstoting door passerende voertuigen. Anderzijds wordt door deze aanstoting de brug 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; door het verkeer op de brug;
- Ingangsimpedantie: opname van energie door de brug van de aanstoting;
- Trillingsoverdracht: afhankelijk van massa, stijfheid en demping worden brugdelen in trilling gebracht;
- Afstraalefficiëntie: stijfheid, vorm en omgeving bepalen hoe gemakkelijk trillende brugdelen geluid afstralen.

### **2.2 Simpel akoestisch model voor moderne stalen bruggen**

Het akoestische model van een brug bestaat in hoofdlijnen uit de eerder genoemde vier subsystemen. Elk van deze subsystemen vormt een onafhankelijke schakel die relevant is voor het uiteindelijke waargenomen geluid in de omgeving van de brug.



*Ketenrelatie van subsystemen van het geluidopwekkingsstelsel van bruggen en het waargenomen geluid in de omgeving*

De specifieke eigenschappen van deze subsystemen zijn niet per definitie van elkaar afhankelijk. De 'optelsom' van deze subsystemen bepaald wel het uiteindelijke geluid in de omgeving. De bijdrage van de subsystemen op de totale geluidafstraling naar de omgeving is afhankelijk van een aantal brugspecifieke eigenschappen zoals:

- Snelheid en massa van de voertuigen, hoogteprofiel van het brugdek en de kwaliteit van de voegovergangen;
- Bewegelijkheid van de brug, geometrie, demping, massa en stijfheid van het brugdek;
- Oppervlak van de constructie, trilvormen in het dek, geometrie van de constructie en de omgeving.

Door wijzigingen aan te brengen aan één of meer van deze eigenschappen kan de geluidafstraling van de brug worden beïnvloed. Vanuit akoestisch oogpunt is het niet van belang in welke van de subsystemen wordt ingegrepen, als de totale keten maar in enigerlei vorm wordt gereduceerd.

### 3 Maatregelonderzoek

#### 3.1 Ieder situatie is uniek

Uit recente ervaringen is gebleken dat niet alleen het ontwerp van de brug, maar ook de staat van onderhoud en de lokale situatie heel verschillend kan zijn. Een grote zwaar uitgevoerde nieuwe stalen brug met een verkeerde uitlijning vraagt dan ook om andere maatregelen dan een oude beweegbare brug die niet meer bestand is tegen de hedendaagse verkeersbelasting.

Er is dan ook geen generieke oplossing voor het aanpakken van geluidhinder van stalen bruggen. Voor iedere brug moeten maatwerkoplossingen worden gezocht.

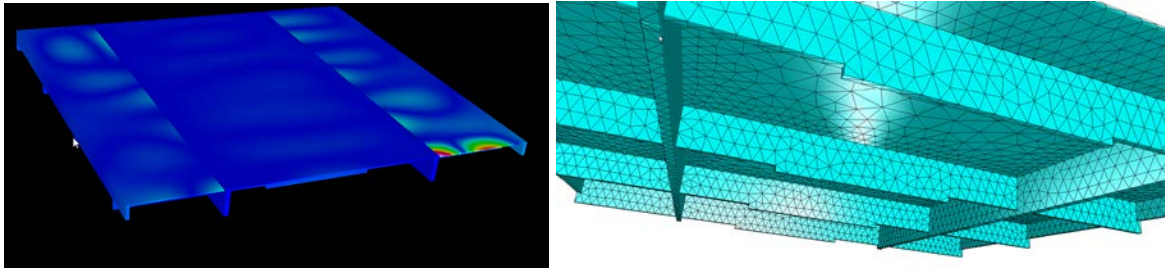


*Voorbeelden van stalen bruggen in verschillende afmetingen en verschijningsvormen waarvan de geluidemissie werd onderzocht*

### ***3.2 Slimme onderzoeksopzet bespaart tijd, kosten en teleurstellingen***

Om zo efficiënt mogelijk aan het verminderen van geluidhinder te werken, is het zinvol om eerst laagdrempelige maatregelen te nemen waarvoor het niet nodig is om een uitgebreid computermodel van het kunstwerk te maken.

Het maken en valideren van een dergelijk model vraagt een grote inspanning. Daarnaast bestaat het risico dat de vaak ingrijpende maatregelen die uit een dergelijk model volgen niet goed passen bij het beschikbare (onderhouds)budget van de wegbeheerder of ontoelaatbaar inbreuk maken op het ontwerp van de brug.



*Trilvormanalyses met behulp van geavanceerde computermodellen geven veel inzicht maar vragen een aanzienlijke inspanning*

Met gezond verstand en de nodige ervaring en kennis op het gebied van geluidarm construeren en wegverkeerslawaai is het in veel gevallen al mogelijk om met een beperkte onderzoeksinspanning de belangrijkste verbeterpunten in kaart te brengen.

### ***3.3 Gefaseerde aanpak***

Om duidelijk te krijgen van welke maatregelen snel grote effecten te verwachten zijn, moeten de voor geluid relevante brugeigenschappen in kaart worden gebracht. Het uitgangspunt is het eenvoudige akoestische model dat beschreven is in hoofdstuk 2. Elke van de vier subsystemen wordt beschreven aan de hand van de relevante brugspecifieke eigenschappen.

Omdat iedere brug in combinatie met zijn omgeving uniek is, moet in ieder onderzoek steeds een aantal fases doorlopen worden.

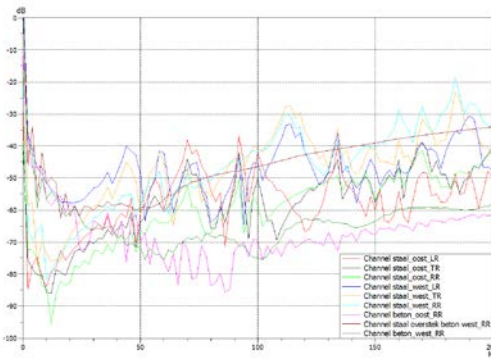
In de eerste fase van het onderzoek worden geluidmetingen uitgevoerd. Er worden zowel immissie- als emissiemetingen gedaan conform het voor provincie Noord-Holland opgestelde 'beoordelingsprotocol geluid bij bruggen' [5]. Deze metingen hebben enerzijds ten doel de 'nul situatie' vast te leggen zodat het effect van toekomstige maatregelen in beeld gebracht kan worden. Anderzijds bieden de immissiemetingen de mogelijkheid om de mate van extra hinder als gevolg van laagfrequent geluid in de omgeving te kwantificeren.

In de tweede fase worden de brugspecifieke fysieke eigenschappen vastgelegd. Dit gebeurt tijdens een inspectie waarbij de eigenschappen van de brug globaal en veelal kwalitatief worden bepaald. De inspectie wordt afhankelijk van de situatie, uitgebreid met specifieke geluidmetingen en impedantiemetingen om de mobiliteit van het brugdek vast te kunnen leggen.



Het resultaat van deze fase is een matrix met bruceigenschappen die voor wat betreft geluid ongunstig zijn. Om deze eigenschappen te veranderen worden maatregelen gedefinieerd en afgewogen op civiel- en kostentechnische haalbaarheid. In de meeste gevallen blijken er één of meerdere maatregelen ‘direct’ zonder aanvullend onderzoek en zonder dat het invloed heeft op de civieltechnische werking van de brug, uitgevoerd te kunnen worden.

Als het effect van deze fases onvoldoende blijkt, dan kan een derde fase worden gestart waarbij gedetailleerde computermodellen worden gemaakt waarmee meer ingrijpende wijzigingen aan het ontwerp van de constructie kunnen worden doorgerkend.



*Het meten van de ingangsimpedantie van het brugdek op verschillende punten geeft inzicht in de mobiliteit en de benodigde maatregelen*

## 4 Maatregelen

### 4.1 Theorie

In hoofdstuk 2 zijn de vier akoestisch relevante subsystemen ‘aanstoting’, ‘ingangsimpedantie’, ‘trillingsoverdracht’ en ‘afstraalefficiëntie’ beschreven. Alle maatregelen die genomen kunnen worden om de geluidhinder van de brug te beperken passen in een van deze subsystemen. Aan een bestaande brug kan echter niet zomaar in ieder subsysteem worden ingegrepen. Het verlagen van de voertuigsnelheid of het toevoegen van extra gewicht aan het val bij beweegbare bruggen is vaak geen optie.

De meest voorgestelde maatregelen zijn afgeleid van de randvoorwaarden die gesteld zouden moeten worden aan het ontwerp van een geluidarme stalen brug. In het ideale geval wordt immers al bij het brugontwerp rekening gehouden met geluid. In de praktijk blijken nieuwe gerealiseerde stalen bruggen juist voor geluidhinder te zorgen.

Effectieve maatregelen waaraan gedacht kan worden bij het akoestisch verbeteren van een bestaande (beweegbare) stalen brug zijn:

Verminderen van de aanstoting:

- zorgen voor een gelijkmatig hoogtepfiel zodat voertuigbanden zo min mogelijk ‘botsen’ op onvlakheden en zo krachtaanstotingen van autobanden op de brugconstructie te beperken;
- kiezen voor een minder lawaaiig wegdektype dan de doorgaans gebruikte slijtlagen zodat de hoogfrequente geluidafstraling van de brug wordt beperkt.

Verhogen van de ingangsimpedantie:

- zorgen dat daar waar de krachtaanstoting plaatsvindt zo weinig mogelijk energie door de brug wordt opgenomen. Hoe meer energie in de constructie terecht komt hoe meer er doorgegeven kan worden naar de rest van de constructie.

Verlagen van de trillingsoverdracht:

- zorgen voor demping. Voor een efficiënte laagfrequentie geluidafstraling zijn grote trillende oppervlakken nodig. De dynamische eigenschappen van de constructie bepalen in hoeverre de ingebrachte energie wordt doorgegeven aan de geluid afstralende delen van de brug.

Verlagen van de afstraalefficiëntie:

- zorg voor een (aanpassing van het) ontwerp van de brug zodat zo min mogelijk geluid wordt afgestraald. Hoe efficiënt mechanische trillingen worden afgestraald in geluidgolven in de lucht is afhankelijk van de constructie en de omgeving en kan dus worden beïnvloed.

## 4.2 Praktijk

Bedacht moet worden dat bepaalde maatregelen goed kunnen werken om de ingangsimpedantie te verhogen (verstijven) maar dat dit het ongewenste bijeffect kan hebben dat het de trillingsoverdracht verbetert, waardoor trillingen gemakkelijker worden doorgegeven aan de constructie. Veranderingen aan de constructie zullen meestal invloed hebben op zowel ingangsimpedantie, als trillingsoverdracht en afstraalefficiëntie. Om de effecten van dergelijke maatregelen goed te kunnen voorspellen moeten deze doorgerekend worden met een gedetailleerd computermodel. Dergelijke maatregelen worden daarom niet in de eerste twee fases (paragraaf 3.3) uitgevoerd.

Zoals bij alle aanpak van hinder is het voor de hand liggend om te beginnen bij de bron. De aanpak die in dit artikel wordt beschreven richt zich ook met name op het subsysteem 'aanstoting'. Veel gebruikte oplossingen zijn gericht op het verbeteren van de voegovergang, de uitlijning van dek en aanbruggen/landhoofd, kwaliteit van de oplegpunten en optimalisatie van de slijtlaag.



*De brug afsluiten voor verkeer is natuurlijk niet realistisch maar wel de meest effectieve maatregel om de aanstoting van de constructie te verminderen*

## **5 Conclusies en aanbevelingen**

Het oplossen van geluidhinder van (beweegbare) stalen bruggen is een technische uitdaging. Uit onze ervaring blijkt echter dat het niet nodig is om direct een complex computermodel van de brug te maken. In veel situaties met klachten over geluidhinder blijkt de aanstoting van de brug door het ontwerp of de onderhoudstoestand een belangrijke rol te spelen.

Aanbevolen wordt om voordat er een zeer uitgebreid onderzoek wordt gedaan eerst de krachtaanstoting op de constructie zoveel mogelijk te verminderen. Hierbij is het verstandig om het effect van de aanpassingen met metingen vast te leggen zodat in de communicatie met de gehinderden onderbouwd kan worden dat er zinvolle verbeteringen zijn doorgevoerd.

## **6 Referenties**

- [1] Van Loon, R.C.L., Van Vliet, W.J.A. en Booij, J.N., “Geluid van voegovergangen”, Proc. CROW infradagen, 2010;
- [2] Tollenaar, C.C., De Graaff, D.F., “Geluidhinder van beweegbare bruggen, een steeds frequenter gehoord LFG-probleem”, ‘GELUID, nr.1, maart 2015;
- [3] O. Martner, “Noise Emissions of Constructions for Bridge- To-Road Crossings”, Proc. Inter-Noise ’96, Liverpool, UK, 211-214 (1996);
- [4] Coeleman, B.H., “Beweegbare verkeersbruggen”, Bouwdienst Rijkswaterstaat, maart 1992;
- [5] “Beoordelingsprotocol geluid bij bruggen”, M+P.PNH.15.03.1, januari 2016.