

8 De elektrostaat in de luisterruimte

Het komt we¹ voor dat men een luidspreker aanschaft uitsluitend op grond van de testresultaten. Of dit verstandig is of niet laten we hier buiten beschouwing. Wel is het een vaak onderschat feit dat de luisterruimte waarin de luidspreker is opgesteld een zeer grote rol speelt, die bij dergelijke testen geheel buiten beschouwing wordt gelaten. Een veel voorkomend verschijnsel is dat de weergever in de demonstratieruimte van de hifispecialist prachtig klinkt, maar thuis opgesteld aanleiding geeft tot teleurstelling. De verklaring van dit verschijnsel is in wezen eenvoudig: de luisterruimte, meestal de huiskamer, vormt samen met de weergever een geheel, waarvan de uiteindelijke resultaten sterk afhangen van de akoestische eigenschappen van de luisterruimte. Voor de aankoop van elektrostaten is het dan ook aan te bevelen om naar een gerenommeerde hifispecialist te gaan, waar men alle tijd heeft voor uitgebreide demonstraties. Daarbij is het verstandig om de weergevers een of twee weken op proef mee te nemen, en om deze thuis uitgebreid te beluisteren.

8.1 De akoestiek van de luisterruimte

De invloed van de luisterruimte op de geluidskwaliteit wordt vaak onderschat. De akoestische eigenschappen van de luisterruimte zijn net zo belangrijk, zo niet belangrijker dan de weergavekwaliteit van de weergever zelf. Om dat toe te lichten, zullen we enkele begrippen uit de (zaal)akoestiek verduidelijken.

Nagalmtijd

Bij de geluidsweggeving in een gesloten ruimte met reflecterende wanden, kunnen we onderscheid maken tussen:

- het direct uitgestraald geluid
- het indirect uitgestraald geluid
- de nagalm

In figuur 8.1 wordt dit duidelijk gemaakt. De puntvormige geluidsbron S zendt een geluidsgolf uit, die eerst de waarnemer bereikt, en korte tijd later de kamerwanden en het (niet getekende plafond). Daar wordt het geluid gereflecteerd, waarna het opnieuw de waarnemer bereikt.

Bij elke reflectie wordt er geluidsenergie geabsorbeerd. Naarmate het geluid zich verder uitbreidt en het aantal reflecties en de absorptie toeneemt, neemt de energiedichtheid van het geluidsveld in de kamer exponentieel toe, om uiteindelijk een constante waarde te bereiken.

De grootte hiervan wordt uiteindelijk bepaald door de inhoud van de kamer en de mate van geluidsabsorptie (de absorptiecoëfficiënt).

De tijd waarin de gemiddelde energiedichtheid in een kamer, uitgaande van een gelijkmatig geluidsveld, tot 60 dB afneemt, wordt de nagalmtijd genoemd.

Volgens de wet van Sabine volgt de nagalmtijd bij lage absorptie uit de formule

$$T = 0,16 V / (a \cdot A).$$

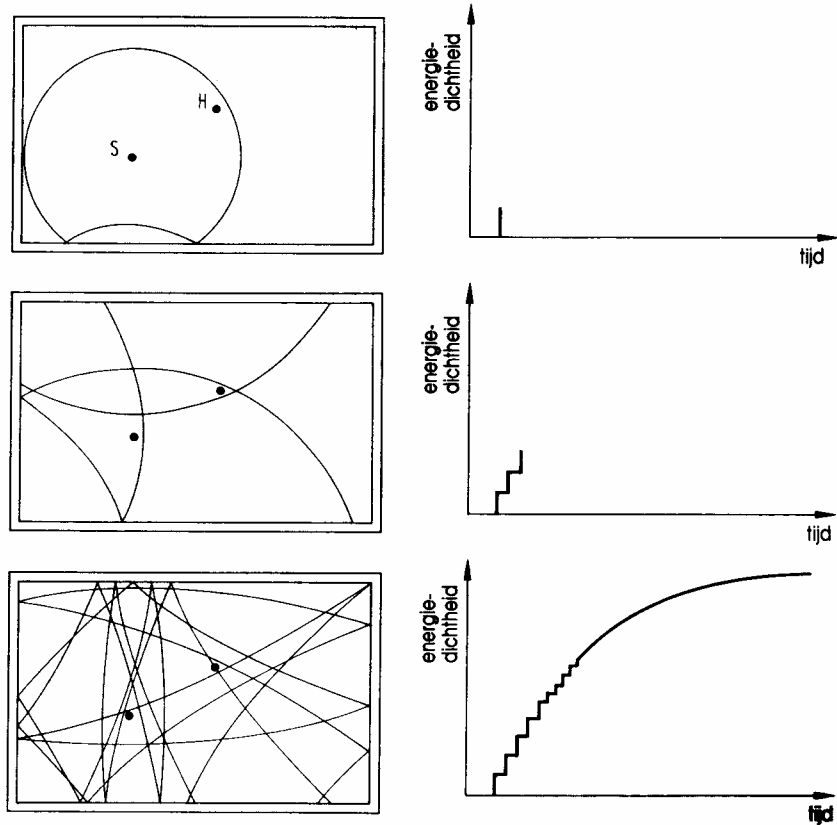
waarbij:

T = nagalmtijd in s

V = kamerinhoud (m³)

a = absorptiecoëfficiënt

A = totaal oppervlak van wanden, vloer en plafond (m²)



Figuur 8.1. Uitbreiding van het door een puntbron afgestraald geluid in de ruimte.

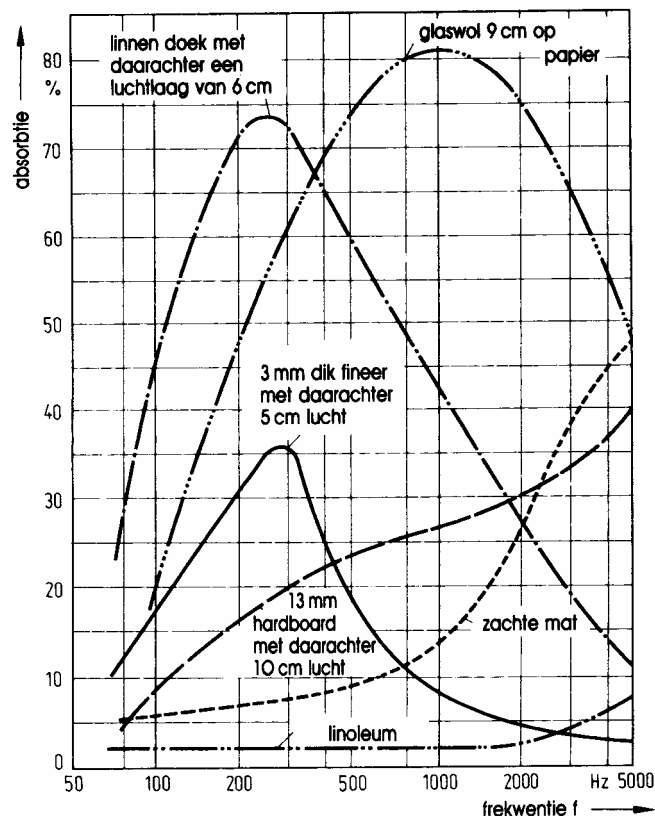
Uit de formule van Sabine blijkt dat de nagalmtijd toeneemt, naarmate de kamer groter is en de absorptiecoëfficiënt kleiner.

De nagalmtijd in een kamer hangt ook af van de frequentie van het geluid omdat verschillende materialen een sterk selectieve absorptie vertonen voor bepaalde frequenties, zie figuur 8.2. Hoe groter de nagalmtijd, des te meer wordt het directe geluid door deze effecten versterkt. Voor spraak, zang en muziek is dit bevorderlijk.

Bepaalde maximale waarden mogen echter niet worden overschreden, om te voorkomen dat de verstaanbaarheid van spraak de doorzichtigheid (transparantie) van muziek verloren gaat. De optimale nagalmtijd is voor spraak ongeveer 1,2 sec. en voor muziek (in een concertzaal) ongeveer 2 sec.

In een normale huiskamer is voor het frequentiebereik van 40 Hz tot 8 kHz een nagalmtijd van 0,35 sec. optimaal.

Figuur 8.2. Geluidsabsorptie van diverse materialen.



Galmstraal

In figuur 8.1 is de geluidsbron puntvormig verondersteld, dus het geluid wordt naar alle richtingen afgestraald. Omdat de geluidsgolven zich vanaf de bron bolvormig voortplanten, is de geluidsdruk omgekeerd evenredig met de afstand tot die bron. Dus bij een verdubbeling van de afstand bedraagt de geluidsdruk nog maar de helft, en op drievoudige afstand nog maar een derde van de oorspronkelijke waarde. Hoe verder we ons vanaf de geluidsbron verwijderen, des te meer komen we in het gebied van het gereflecteerde, diffuse geluidsveld.

De afstand waarbij het directe en indirect (gereflecteerd) geluid even sterk zijn noemen we de galmstraal.

Deze kan worden bepaald met behulp van de formule:

$$rH=0,057 (V/T)$$

waarbij:

$$rH = \text{galmstraal (m)}$$

$$V = \text{inhoud van de ruimte (m}^3\text{)} \quad T = \text{nagalmtijd (s)}$$

Voor een huiskamer met $V = 50 \text{ m}^3$ en $T = 0,5 \text{ s}$ is de galmstraal 0,6 m.

Wanneer we verder dan de galmstraal van de geluidsbron verwijderd zijn, horen we het indirecte geluid, ongeacht de plaats in de huiskamer.

Wet van het eerste golffront

Bij de geluidswaergave kan ten gevolge van reflecties tegen wanden, of omdat meerdere luidsprekers worden gebruikt die hetzelfde signaal uitstralen, ter plaatse van ons, een tijd- en faseverschil ontstaan. Zolang het tijdsverschil kleiner blijft dan ongeveer 30 ms, wordt de vertraagd afstralende bron niet als zodanig waargenomen. Het vertraagde geluid versnelt met het onvertraagde geluid (het directe geluid) en draagt bij tot een verhoging van de geluidsdruk. De geluidsbron wordt dan al bij de allereerste waarneming correct geplaatst, zelfs wanneer het niveau van het vertraagde geluid tot 10 dB hoger is.

Dit effect wordt de wet van het eerste golffront genoemd, of ook wel het precedence-effect.

Wanneer het vertraagde geluid zeer veel luider is, of later dan na 30 ms bij de waarnemer aankomt, ontstaat eerst een vermenging van het geluid en later een echo.

Repeterende echo's

Repeterende echo's komen tot stand tussen parallelle reflecterende oppervlakten, bijvoorbeeld tussen twee wanden of tussen vloer en plafond.

Wanneer luidspreker en luisteraar zich midden tussen twee parallelle reflecterende wanden bevinden, wordt elke geluidsimpuls herhaald in het ritme van de looptijd van de puls tussen deze vlakken (tweemaal de halve tijd).

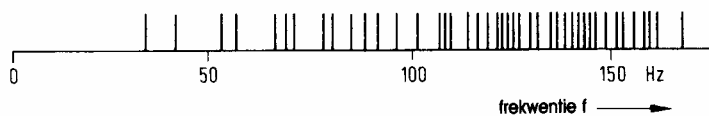
Indien luidspreker en luisteraar zich in de buurt van een van deze vlakken bevinden, ontstaat een periodieke geluidsimpuls met een tussentijd ter waarde van de dubbele looptijd tussen de wanden. Ons oor is bijzonder gevoelig voor alle soorten periodieke geluiden. Wanneer de herhalingstijd van periodiek optredende reflecties tussen de 20 en 200 ms ligt (herhalingsfrequentie 50... 5 Hz), ontstaat een rauwe geluidsimpuls.

Bij herhalingstijden boven 200 ms (herhalingsfrequentie onder 5 Hz), worden de geluidsimpulsen als echte repeterende echo's waargenomen. Deze uitermate storende effecten kunnen worden voorkomen, wanneer reflecterende wanden niet exact parallel lopen, maar onder een kleine hoek (ongeveer 10 graden). Dergelijke maatregelen kunnen in professionele studio's relatief eenvoudig worden genomen, maar in de meeste woonkamers zal dit niet mogelijk zijn. In dat geval moeten we onze toevlucht nemen tot kunstmatige demping.

Resonanties

Hiermee bedoelen we in principe dezelfde resonanties als die in een luidsprekerbox optreden. Tussen twee tegenoverliggende parallelle wanden van een kamer treden staande golven op, wanneer de afstand een halve golflengte of een veelvoud daarvan bedraagt. Deze resonanties leiden tot specifieke pieken en dalen van de geluidsdruk en dus tot een slecht impulsgedrag.

In figuur 8.3 zijn de resonanties die optreden in een ruimte van $5 \times 4 \times 3$ in weergegeven.



Figuur 8.3. Resonantiefrequenties in een woonkamer van 5 x 4 x 3 meter.

Staande golven treden niet alleen op tussen twee tegenover liggende wanden, maar ook tussen vloer en plafond en in diagonale richting.

Door architectonische maatregelen en kunstmatige demping moeten resonantieverschijnselen zo goed mogelijk worden onderdrukt. In akoestisch goede ruimten zijn de resonantiefrequenties gelijkmatig over het gehele audio spectrum verdeeld, zie figuur 8.4. De afzonderlijke resonanties worden binnen dat spectrum dan zo veel mogelijk in gelijke mate gedempt.

Geluidsabsorptie

Een akoestisch gunstige kamer heeft een vorm die van het gebruikelijke schoenendoosmodel afwijkt.

In de doorsnee woonkamer kan de akoestiek alleen maar verbeterd worden door op geschikte plaatsen (tegen de wanden en het plafond) geluidsabsorberende materialen of constructies aan te brengen. Diverse typen en uitvoeringen komen voor dit doel in aanmerking.

Alle poreuze materialen zoals textiel, glaswol en mineraalwol vertonen voor verschillende audiofrequenties een sterk selectief absorptiegedrag, zie figuur 8.2.

De absorptie berust op de stromingsweerstand ten gevolge van de poreusheid van deze stoffen. De geluidsenergie wordt bij doorstroming in de poriën, als gevolg van de wrijvingsweerstand omgezet in warmte. Slechts een deel van de opvallende geluidsenergie dringt tot in het materiaal door, omdat op het grensvlak van lucht en poreuze stof reflectie optreedt.

Reflecties aan het oppervlak kunnen worden voorkomen door het aanbrengen van poreuze uitsteeksels op het oppervlak, met een lengte die gelijk is aan de halve golflengte. Dankzij de geleidelijke overgang van lucht naar absorberend materiaal wordt de opvallende geluidsenergie dan vrijwel volledig geabsorbeerd.

In figuur 8.5 is dit principe weergegeven in een akoestische meetruimte.

Een mogelijkheid om geluid binnen een bepaalde frequentieband selectief te absorberen, is om gebruik te maken van trillende panelen. Zo'n paneel bestaat uit een plaat hout, die voor een vaste wand is gemonteerd, zie figuur 8.6.

Het luchtkussen tussen paneel en wand werkt als een veer, die samen met de massa van het paneel een trillingssysteem vormt. Een geluidsgolf die bij de plaat aankomt, zet deze aan tot gedwongen trillingen. Maximale absorptie van geluidsenergie vindt plaats bij de resonantiefrequentie van het systeem. Deze kan met behulp van de volgende formule worden berekend:

$$f = K / V (M \cdot d)$$

waarbij:

f = resonantiefrequentie (Hz)

K = constante (ongeveer 190)

M = de massa per oppervlakte-eenheid (gr/cm^2)

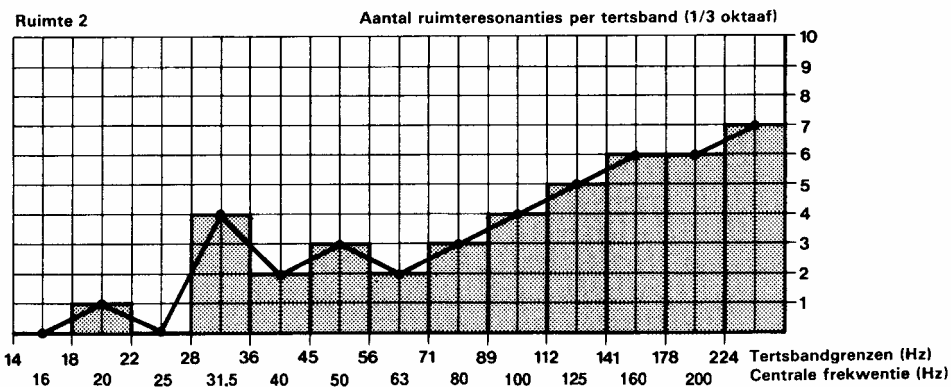
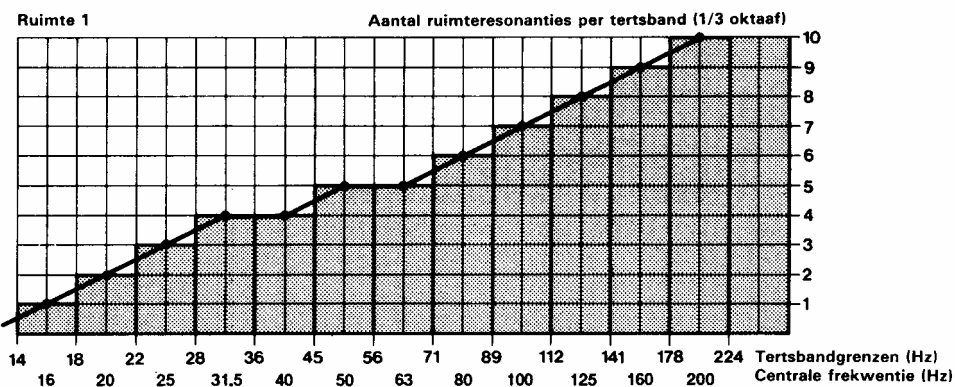
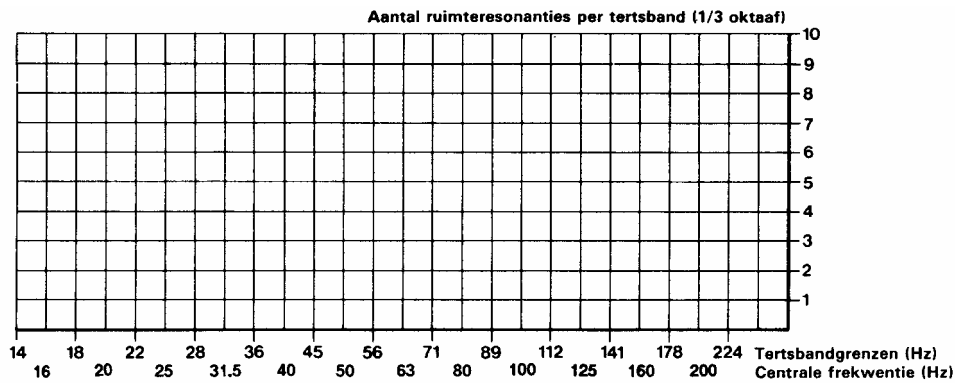
d = de dikte van het luchtkussen (cm)

Door de juiste keuze van de dikte van de plaat en van het luchtkussen, kan de resonantiefrequentie van de absorbeerplaat aan de eisen worden aangepast. Gewoonlijk ligt f tussen 40 en 450 Hz.

Wanneer we een poreuze absorber tussen de plaat en de muur aanbrengen, kunnen de trillingen van de plaat absorber extra gedempt worden. Een van de manieren hiervoor is het aanbrengen van zachtboard tegen de achterzijde van de hardhouten plaat.

De resonantiefrequentie, dus het gebied waar het geluid relatief wordt geabsorbeerd kan ook in dit geval door een juiste keuze van soort en afmetingen van het dempings materiaal naar beneden verschoven worden.

De bandbreedte waarbinnen absorptie plaatsvindt, kan vergroot worden door het oppervlak van de muur achter de panelen zo ruw mogelijk te maken. Zachtboard platen geven een tamelijk gelijkmatige absorptie



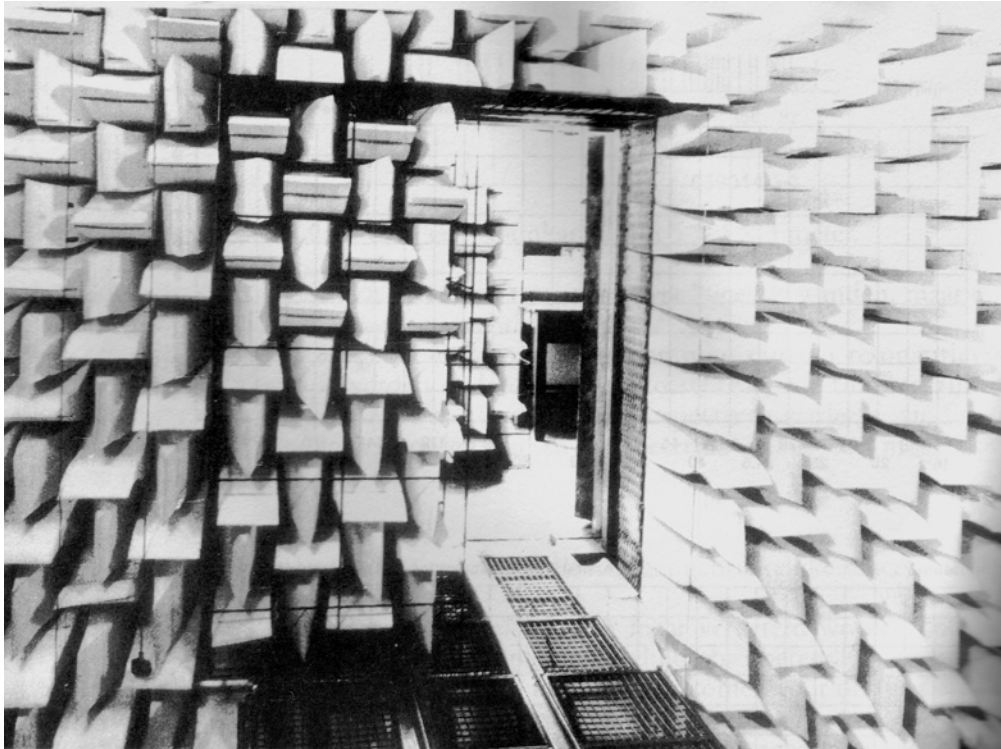
Figuur 8.4. Diagrammen voor het aantal ruimteresontaties per tertsbands.

over het gebied van hoorbare frequenties. De hoge frequenties worden gedempt door de poriën in het materiaal, lagere frequenties door de eigenlijke plaat absorber.

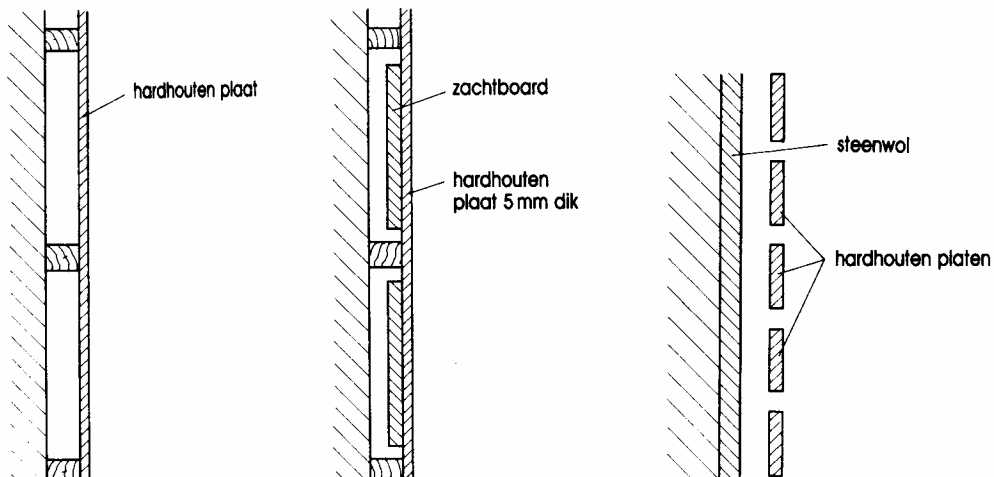
Wanneer de hoger frequenties juist niet verzwakt moeten worden, moeten we de poriën van het zachtboard dicht smeren. Hierdoor wordt de demping van lage frequenties niet beïnvloed.

De meest effectieve selectieve geluidsabsorptie kunnen we verkrijgen met behulp van Helmholtz-resonatoren, die op een geschikte plaats in de kamer, bijvoorbeeld tegen een wand worden aangebracht. In principe bestaat zo'n resonator uit een stuk gaatjesboard, dat voor een (harde) muur wordt geplaatst, zie figuur 8.7.

De Helmholtz-resonator staat ook wel bekend als trillende luchtholte. Net als bij de plaat absorber werkt het luchtkussen tussen plaat en muur als een veer. De trillende massa bestaat nu echter uit de luchtmassa in de



Figuur 8.5. Een akoestisch dode testruimte voor het onderzoek aan onder meer luidsprekers.



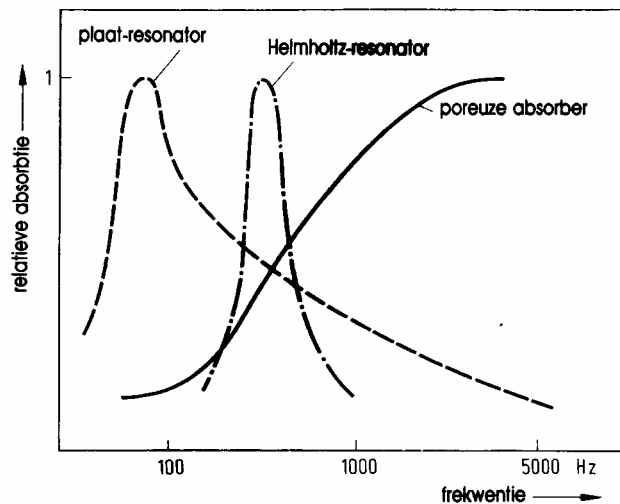
Figuur 8.6. Het principe van trillende panelen Figuur 8.7. Trillende luchtholten (Helmholtz-resonator).

cilindrische gaten en het meotrillende medium. De resonatoren worden gedempt door de stromingsweerstand in de gaten.

De resonantiefrequentie wordt bepaald door het aantal en de afmetingen van de gaatjes, en door de dikte van het luchtkussen. Vaak wordt de ruimte tussen plaat en de muur gedeeltelijk met glaswol of steenwol opgevuld, waardoor de demping groter wordt en de absorptiecurve verbreed wordt.

In figuur 8.8 zijn de karakteristieke absorptiecurven voor Helmholtz-plaatresonatoren (plaat absorbers) en poreuze absorbers weergegeven.

Er bestaan talloze combinaties van verschillende soorten absorbers. Meer en uitgebreidere informatie kunt u vinden in de (vak)literatuur over (ruimte)akoestiek.



Figuur 8.8. Karakteristieken van verschillende absorbers.

8.2 De opstelling van de elektrostaat in de luisterruimte

De positie van een luidspreker in de luisterruimte is van grote invloed op de geluidswaergave. Bij een elektrodynamische luidspreker, die immers bij lage frequenties (onder 500 Hz) als een puntbron werkt, wordt de geluidsdruk bij lage frequenties vaak hoger bij opstelling in de huiskamer. De afstand van de box tot vloeren en wanden is hierbij van groot belang.

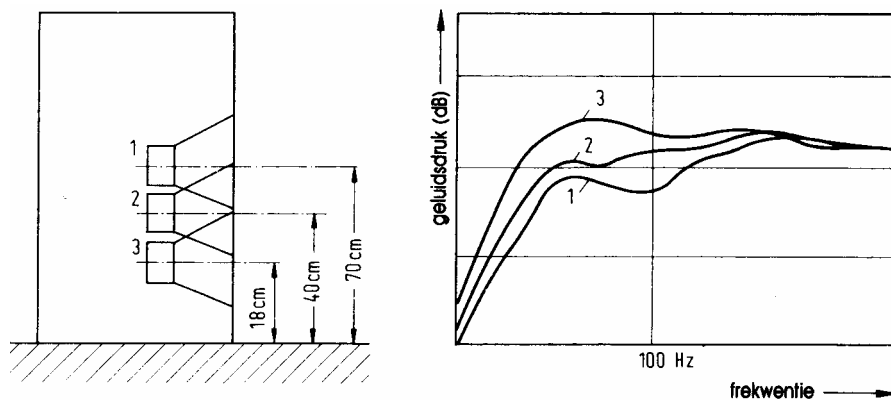
In figuur 8.9 is weergegeven hoe de geluidsdruk afhangt van de afstand tot de vloer. De grootste versterking van de geluidsdruk (tot + 3 dB) wordt verkregen wanneer de box zo dicht mogelijk bij op of de vloer staat. Hoe hoger de box wordt opgesteld, des te kleiner de versterking van de lage tonen, zie figuur 8.10. Hetzelfde gebeurt wanneer de box dicht bij de wanden wordt opgesteld. Indien de afstand tot een wand kleiner is dan ongeveer een kwart van de golflengte, neemt bij lage frequenties de geluidsdruk met maximaal 3 dB toe, zie figuur 8.11.

Bij lage frequenties, beneden 500 Hz, wordt het geluid door de luidspreker in alle richtingen (rondom) uitgestraald. Het tegen de wand achter de box gereflecteerd geluid wordt met gelijke fase opgeteld bij het recht naar voren afgestraald geluid, waardoor versterking tot stand komt.

Hetzelfde gebeurt wanneer de luidspreker in een gat in de muur wordt opgesteld (figuur 8.12), zodat de muur en de voorzijde van de box een vlak vormen. Wanneer zich een tweede muur in de directe omgeving bevindt, wordt de geluidsdruk zelfs maximaal 6 dB hoger.

In een hoek opgesteld kan de geluidsdruk voor lage frequenties met maximaal 9 dB toenemen omdat de box door drie vlakken wordt omgeven.

De ESL is in tegenstelling tot de dynamische weergever ook bij lage frequenties een



Figuur 8.9. Invloed van de afstand tussen luidspreker en vloer op de geluidsdruk.

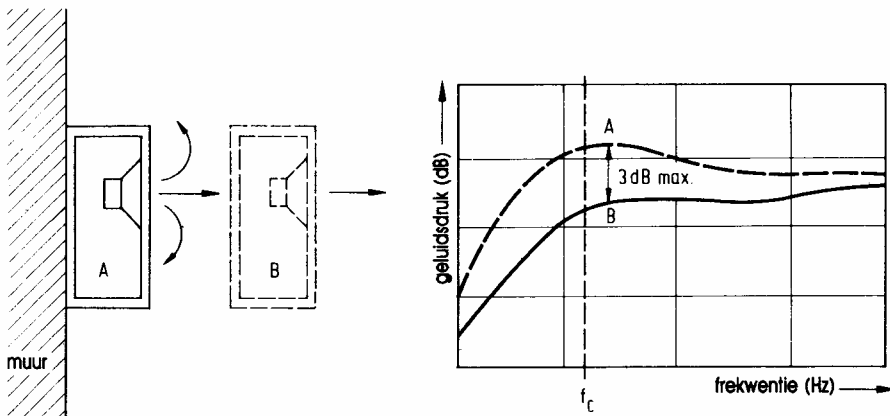
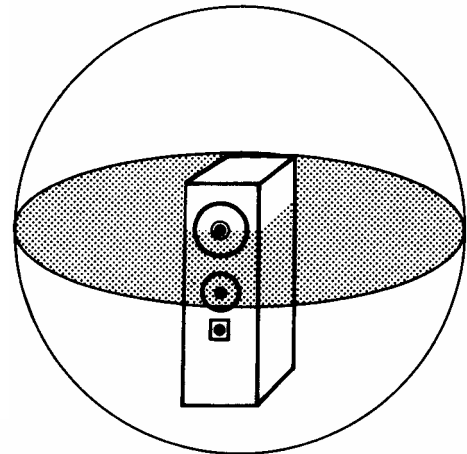
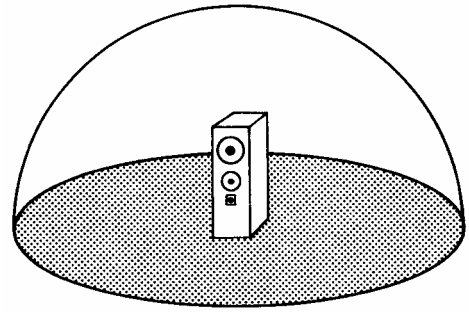
Figuur 8.10. Bij lage frequenties is de geluidsafstraling bolvormig, bij hogere frequenties half- bolvormig.

zuivere dipoolstraler. Dat wil zeggen dat zowel de voorzijde als de achterzijde van de weergever geluid uitstralen.

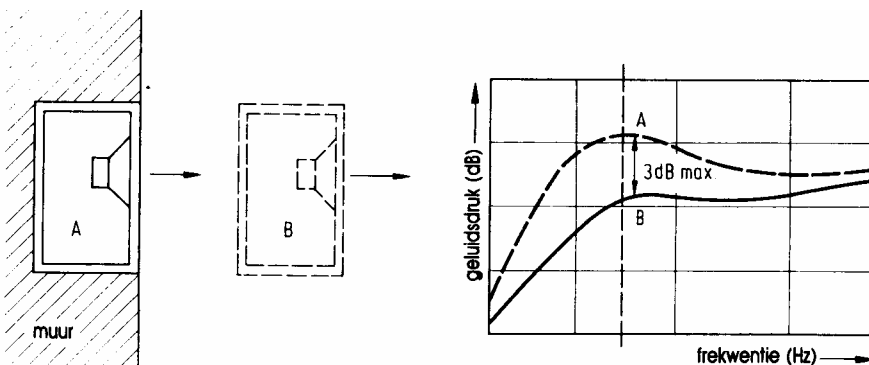
Ben tweede verschil met de dynamische weergever is dat, als een ESL een rechthoekige langwerpige vorm heeft, wat meestal het geval is, deze het karakter heeft van een lijnbron. Het opstellen van een ESL stelt door het dipool- en lijnbron- karakter dan ook andere eisen aan de opstelling.

In verband met het bereiken van een goede balans tussen het direct uitgestraald geluid en het door de achterzijde uitgestraald en gereflecteerd geluid moeten sommige ESL's op ruime afstand van de muur worden geplaatst (ca. 1... 1½ m).

Het dipool- karakter biedt echter ook voordelen. Bij een juiste opstelling biedt het tegen de achtergrond gereflecteerd geluid een positieve bijdrage aan het ruimtelijk muziekbeeld, waarbij de plaatsing van elementen binnen het muziekbeeld verbetert. De zelfbouw ESL's in dit boek kunnen beter bij plaatsing tegen de wand of in een hoek aan de achterkant van het membraan iets gedempt worden. Dit kan eenvoudig gebeuren door het luidsprekerdoek aan de voorkant te verwijderen en aan de achterkant niet. Deze lichte demping is vaak afdoende.



Figuur 8.11. Invloed van de afstand van een luidspreker tot de muur.



Figuur 8.12. De invloed van het inbouwen van een luidspreker in de muur.

Is meer demping nodig, dan kan men de achterkant van het membraan dempen met een oude wollen deken of een rol BAF.

De plaatsing van de (full-range) ESL is qua laagweergave even kritisch als die van een elektrodynamische weergever. Voor de opstelling van een elektrostaat gelden qua laagweergave dezelfde eisen als die aan de dynamische weergever worden gesteld, dus opstelling nabij wanden levert versterking op van de lage frequenties. Voor de laagweergave zijn er dus optimale afstanden tot wanden en hoeken.

8.3 Luistertest

De beoordeling van een zelf gebouwde of aan te schaffen elektrostaat dient bij voorkeur in de eigen luisterruimte plaats te vinden. Daarbij kan het beste gebruik worden gemaakt van de bestaande installatie. Bij de beoordeling kan gebruik gemaakt worden van een aantal criteria zoals:

- Natuurlijkheid. Een volkomen natuurgetrouwe weergave laat geen verschil horen tussen het originele geluid en de reproductie daarvan.
- Homogeniteit. De stabiliteit van het geluidsbeeld. Er vinden bij orkestweergave of koorweergave geen verschuivingen plaats van de afzonderlijke geluidsbronnen binnen het geluidsbeeld.
- Fasegedrag. De mate waarin de lage en hoge tonen in de tijd gezien ten opzichte van elkaar zijn verschoven. Klinkt de weergave natuurlijk zonder overdreven scherpe s- en t- klanken?
- Resolutie. Het oplossend vermogen. Zijn bij de weergave van een koor of orkest de afzonderlijke instrumenten of stemmen goed waar te nemen?
- Transiënt- weergave. Weergave van impulsen. Klinken slagwerk en snaarinstrumenten levendig en helder, zonder dat er sprake is van na- ijling?
- Spreiding. De horizontale spreiding van met name hogere frequenties. De hoge tonen moeten over een redelijk grote hoek worden uitgestraald en niet alleen recht naar voren.
- Hoge tonen. Hoge tonen dienen helder en transparant te klinken zonder overdreven scherp te.
- Lage tonen. Lage frequenties, slagwerk en orgel bijvoorbeeld, dienen zonder boombas en met voldoende geluidsdruk te worden weergegeven.

Om de weergever te beoordelen zijn er in de handel uitstekende test- cd's verkrijgbaar, die zeer geschikt zijn voor de beoordeling van elektrostaten.

Hier volgen drie titels:

- Chesky Records, zie figuur 8.13
- Jazz Sampler and Audiophilic Compact Disk Volume 1 Chesky JD 37, speelduur 61.19 mm.
- Audio Stax, zie figuur 8.14

The Test

Audio Stax AX CD 92001, speelduur 53.18 min.

- Denon 91, zie figuur 8.15 “Digital Sound of the Future” Denon GES-9150, speelduur 70.47 mm.

Figuur 8.13. Testplaat Chesky Records.

Figuur 8.15. Testplaat Denon.

Figuur 8.14. Testplaat Stax.

