

## **EEN SPECIALE VORM VAN LAWAAIBESTRIJDING**

dr. Ronald M. Aarts 1), ir. H. Greten 2), ing. P. Swarte 3)

1) Philips Nat.Lab. 2) Greten Raadgevende Ingenieurs 3) P.A.S. Electro-acoustics

---

### **A SPECIAL FORM OF NOISE REDUCTION**

Popmusic reproduction or reinforcement in disco's or poppodia on a very high sound pressure level is highly appreciated by the so called target group. For the neighbours, this can be very annoying, especially when these music sessions take place during the night. A poor sound insulation creates an inadmissible sound immission level in e.g. bedrooms. Noise reduction methods of a constructional nature are in most cases very expensive.

Two methods of active noise reduction are tried out in the sound system of a popplatform in Bergen op Zoom in Holland: one by 'anti-sound' and the other is based on the phenomenon of the missing fundamental. Both experiments with the results are discussed in the paper below. The latter is called 'dormant Bass' (dB).

---

Muziek weergave op hoge geluidsniveaus wordt door de doelgroep vaak geapprecieerd, maar voor anderen kan dit zeer storend zijn. De geluidsisolatie tussen belendende percelen of zelfs percelen op enige afstand is vaak onvoldoende. Bouwkundige oplossingen om het lawaai niveau te verminderen zijn vaak kostbaar en ingrijpend.

Een alternatieve methode is gebruik te maken van actieve lawaai bestrijding. Twee verschillende methodes zullen besproken worden die bij een discotheek/poppodium in Bergen op Zoom zijn toegepast. De eerste methode maakt gebruik van 'anti-geluid', de tweede methode is gebaseerd op een nieuwe vorm van lawaai bestrijding die 'dormant Bass' is genoemd.

Dormant Bass is gebaseerd op de 'ontbrekende fundamentele frequentie' bekend uit de psychoakoestiek. Als een toon uit een signaal wordt weggefilterd en vervangen door een tooncomplex bestaande uit harmonische frequenties van die toon, dan wordt dit tooncomplex toch waargenomen met de toonhoogte behorende bij de weggefilterde toon.

### **1 INLEIDING**

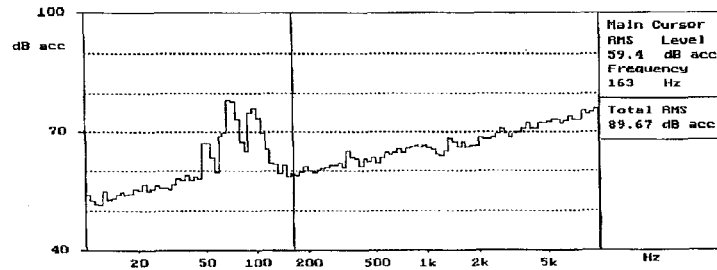
In de horeca- en entertainmentwereld worden hoge muziekniveaus zeer gewaardeerd. De geluidsisolatie tussen belendende percelen of zelfs percelen op afstand laat in nogal wat gevallen veel te wensen over. Soms volgt het storend geluid onvoorspelbare wegen. Bouwkundige oplossingen zijn vaak zeer kostbaar. Men wil hier vaak niet in investeren omdat dit te grote offers vraagt. Het gevolg is dat de Milieuwetshandhaver moet ingrijpen en tot proces-verbaal moet overgaan met eventuele sluiting als gevolg.

Het muzieksysteem in de zaal van een discotheek/poppodium in Bergen op Zoom produceert een geluidniveau dat zowel door de bezoekers als door de DJ en uitvoerenden als 'lekker' wordt ervaren. Met 'lekker' wordt bedoeld een zodanig niveau dat de percep-

tie in termen van horen en voelen van de muziek juist is. De geluidsniveaus liggen tussen de 100 dB en 120 dB. Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat dit soort niveaus absoluut gehoorbeschadigend zijn; zeker bij een langere belastingduur.

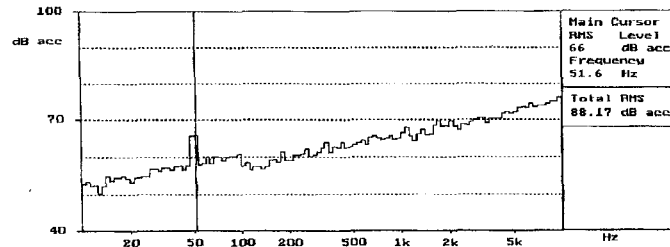
Deze niveaus produceerden in de tegenoverliggende woningen een irritatie die nog versterkt werd door het onderbroken karakter; temeer omdat de omgeving zeer rustig is. De irritatie ontstaat door het ritmisch 'gebonk' dat in de woningen doordringt en tevens het tijdstip in de (late) avonduren.

Het irritante 'gebonk' speelde zich in deze situatie af in het frequentiegebied ruwweg tussen de 50 Hz en 100 Hz. Daaronder en daarboven is geen storende overdracht gegaan.



**Figuur 1** Excitatie meting op de vloer van de woonkamer (dB t.o.v.  $1 \mu\text{m}/\text{sec}^2$ ; dit geldt voor alle excitatie metingen in dit artikel).

Het luchtgeluidniveau in de zaal bedraagt 112 dB SPL. De excitatie bij 50 Hz is continu en het gevolg van een fabriek in de buurt van de woning. Hierover zijn nooit klachten geweest. Figuur 2 toont eenzelfde meting van het achtergrondspectrum.



**Figuur 2** Achtergrondspectrum.

De metingen zijn gedaan op basis van excitatie metingen. De overlast werd nauwelijks veroorzaakt door luchtgeluid maar hoofdzakelijk door geluidgeleiding via de bodem.

Hoe dit mogelijk was, is niet duidelijk geworden, waardoor een bouwkundige aanpak erg duur zou uitvallen, met grote onzekerheid over het succes daarvan.

Het idee ontstond om maar het hele storende frequentiegebied uit het audiospectrum van de muziekinstallatie te filteren. Vanuit muzikaal standpunt gezien is dit ontoelaatbaar.

Er zijn twee methodes van aanpak gevolgd. De eerste was gebruik te maken van antigeluid met het doel de vloer- en wandtrillingen tot een minimum te beperken. De verwachting was dat hiermee ook de transmissie van het stoorgeluid gereduceerd zou worden.

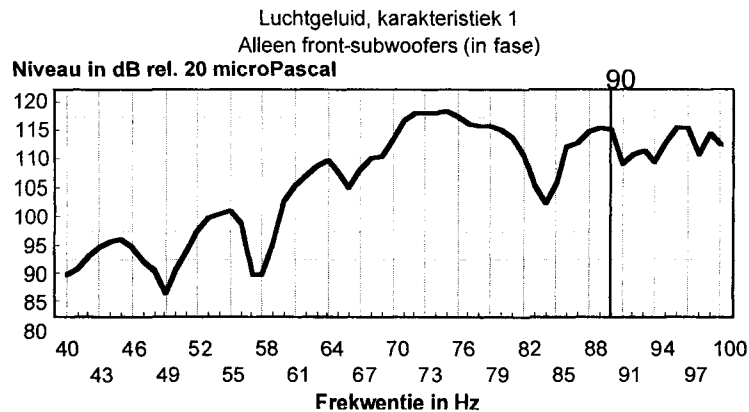
De tweede methode die gevolgd werd, berust op het principe van de ontbrekende grondtoon waarbij de toonhoogte waarneming niet verstoord wordt.

Beide methodes tezamen met de resultaten en conclusies zullen in de volgende hoofdstukken beschreven worden (resp. hoofdstukken 2 en 3). In de epilogo (hoofdstuk 4) worden beide mogelijkheden bediscussieerd.

## 2 ANTIGELUID

De gedachte aan antigeluid kwam al converserend met het bedienend personeel van het poppodium op. Men had geëxperimenteerd met een fase draaiing van het audiosignaal dat werd toegevoerd aan 2 sub-woofers, de luidsprekers die de (re-)productie van signalen met frequenties lager dan 150 Hz verzorgen. Men kreeg de indruk dat dit enig soelaas bracht.

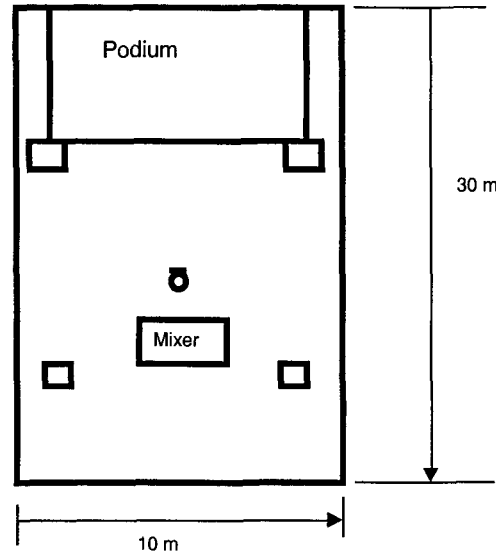
Het staande golf patroon in de zaal werd daardoor wel degelijk beïnvloed. Dit was voor de bezoekers geen probleem. De overdrachtskarakteristiek is toch al zeer plaatsafhankelijk. Figuur 3 toont een dergelijk verloop op een willekeurige plaats in de zaal.



Figuur 3 Luchtgeluid karakteristiek op een willekeurige plaats in de zaal.

Het plaatsafhankelijke gedrag van de luchtgeluidoverdracht in de zaal leidde tot de gedachte compensatieluidsprekers te plaatsen die hetzelfde signaal als de subwoofers toegevoerd zouden krijgen maar zodanig in fase gedraaid dat de vloer- en wandtrillingen sterk gereduceerd zouden worden.

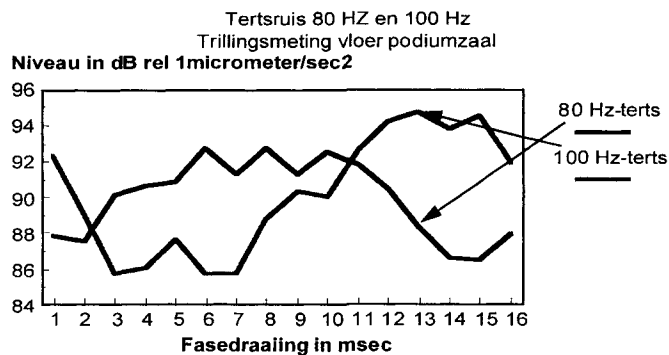
De metingen zijn verder gedaan met rose ruis. Omdat de problemen voornamelijk in de tertsen van 80 en 100 Hz lagen, zijn de experimenten dan ook in deze tertsbanden uitgevoerd. Voor iedere tertsband werd een aparte luidspreker toegepast. De opstelling is als in figuur 4 is aangegeven. Iedere luidspreker werd op hetzelfde luchtgeluidniveau afgeregeld.



**Figuur 4** Posities van luidsprekers en meetmicrofoon.

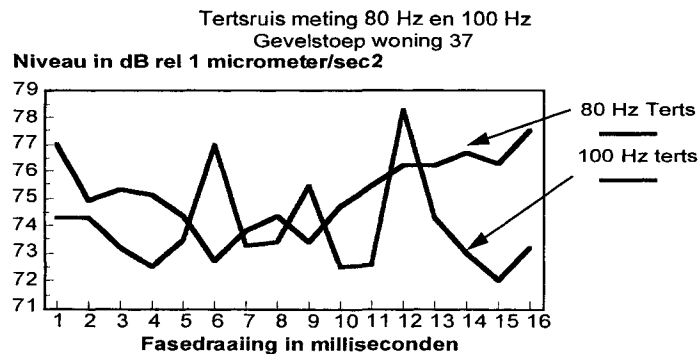
De beide vierkantjes bij de hoekpunten van het podium geven de plaatsing van de subwoofers aan, terwijl de vierkanten ter hoogte van de mixer de compensatieluidsprekerplaatsen aangeven. Het microfoonteken geeft de positie van de meetmicrofoon aan.

De resultaten van deze opstelling zijn weergegeven in figuur 5. De compensatieluidsprekers verzorgden ieder voor zich één tertsband. De fasedraaiing is opgegeven in milliseconden vertraging ten opzichte van de subwoofers. De metingen representeren de respectievelijke excitatieniveaus van de zaalvloer ter plaatse van de meetmicrofoon. Deze plaats is arbitrair, echter er moest een begin gemaakt worden.



**Figuur 5** Trillingsmeting op de vloer van de zaal als functie van de fasedraaiing in de tertsen van 80 en 100 Hz.

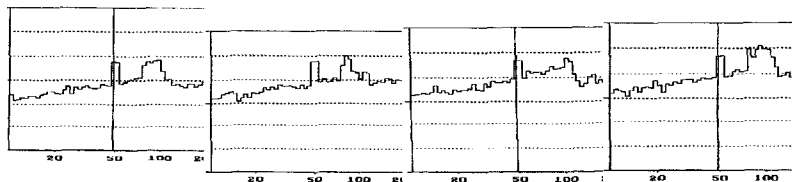
De resultaten uit figuur 5 gaven hoop dat er een reductie van het excitatieniveau haalbaar zou zijn van meer dan 6 dB. Omdat het niet mogelijk was voortdurend metingen te verrichten in de woningen, zijn de experimenten gestart door op de stoepen voor de woningen te meten om te bezien of de ontwikkelde methode daadwerkelijk tot resultaten zou leiden. Figuur 6 toont een set krommen.



**Figuur 6** Resultaten van de proefopstelling uit figuur 4.

De meetresultaten uit figuur 6 gaven aanleiding om de haalbaarheid te toetsen in de woningen. Wel moet vermeld worden dat de meting in het 100 Hz terters zorgen baarde.

Het karakter leek nogal willekeurig te zijn. De metingen in figuur 7 geven de resultaten weer van de metingen in de woningen.



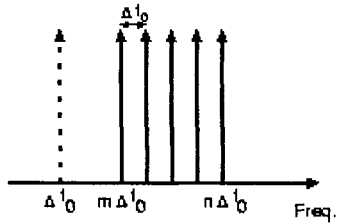
**Figuur 7** Excitatiemetingen op de woonkamervloer in één van de huizen. De plaatjes zijn t.o.v. elkaar verschoven om de niveausverschillen te compenseren.

Het meest rechtse resultaat in figuur 7 geeft de indruk dat in deze omgeving het principe van antigeluid geen soelaas biedt. Latere metingen hebben dit bevestigd. De transmissie door de bodem vanuit de zaal naar de vloer van de woonkamers wordt beheerst door een aantal onbekende factoren. De veranderende bodemgesteldheid door weersinvloeden speelde zeker een rol. Ook zal de aanstoting van de muren en het plafond van de zaal een rol spelen in de overdracht naar de bodem en dus naar de woningen.

De bewoners vertelden voorts dat er zich geruime tijd geleden een bodemverzakking in de straat had voorgedaan en dat bij verbouwingswerkzaamheden gestoten was op zich in de bodem bevindende objecten. Een onderzoek naar gegevens over riolen, gewelven e.d. (de gebouwen waarin het poppodium is ondergebracht stammen van vlak na de 80-jarige oorlog) in de gemeentearchieven leverde niets op. De aanpak van de problemen d.m.v. antigeluid werd verlaten wegens de kosten en de tijd.

### **3 DE TOEPASSING VAN HET PRINCIPE VAN DE 'ONTBREKENDE GRONDTOON' ALS DORMANT BASS (dB)**

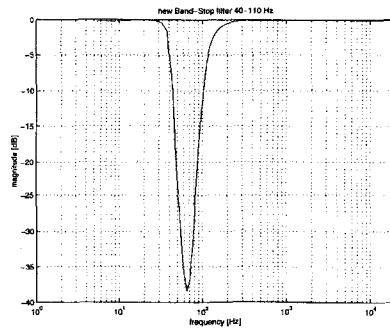
Het concept van de "dB" processor is gebaseerd op het principe van de ontbrekende grondtoon (missing fundamental), hetgeen als volgt omschreven kan worden. De waargenomen toonhoogte (Eng. 'pitch') van een signaal dat bestaat uit een fundamentele frequentie  $\Delta f_0$  en zijn harmonischen, zal hetzelfde zijn als wanneer deze fundamentele frequentie wordt weggefilterd. Figuur 8 geeft een voorbeeld van een samengesteld signaal, waarvan de grondtoon gestippeld is weergegeven.



**Figuur 8** De ontbrekende grondtoon. De waargenomen toonhoogte van een samengesteld signaal verandert niet wanneer de fundamentele grondtoon wordt weggefilterd.

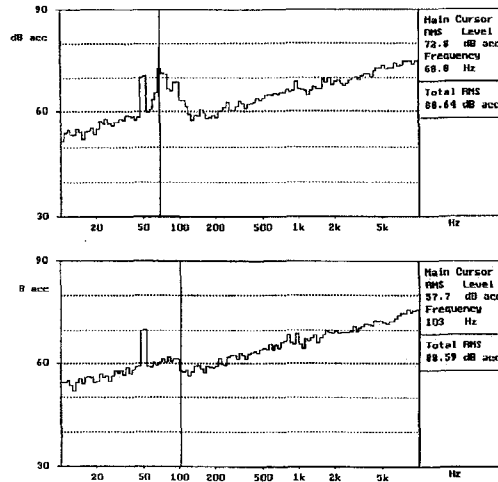
Het inkomende signaal wordt in twee parallelle takken gesplitst. In de eerste tak is een stijl bandsperfilter (zie fig. 9) opgenomen dat de storende frequenties wegfiltert. In de tweede tak zit een filter dat complementair is aan dat van figuur 9 dat die tonen doorlaat die niet weergegeven mogen worden, zij worden vervolgens door de 'dB' via een niet lineaire signaalbewerkingsoperatie, naar een serie boventonen met dezelfde amplitude als de oorspronkelijke weggefilterde grondtoon vertaald (indien deze boventonen in de weer te geven muziek al aanwezig zijn vallen zij gewoon samen met de synthetisch gevormde boventonen). Vervolgens worden de uitgangsignalen van deze beide parallelle takken opgeteld. Op deze wijze kan een luisteraar de toonhoogte van de weggefilterde grondtoon door het principe van de ontbrekende grondtoon toch waarnemen, ondanks het feit dat deze grondtoon akoestisch niet aanwezig is en daarom ook niet storend zal zijn. De boventonen zelf worden namelijk voldoende gedempt door het transmissiepad naar de gehinderden, terwijl het horen van het programmamateriaal, live of 'ingeblikt', voor de luisteraars in het poppodium hersteld is.

Dit proces wordt alleen gevolgd voor de weggefilterde frequenties. Het frequentiegebied daaronder (dus de frequenties kleiner dan 50 Hz) wordt onaangetast weergegeven zodat het 'voelen' van de muziek behouden kan blijven. Deze allerlaagste tonen vormen in de gegeven situatie geen overlast. De instelling van het filter van het 'dB'-apparaat is weergegeven in figuur 9. Het is een zeer steil bandsperfilter.



**Figuur 9** Bandsperfilter van de 'dormant Bass'.

Door deze maatregel was de storing in de woningen verdwenen hetgeen weergegeven wordt in figuur 10.

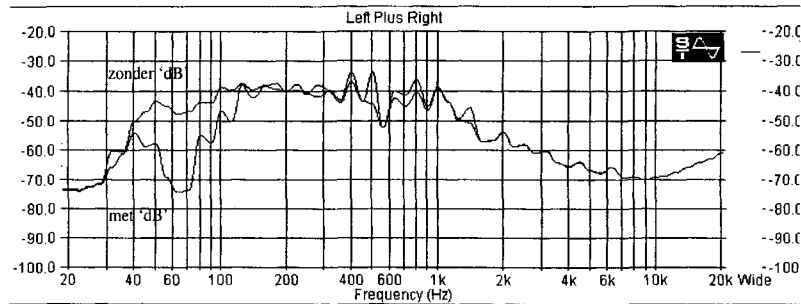


**Figuur 10** Excitatiepectra van vóór en na de toepassing van het 'dormant Bass'-apparaat.

Het spectrum bij toepassing van 'dB' is juist weer het achtergrond spectrum. Figuur 11 laat het spectrum zien van hetzelfde muziekfragment met en zonder 'dB'. Het 'gat' in het



spectrum is duidelijk waarneembaar. Gehoormatig moet men moeite doen om het verschil te horen.



Figuur 11 Spectrum (long term) van hetzelfde muziekfragment met en zonder 'dB'.

Er is voor deze oplossing gekozen omdat de hinder afgelopen is en omdat deze tevens de meest economische is.

#### 4 EPILOOG

De beide methoden van aanpak leiden tot een reductie van de geluidhinder bij het gebruik van elektro-akoestische systemen. Het voordeel hiervan is dat de hinder bij de bron wordt aangepakt. Daarnaast is er het voordeel dat dit in de meeste gevallen goedkoper is dan het aanbrengen van bouwkundige voorzieningen.

In het onderhavige geval zou er een dubbele damwand in de straat aangebracht moeten worden met daartussen een grote massa beton. Een andere mogelijkheid zou gevonden kunnen worden in het aanbrengen van een in de zaal ingebouwde caisson van beton met een eigen drie- of meerpuntsondersteuning.

De charme van de antigeluid-oplossing is dat het gemiddelde spectrum niet wordt aangetast waarbij slechts het staande golf patroon in de zaal verandert. Nadeel hierbij is dat de transmissie tussen het storend vertrek en het immissiepunt grondig onderzocht moet worden ter bepaling of de transmissie mede wordt beheerst door tijdafhankelijke factoren. Dit is veelal een tijdrovende geschiedenis.

De charme van de 'dB'-oplossing is de snelheid waarmee gewerkt kan worden. Daarentegen moet men zich realiseren dat deze methode niet altijd opgaat: het hangt van het geïmmiteerde spectrum af of deze toepassing zal werken.

In beide gevallen is het nodig om bij veranderingen aan het elektro-akoestische systeem, elektrisch of geometrisch in de zaal, opnieuw transmissiemetingen te verrichten.

## REFERENTIES

- A.J.M. Houtsma and J.L. Goldstein, 1972. The central origin of the pitch of complex tones: Evidence from musical interval recognition, *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. **51**, 2 (Part 2), pp.520-529.
- H. Helmholtz, 1913. *Die Lehre von den Tonempfindungen*, (6th printing), Friedr. Vieweg & Sohn, The 1st printing: 1863, English translation of the 4th German edition of 1877: *On the Sensations of Tone*, Dover, 1954.
- B.C.J. Moore, 1997. *An introduction to the psychology of hearing*, Academic Press Inc., London New York, 4th Edition.