



Rapport

Laagfrequent geluid en trillingen door halterende touringcars aan de Prins Hendrikkade

Colofon

Opdrachtnemer M+P raadgevende ingenieurs BV

Opdrachtgever

Opdrachtnummer -

Titel Laagfrequent geluid en trillingen door halterende touringcars aan de Prins Hendrikkade

Rapportnummer M+P.DROAM.12.01C.1

Revisie 0

Datum 28 oktober 2015

Aantal pagina's 16

Auteurs ir. E. Nieuwenhuizen
drs. ing. S. N. Hoogzaad

Gezien door ing. M. Burgmeijer

Contactpersoon ir. E. Nieuwenhuizen | 0297-320651 | aalsmeer@mp.nl

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

www.mp.nl | onderdeel van de Müller-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).

Inhoud1	Inleiding	4
2	Situatie	5
3	Toetsingscriteria	7
3.1	Laagfrequent geluid	7
3.2	Trillingen	7
4	Onderzoeksmethode	8
4.1	Laagfrequent geluid	8
4.2	Trillingsmetingen	9
5	Uitvoering en resultaat metingen	10
5.1	Geluidsmetingen	10
5.1.1	Geluidsuitstraling	10
5.1.2	Invoegverlies	11
5.1.3	Beoordeling	12
5.2	Trillingsmetingen	13
6	Bronvermelding	16

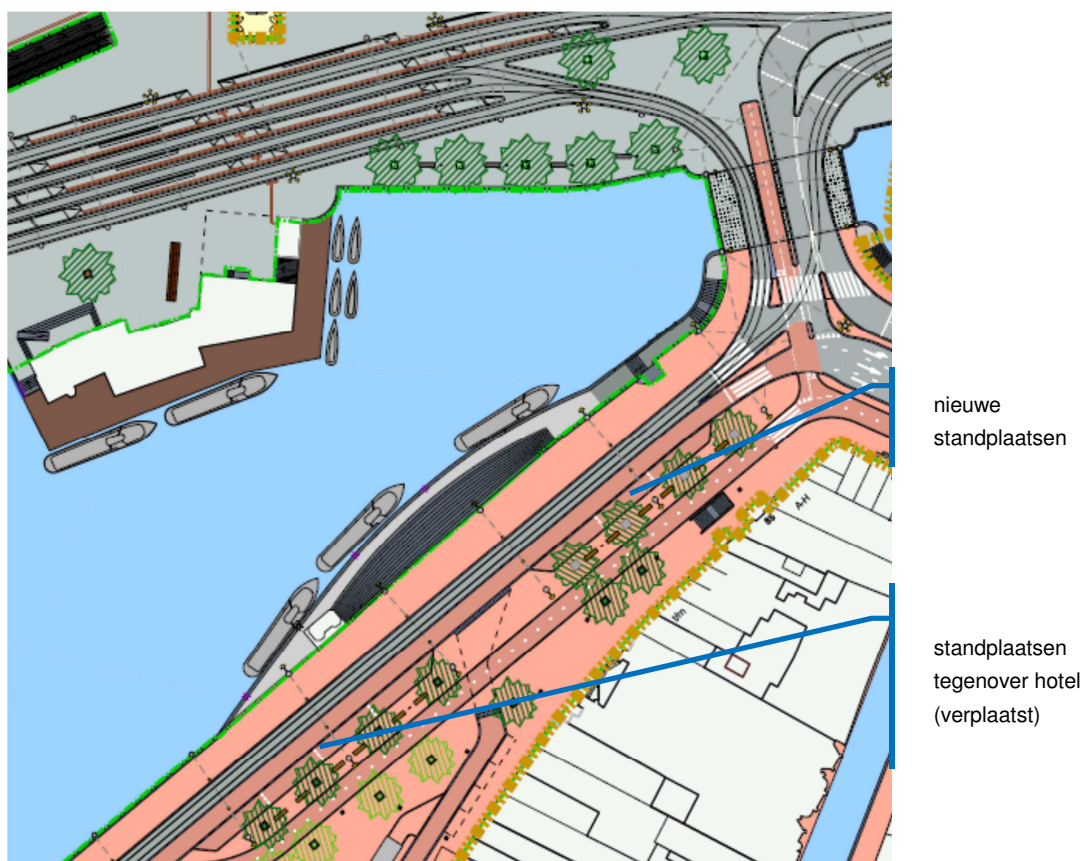
Inleiding

In dit rapport wordt inzicht gegeven in de te verwachten hinder door laagfrequent (LF) geluid en trillingen ten gevolge van halterende touringcars ter hoogte van de Prins Hendrikkade in Amsterdam. Het onderzoek is verricht naar aanleiding van de voorgenomen herinrichting van het stationsgebied en de daarmee samenhangende uitbreiding van de bestaande standplaats ter hoogte van het NH Barbizon Palace Hotel. Het onderzoek is een aanvulling op eerder onderzoek, waarbij 'normaal' wegverkeerslawaaï en luchtkwaliteit in kaart zijn gebracht. De resultaten van dat onderzoek zijn beschreven in onze memo M+P.DROAM1201b van 30 september 2015.

De aanwijzing van de concrete locatie voor de uitvoering en het gebruik wordt geregeld door middel van een verkeersbesluit. Voor het verkeersbesluit is een onderzoek naar de milieueffecten formeel niet nodig. De procedure tot het nemen van het verkeersbesluit wordt gecoördineerd met de procedure voor de wijziging van het bestemmingsplan voor het gebied Prins Hendrikkade. Het voorliggende onderzoek vindt plaats vanuit het oogpunt van een goede ruimtelijke ordening.

2 Situatie

In figuur 1 is de ligging van de nieuwe touringcarstandplaatsen opgenomen. De bestaande standplaats ter hoogte van het NH Barbizon Palace Hotel zal verder van de panden af komen te liggen en worden ingekort. Er komt een tweede, nieuwe standplaats tegenover woningen aan de Prins Hendrikkade 80-88. Deze standplaats komt op ongeveer 18 meter afstand van de woningen af te liggen.



figuur 1 Ligging touringcarstandplaatsen t.h.v. het NH Barbizon Palace Hotel

Omwonenden zijn bezorgd over hinder ten gevolge van laagfrequent (LF) geluid en/of trillingen door bussen die met stationair draaiende voertuigmotor halteren op de nieuwe standplaats. Het is echter de bedoeling dat de chauffeurs hun voertuigmotor uitzetten tijdens het halteren. Daarnaast geldt een maximale haltetijd van 10 minuten per touringcar. De gemeente zal er op toezien dat deze regels worden nageleefd. Om deze redenen is bij het onderzoek naar het effect van het wegverkeerslawaai en luchtkwaliteit alleen rekening gehouden met het aan- en afrijden van voertuigen. Voor het voorliggende onderzoek naar laagfrequent geluid en trillingen is echter uitgegaan van de worst case situatie. Dit houdt in dat is gerekend met voertuigmotoren die onbedoeld stationair draaien.

Tijdens het stationair draaien van een voertuigmotor wordt een dominante toon uitgestraald, waarvan de frequentie evenredig is met het toerental en afhankelijk is van het aantal cilinders en de configuratie van de motor. Bij bussen bedraagt deze frequentie ongeveer 30 Hz. De sterkte van de toon is onder andere afhankelijk van de positie van de motor en de positie en het type uitlaatdemper. De toon kan in nabijgelegen woningen hinder opleveren, vooral indien bij deze frequentie een staande golf in de ruimte optreedt waardoor het geluid plaatselijk wordt versterkt. Het is onwaarschijnlijk dat het stationair draaien van de voertuigmotor leidt tot voelbare trillingen die via de bodem aan de vloeren worden overgedragen. Om dit te verifiëren, zijn naast LF geluidsmetingen, ook trillingsmetingen verricht.

3 Toetsingscriteria

3.1 Laagfrequent geluid

In Nederland bestaat geen wettelijk kader met een bijbehorend normenstelsel voor laagfrequent geluid. Er zijn wel diverse beoordelingssystematieken beschikbaar die voor verschillende doeleinden worden gebruikt. De bekendste zijn die van de NSG [3] en van Vercammen [4]. De NSG curve neemt 'hoorbaarheid' als maatstaf en wordt vaak gebruikt bij het objectiveren van klachten in bestaande situaties. De Vercammen curve is een combinatie van de 20 dB(A) en de 86 dB(G) weegcurves en is gebaseerd op hinderlijkheid. In 2006 heeft de Raad van State geoordeeld dat onaantvaardbare hinder kan worden uitgesloten, indien het laagfrequent geluidsniveau binnenshuis lager is dan de niveaus volgens de Vercammen curve [1]. Ten behoeve van het voorliggende onderzoek worden de berekende geluidsniveaus vergeleken met beide curves. Getoetst wordt aan de Vercammen curve.

Bij "normaal" hoorbaar geluid wordt een eengetalswaarde, het totale A-gewogen geluidsniveau, getoetst aan een grenswaarde. Beoordeling van laagfrequent geluid geschiedt echter voor iedere relevante tertsband afzonderlijk. Bij het voorliggende onderzoek beperken wij ons tot de frequentiebanden tussen 10 en 100 Hz. Bij lagere frequenties dan 10 Hz is de emissie te laag om hinder te veroorzaken. Hogere frequenties dan 100 Hz worden al op representatieve wijze meegenomen bij de beoordeling van 'normaal' geluid. In tabel I zijn beide curven in het onderzochte frequentiebereik gegeven.

tabel I *toetsingscurves laagfrequent geluid*

frequentie [Hz]	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100
Vercammen curve [dB]	82	77	70	65	59	55	50	46	42	39
NSG referentiecurve [dB]*	87,5	83,5	74	62	55	46	39	33	27	22

* de NSG curve loopt van 20 Hz; waarden bij lagere frequenties zijn op analoge wijze bepaald, namelijk de 90% overschrijdingslimiet van de gehoordrempel van ouderen.

3.2 Trillingen

Trillingen in woningen worden beoordeeld conform de SBR richtlijn deel B, *Hinder voor personen in gebouwen, meet- en beoordelingsrichtlijn* [5]. De hinder moet worden gemeten in het midden van een vloerveld. Echter in de situatie hier, kunnen de afzonderlijke trillingsbronnen vanwege het overige wegverkeer, trams, metro's en treinen niet worden onderscheiden van de halterende touringcars.

De verwachting is dat stilstaande touringcars geen invloed hebben op het aanwezige trillingsniveau van de bodem. Daarom is gemeten direct naast de touringcars om te bepalen of dit een juiste aanname is.

4 Onderzoeksmethode

Op 22 oktober 2015 zijn van 15:30 uur tot 19:30 uur geluids- en trillingsmetingen verricht. In de volgende twee paragrafen wordt de gehanteerde aanpak toegelicht.

4.1 Laagfrequent geluid

Om de huidige laagfrequente geluidsuitstraling door stationair draaiende bussen te bepalen, zijn metingen uitgevoerd ter hoogte van Prins Hendrikkade 72. Dit pand is gelegen tegenover de huidige standplaats voor touringcars. De afstand tussen de meetlocatie en deze bestaande standplaats is hier 20 meter. De nieuwe standplaats komt op ongeveer 18 meter afstand van de woningen aan de Prins Hendrikkade 80-88 te liggen. Voor dit verschil in afstand is rekenkundig gecorrigeerd. De metingen zijn verricht op de gevel van het pand. Het invallende geluid is berekend door een aftrek van 6 dB te hanteren (amplitudeverdubbeling).

Het beoordelen van laagfrequent geluid vindt in tegenstelling tot 'normaal' hoorbaar geluid niet op de gevel, maar binnenshuis plaats. De vertaling van het geluidsniveau dat buiten de woning heerst naar een binnenniveau is bij LF geluid gecompliceerd. Dit wordt vooral veroorzaakt door het al dan niet aanstoten van resonanties. Dit kunnen mechanische resonanties zijn van constructie-elementen en ruimteres resonanties (staande golven), die afhankelijk zijn van de afmetingen van en de positie in die ruimte. Om meer inzicht te krijgen in het LF invoegverlies van de gevels, is één van de woningen meettechnisch onderzocht. De metingen zijn verricht op de gevel en op vier posities in de woonkamer van Prins Hendrikkade 80F.

De volgende posities zijn gekozen:

- in de keuken
- bij de eettafel
- in de zithoek
- in de rechter hoek van de kamer

Het invoegverlies is berekend uit het verschil tussen binnen- en buitenniveau tijdens normale verkeerspassages over de Prins Hendrikkade. Hiertoe zijn de inpandig gemeten waarden rekenkundig gemiddeld over de vier meetposities. Het op de gevel invallende geluid is bepaald door 6 dB af te trekken van het geluidsniveau dat op de gevel is gemeten.

Omdat de resultaten afhankelijk zijn van de betreffende ruimte en het niet mogelijk is om alle ruimtes te onderwerpen aan metingen, is het gemeten invoegverlies (buiten- minus binnenniveau) vergeleken met literatuurgegevens. Van het invoegverlies van gevels in het laagfrequente deel van het spectrum is relatief weinig bekend. Hiervoor kan het best worden aangesloten bij onderzoek van Hoffmeyer en Jakobsen [2] dat is verricht aan Deense woningen, waaronder woningen met houten en met steenachtige gevelopbouw. Ongeveer 90% van de onderzochte woningen beschikt over een invoegverlies dat beter is dan de gegeven spectra. Het spectrum is weergegeven in tabel II.

tabel II invoegverlies gevel bij lage frequenties

frequentie [Hz]	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100
Hoffmeyer/Jakobsen [dB]	3	2	4	5	8	8	10	14	17	18

De geluidsmetingen zijn verricht met tertsbandanalyzers van het merk RION, type NA-27 en NA-28. De apparatuur is voor en na de metingen gekalibreerd.

4.2 Trillingsmetingen

De voertuigmotor kan trillingen veroorzaken die via de bodem en de fundering van de panden worden overgedragen aan de vloerdelen. Dit kan in theorie leiden tot voelbare trillingen. Om dit effect in kaart te brengen zijn trillingsmetingen verricht op 12 meter afstand van touringcars met stationair draaiende motor. Deze metingen zijn steeds vergeleken met een “nul meting”, waarbij op dezelfde locatie is gemeten met de motor uitgeschakeld of juist voor- of na vertrek van de bus.

De metingen zijn verricht met een RION NA-28 voorzien van een PV-87 versnellingsopnemer. De opnemer is gekoppeld aan een trilplaat. Deze trilplaat is een zware plaat staal met drie puntcontacten. Deze opstelling is geschikt voor metingen tot circa 100 Hz. De gemeten versnellingen zijn omgerekend naar snelheden.

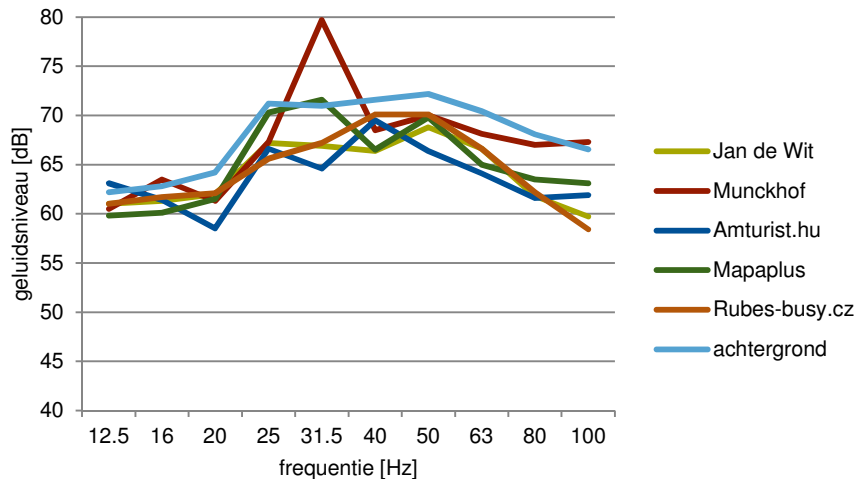
5 Uitvoering en resultaat metingen

Op 22 november 2015 zijn geluids- en trillingsmetingen uitgevoerd aan touringcars geparkeerd langs de Prins Hendrik kade, ter hoogte van de Basiliek van de H. Nicolaas. De resultaten van beide metingen worden hieronder besproken.

5.1 Geluidsmetingen

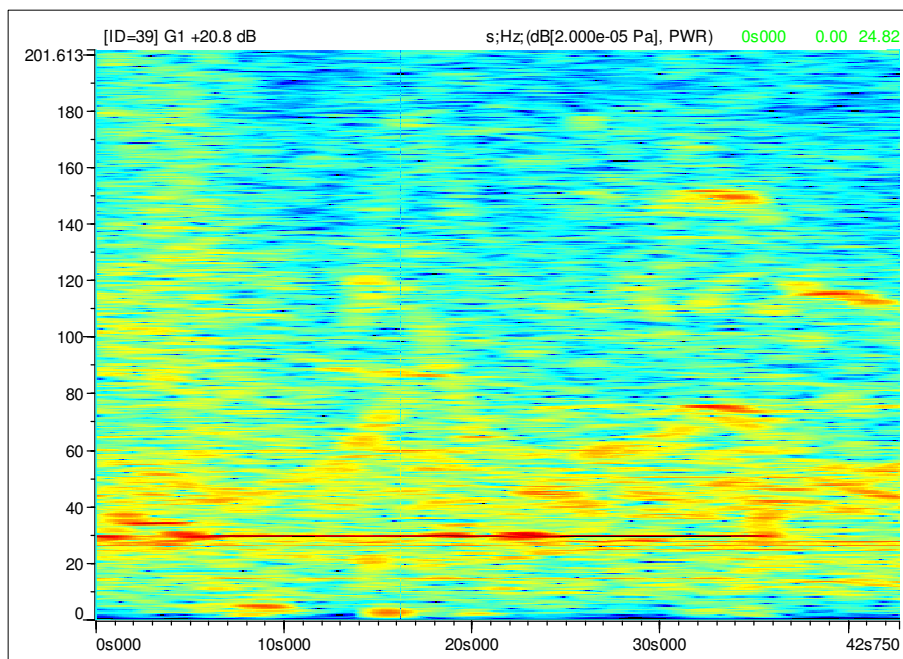
5.1.1 Geluidsuitstraling

Tijdens de meetperiode werd de standplaats bezocht door een twintigtal bussen. Voor 17:00 uur werd de voertuigmotor steeds direct na aankomst uitgeschakeld. Na 17:00 uur was dat niet altijd het geval. Bij veel bussen is het stationair draaien van de voertuigmotor op 20 meter afstand niet waarneembaar door het relatief hoge achtergrondgeluidsniveau. In figuur 2 worden de LF spectra van vijf touringcars vergeleken met het niveau van het achtergrondgeluid. De spectra van de touringcars zijn zoveel mogelijk bepaald op rustige momenten. Dit kon echter niet voorkomen dat stoorgeluid, vooral de hogere frequenties, dominant was. In één geval ('Munckhof') is er wel sprake van een duidelijke piek in de 31,5 Hz tertsband, die veroorzaakt wordt door de stationair draaiende voertuigmotor. Deze piek beschouwen we als maatgevend en gebruiken we bij de navolgende analyse.



figuur 2 *gemeten geluidsspectra op 20 meter afstand van stationair draaiende touringcars(incl. stoorgeluid), vergeleken met het gemiddelde achtergrondgeluidsniveau; de meetwaarden zijn inclusief gevelreflectie*

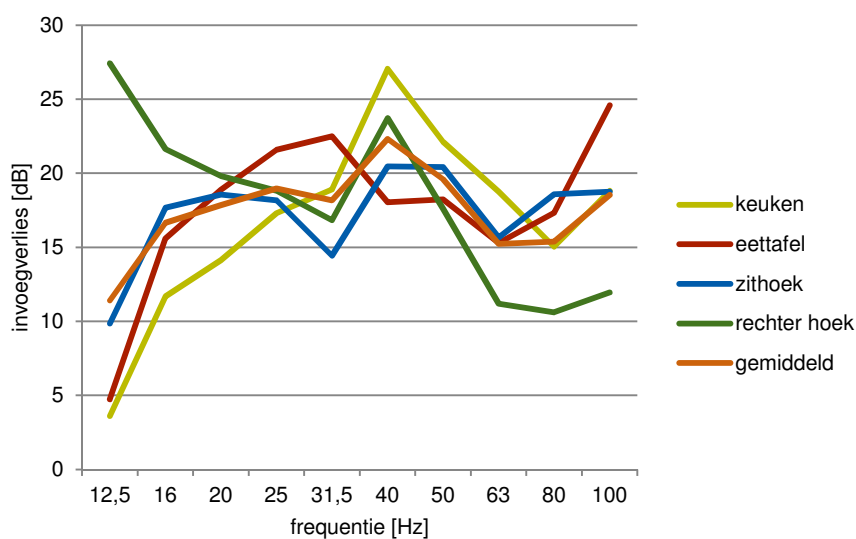
In figuur 3 wordt een smalbandanalyse gegeven van het geluidsfragment 'Muckhof'. Hieruit blijkt dat de exacte frequentie 30 Hz bedraagt. Het moment waarop de voertuigmotor wordt uitgeschakeld, is duidelijk zichtbaar.



figuur 3 *smalbandspectrum van de touringcar Munckhof; geluidspiek bij 30 Hz duidelijk zichtbaar; de tijd wordt op de x-as weergegeven, de frequentie op de y-as*

5.1.2 Invoegverlies

In figuur 4 wordt het gemeten invoegverlies voor de woonkamer van Prins Hendrikkade 80F weergegeven. Bij de berekening is rekening gehouden met een aftrek van 6 dB in verband met reflecties in de gevel.



figuur 4 *gemeten invoegverlies*

In tabel III wordt het gemiddelde invoegverlies vergeleken met de waarden volgens de systematiek Hoffmeyer/Jakobsen. Het blijkt dat de gemeten waarden relatief hoog zijn. Bij de beoordeling moet er rekening mee worden gehouden dat er aan de Prins Hendrikkade ruimtes zijn waarvoor geldt dat het invoegverlies circa 10 dB lager is.

tabel III *gemeten invoegverlies gevel bij lage frequenties*

frequentie [Hz]	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100
Hoffmeyer/Jakobsen [dB]	3	2	4	5	8	8	10	14	17	18
gemeten [dB]	11	17	18	19	18	22	20	15	15	19

5.1.3 Beoordeling

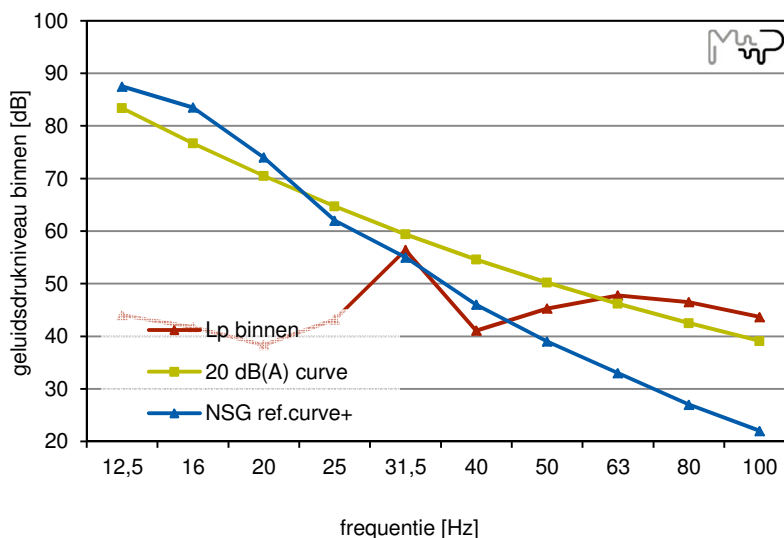
Op basis van de informatie in de twee voorgaande paragrafen is het LF geluidsniveau binnenshuis berekend. De berekende waarden worden weergegeven in tabel IV en in figuur 5 vergeleken met de beoordelingscurves. Het blijkt dat de 31,5 Hz piek tussen de NSG curve en de Vercammen in ligt. Dit betekent dat de Muckhof touring in de gemeten ruimte wel waarneembaar maar volgens de systematiek Vercammen niet hinderlijk is. Dat de frequentiebanden hoger dan 50 Hz boven de Vercammen curve uitstijgen heeft geen betekenis. Dit betreft stoorgeluid dat bij de bronbepaling onvermijdelijk is meegenomen.

tabel IV *beoordeling LF geluid in de woning*

tertsband [Hz]		12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100
geluidsdrukniveau Lp	[dB]	61	64	61	67	80	69	70	68	67	67
ΔD_{geo}	[dB]	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
gevelreflectie	[dB]	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
ΔL buiten-binnen (invoegverlies)	[dB]	11	17	18	19	18	22	20	15	15	19
Lp binnen	[dB]	44	42	38	43	56	41	45	48	47	44

figuur 5

vergelijking met de Vercammen curve



Bij 31,5 Hz is de marge ten opzichte van de Vercammen curve 'slechts' 3 dB. We moeten er van uit gaan dat andere ruimtes van woningen aan de Prins Hendrikkade bij 31,5 Hz een lager invoegverlies hebben dan de woning waarin de metingen zijn verricht. Dit geldt vooral bij vertrekken waarbij de afstand tussen twee wanden ongeveer 5 meter bedraagt. Bij dergelijk afstanden zullen staande golven optreden die resulteren in een dip in het invoegverlies. Om in die vertrekken hinder te voorkomen, is het zinvol om het verbod op het halteren met draaiende voertuigmotor te handhaven.

5.2

Trillingsmetingen

Er zijn negen verschromingen verricht aan een situatie met stationair draaiende motor en een "nul-situatie" waarbij op dezelfde locatie is gemeten, maar dan met de motor uitgeschakeld of zonder touringcar. De resultaten zijn weergegeven in tabel V.

tabel V

verschil tussen de situatie met stationair draaiende motor van een touringcar en zonder

frequentie [Hz]	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100
verschil [dB]	0,2	0,2	-0,7	-1,4	-0,7	-1,3	-0,7	-0,9	-0,5	0,0
95% betrouwbaarheidsinterval [dB]	4	4	3	3	4	3	3	3	2	3

Uit de metingen blijkt dat er geen verband te vinden is tussen het trillingsniveau op het maaiveld en de stationair draaiende touringcars. Uit tabel V zijn de meetresultaten opgenomen van het trillingsniveau op 12 meter afstand van die touringcar. De gemeten niveaus worden gedomineerd door passerende voertuigen over de Prins Hendrikkade en voetgangers op het trottoir.

Om mogelijke hinder te toetsen is het gemeten snelheidsspectrum, dat in werkelijkheid wordt bepaald door stoorbronnen, toegeschreven aan de stationair draaiende bussen. Hierbij is gemiddeld over de $2 \times 9 = 18$ metingen met en zonder stationair draaiende motor, omdat de aanwezigheid ervan geen meetbare invloed heeft op het resultaat. De verkregen niveaus zijn weergegeven in tabel VI.

tabel VI

gemiddeld gemeten absoluut trillingsniveau op 12 meter afstand van een touringcar

	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100
gemiddeld trillingsniveau [mm/s]	0,003	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001

Zelfs indien geen rekening wordt gehouden met extra demping door de bodem (van 12 naar 18 meter) en de overgangsverzwakking van bodem naar fundering en daarnaast voor de opslingering van vloeren een factor van 10 wordt aangehouden, zijn de absolute trillingsniveaus zeer laag.

Conform SBR richtlijn deel B(hinder personen) begint enige mate van hinder bij 0,2 mm/sec. De gemeten snelheden liggen vele orde groottes lager zoals blijkt uit tabel VI. Trillingshinder via de bodem door de aanwezigheid van de touringcars kan daarom worden uitgesloten.

6 Conclusie

Naar aanleiding van het onderzoek naar LF geluid en trillingen door de nieuwe touringcar standplaats aan de Prins Hendrikkade kan het volgende worden geconcludeerd:

- De emissie van laagfrequent geluid door halterende bussen verschilt sterk per bus. De touringcar die tijdens de metingen op 22-10-2015 het meeste laagfrequent geluid uitstraalde, was circa 10 dB luider dan andere bussen.
- Wanneer de maatgevende bus ('Muckhof') op de nieuwe standplaats tegenover Prins Hendrikkade 80-88 met stationair draaiende motor staat te wachten, zijn de LF tertsbandniveaus in de woonruimte van huisnummer 80F lager dan de 20 dB(A) waarden. Dit betekent dat volgens de systematiek 'Vercammen' geen onacceptabele hinder door laagfrequent geluid zal worden veroorzaakt.
- Gezien de relatief kleine marge ten opzichte van de 20 dB(A) curve en de doorgaans grote verschillen in invoegverlies tussen verschillende ruimtes, kan echter niet worden uitgesloten dat de Vercammen curve in andere ruimtes wel wordt overschreden. Om in die vertrekken hinder te voorkomen, is het zinvol om er op toe te zien dat de voertuigmotor direct na aankomst op de standplaats wordt uitgeschakeld.
- Het stationair draaien van de voertuigmotor op de nieuwe standplaatsen zal niet leiden tot trillingshinder via de bodem.

7 **Bronvermelding**

- [1] ABRvS, zaaknummer 200509380/1, 13 december 2006;
- [2] Hoffmeyer,D.,Jakobsen, J. Sound insulation of dwellings at low frequencies, J. of LFN, Vib and Active control, p:15-23,22-03-2010;
- [3] NSG richtlijn laagfrequent geluid, NSG, 1999;
- [4] Vercammen, M. L. S., Low-Frequency Noise Limits, J. of LFN and Vib 11 (1), p 7-13, 1992.
- [5] SBR deel B, Hinder voor personen in gebouwen, meet- en beoordelingsrichtlijn, augustus 2002;