

*Notitie***Aan**

Eric Ivens, Hans de Haan  
Projectorganisatie Zuidasdok

**Van**

Dr. ir. A.P. Berkhoff, ir. M.G. Dittrich

**Onderwerp**

Resonatoren als geluidreducerende maatregel bij de Schinkelbrug

**Inleiding**

Naar aanleiding van klachten van geluidhinder bij woonboten vlakbij de Schinkelbruggen op de A10 en de evaluatie van het Ontwerp Tracébesluit, heeft TNO eind 2015 in opdracht van Zuidasdok onderzoek uitgevoerd naar mogelijke geluidreducerende maatregelen voor de noordelijke brug en een daarnaast nieuw te bouwen brug. Na overleg tussen Zuidasdok, IBZ en TNO is TNO gevraagd voor specifieke maatregelen nadere berekeningen en metingen uit te voeren. Eén van de voorgestelde maatregelen is toepassing van absorberende resonatoren (Helmholtzresonatoren). Deze notitie geeft een toelichting bij de indicatieve berekening van de effectiviteit, dimensionering en positionering van de maatregel. Op grond van deze berekening en de dimensionering wordt het gebruik van resonatoren kansrijk geacht.

Helmholtzresonatoren nemen enige ruimte in beslag en bestaan in principe uit één of meerdere volumes met een afgestemde opening. De dimensionering en positionering is bepalend voor de werking, die bij specifieke frequenties optreedt. Voor deze toepassing wordt ervan uitgegaan dat de reeds aanwezige absorptiecassettes of een equivalent systeem blijven staan, om ervoor te zorgen dat de werking bij hogere frequenties in stand blijft.

Dat betekent bijvoorbeeld dat in geval van plaatsing van resonatoren op de wand, de bestaande absorptie verplaatst wordt of vervangen. In geval van plaatsing achter de wand, zouden de bestaande cassettes kunnen worden doorboord of vervangen.

**Indicatieve berekening**

De berekening van de effectiviteit van de resonatoren is gebaseerd op de resultaten van een vereenvoudigd akoestisch eindig elementen (FEM) model van de Schinkelbrug en omgeving. Dit omvat de ruimte onder de brug en een luchtvolume om de brug heen met totale afmetingen 76x14x20m. Het model is opgesteld met behulp van de resultaten en inzichten uit de metingen en analyse beschreven in TNO-rapport TNO 2015 R11677 Geluidonderzoek Maatregelen Schinkelbrug A10. Wezenlijke elementen in het model zijn de modellering van het in verticale richting trillende brugdek, dat aanleiding geeft tot laagfrequent geluid boven en onder de brug, de wanden/muren en het water onder de brug die samen een resonantieholte vormen, en de afstraling van het geluid langs het water en langs de kade naar de omgeving. Dit model voorspelt een grote invloed van de resonatoren onder de brug, vooral bij akoestische resonanties onder de brug. Hoe

**TNO Technical Sciences**

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

[www.tno.nl](http://www.tno.nl)

T +31 88 866 10 00

F +31 70 328 09 61

**Blad** 1/9

**Datum**

2 juni 2016

**Onze referentie**

DHW-TS-2016-0100298352

**E-mail**

[arthur.berkhoff@tno.nl](mailto:arthur.berkhoff@tno.nl)

**Doorkiesnummer**

+31 88 866 62 89

groter de absorptiecoëfficiënt van de wanden en de onderkant van de brug, des te lager het geluid onder de brug en ook het totale door de brug afgestraalde geluid naar de omgeving. Op dit moment zijn cassettes met absorberend materiaal aangebracht op de muren onder de brug. Absorberende materialen zijn alleen effectief als de dikte een significant deel van een golflengte bedraagt. Bij 30 Hz is de golflengte van het geluid ongeveer 12 m en zal de effectiviteit van de cassettes met absorptiemateriaal zeer beperkt zijn. Akoestische resonatoren kunnen in een beperkt frequentiegebied op compacte wijze een veel hogere absorptiecoëfficiënt realiseren. Op basis van het frequentiegebied waarin de resonatoren geluid dienen te absorberen, leidt de ontwerpmethodiek tot de beste waarden voor het volume van de resonator, de grootte van de opening, de waarde van de eventueel benodigde extra weerstand in de opening, en het totale absorberende oppervlak per resonator. Uit de metingen in rapport TNO 2015 R11677 blijkt dat twee dominante resonantiefrequenties verantwoordelijk zijn voor het hoge geluidniveau. Twee verschillende typen akoestische resonatoren zijn dan voldoende. De invloed van absorptie bij 30 Hz is zichtbaar in Figuur 1 (geen resonatoren) en Figuur 2 (één wand met resonatoren). De geluiddruk aan de zijkant van het brugdek van 1 Hz tot 100 Hz is afgebeeld in Figuur 5 (geen resonatoren) en Figuur 6 (één wand met resonatoren). Bij 30 Hz neemt de geluiddruk aan de zijkant van de brug af van ongeveer 8 Pa naar 1.8 Pa, dus ongeveer 13 dB. De geluidreductie op de grond, aan de voorkant van de configuratie op 30 m afstand van de zijkant van de brug, is ongeveer 6 dB. De uitgangssituatie voor de bepaling van de hierboven vermelde geluidreducties is een configuratie zonder de nu reeds aanwezige absorptie cassettes, die niet voor laagfrequente reductie ontworpen zijn.

In Figuur 3 zijn twee wanden van resonatoren voorzien (n.b. kleurlegenda is anders geschaald). Figuur 7 en Figuur 8 laten de bijbehorende geluiddrukken zien. Resonatoren op beide wanden geeft een hogere geluidreductie dan op één wand. Indien het mogelijk zou zijn de onderkant van de brug van resonatoren te voorzien (Figuur 4) dan zou een nog hogere reductie haalbaar zijn vanwege het grotere oppervlak en de oriëntatie.

De dimensionering van de resonatoren vereist specificatie van de grootte van het frequentiegebied waarin de resonatoren effectief zijn. Als één wand volledig van resonatoren wordt voorzien bij een frequentie van 30 Hz en een bandbreedte van 3 Hz wordt aangehouden, dan is het benodigde volume ongeveer 30 m<sup>3</sup>. Bij een bandbreedte van 4,3 Hz is het volume 40 m<sup>3</sup>. Aan één wand is voldoende ruimte om minimaal de verschillende resonatorentypen voor twee verschillende frequenties te plaatsen, zonder de doorvaartruimte te beperken. Figuur 9 geeft een voorbeeld van 8 resonatoren bij 30 Hz waarbij de diepte van de resonatoren 0,5 m is. In Figuur 10 is de diepte 1 m. In dit geval is één opening per resonator gebruikt. Indien meer dan één opening per resonator wordt gebruikt dan kan de grootte van de openingen kleiner worden. De dikte van de wand is klein verondersteld. Een dikkere wand leidt tot grotere openingen. De resonatoren zouden kunnen worden geplaatst aan de wand aan de oostzijde (Figuur 11).

**Datum**

2 juni 2016

**Onze referentie**

DHW-TS-2016-0100298352

**Blad**

2/9

**Conclusies**

Op grond van de indicatieve berekeningen is te concluderen dat Helmholtzresonatoren een kansrijke maatregel zijn met een geschatte werking van rond de 6 dB geluidreductie op het laagfrequente geluid op enige afstand van 30 tot 100 m van de brug. Een totaal volume van ca. 50 m<sup>3</sup> is nodig om deze reductie te realiseren, verdeeld over meerdere elementen. Dit is uit te voeren met volume elementen tegen de bestaande wand aan de linkerkant of achter deze wand, waarbij boorgaten nodig zijn. De gaten in de volume elementen hebben een diameter van ongeveer 108 cm. Dit kan ook worden verdeeld over meerdere kleinere gaten.

De bestaande absorptie dient zoveel mogelijk behouden te blijven, hetzij door boringen voor de resonatoren in de bestaande cassettes aan te brengen, hetzij absorptie aan het resterende oppervlak van de resonatorwanden te plaatsen. Nadere berekeningen en gegevens van de dikte van de wand zijn nodig om te bepalen of het praktisch uitvoerbaar is om de Helmholtzresonatoren achter de wand te plaatsen.

Verdere berekeningen zijn nodig om de uitvoering goed te dimensioneren en positioneren, mede in samenhang met de overige randvoorwaarden. Aandachtspunten daarbij zijn de effectieve bandbreedte en mogelijk meerdere resonantiefrequenties (32 en 50-60 Hz). Na dergelijke berekeningen is ook aan te bevelen een eenvoudig schaalmodel te vervaardigen waarmee het effect ook praktisch te valideren en demonstreren is.

**Datum**

2 juni 2016

**Onze referentie**

DHW-TS-2016-0100298352

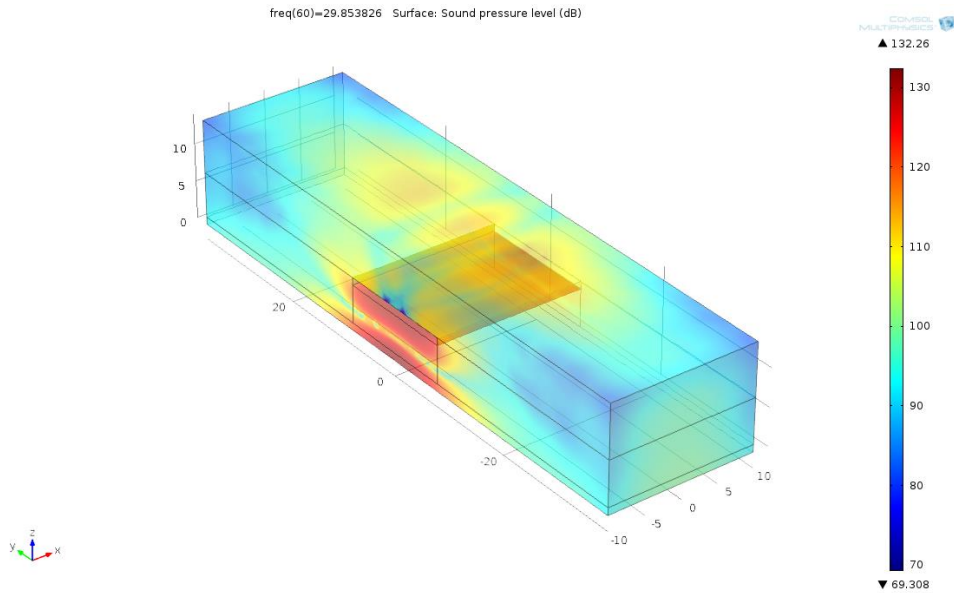
**Blad**

3/9

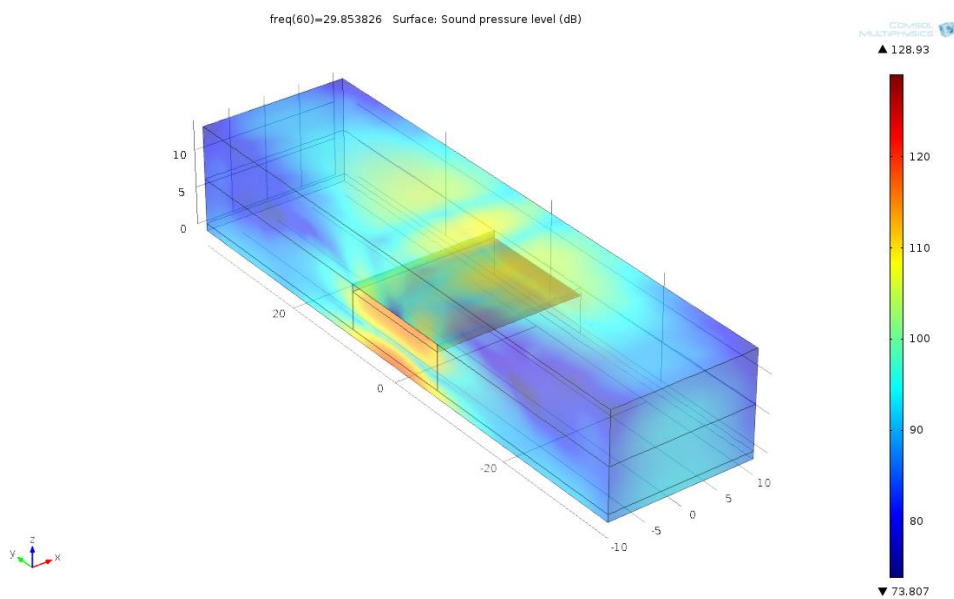
**Datum**  
2 juni 2016

**Onze referentie**  
DHW-TS-2016-0100298352

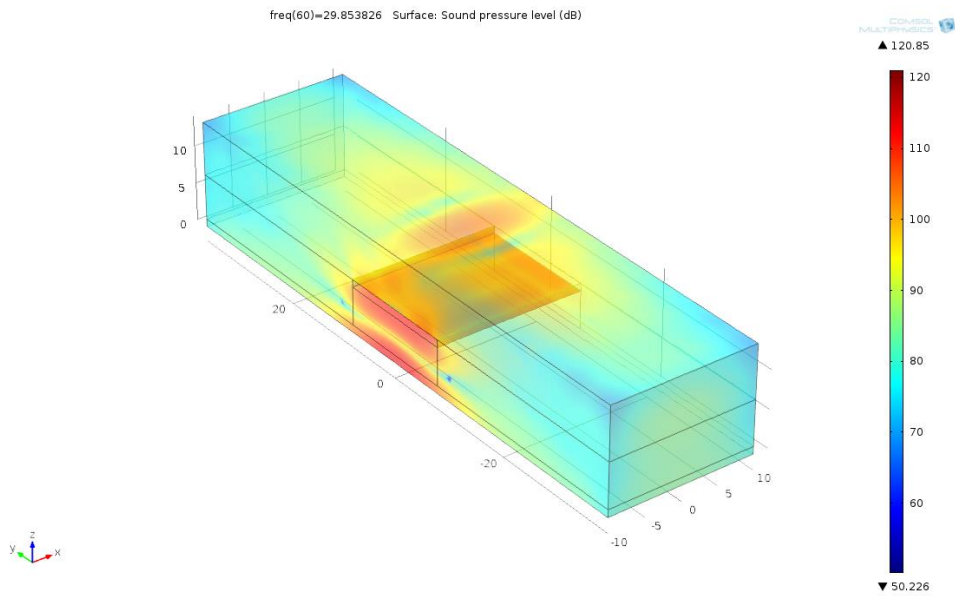
**Blad**  
4/9



Figuur 1: Resultaat van een eenvoudig eindig elementen model van de brug met brugdek, kade, wateroppervlak, en omgeving; geluiddruk bij een homogene verticale beweging van het brugdek met een versnelling van  $1 \text{ m/s}^2$  bij een frequentie van 29,85 Hz, zonder resonatoren op de wanden onder de brug en de onderkant van de brug.



Figuur 2: Als Figuur 1, waarbij één van de wanden onder de brug van resonatoren is voorzien.

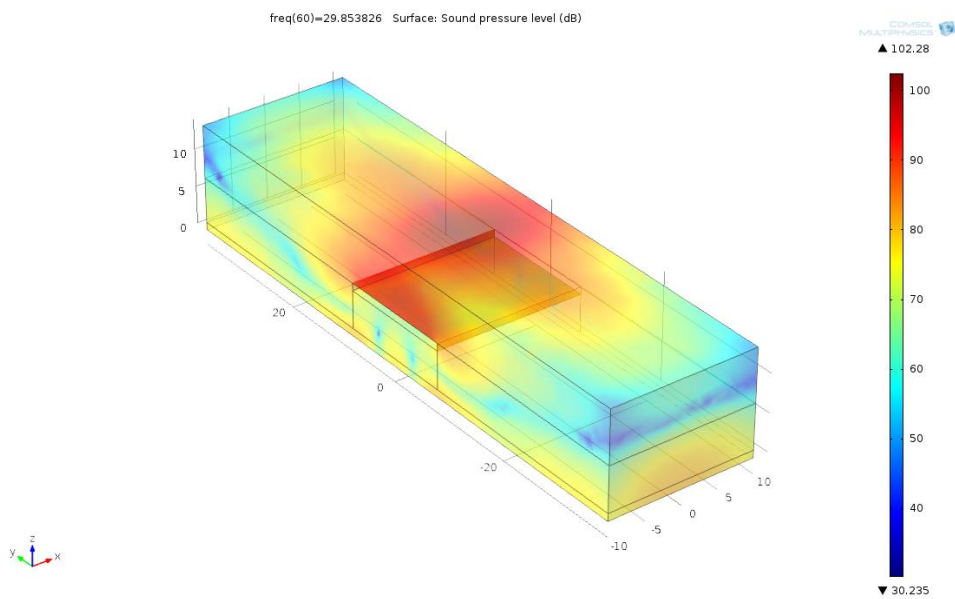


**Datum**  
2 juni 2016

**Onze referentie**  
DHW-TS-2016-0100298352

**Blad**  
5/9

Figuur 3: Als Figuur 1, waarbij twee wanden onder de brug van resonatoren zijn voorzien.



Figuur 4: Als Figuur 1, waarbij de onderkant van het brugdek van resonatoren is voorzien.

**Datum**

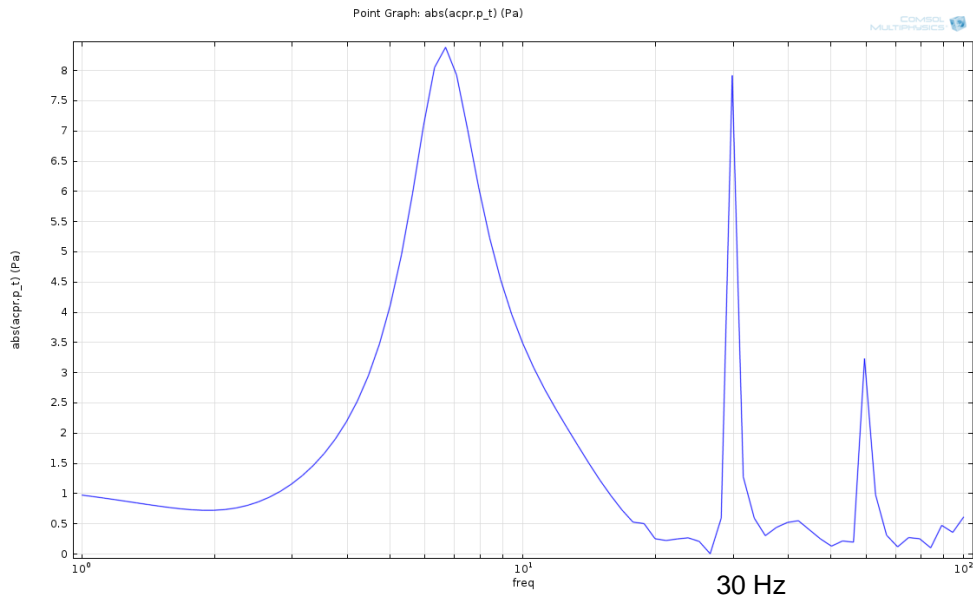
2 juni 2016

**Onze referentie**

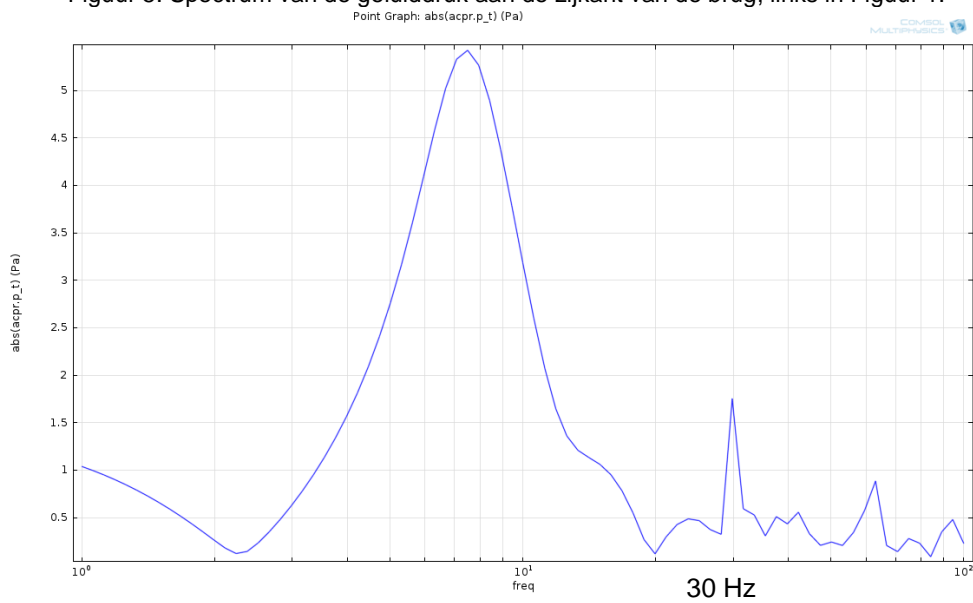
DHW-TS-2016-0100298352

**Blad**

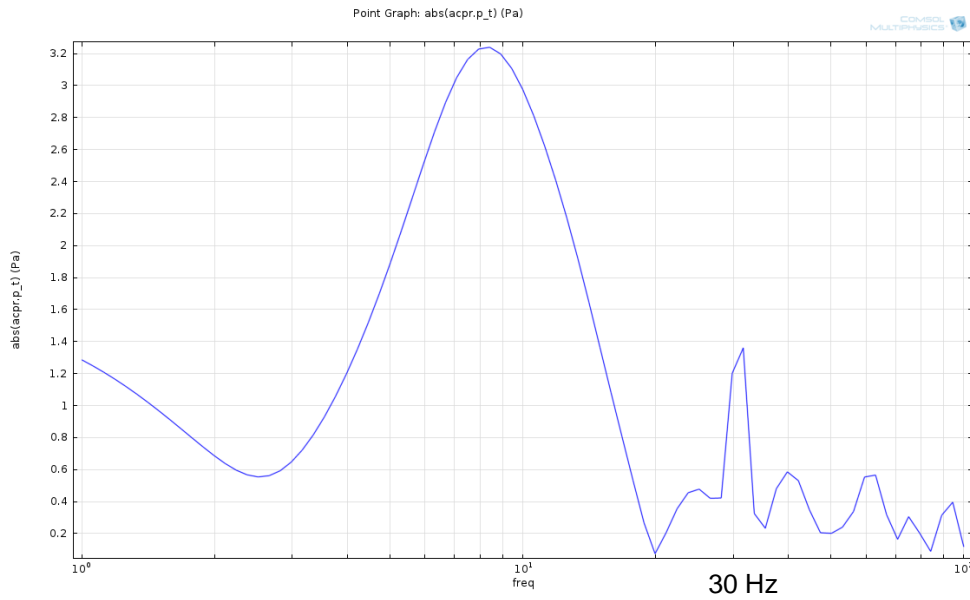
6/9



Figuur 5: Spectrum van de geluiddruk aan de zijkant van de brug, links in Figuur 1.



Figuur 6: Spectrum van de geluiddruk aan de zijkant van de brug, links in Figuur 2.

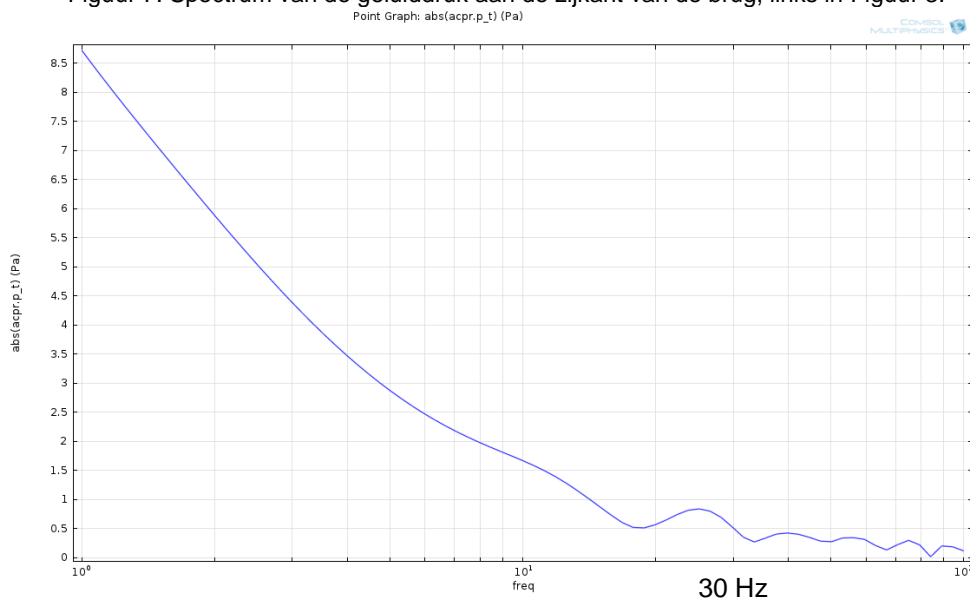


**Datum**  
2 juni 2016

**Onze referentie**  
DHW-TS-2016-0100298352

**Blad**  
7/9

Figuur 7: Spectrum van de geluiddruk aan de zijkant van de brug, links in Figuur 3.



Figuur 8: Spectrum van de geluiddruk aan de zijkant van de brug, links in Figuur 4.

**Datum**

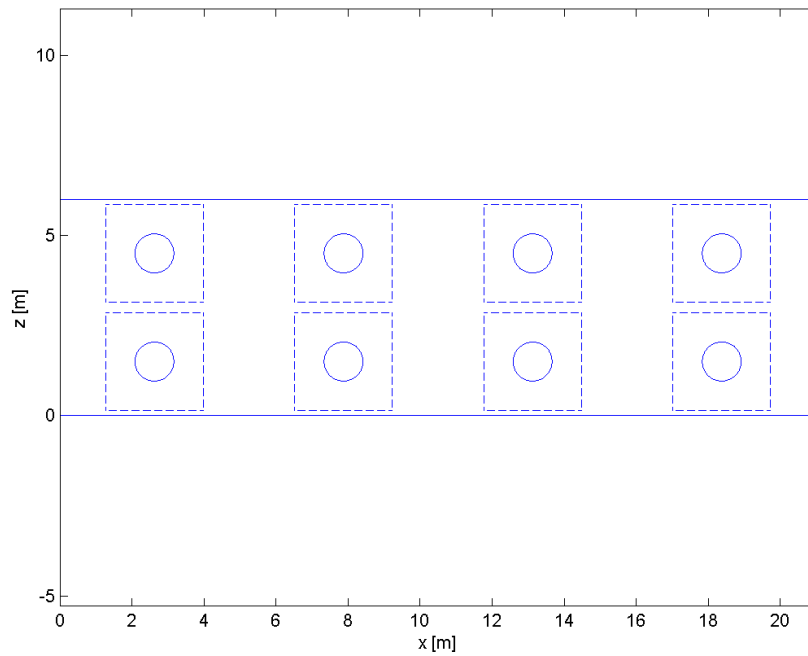
2 juni 2016

**Onze referentie**

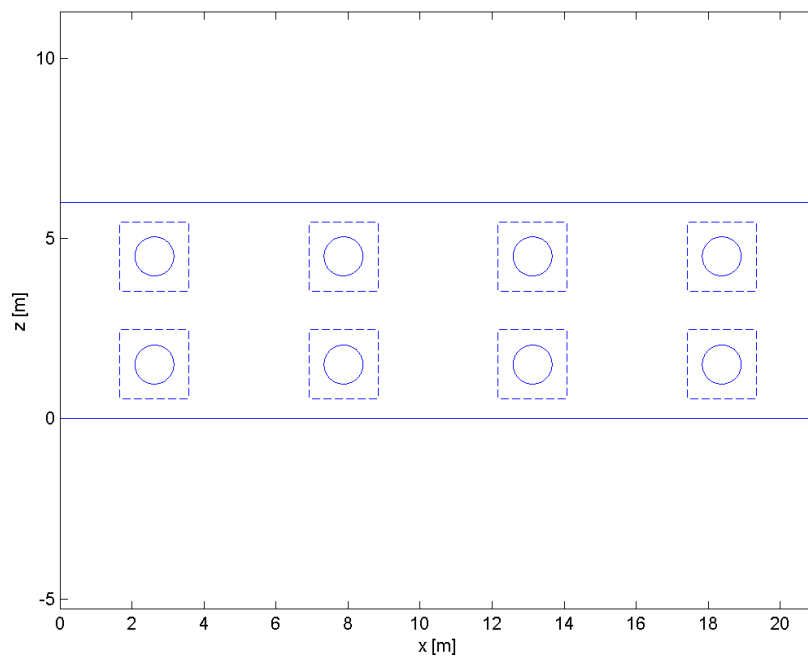
DHW-TS-2016-0100298352

**Blad**

8/9



Figuur 9: Configuratie van resonatoren bij een wand van de brug met een totaal resonatorvolume van 30 m<sup>3</sup> voor absorptie bij nominaal 30 Hz; de diepte van de resonatoren is 0,5 m.



Figuur 10: Als Figuur 9, behalve dat de diepte van de resonatoren 1 m is en de doorsnede is verkleind bij gelijkblijvend volume.



**Datum**

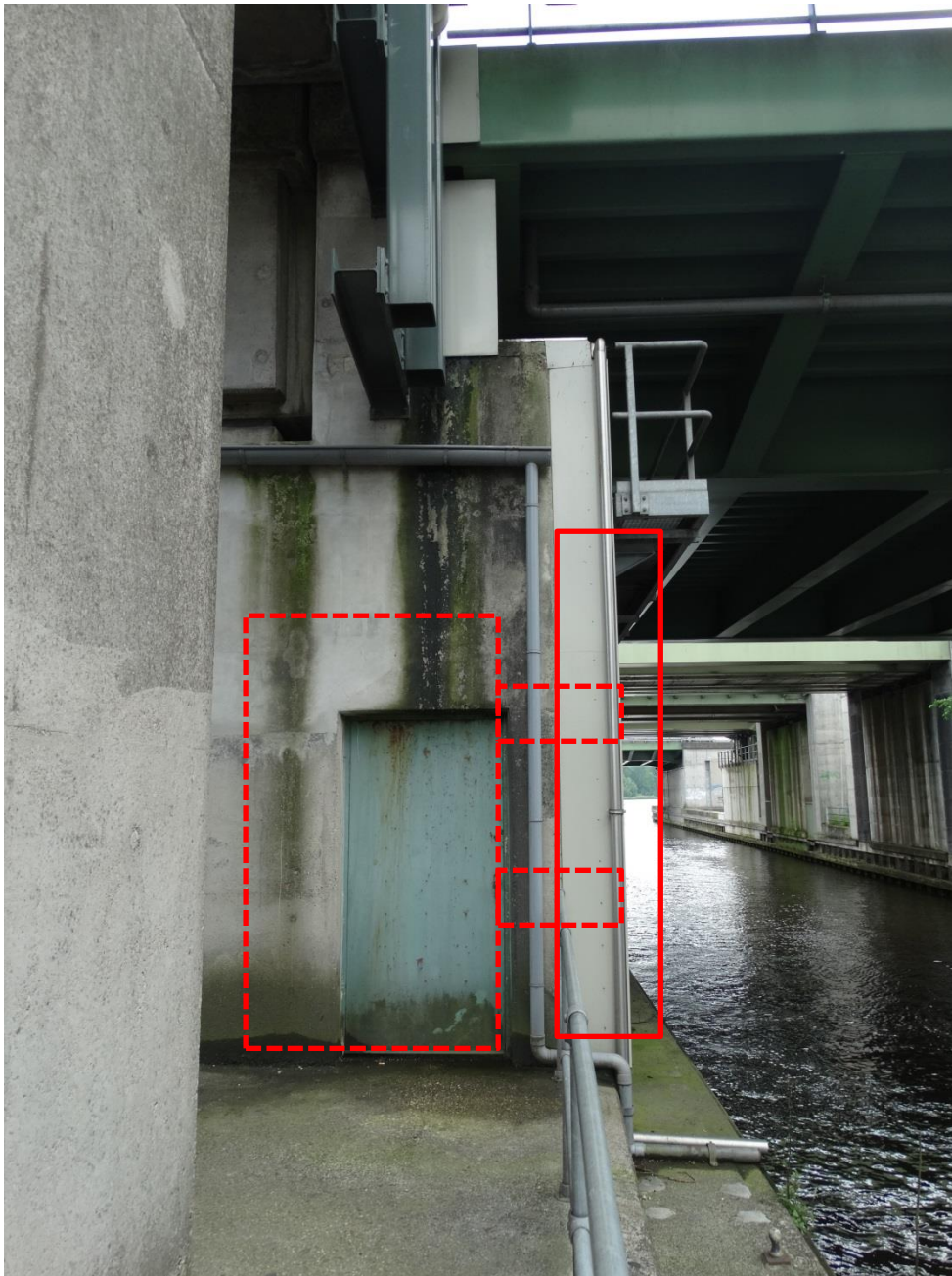
2 juni 2016

**Onze referentie**

DHW-TS-2016-0100298352

**Blad**

9/9



Figuur 11: Mogelijke locaties van de resonatoren achter de wand (gestippelde lijn) of aan de wand aan de oostkant (getrokken lijn).