

## Geluid richten met een eenvoudig kanaalstelsel

ir. Theo B.J. Campmans  
Lichtveld Buis & Partners BV  
Postbus 1475 / Kelvinbaan 40  
3430 BL / 3439 MT Nieuwegein  
[www.lbp.nl](http://www.lbp.nl)  
[campmans@lbp.nl](mailto:campmans@lbp.nl)

## Directing sound with a simple duct system

### Abstract

On many places sound signals are used for warning people for possible dangers. Examples are industrial alarms, back alarms on trucks or other vehicles and the signal devices for emergency vehicles. The use of these – often tonal – sounds is in many cases a nuisance to other people. The alarm noise can also be a risk for hearing loss or severe nuisance for operators of these vehicles.

In order to reduce this nuisance directivity of sound sources can be used effectively. The purpose will be to produce the sound sufficiently loud in the area where people have to be warned, and as low as possible on positions where the sound is not necessarily present. In order to realise this, a very simple but effective way is considered. The tonal sound flow from a sound source is splitted equally in the so called  $\frac{1}{2}\lambda$ -director, or sound wave director. This is done in such a manner that the outlet openings are positioned on distances of exactly the half wavelength. The sound will be emitted at full strength directly in front of the openings. On the other hand, at a right angle to the front axis, the sound will be attenuated strongly as the sound of each opening pair will cancel out, in the same manner as is used in anti-noise. The idea is protected by patents. This pure acoustic solution can be realised with a simple add-on duct piece on the source. The sound directivity can be made even stronger, by using the same principle subsequently, creating a greater amount of sound outlet openings.

## 1. Introductie

De aanleiding voor de ontwikkeling van de geluidrichter is het bestaan van geluidklachten in de woonomgeving van een grote fabriek ten gevolge het alarmeringssysteem van lange transportbanden. Voorafgaand aan het starten van zo'n band wordt, ter waarschuwing van het aanwezige personeel nabij de banden, een alarmsignaal weergegeven. Dit is een tonaal en intermitterend geluidsignaal, dat nabij de banden duidelijk herkenbaar is, maar tegelijkertijd bij bewoners in de omgeving hinder veroorzaakt. De eisen voor dergelijke waarschuwingssignalen zijn vastgelegd in norm NEN-EN 457 "Veiligheid van machines. Akoestische gevaarsignalen. Algemene eisen, ontwerpen en beproevingen".

### 1.1 Oorspronkelijke situatie

In de oorspronkelijke situatie worden voor de signalering alarmen van het type "YOD 8 super" gebruikt. Dit is het type alarm met het grootste geluidvermogen. Het geluidalarm staat

afgesteld op een signaal dat intermitterend een toon van 800 en 1000 Hz geeft. Deze alarmen staan evenwijdig gericht aan de transportbanden. Uit een inventarisatie rond de banden bleekt dat deze op een onderlinge afstand van ca. 40 tot 60 m van elkaar stonden opgesteld. Dit leidt er toe dat, lopende langs de band, op elke positie het geluid van het alarm ruim voldoende boven het lokale geluidsniveau uitkomt.

### **Voorgestelde oplossing**

Het maatregelenvoorstel voor vermindering van de hinder is gebaseerd op diverse mogelijkheden die ter beschikking staan bij het terugdringen van dit type geluid. Wel dient steeds het uitgangspunt volgens de eerder genoemde norm voor deze waarschuwingssignalen in acht genomen te worden.

Het maatregelvoorstel bestaat uit de volgende elementen:

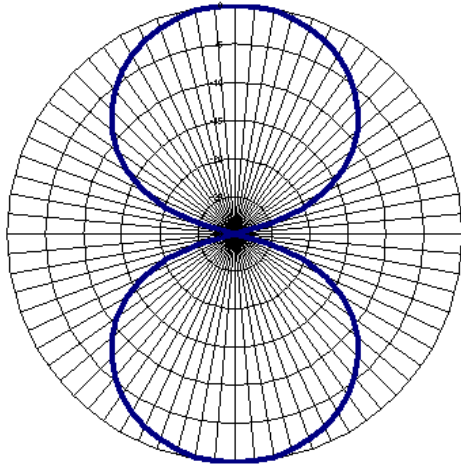
- 1) Zorgen dat het alarmsignaal niet luider afgesteld staat dan nodig voor het betreffende gebied.
- 2) keuze voor hogere alternerende geluidfrequenties van 2500 / 3100 Hz (i.p.v. signaaltype van 800 / 1000 Hz). Een signaal met een hogere frequentie geeft twee belangrijke voordelen:
  - a) Omdat geluid van een hogere frequentie door de lucht meer gedempt wordt (de zogeheten luchtabsorptie), geeft dit over een afstand van bijvoorbeeld 1 km een aanzienlijke extra reductie van het geluid van ca. 10 dB.
  - b) Het lokale geluid nabij de banden bevat minder geluid bij deze frequenties, waardoor een lager geluidsniveau van de alarmen ten opzichte van dit lokale omgevingsgeluid kan worden gehanteerd.
- 3) Het toepassen van richtwerking met de zogenaamde  $\frac{1}{2}\lambda$ -richtter. Door het geluid daar te richten waar het nodig is, hoeft er bij de bewoners minder van het geluid terecht te komen en zal de hinder afnemen.

In dit artikel wordt verder specifiek op de methode van geluid richten ingegaan.

## **2. De $\frac{1}{2}\lambda$ -richtter**

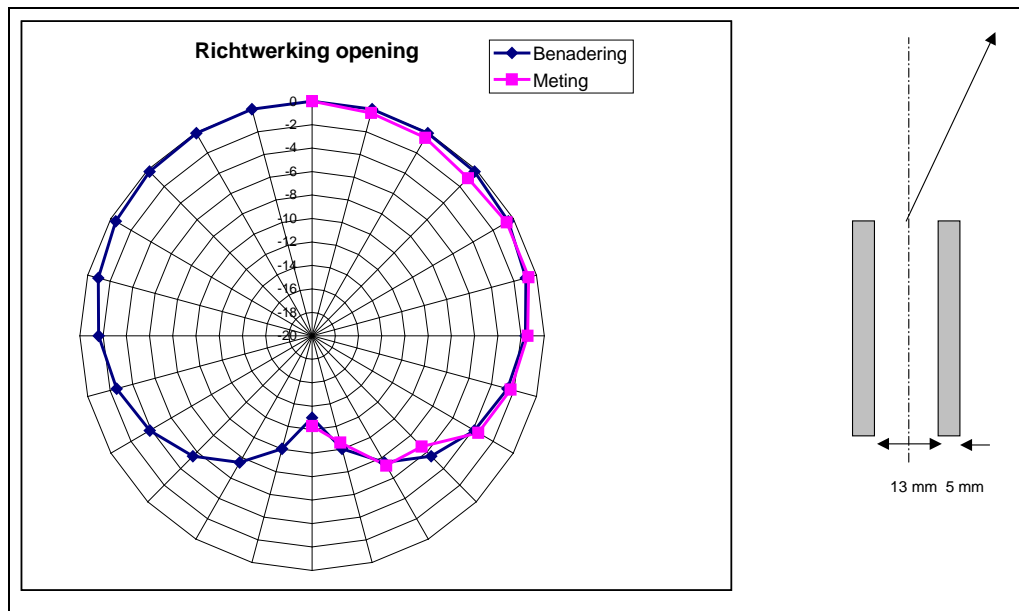
Het idee voor de geluidrichtter is ontstaan door het vereenvoudigen van het bekende systeem van de array-luidspreker. In de situatie dat er sprake is van slechts één frequentie, dan wordt dit zeer eenvoudig. De  $\frac{1}{2}\lambda$  richtter bestaat uit een kanaalsysteem wat de akoestische flow in tweeën splitst, en de twee openingen op exact een halve golflengte van elkaar laat uitkomen. Dit resulteert in twee coherente geluidsbronnen. Lichtveld Buis & Partners BV heeft deze methode van het richten van geluid middels een tweetal octrooien beschermd.

Recht voor de openingen zal het geluid uit de individuele openingen precies optellen. Precies zijdelings van de openingen zal – op grotere afstand – het geluid uit de ene opening precies in tegenfase zijn en (nagenoeg) even sterk, zodat het elkaar opheft. Theoretisch is er een oneindige demping te bereiken. Onder een hoek zal gedeeltelijke uitdoving optreden. Onder  $45^\circ$  is de demping ten opzichte van de hoofdas 7 dB en op  $60^\circ$  is de demping 13 dB. Dat betekent dat er een beduidend gebied is van totaal  $60^\circ$  waar minimaal 13 dB demping optreedt. De aldus verkregen richtwerking is in feite een gewenst opgelegd interferentiepatroon.



**Figuur 1:** Richtwerking van twee bronnen op een halve golflengte (schaal 30 dB)

In de voorgaande voorbeelden is steeds de richtwerking getoond in het vlak van de openingen. Het spreekt voor zich dat het steeds een cylinder-symmetrisch geheel betreft. Wel moet rekening gehouden worden met de richtwerking van de uitreeopening, en met de afscherming van het kanaalstelsel zelf. Om een beeld te verkrijgen van deze richtwerking is de door middel van metingen bepaalde richtwerking van een typische situatie in figuur 2 getoond.



**Figuur 2.** Richtwerking van een enkele opening (schaal: 20 dB)  
 Situatie: opening 13 mm; wanddikte 5 mm; frequentie 3200 Hz

## 2.2 Andere toepassingsgebieden

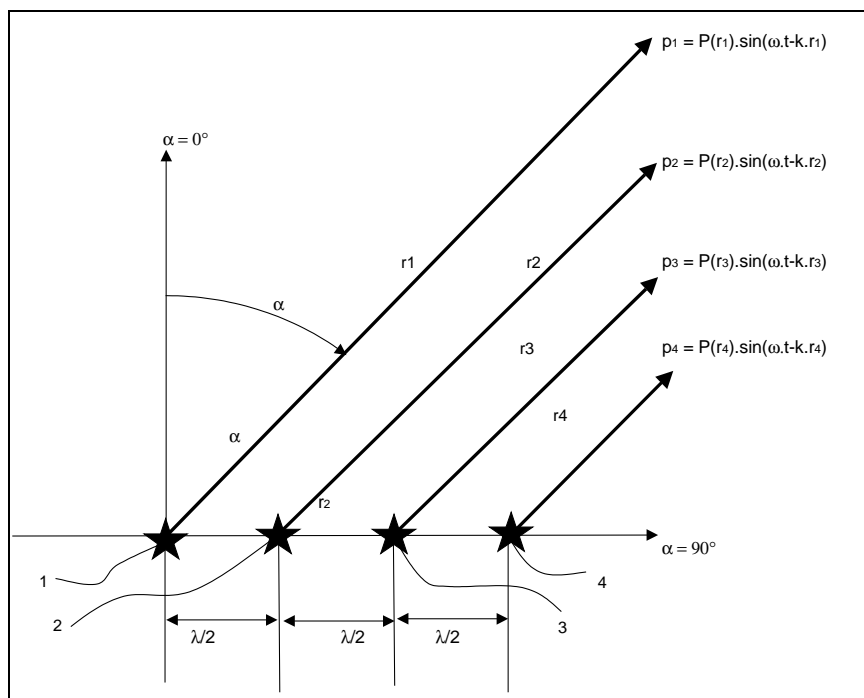
Het toepassen van richtwerking bij alarm-geluidinstallaties is zinvol voor de volgende toepassingsgebieden:

- achteruitrijdsignalering
- alarmsirenes van politie, ambulance en brandweer (emergency vehicles)
- industriële alarmen.

Als het idee geschikt is te maken voor breedbandig geluid, dan kan dit ook worden ingezet voor het gericht afgeven van bv. gesproken boodschappen (spoorwegstations, kerken, luchthavens). Daar zal later op worden teruggekomen.

### 3 Meerdere openingen

Het basis-idee om het geluid te splitsen kan uiteraard meerdere malen achtereenvolgens worden toegepast. Dit leidt er toe dat er bijvoorbeeld 4, 8, 16, etc. openingen op een lijn uitmonden. Het gevolg daarvan is dat er een sterkere richtwerking gaat optreden. De situatie voor 4 openingen wordt in figuur 3 geïllustreerd.



**Figuur 3.** Principe richtwerking bij 4 coherente bronnen op een lijn.

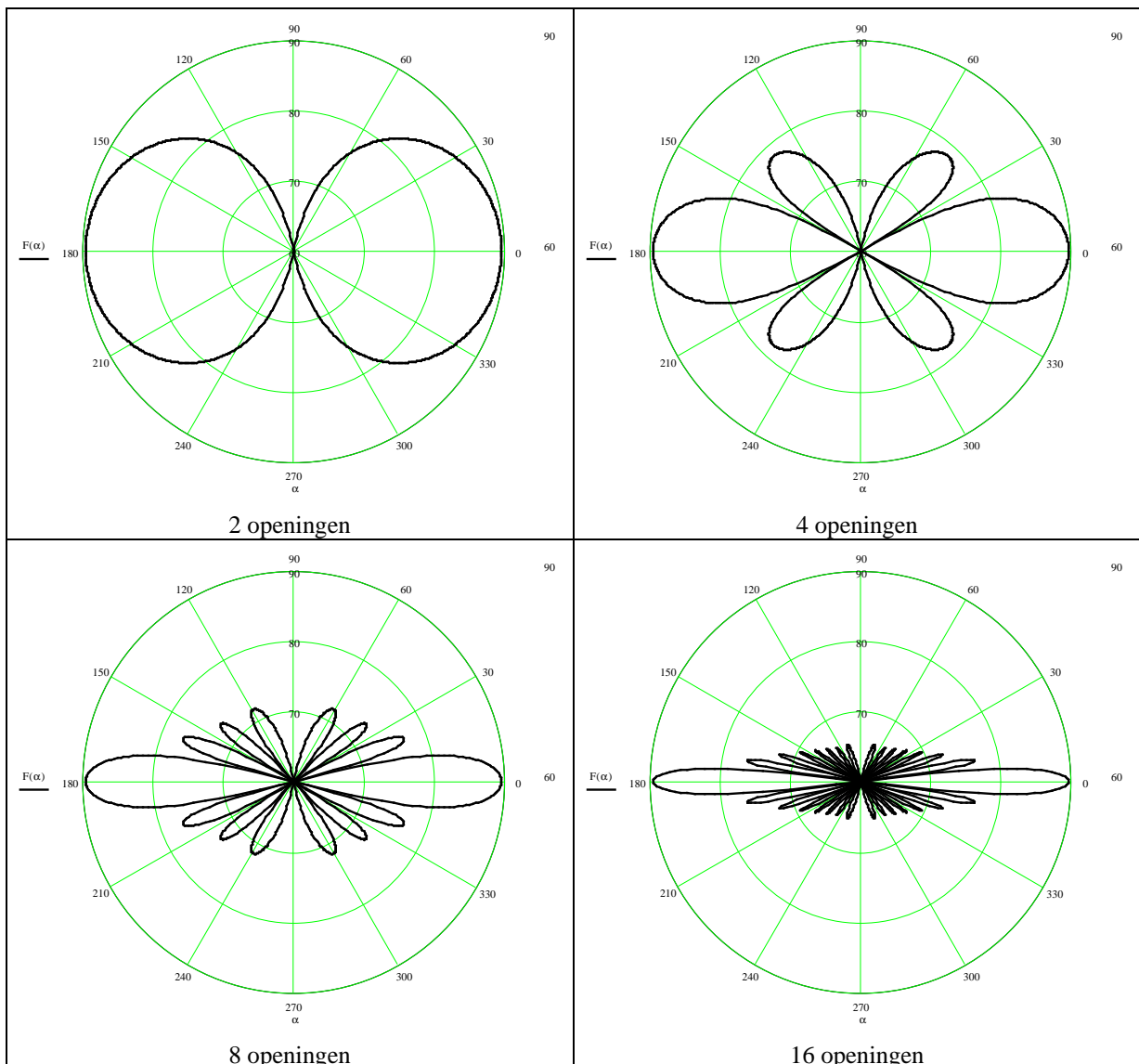
Recht voor de openingen zal het geluid uit alle openingen precies in fase arriveren, en dus volledig optellen. Onder  $90^\circ$  zal het geluid uit openingen 1 en 2 elkaar opheffen en het geluid uit openingen 3 en 4 zal elkaar ook opheffen. Onder  $60^\circ$  zal, vanwege de ruimtelijke driehoek die ontstaat, het geluid van openingen 1 en 3 elkaar opheffen en het geluid uit openingen 2 en 4 zal elkaar eveneens opheffen. Nu zijn er dus twee hoeken waar het geluid wordt uitgedoofd. Tussen de  $60^\circ$  en  $90^\circ$  zal het geluid wel weer sterker worden, doch het blijft daar ook beduidend minder sterk dan recht voor de openingen.

De steeds sterker wordende richtwerking die optreedt bij 2, 4, 8 en 16 openingen op steeds een halve golflengte afstand wordt weergegeven in figuur 4. Deze richtkarakteristieken zijn te berekenen door de optelling het geluid uit elke opening met inachtnaeme van de onderlinge

fase. Daarbij wordt gebruik gemaakt van de uitbreidingsformule van geluid van een aantal coherente geluidbronnen met gegeven middelpunten:

$$p_{tot} = \left| \sum_{i=1}^N \frac{p_0}{r_i} \cdot e^{j \cdot k \cdot r_i} \right|$$

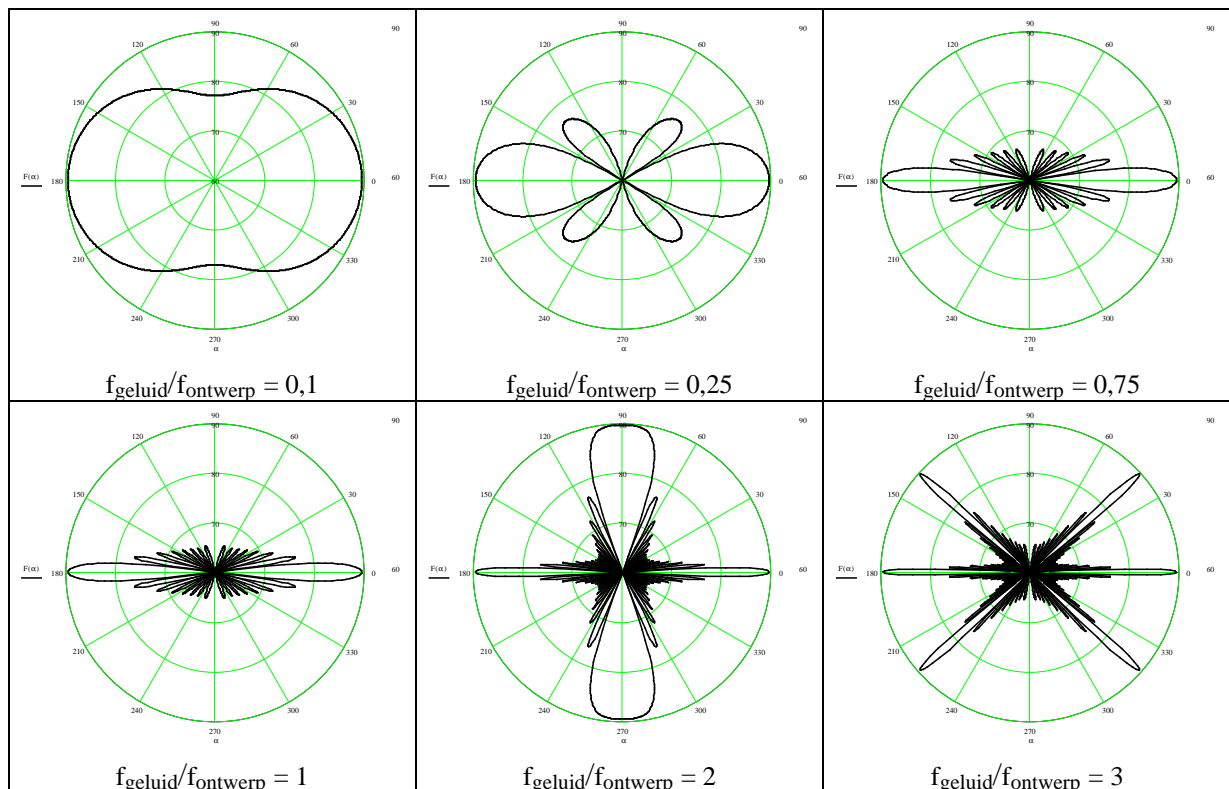
Hierin is  $p_0$  de geluiddruk op 1 m t.g.v. een enkele opening,  $r_i$  de afstand tot opening  $i$ ,  $N$  het totaal aantal openingen en  $k$  het golfgetal ( $\omega/c$ ). De tijdsafhankelijkheid kan in de formule achterwege blijven.



**Figuur 4.** Richtwerking bij 2, 4, 8 en 16 openingen op steeds een halve golflengte verschil (schaal: 30 dB)

### 3.1 Afwijken van de ontwerprequentie

Onderzocht is wat er gebeurt indien door het kanaalstelsel een geluid wordt afgegeven waarvan de halve golflengte niet overeenkomt met de gebruikte onderlinge afstanden. Daartoe zijn een aantal berekeningen gemaakt voor een stelsel wat is ontworpen met 16 openingen op gelijke onderlinge afstand. De ontwerprequentie  $f_{\text{ontwerp}}$  is de frequentie waarvan de halve golflengte overeenkomt met die onderlinge afstand. In figuur 5 wordt getoond wat er nu gebeurt indien een afwijkende frequentie bij dat kanaalstelsel wordt gebruikt.



**Figuur 5.** Richtwerking van een 16 coherente bronnen, met verschillende geluidsfrequenties ten opzichte van de ontwerprequentie.

Als de geluidsfrequentie  $f_{\text{geluid}}$  kleiner wordt, dan leidt dat er toe dat de hoeken waarbij het geluid uit verschillende paren openingen elkaar uitdooft zullen verschuiven. Zolang de verschuiving in frequentie beperkt is, zal dit er toe leiden dat er nog steeds (ongeveer) evenveel hoeken zijn waar een ideale uitdoving optreedt. Zo is bijvoorbeeld de richtwerking bij  $f_{\text{geluid}}/f_{\text{ontwerp}} = 0,75$  nog ongeveer hetzelfde als die bij  $f_{\text{geluid}}/f_{\text{ontwerp}} = 1$ . Als de frequentie verder afneemt, dan zal de richtwerking substantieel minder worden.

Het volgende wordt hierover opgemerkt. Als een geluidsfrequentie wordt gehanteerd die precies 2 maal zo klein is als  $f_{\text{ontwerp}}$ , dan ontstaat de richtkarakteristiek die precies hoort bij een geluidrichter met de helft van het aantal openingen. Als de geluidsfrequentie nu nogmaals gehalveerd wordt, dan ontstaat een richtkarakteristiek die hoort bij een geluidrichter weer de helft van het aantal openingen. Zo is de richtkarakteristiek van de richter met 16 openingen, bij  $f_{\text{geluid}}/f_{\text{ontwerp}} = 0,25$  precies gelijk aan de richtkarakteristiek die ontstaat bij een geluidrichter met 4 openingen die bij de ontwerprequentie wordt gebruikt (zie figuur 3).

Samenvattend vertoont de richtwerker het gedrag dat bij lagere frequenties de richtwerking gaat afnemen, een verschijnsel dat in de akoestiek algemeen bekend is.

De situatie bij het hoger maken van de geluidsfrequentie is ook illustratief. In figuur 5 is daartoe de situatie geschetst waarbij  $f_{\text{geluid}}/f_{\text{ontwerp}} = 2$ . Dan ontstaat de situatie dat onder  $90^\circ$  het geluid uit elke opening precies optelt bij het geluid uit elke volgende opening. Het is steeds met elkaar in fase. Dat leidt er toe dat er een zeer sterke zijlob ontstaat. Als de frequentie nog verder omhoog gebracht wordt, dan zullen deze zijlobben op zekere hoeken gaan ontstaan, die geometrisch zijn te bepalen uit de golflengtes van de gehanteerde geluidsfrequenties en de onderlinge afstanden van de openingen van de richter.

### *3.1.1 Toepassing als array-luidsprekersysteem*

Uit het bovenstaande gedrag kan geanalyseerd worden wat het gedrag van de geluidrichter is indien het voor breedbandig geluid wordt gebruikt, als alternatieve richtluidspreker voor de bekende array-luidsprekers. Zo zou dit systeem bijvoorbeeld voor spraak kunnen worden gebruikt. Daarvoor is een frequentiebereik wenselijk van ca. 500 tot 4000 Hz.

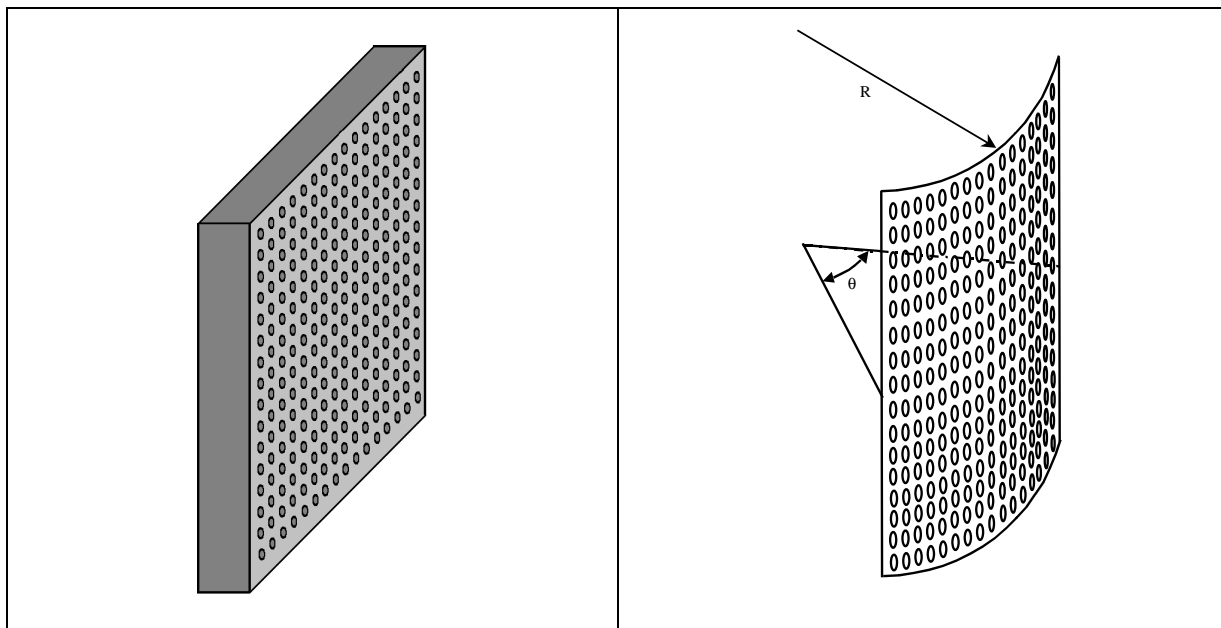
Ten eerste dient er voor gezorgd te worden dat er geen sterke zijlobben gaan ontstaan. De onderlinge afstand van de openingen dient dus in elke geval zo klein te zijn dat deze niet in de buurt komt van de hele golflengte van de hoogste frequenties van het uit te zenden geluid.

Vervolgens zal de richter de neiging hebben om het geluid bij hoge frequenties sterker te richten dan bij lage frequenties. Deze neiging wordt bij array-luidsprekers onderdrukt door de middelste luidsprekers het volle signaal aan te bieden, en voor de luidsprekers verder uit het midden met behulp van laagdoorlaatfilters steeds een groter deel van de hoge frequenties weg te nemen. Als akoestische variant op deze laagdoorlaatfilters zou bijvoorbeeld een poreus materiaal in de kanalen naar de buitenzijde toe kunnen worden opgenomen.

Opgemerkt wordt dat bepaalde splitsingselementen die de geluidflow splitst in een aantal openingen op een lijn voor het richten van hoogfrequent geluid in de luidsprekerbouw reeds toepassingen kent.

## **3.2 Meerdere openingen op een vlak**

Uiteraard is het ook mogelijk om de gerichte geluidstraal verder te concentreren, door de openingen niet op een lijn, maar op een vlak te laten uitmonden. Dit kan zowel een plat vlak zijn als een gekromd vlak. De situatie die aan de buitenzijde van zo'n systeem wordt verkregen is geschetst voor  $16 \times 16$  openingen in figuren 6 en 7.

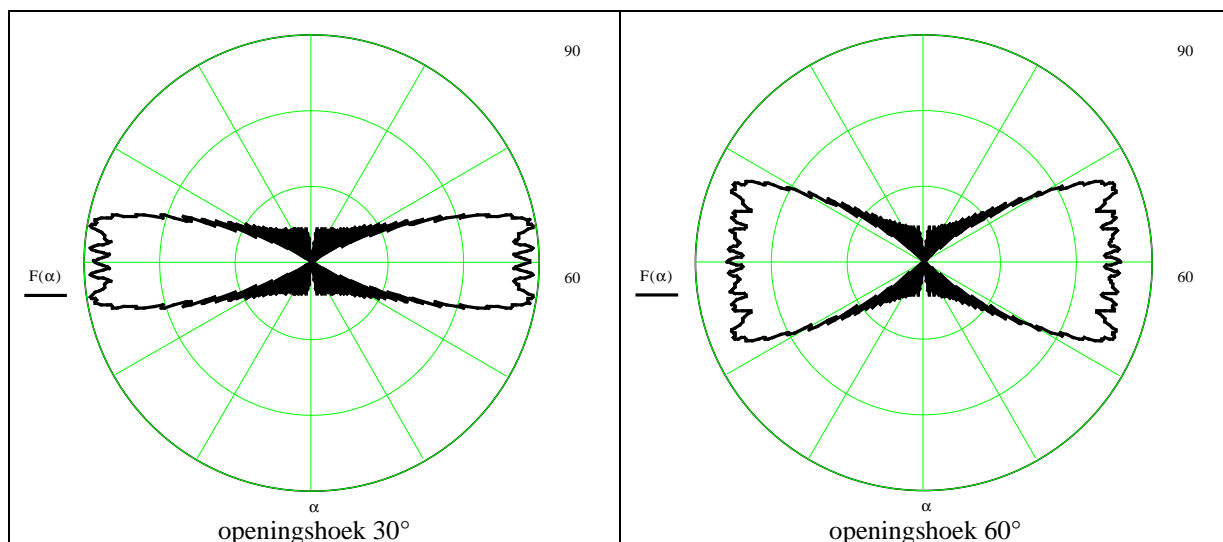


**Figuur 6.** Richtstelsel met 16 x 16 openingen op een plat vlak

**Figuur 7.** Geometrie 16 x 16 van openingen op een gekromd vlak

De richtwerking treedt dan op in twee vlakken, waardoor een sterk geconcentreerde geluidstraal ontstaat.

De richtwerking die met een gekromde geluidrichter wordt verkregen, is getoond in figuur 8 voor een tweetal hoeken. Hierbij wordt in een zeker hoeksegment een ongeveer gelijk geluidniveau opgewekt; daarnaast neemt het geluidniveau binnen een vrij klein hoeksegment zeer sterk af in niveau.



**Figuur 8.** Richtwerking van de richter met 64 openingen op steeds  $\frac{1}{2}\lambda$  op een gekromd vlak

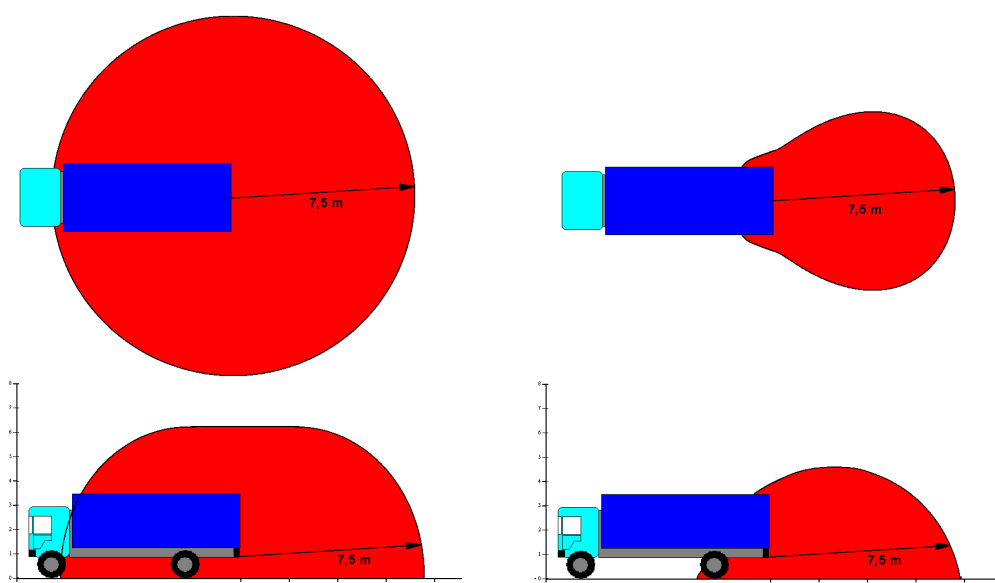
## 4 Voorbeeld van een toepassing als achteruitrijdalarm

Eén van de interessante toepassingsgebieden voor de geluidrichter is het gebruik als achteruitrijdalarm op voertuigen. Gezien de hiervoor genoemde mogelijkheden, is er een grote keuze aan mogelijkheden om de geluidrichter uit te voeren. Daarbij dient er rekening mee te worden gehouden dat er in de fysieke realiteit ook altijd een reflecterende bodem zal zijn.

Nu de mogelijkheid bestaat om het geluid op eenvoudige wijze sterk te richten, dient direct de vraag gesteld te worden hoe sterk deze richtwerking nu eigenlijk moet zijn? Het antwoord hangt uiteraard af van het gebied waar mensen gewaarschuwd moeten worden. Zo zal het voor de toepassing van achteruitrijdalarms volstaan om met twee of hooguit 4 openingen naast elkaar te gaan werken. Dat heeft het bijkomende voordeel dat de geluidrichter vrij klein blijft.

Een potentieel geschikte locatie om de geluidrichter op te stellen zou bijvoorbeeld kunnen zijn boven op de achterzijde van de vrachtwagen, en dan het geluid recht omlaag te richten. Op die wijze wordt het geluid naar de omgeving sterk gereduceerd. Vanwege praktische redenen, zoals de kwetsbaarheid en de benodigde extra bedrading, heeft het toch de voorkeur om het alarmsysteem onder aan de vrachtwagen te monteren. Hierbij is het gebruikelijk om de luidspreker zelfs enigszins onder de vrachtwagen te monteren, om dit uit het zicht te houden vanwege mogelijk vandalisme. Die locatie zorgt er echter voor dat het geluid feitelijk sterk rondom de vrachtwagen zal worden afgestraald, ook in richtingen waar het waarschuwingssignaal niet, of althans niet in volle sterkte hoeft te klinken.

Een redelijk optimaal ontwerp is een geluidrichter die bestaat uit 2x2 openingen, die onder een hoek van  $45^\circ$  omlaag gericht wordt. Dit resulteert in een gunstig gelegen gebied achter het voertuig waar het geluid van eenzelfde sterkte te horen is, terwijl dit in andere richtingen sterk beperkt wordt. Dit wordt geïllustreerd in figuur 9. In deze figuur zijn de interferentiepatronen ten gevolge van de reflectie in de bodem achterwege gelaten door het directe pad en het gereflecteerde pad zonder fase-effecten op te tellen.



**Figuur 9.** Geluidgebied van alarmsignaal (boven zekere sterkte) bij gewoon achteruitrijdalarm (links) en bij richtwerking met 2x2 richter onder  $45^\circ$  omlaag.

## **Conclusies**

In het artikel is aangetoond dat tonale geluiden zeer goed gericht kunnen worden met behulp van een kanaalstelsel bestaand uit één of meerdere splitsingselementen, die op een geluidbron kunnen worden aangebracht. Het aantal openingen, de onderlinge afstand en de ligging ten opzichte van elkaar bepalen de richtwerking van het opgewekte geluidveld. Dit principe kan bijvoorbeeld worden toegepast voor achteruitrijdalarmen, alarminstallaties op voertuigen (politie, etc.) of op industriële alarmeringen.