

# TOT U SPREEKT DE KAMER

door Peter Walker

ned. bew. Henri A. van Hessen

**Bij het omzetten van elektrische in  
acoustische informatie ontdekken  
onze luidsprekers dat de bewegingen  
van de conus niet in de pas lopen met  
de stroomvariaties van de versterker.  
De invloed van de luisterruimte op  
de weergave is veel groter dan men  
op het eerste gehoor zou denken.**

Het theoretisch concept van geluid dat midden in een veld met vers gevallen sneeuw wordt voortgebracht (losse sneeuw reflecteert geen geluid) staat wel erg ver af van de manier waarop wij muziek weergeven in onze huiskamer. In ons huis zal de weergave vele malen luider zijn dan in het "open veld" en bovendien een totaal ander karakter, een ander timbre hebben. Ook blijkt ons vermogen om vast te stellen waar het geluid vandaan komt aangetast te zijn. (Andersom kunnen blinden, die weten waar het getik van hun stok vandaan komt, zich een idee vormen van de omgeving waarin ze zich bevinden.)

Om te zien hoe ingrijpend de invloed van de kamer op de weergave is, gaan we in op het mechaniek dat in het spel is, hoe onze oren daarop reageren, en wat we kunnen doen als een en ander niet naar genoegen uitpakt. Het niveau van deze bijdrage mikt op de lezer van NRC/Handelsblad die het katern voor Onderwijs en Wetenschap pleegt over te slaan.

## Drie geluidsvelden

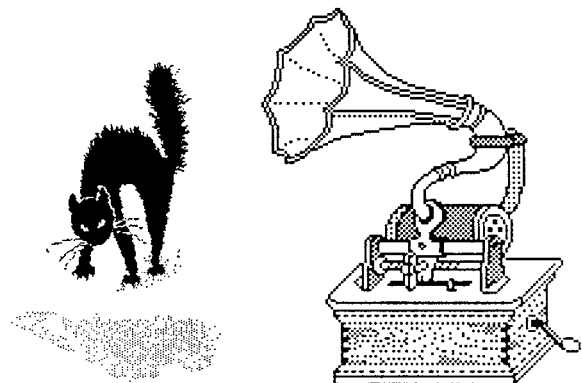
Laten we om te beginnen maar eens een korte droge tik produceren, met een potlood op een tafelblad bijvoorbeeld. In het hoorbare resultaat kunnen we drie componenten aanwijzen. Allereerst is er het directe geluid dat langs een rechte weg bij ons oor aankomt. Het is hetzelfde geluid dat we zouden horen in het met sneeuw bedekte veld. Direct daarna arriveert een kleine karavaan "vroeg reflecties" als gevolg van de kaatsende vlakken (het tafelblad, de vloer, de wand, een raam of een kast) in de naaste omgeving van de tik. Daar achteraan komen nog eens honderden reflecties die van wand tot wand en van vloer tot plafond heen en weer gekeerd zijn, en snel zwakker en zwakker worden: de nagalm of reverberatie, het "diffuse geluidsveld" (het verschil tussen echo en reverberatie is dat de echo niet diffuus is, maar als een aparte geluidsbron waargenomen wordt; nagalm zit aan het bronsignaal vastgebreed).

Om de hier beschreven toedracht ook daadwerkelijk waar te nemen kunnen we de gang van zaken over een langere periode uitsmeren, bij voorbeeld door de wanden verder weg te kiezen. Dan worden de looptijden langer, waardoor de nagalm later inzet en langer duurt. Een goed voorbeeld is het effect van één enkele voetstap in een lege kathedraal.

## Tijdschaal

Vergeleken bij de huiskamer is de tijdschaal nu tot meer dan 15-voudig uitgerekt. Van dichtbij zal het directe geluid van de voetstap heel even apart hoorbaar zijn, en hetzelfde karakter hebben als voetstappen op de tegels buiten. Direct na dit "droge" geluid komen de eerste reflecties, met een ratelend karakter. Het geratel gaat over in een ongedefinieerde cocktail, de optelsom van de wandreflecties die uit alle hoeken en gaten binnenkomen. Louter door de schaalvergroting blijken de drie fasen nu beter te onderscheiden.

Gerijpt door deze ervaring keren we terug naar de huiskamer. Onze oren mogen dan wel te traag zijn om de gang van zaken daar bij te benen, maar onze hersenen doen toch hun voordeel met de extra informatie die door de nagalm wordt toegevoegd. Hoe spelen de hersenen het klaar om uit een cocktail van continu gedruis de gewaarwording van één enkele tik te distilleren?



## Ons analytisch vermogen

Onderzoek naar de gehoorfunctie heeft aangetoond dat de hersenen de eerste 50 reflecties herkennen als herhalingen van het beginsignaal, en ze bij elkaar vegen als het toebehoor van een enkele tik. Eén enkele gebeurtenis in de tijd. Zo zijn we in staat om de tik te registreren als een gebeurtenis met niet alleen een tijdsduur en een sterkte, maar ook met een kleuring en een uitsterfverloop. Daarbij wordt de nagalm vrijwel niet in rekening gebracht. Die wordt al door het oor gebagatelliseerd en in de hersenen nauwelijks opgemerkt (in geval van blindheid wordt dat anders).

## Energiepomp

We stappen af van de bescheiden voetstap en stellen een luidspreker op die een constante toon van redelijke sterkte voortbrengt. In de kerk kunnen we een accord laten aanblazen door een paar orgelpijpen, die zijn er al. Omdat dit signaal niet verandert in de tijd kunnen we geen onderscheid meer maken tussen de vroege reflecties en de nagalm. Er ontstaat een heel andere toestand : de geluidsbron pompt voortdurend acoustische energie in de ruimte, en het geluidsniveau bouwt zich op totdat de verliezen door reflecties en absorptie even groot zijn als de toevoer van nieuwe energie. Pas wanneer de toon plotseling wordt afgebroken horen we de nagalm op zich zelf, als een wegstervend effect dat in een grote kerk seconden lang kan aanhouden.

Wanneer de luisterruimte geheel leeg zou zijn en alle wanden inclusief vloer en plafond massief, hard, vlak en glad (dus uitstekend zouden reflecteren), zou het geluidsvolume in korte tijd tot oorverdovende sterkte aangroeien. Huiskamers plagen gemeubileerd te zijn en elk der wanden absorbeert sommige frequenties meer dan andere, zodat het acoustisch resultaat beperkt blijft tot een voor elke bepaalde ruimte karakteristiek timbre.

## Octaven

In principe wordt geluid net zo teruggekaatst als licht, maar de spiegeling pakt heel anders uit omdat de golflengtes van totaal verschillende grootte-orde zijn. Wat voor het oog een brokkelige, bouwvallige muur is, kan een prachtige spiegel vormen voor bijvoorbeeld een goed-gedefinieerde echo. En er is ook verschil in de omvang van het bereik dat wij waarnemen. Onze ogen zien maar één octaaf van het electro-magnetisch spectrum, het gebiedje tussen infra-rood en ultra-violet, dat zijn de golflengtes van 0,4 tot 0,8 micrometer (een

micrometer of  $\mu$  [micron] is een duizendste millimeter). Daartegenover – mits we niet onder het landbouwschap vallen of te vaak naar de disco geweest zijn – gaat ons gehoor van 20 Hz tot 20 kHz (kilohertz), een bereik van bijna 10 octaven. In golflengte uitgedrukt, praten we over tinkeltjes van 16 mm (20 kHz) tot majestueus aanrollende bassen van 16 m - een omvang van 3 decaden.

## Model

Voordat we op de verschillen in reflexgedrag ingaan, profiteren we eerst van de overeenkomsten om de kameracoustiek door te lichten. We doen dat aan de hand van een model op kleine schaal waarin we een lichtbron plaatsen, een kaars of een fietslampje. Voor alle kamerwanden gebruiken we spiegels en we beginnen met twee stuks, een vloer en een achterwand. In fig. 1 ziet de tot hoofdletter gereduceerde waarnemer O niet alleen het lampje, maar ook een spiegelbeeld ervan in de achterwand plus een onder de vloer.

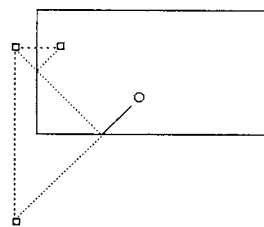


fig. 1 spiegeling van (licht- of geluids) bron in vloer en achterwand

Wanneer we de kamer uitbreiden met een derde spiegel als plafond neemt het aantal lichtpunten al sterk toe. Zo zullen in het plafond de drie lampjes uit fig. 1 te zien zijn, maar die beelden zijn op hun beurt ook weer zichtbaar in de achterwand, en dat samen weer in de vloer en dat weer in het plafond, en zo vervolgens.

## Louter lichtpuntjes

Aangevuld met de beide zijwanden geeft de kamer al een enorm aantal lampjes te zien. Als we tenslotte de tent sluiten met de zesde spiegel (voordat u het zegt : voorzien van kijk-gaatje !), ontwaren we zelfs een ware oceaan van lichtpuntjes. Minder poëtisch uitgedrukt : de spiegelbeelden zijn nu zo dik gezaaid, dat we nauwelijks meer individuele punten onderscheiden, maar voornamelijk een compositie, het patroon van hun aller interferenties.



Afhankelijk van de kamer-afmetingen zal uit de chaos der looptijdverschillen een kleurschifting resulteren. Sommige frequenties versterken elkaar, andere worden verzwakt of zelfs uitgedoofd, en de lichtsterkte in de kamer zal drastisch toenemen, maar niet aangroeien tot in het oneindige.

Het licht is niet zuiver wit meer, want wit licht is de resultante van alle mogelijke frequenties die in gelijke sterkte aanwezig zijn. Het resultaat van de wirwar is dan ook een felle kleurzweem die weliswaar afkomstig is van de oorspronkelijke lichtbron, maar in feite bepaald wordt door vorm en afmetingen van de kamer. (Als we de spiegelkamer tot het uiterste perfectionneren, resulteert er nog maar één enkele frequentie : op die manier maken we monochromatisch laserlicht.)

### Brouhaha

Terugkerend naar onze luidspreker dienen we te bedenken dat geluidsbronnen op groter afstand dan pakweg 100 m praktisch niet meer meedoen, maar in een bol met een straal van 100 m tellen we toch al gauw 20.000 à 30.000 van die bronnen. Al het meubilair in de kamer wordt trouwens ook op deze manier verveelvoudigd.

De manier waarop geluid weerkaatst is niet simpelweg te beschrijven als hoek van inval = hoek van uitval. De optica heeft het makkelijker : daar is de golflengte vrijwel altijd verwaarloosbaar klein ten opzichte van de obstakels waar lichtstralen mee te kampen hebben.

Dat ligt bij geluid genuanceerder. Het midden van het audiospectrum heeft zo'n beetje het zelfde postuur als wij zelf en ons huisraad, met golflengtes om en nabij 1 meter. In dat gebied ligt de sleutel-A van de piano, 440 Hz, en het is natuurlijk geen toeval dat muziekinstrumenten afmetingen hebben die van 1 decimeter (triangel) lopen tot 1 decimeter (orgelpijp).

Een en ander leidt tot de complicatie dat vrijwel alle voorwerpen in onze huiskamer achteloos onspoeld worden door lage tonen, maar als spiegel werken voor hoge. Een deel van de geluidsgolven trekt zich dus niets aan van zo'n hindernis, een deel zal er doorheen gaan, en daarvan wordt weer een deel geabsorbeerd en een deel teruggekaatst.

### Kleuring

Omdat de luidsprekers door al het gespiegelde steeds verder weg komen te staan, worden ze niet

alleen steeds zwakker, maar ook zal hun geluid ons later en later bereiken. Wie wel eens een heimachine op afstand heeft gadegeslagen zal dit kunnen beamen.

De omwegen vertalen zich in enorme faseverschuivingen die bepaalde frequenties zullen verzwakken en andere versterken. Naar analogie met wat er met onze lichtbron gebeurde noemen we dit verschijnsel : kleuring. Kleuring is voor technici per definitie vervorming, maar is zo onvermijdelijk, dat musici (en bouwers van muziekinstrumenten) er niet alleen mee hebben leren leven, maar er dankbaar gebruik van maken om het resultaat van hun inspanning te bekronen.

De gitaar klinkt anders dan de viool omdat de kast anders gebouwd is. Een sprekend voorbeeld van materiaalkleuring is het verschil tussen regen die tegen de ruiten of op een zinken dak klettert en de zachte ruis van diezelfde regen op een grasveld. Enige jaren geleden demonstreerde TransTec tijdens een Firato kleuring door interferentie van twee luidsprekers die zich van en naar elkaar bewogen. Menig bezoeker reageerde ontsteld op de enorme vervorming die aan totale uitdoving vooraf ging.

### Twee dingen

Bij de spiegeling van luidsprekers vallen twee zaken op. De eerste 30-40 spiegelbeelden staan op onregelmatige afstanden van de waarnemer, maar daar voorbij stelt zich een patroon in. Er ontstaan regelmatige rijen (horizontaal) en dito kolommen (verticaal) van luidsprekers. Deze regelmaat is in fig. 2 voor het horizontale vlak geschetst en ligt ten grondslag aan de voorkeursresonanties van de kamer (die vormen staande golven, in Engeland aangeduid met het germanisme "eigentones").

We zien hoe telkens clusters van 4 weergevers dicht bij elkaar terecht komen, doordat de bron-luidspreker niet midden in de kamer staat maar dicht bij een van de hoeken. Eenzelfde patroon zal zich ook in het verticale vlak instellen. De clusters weerspiegelen de bron van alle kanten en dat wil zeggen dat elke cluster een bolvormig patroon van afstraling levert.

Bij het luisteren horen we het directe geluid volgens het "on-axis" (voorwaarts) diagram van de speaker, maar zowel vroege als late reflecties vullen dat aan met de volledige afgestraalde energie waartoe de weergever in staat is. In het engels : "mean spherical response".



### Mission impossible

De luidspreker wordt opgezadeld met de ondankbare (onuitvoerbaar ?) taak om te fungeren als pomp die alle frequenties tussen 20 en 20.000 Hz tegelijk en in alle mogelijke sterkte-verhoudingen aan de lucht overdraagt.

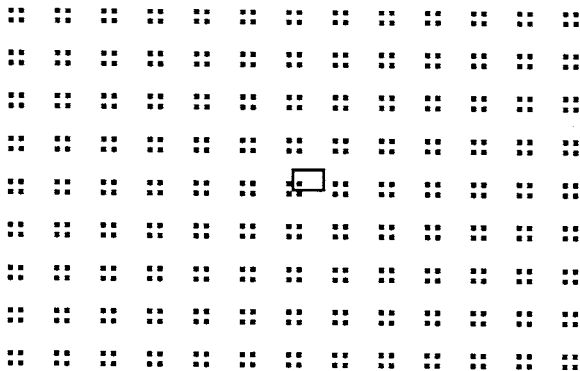


fig. 2 Het samenscholen der spiegelbeelden in het horizontale vlak. In het midden de kamer van fig. 1. Loodrecht op het papier ontstaat ook zo'n patroon.

Dat houdt onder meer in dat de conus bij tijd en wijle met 40 à 50 kubieke cm lucht jongleert. De voortgebrachte geluidsgolven variëren in golflengte van 2 cm tot een meter of tien. Het is deze variatie in golflengte die oorzaak is van de ongelijkmatige afstraling van geluidsenergie, niet alleen bij luidsprekers, maar bij geluidsbronnen in het algemeen en muziekinstrumenten in het bijzonder. De lage tonen hebben golflengtes groter dan de afmetingen van het instrument (of de luidspreker) dat (die) ze voortbrengt. Die tonen zullen ongehinderd om de kast heen spoelen en zich gelijkmatig naar alle kanten uitbreiden.

De hoge tonen daarentegen ervaren diezelfde kast als een samenstel van spiegelende oppervlakken, en worden meestal door interferentie met zich zelf gebundeld, als regel in voorwaartse richting. Dat betekent dat we recht voor zo'n weergever te veel hoge tonen voor onze kiezen krijgen, en meer opzij te weinig. Om onder die omstandigheden het afstralingspatroon van een luidspreker redelijk constant te houden, is de grootste uitdaging voor de ontwerper.

### Bundeling

De acoustiek van onze luisterkamer zal de kwaliteit en de kwantiteit van de weergave moeten bevorderen, maar dan mag de luidspreker zelf niet

naar alle richtingen even sterk stralen, want in dat geval zou de bijdrage van de kamer tot een maximaal gekleurd resultaat leiden. De meeste luidsprekers blijken hun geluidsafgifte dan ook te bundelen, een bundeling die toeneemt met hogere frequentie. Het is niet ongebruikelijk dat een luidspreker de sis- en plofklanken (s, f, sj, t) recht naar voren 10 maal zo hard weergeeft als bij een homogeen patroon van afstraling in alle richtingen ("rondom") het geval zou zijn.

En niet alleen worstelen we met het contrast tussen de rondom afgestraalde bassen en de scherp gebundelde hoge tonen, er is nog een complicatie, veroorzaakt door de afmetingen van de behuizing, de box. Die variëren van piepklein (zo groot als ons hoofd) tot manshoog (of groter) en dan zitten we weer in de zelfde golflengtes waar we het net al over hadden, het gebied waarin de tonen van de piano liggen.

### Afstralingspatroon

In de praktijk vinden we dan ook, van goedkope modellen tot de duurste luidsprekers toe, dat het patroon van afstraling in de diepe regionen bolvormig is, enigszins samentrekt in het middengebied, weer even opengaat bij de hogere middentonen, om tenslotte sterk te bundelen in het hoogste octaaf.

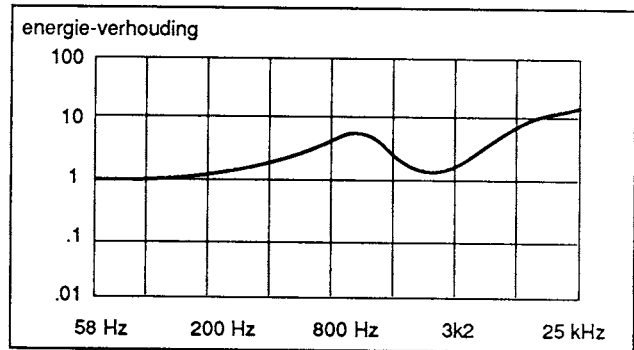


fig. 3 verhouding tussen axiaal en rondom afgestraalde energie van alom geachte (en dure) luidspreker.

Daarbij valt aan te tekenen dat om de totale afgestraalde geluidsenergie bij alle frequenties uniform te houden, de afstralingsindex een grillig verloop moet vertonen. (Deze grootheid, in het engels : directivity index, specificceert hoe sterk een luidspreker bundelt bij diverse frequenties). Het liefst zien we de bundeling langzaam en gelijkmatig toenemen naarmate de frequentie hoger wordt, zonder scherpe knikken of plotselinge uitschieters.

Terugkomend op de bijdragen van de reflecties aan het directe geluid, valt het op dat alleen het directe geluid een timbre bezit dat door het frontale aandeel van de speaker bepaald wordt, maar dat zowel vroege als late reflecties op de rondom-respons gebaseerd zijn. Het kan daarom best gebeuren dat luidsprekers die "on axis" eender doormeten, totaal verschillend reageren op de ruimte waarin ze worden vergeleken. En dat niet alleen : het is evenzeer mogelijk dat twee weergevers die in de ene kamer sprekend op elkaar lijken, in een andere kamer ver uiteenlopen.

### Vroeger of later

In tegenstelling tot wat u waarschijnlijk altijd gedacht hebt zal in een modale huiskamer 90 % van de geluidsenergie die onze oren bereikt uit (vroege en latere) reflecties bestaan. Het is verleidelijk om hieruit te concluderen dat het voor alles zaak is de rondom-respons van de weergever onafhankelijk van de frequentie te maken, maar dat blijkt te simpel gedacht te zijn.

Muziek en spraak bestaan allesbehalve uit continue tonen, maar vormen een onophoudelijk veranderend stramen, veranderend in sterkte en in frequentie, soms geleidelijk, meestal sprongsgewijs. Als regel vinden de sprongen plaats in minder tijd dan nodig is om het diffuse veld op te bouwen, zodat we na elke sprong geconfronteerd worden met een nieuw direct geluid, terwijl we nog omringd zijn door de nagalm van het vorige. Organisten en kerkkoren stellen zich op deze gang van zaken in, maar dat kunnen wij passieve luisteraars ze niet nadoen. Wat wij wel kunnen is eigenlijk wel zo elegant.

### Baaierd

Ons brein houdt de binnenkomende geluidsindrukken eventjes vast, alsof het een bandlusje in een recorder is, en analyseert onderwijl onophoudelijk welke impulsen bij welke nagalm horen. De tijdelijke opslag stelt onze hersenen in staat orde te scheppen in de baaierd van geluid die op ons afkomt. Onze ingebouwde processor is zo efficiënt dat we in een vertrouwde omgeving (thuis) stukken beter in staat zijn te bepalen uit welke richting een plotseling geluid komt dan buiten de deur.

Ons gehoor is in hoge mate gevoelig voor snelle veranderingen in het geluidsbeeld. En ook de richting-gevoeligheid is sterk gekoppeld aan 'transients', stoot- en plofgeluiden, waaronder

inzetten, vooral die van de kopersectie. Niet voor niets bestaat de ritmesectie van de big band van oudsher uit piano, gitaar, slagbas en drums - die we alle vier afzonderlijk waarnemen ! Niet alleen trekt het eerstkomende directe geluid onze aandacht, zodat we aan de hand daarvan de richting bepalen van waar het komt, maar we kunnen deze functie ook weer vergaand uitschakelen als ons dat beter uitkomt.

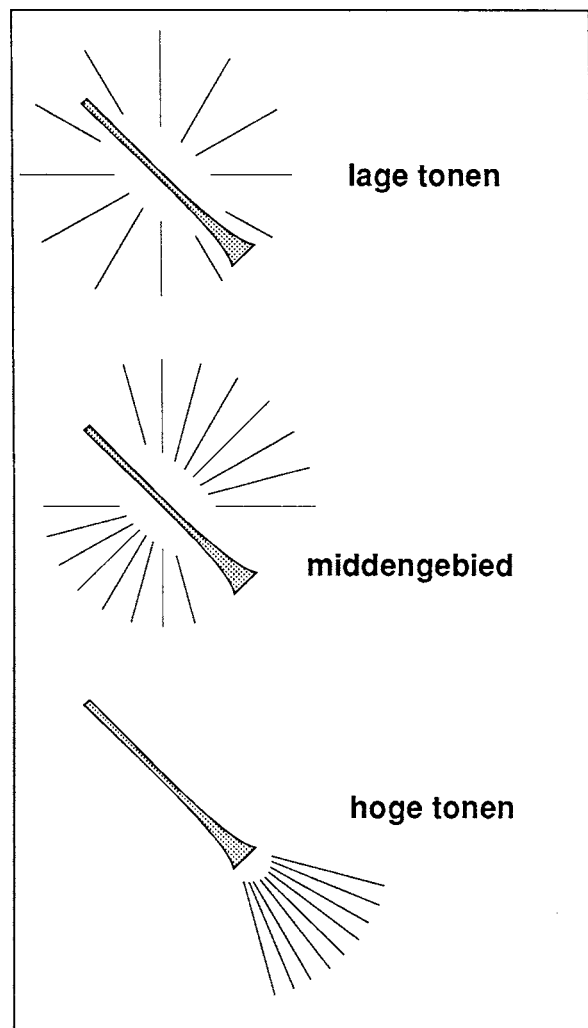


fig. 4 hoe de clarinet zijn toonbereik afstraalt

### Cocktail-effect

We kennen waarschijnlijk allemaal het verschijnsel dat we in een druk eethuis ondanks het hoge stoor-niveau toch redelijk met onze tafelgenoten kunnen converseren zonder overmatig last te hebben van de belendende mee-



eters. Tenzij we door die buren onze naam horen uitspreken : dan spelen we het moeiteloos klaar voor ons uit te blijven kijken, maar te luisteren naar wat er naast of achter ons te horen valt. Jaren terug, toen stereo net kwam kijken, vond een schrandere amerikaan de term "cocktail-party effect" uit voor dit verschijnsel, want het is een functie van ons gehoor die niet kan werken zolang het geluid uit maar één gaatje komt. We gebruiken dit vermogen natuurlijk in de concertzaal, waar we tevens de gewaarwording van de nagalm onder de tafel vegen, want we hebben dat geluid al gehoord toen het de eerste keer langs kwam.

### **Slap en vaal / droog en kaal**

Het vermogen ruimtelijk te horen speelt een enorme rol in onze muziekbeleving, ook al levert het directe geluid maar een kleine bijdrage aan onze totale gewaarwording. Als we in een kamer naar luidspreker-weergave luisteren en door een technische ingreep het directe geluid uitfilteren, horen we de luidheid nauwelijks veranderen. De hoge tonen komen wat zwakker door en de muziek klinkt sappig, weinig gedetailleerd. Luisteren we alleen naar het directe geluid, met de kamer weggefilterd, dan zakt de geluidssterkte aanzienlijk in, en de weergave wordt kaal en droog. Het soort weergave dat we ook kunnen beluisteren in het vrije veld, in de sneeuw.

### **Pratend hoofd - geen monopolie van de NOS**

We stomen langzaam op naar de hamvraag : laten wij onze oren hangen naar onze luidsprekers of hoe zit dat ? Laten we maar eens een opname maken van de menselijke stem, in een redelijk-goed gedempte kamer. We zetten de microfoon op 30 - 40 cm voor de spreker (m/v). Als we de opname nu afluisteren op een luidspreker met rechte axiale respons en een afstralingsindex met eenzelfde verloop als het menselijk hoofd (dat is niet moeilijk), dan benaderen we aardig het theoretische begrip "pratend hoofd". De weergave zal in elke kamer en in elke positie een uiterst natuurlijke indruk maken, dezelfde indruk die de woordvoerder zelf in dezelfde positie ook zou maken. De kamerresonanties worden evenzo volstrekt vanzelfsprekend toegevoegd. Als we met iemand lopen te praten in variërende omgeving, dan klinken onze stemmen de ene keer droog en gedempt, een andere keer hol en galmend. We letten daar niet op zolang de omgeving zichtbaar overeenstemt met de acoustiek ervan. Pas wanneer we iemand in een warm-gemeubileerde kamer zouden horen spreken met de nagalm van een zwembad, zouden we verbijsterd opkijken.

De auditieve impressie moet kloppen met de visuele. En we hebben aan een snelle blik genoeg om een idee te vormen van het te verwachten auditieve karakter.

### **Music, maestro, please**

Wat we hierboven met de stem deden kan in principe ook met een muziekinstrument dat we liefelijk in de kamer af willen beelden. Maar het is vaak moeilijk, en bij een aantal instrumenten zelfs onmogelijk, om een passende index te maken. Elk muziekinstrument heeft zijn eigen karakter dat soms ook nog varieert met het bereik waarin het instrument bespeeld wordt. Een luidspreker met het karakter van een viool, een sopraan of een trompet is per definitie ongeschikt om een orkest, een orgel of een tenor weer te geven. Bovendien lopen we aan de opname-kant tegen een overeenkomstige barriere aan. Daar zitten al die instrumenten op het podium, elk met zijn eigen reeks boventonen, die allemaal op andere wijze afgestraald worden. Waar hangen we de microfoon om dat ordelijk binnen te krijgen ?

### **Loge of stalles**

Een beter recept, ook voor solo instrumenten, is om een van de kamerwanden acoustisch uit te poetsen en te vervangen door een royaal uitzicht op een ruimte waarin de musici zich bevinden. Bij de opname heeft de toonmeester zijn microfoons op een plaats opgesteld waar ze niet alleen het directe geluid goed binnen krijgen, maar ook een portie van het diffuse veld.

Zodoende geeft latere af luistering een indruk van karakter en afmetingen van de zaal waarin het gebeuren plaats vond of, zoals bij opera-producties gebruikelijk, de ruimte waarin de handeling plaats hoort te vinden. Zoals we eerder zagen, worden door het diffuse veld de naar achteren en opzij gerichte componenten en boventonen aan het directe geluid toegevoegd, zodat we het muzikaal gebeuren weer volledig kunnen reproduceren, vaak zelfs van een voordeliger luisterplaats dan in de zaal zelf te vinden is. ( Een goede stereo-opname vergoedt op die manier het gemis aan visuele informatie.)

Aan dit geheel wordt nog de eigen kamer-acoustiek toegevoegd, zodat de luisteraar zich zowel buitenshuis als door een vertrouwde ruimte omgeven voelt. Bij een goede verhouding tussen het aandeel dezer beide acoustische componenten (de kamer mag natuurlijk niet de eerste viool spelen) is op deze manier een zeer voldoening-gevend resultaat te bereiken.



Het is verleidelijk om op deze weg nog een stapje verder te gaan en de luisteraar een goed plaatsje in de concertzaal te bezorgen. Dat kan op meer dan één manier, maar bij allemaal duiken problemen op die het raadzaam doen schijnen voorlopig pas op de plaats te maken en ons tevreden te stellen met het venster op de concertzaal en een zo vrij mogelijk zicht op het podium.

### Mozart door van Gogh

Voorwaarde is wel dat de huiskamer een passend acoustisch karakter bezit, wat automatisch inhoudt dat de kamer zich niet opdringt. Het oor zal dan weinig moeite hebben het diffuse huiskamerveld naast zich neer te leggen. De situatie is in dat geval te vergelijken met een logeplaats, waar we immers ook omspoeld worden door extra informatie van de wanden om ons heen. De korte looptijden zijn zo afwijkend van die van de zaal, dat ze het oor niet in verwarring brengen. Veel moeilijker ligt de vraag: wat te doen als de kameracoustiek ons wel parten blijkt te spelen? Electronische hulpmiddelen in het algemeen, en "graphic equalizers" in het bijzonder, deugen niet voor het camoufleren van acoustische problemen. Het is het paard achter de wagen spannen; alsof schilders zich een oor afsnijden omdat de lijst van hun zelfportret te krap blijkt. Als de acoustiek van de kamer niet deugt, is er maar één oplossing: de acoustiek van de kamer verbeteren. En dat is een terrein vol valkuilen en klemmen.

### Zingend in de cel

Vrij universeel is het probleem van de kleine kamer. De voor de hand liggende remedie blijve onbesproken, want daar tobt de ongelukkige bewoner al dag en nacht over. Wat er fout is aan kleine kamers zijn de staande golven of voorkeursfrequenties, korter (en het enige ons bekende audio-germanisme in het engels): eigentones (het woord okselnoten verwierpen wij zodra het zich aandienende, maar over paratonen valt misschien te praten). Alle kamers bezitten eigentones, bij duizenden. Het zijn de staande golven behorende bij de clusterpatronen die zich rond de spiegelkamer van fig. 2 opbouwden.

Elke staande golf beslaat maar een heel smal frequentiebandje. In de midden- en hoge regionen van het geluidsspectrum vinden we honderden resp. duizenden eigentones per octaaf, zodat ze elkaar in die regionen min of meer gelijkmatig versterken. In het diepste laag zijn er maar een stuk of vijf, zes resonanties per octaaf, die elkaar gaan aantasten, uitdoven en versterken.

### Zaalacoustiek met behulp van kunsthoofd-stereofonie.

Eén manier om de luisteraar naar de concertzaal te transporteren begint met het wegdempen van de huiskamerwanden door op alle oppervlakken – inclusief vloer en plafond – absorberend materiaal aan te brengen. Vervolgens wordt de luisteraar omringd met weergevers – sommige experts achten een aantal van 20 het minimum. Elk van deze wordt gevoed door een eigen, aparte microfoon in de zaal.

Het zou mogelijk moeten zijn om op het aantal opneemweergeesparen te bezuinigen door de acoustiek van de zaal synthetisch toe te voegen, maar geen van de experimenten in die richting is tot op heden met succes bekrond.

Een alternatief is om via kopelefoons te luisteren. Het orkest blijkt nu binnen in ons hoofd te zitten, omdat we beroofd zijn van de subtiele mechanismen (onze oorschelpen, ons hoofd) die de late reflecties gebruiken om ons een beeld van de omgeving te schetsen. Voor dit effect kunnen we bij de opname compenseren door een aparte microfoon te monteren in elk der beide gehoorgangen van het "kunsthoofd", dat we op een voordelige plaats in de zaal opstellen.

De uitkomsten op deze manier bereikt zijn wisselvallig. Om een overtuigend resultaat te verkrijgen moet het model van het kunsthoofd een goede replica van het hoofd van de luisteraar zijn. Opnamen gemaakt met miniatuur-microfoons in de gehoorgangen van een proefpersoon gaven een prima resultaat, zolang ze tenminste via koptelefoons door de proefpersoon zelf beoordeeld werden. Anderen waren minder verrukt. Misschien kunnen we de microprocessor te hulp roepen om voor vorm en afmetingen van ons hoofd te compenseren. Naar dan nog mogen we niet ons hoofd bewegen, dus voorzichtig ademen, want anders is de illusie gelijk vertrokken. Fluisteren met de buurman is er niet bij.

Het aantal eigentones per octaaf hangt af van de kamerafmetingen en neemt snel toe met de grootte van de kamer. Resonanties geven daarom problemen in kamers van 100 m<sup>3</sup> (5 bij 8 meter) en kleiner. Het standaard-voorbeeld is de badkamer, met zijn harde interieur en klein formaat. Zingen of neurien in de natte cel onthult onmiddellijk de tonen die buiten proportie versterkt worden, en andere die niet willen (mogen) meespelen.

### Non-constructieve ingrepen

Aan aantal en frequenties van de eigentones kunnen we niets doen want die zijn vastgelegd door de dimensies (hoogte, breedte en lengte) van de kamer. Wanneer die bovendien ook nog eenvoudige rekenkundige betrekkingen te zien geven (1 : 1,5 : 2 bv), vallen allerlei eigentones samen, waardoor het aantal en de sterkte der uitdovingen en opslingeren extra toeneemt.



Omdat we juist uniformiteit in de weergave willen, is dit in hoge mate ongewenst. We kunnen echter wel invloed uitoefenen op de relatieve sterkte der resonanties door te experimenteren met de plaats van de luidsprekers. Door die hoger of lager op te stellen, naar voren, naar achteren of opzij, vinden we vrij snel een geschikte plaats voor optimale doortekening in het laag. Daarbij moeten we er wel steeds voor zorgen de speakers zoveel mogelijk symmetrisch ten opzichte van de wanden (en de vloer) op te stellen, om de spiegelclusters van fig. 2 links en rechts ook gelijk te krijgen. Als we dat niet doen (en ook wanneer één der wanden een sterk afwijkend acoustisch karakter heeft) zullen de speakers verschillend klinken. En ook moeten we er op verdacht zijn geen andere effecten voor staande golven aan te zien, zoals vloer-, raam- of deurresonanties.

### **Eigentones, staande golven, kamer-of voorkeursresonanties.**

Stel u een kamer voor die wel lang, maar niet erg breed is, en ook niet bijzonder hoog. Zo'n kamer begint op een gesloten orgelpijp te lijken en zal dan ook alle tonen ondersteunen wier golflengte een geheel aantal malen op de lengte van de kamer deelbaar is.

Normaal is een kamer of zaal echter driedimensionaal en gedraagt zich eerder als een combinatie van drie haaks op elkaar staande orgelpijpen. Er zullen in de "tangentele modi" staande golven ontstaan tussen elk paar evenwijdige wanden. Weer andere (en zeer toonaangevende) zullen corresponderen met de diagonalen van de ruimte.

Het aantal mogelijke resonanties neemt uiterst rap toe met hoger wordende frequentie, zodat behalve de laagste bassen vrijwel elke toon steun voor herhaald uitslingeren zal vinden. Als gevolg hiervan zal het volume van de muziek over een groot bereik min of meer gelijkmatig versterkt worden.

Door de ruimte een ander model te geven zal het aantal modi niet noemenswaard veranderen, alleen worden ze dan wel moeilijker te berekenen.

### **Reactionair**

Doordat de luidspreker doende is de lucht heen en weer te bewegen, zal niet alleen de lucht gaan golven, maar van de weeromstuit ook de luidspreker zelf (de weeromstuit werd in 1666 wiskundig gelegaliseerd door Newton toen het hem te binnen schoot dat de aarde ook naar de appel viel). Wanneer de luidsprekerbehuizing nu maar als één geheel zou bewegen, was het hoorbare effect te verwaarlozen, omdat de massa van de kast enorm veel groter is dan die van de papieren conus in de luidsprekermotor. Maar zo

gaat dat niet. Ontwerpers analyseren prototypen vaak door een groot aantal sensoren in en aan de kast te bevestigen. De output van die trilling-opnemers wordt versterkt en op het computerscherm zichtbaar gemaakt als een geagiteerde pudding, met in alle richtingen lopende golven.

Wij kunnen ook zonder computer een indruk krijgen van een en ander, met een middelgrote schroevendraaier die we krachtig tegen onze gehoorgang zetten (niet- of minder-technische muzikkliefhebbers : gebruik daar het botte eind voor, en houd tenminste één vinger vrij om uw andere oor dicht te drukken). Met het andere eind tasten we nu de luidsprekerkast af onder het genot van een struise symfonie of darterel rockwerkje. Vrijwel overal pikken we een modderig gehoeempa op met voornamelijk onbestemde lage aandelen, het soort geluid dat door de muur komt als de burens de radio te hard hebben staan.

### **Bonzo**

Wanneer de luidspreker met de vloer verbonden is, direct of via een plint, hangt het van de vloer af of de bewegingen van de box worden gesmoord of versterkt. Een houten vloer met minimale balk-ondersteuning zal sterk in beweging komen, zoals ook een tafelblad de output van de stemvork beter hoorbaar maakt. Wat op die manier hoorbaar wordt, is in de pas met de muziek, en daar is dan alle goeds wel mee gezegd. Hoewel ... er zijn hele volksstammen die wat laagondersteuning best graag horen, vooral wanneer ze muziek draaien die met elektronische hulp gemaakt werd, want in dat geval is er geen werkelijkheid die als referentie kan dienen. Maar op den duur zal toch die doffe monotone wolk die permanent aan alle muziek wordt toegevoegd, muzikkliefhebbers de keel gaan uithangen. Concertgangers en hifi-liefhebbers zijn niet echt blij met stompen die eerder doen denken aan gebeukte kartonnen dozen dan aan zorgvuldig op toon gebrachte pauken.

### **Doelgroep**

Het bovenstaande speelt al mee voordat een luidspreker ontworpen wordt. Voor wie ga je 'm maken ? Bij een luidspreker bedoeld voor de muzikkliefhebber en/of hifi-fan ligt de nadruk enkel en alleen op zuivere (dat is ongekleurde, natuurgetrouwe en volledige) weergave. Het eindresultaat wordt dan ook getoetst op muziek en stemmen uit de acoustische wereld, niet op materiaal dat langs elektronische weg tot stand gekomen of bewerkt is. Een luidspreker die voldoet in het eerste, acoustische geval zal ook geschikt zijn in het tweede.





Het omgekeerde is meestal niet het geval. Musici in het populaire genre zoeken eerder een speaker die iets toevoegt, een "sound", kleuring die in de huiskamer onverdragelijk zou zijn. En nu we toch over productie van muziek praten in plaats van reproductie: het is niet alleen de synthesizer die synthetische muziek maakt. Een microfoon in de beker van de saxofoon, onder de snaren van de gitaar of op de brug van de bas, levert al een resultaat dat acoustisch niet gerealiseerd kan worden. En dat ligt niet aan de microfoon, maar aan de positie ervan in het directe geluidsveld.

### Beton

Als de luidspreker opgesteld is op een zware solide vloer, parket of plavuizen op beton, zullen de kabinetresonanties niet geabsorbeerd worden, maar meestal ook niet versterkt. De bewegingen van de kast lopen via de plint of de voeten van de speaker naar de vloer, die niet gaat meetrillen, zodat ze worden teruggekaatst naar de speaker. Het hoorbare effect is verwaarloosbaar. Of de vloer van de kamer een hoorbare bijdrage levert (die wat ons betreft altijd ongewenst is), is gemakkelijk na te gaan door tijdens het spelen van muziek de luidspreker(s) even van de vloer te tillen. Als dat een duidelijk verschil oplevert, is de vloer niet solide genoeg. In zo'n geval is het misschien mogelijk een betere plaats te vinden op een plek waar de vloer beter ondersteund wordt, bij een wand bijvoorbeeld, of op een vloerbalk.

Voor alle duidelijkheid: wat we hier aanstippen heeft niets te maken met de eveneens vaak enorme invloed van de vloerbedekking van de kamer - daar komen we nog op.

### Panelen

De invloed van panelen (wandbeschieting) is minder éénduidig: ze kunnen zowel dempend als ondersteunend werken, afhankelijk van hun relatie tot de geluidsbron. De zangbodem van de piano wordt, net als het tafelblad door de stemvork, in trilling gebracht door direct contact met de snaren, en draagt door zijn grote oppervlak de trillingen veel efficiënter over aan de lucht. Maar wanneer een geluidsgolf bij een houten paneel aankomt, is slechts een fractie van de energie die door de bron werd afgestraald bij die ontmoeting betrokken. Het paneel zal al of niet in beweging gebracht worden door de luchttrillingen. Als het paneeloppervlak niet meedoet, werkt het als spiegel en kaatst de luchttrillingen weer de ruimte in.

Als het paneel wel mee gaat trillen, zullen de houtdeeltjes door onderlinge wrijving energie absorberen uit de geluidsgolf, die daardoor navenant verzwakt wordt. Het paneel kan niet meetrillen wanneer de golflengte korter is dan de kleinste paneelafmeting, want zo'n golfje zal op de ene plaats de luchtdruk vergroten, en even verderop verkleinen. Zodoende kunnen we door het aanbrengen van panelen de kameracoustiek een prettig karakter geven. De afmetingen van de panelen (en hun afstand tot de wand) kunnen we bijvoorbeeld zo kiezen dat spraak helder opklinkt, maar bastonen ontmoedigd worden bij hun pogen een holle of galmende acoustiek op te bouwen.

Het grootste paneel in onze kamer is de vloer (en zijn spiegel, het plafond) en aan de constructie daarvan kunnen we niet veel doen, en zeker niet op eenvoudige wijze. Wanneer de bas monotoon klinkt, alsof de bassist alsmaar eenzelfde noot strijkt of plukt, kunnen we proberen of meer absorptie helpt. Door meer demping (meubels, gordijnen) in de kamer te brengen, veranderen we niet het aantal of de frequentie van de staande golven, maar wel hun bandbreedte. We vervagen als het ware iets van hun definitie. Uitdovingen en opslingeringen zullen nu een groter aantal tonen omvatten, die echter elk voor zich wat minder uitgesproken zullen zijn.

### Aan de slag

Niet alleen schuiven met de luidsprekers, ook experimenteren met een andere opstelling van het aanwezige meubilair kan een ophoorend verschil maken. Daarbij moeten we natuurlijk wel groot denken: verplaatsing van telefoon, asbak of schemerlamp haalt niets uit. Het gaat om zithoek, bank, grote fauteuils, dressoir, boekenkast en dat soort zaken.

Omdraaien van de hele kamer kan soms een radicale verbetering teweeg brengen: luidsprekers tegenover de schoorsteen, of voor de ramen (maar vooral niet in een erker) waar ze demping kunnen krijgen van de (zware) gordijnen (ook weer niet denken dat vitrage iets doet - wel invloedrijk, maar nooit zegenrijk, zijn inpandige jalouzieën van aluminium of lamellen van kunststof. Ze maken de acoustiek koud en ketserig).

Positief daarentegen werken goedgevulde boekenkasten of -planken, vooral als de collectie boeken een aanmerkelijk deel van de wand inneemt. En zoals we al aangaven, kan een (gedeeltelijke) lambrizing een heilzaam



effect hebben op diepe eigentones die de bassen in de meest letterlijke zin eentonig maken. Voor het uitrekenen en aanbrengen van zulke panelen dient u wel een acoustisch adviseur in te schakelen. Deskundig advies is trouwens ook raadzaam wanneer de wijzigingen grote omvang gaan aannemen of van structurele aard zijn.

De grootste invloed van veranderingen in de plaats van de weergevers treffen we aan in de buurt van de wanden. Tot hertoe hebben we stilzwijgend verondersteld dat de weergevers een meter uit de (zij- en achter) wanden waren opgesteld, zoals door de meeste fabrikanten aanbevolen wordt (er zijn uitzonderingen - raadpleeg de documentatie van uw speakers!). Als we de luidspreker dichter naar de wand schuiven, in het extreme geval in de hoek - waar drie wanden tezamen komen - gebeuren er twee belangrijke dingen.

### Onharmonisch

Om te beginnen zullen de vroege reflecties nu zo vroeg komen dat ze met het directe geluid gaan interfereren. Bij een verschil in weglengte van een meter of minder zullen (alweer!) de frequenties in het gebied van 400 tot 3000 Hz worden aangetast, een kleuring die als heel onprettig ervaren wordt. Beschrijvende termen voor dit verschijnsel zijn: blafferig, bonkend, scherp, gesluierd, rauw, brutaal of gemeen. Of nog beeldender (Jan Kool placht in Luister te klagen over sopranen die de bocht uitgierden).

Zulk soort toevoegingen aan de muziek storen ons omdat ze er geen harmonische relatie mee hebben. De omvang van dit euvel zal afhangen van details in de afstralingskarakteristiek van de weergever, het percentage direct versus indirect geluid en de richtingen waarin de indirecte componenten worden afgestraald.

Een verplaatsing van 10-15 cm zal al een enorm verschil maken en maakt nader advies overbodig. Nabijheid van de wanden zal ook nadelig uitwerken op de waarneming van het stereo-effect, vooral wanneer ook de symmetrie in de opstelling verloren is gegaan.

### Overdrijvende wolkenvelden

Het andere goed-waarneembare gevolg van de hoekpositie is dat bij vrijwel alle luidsprekers de laagweergave sterk opgejaagd wordt. Bij een afstand groter dan een meter zal dit effect beperkt

blijven tot de allerlaagste frequenties en meestal zeer welkom zijn. Kleinere afstanden maken de bas luider en minder "droog", maar eerder wolkerig, zwabberend en toonloos. Dit wordt aanvaard door mensen die liever veel bas dan goed-gedefinieerd laag horen. Nog kleinere afstand geeft dan de effecten die we hierboven beschreven en die bij niemand in de smaak zullen vallen.

De invloed van de aangrenzende wanden op de weergave valt in het ontwerp van de speaker te compenseren, maar dit is verre van gebruikelijk. Compensatie is ook elektronisch uitvoerbaar, maar minder exact dan op de eerste manier. Sommige versterkers bezitten een stand (*bass step*) voor laagafval die deze functie aardig benadert voor het geval dat weergevers met grote band-breedte onverhoopt hoekposities moeten innemen.

### Parket – karpert

Een veel-gehoorde, maar weinig onderkende verslechtering van het geluid ontstaat, in grote zowel als kleine kamers, doordat het directe geluid van de weergever via twee wegen het oor van de luisteraar bereikt: langs de rechte lijn, en via de spiegeling in de vloer, zie nogmaals fig. 1. Hoe minder deze beide wegen van elkaar verschillen (dus hoe lager de luidspreker staat), des te meer interferenties (en des te erger de kleuring) in het gebied (alweer!) waar onze oren het gevoeligst zijn. Gelukkig is dit euvel niet moeilijk te verhelpen: een dempend oppervlak tussen speaker(s) en luisteraar(s) doet wonderen.

Deze absorptie hoeft zich nu niet tot zeer lage frequenties uit te strekken, dus een niet al te dun tapijt of biezen mat geeft meestal al een duidelijke verbetering. In kleine kamers hoeft het niet de vloer te zijn, die roet in ons muzikale eten gooit, ook een tafelblad kan als spiegel werken. Als uw speakers omhoog zijn gebracht om boven een tafel of bureau uit te komen, let er dan op dat ze royaal boven zo'n spiegel verheven zijn – of verberg die spiegel onder een perzisch kleedje (echt, het helpt).

Bij veel luidsprekers zijn de motoren onder elkaar geplaatst zodat de maximale afstraling naar beneden gericht is, als de dimlichten van een auto. Of dit bij uw eigen weergevers ook het geval is, is natuurlijk eenvoudig te constateren door de speakers op hun kop te zetten. Klinkt dat beter maar is het visueel niet aantrekkelijk, dan wordt de weergave ook al verbeterd door de speakers iets (15°) achterover te laten hellen.



## Afronding

We hebben het erover gehad hoe het directe geluid, de vroege reflecties en de nagalm samen de geluidsindrukken opbouwen die onze oren te verwerken krijgen. We hebben een paar subtiele trucs beschreven waarmee onze hersenen de binnenkomende geluidsindrukken analyseren om niet alleen oorsprong en karakter van het geluid vast te stellen, maar ook uit welke richting het komt, en in welke omgeving het opklinkt.

We zagen ook hoe veranderingen in die omgeving kunnen helpen of hinderen bij de appreciatie van muziek die door luidsprekers in onze eigen kamer wordt gereproduceerd. Onze beschouwingen gingen daarbij uit van het meest voorkomende type weergever: electrodynamisch, spreekspoel, conus met voorwaartse afstraling, en 2 of 3 motoren ondergebracht in één behuizing, die zowel geheel gesloten kan zijn, of labyrint- of reflextype, met of zonder passieve componenten.

## Dipool

Er zijn weergevers met een ander soort aandrijving, aan te duiden als dipool- of doublet-luidsprekers. Zij bewegen de lucht niet zozeer als pomp, maar meer als peddel. In principe gelden de paragrafen van dit artikel ook voor dipolen, alleen roepen die een ander patroon van staande golven op en zijn zelf transparant voor geluidsgolven. De invloed van nabije vlakken en kamerwanden op een dipool-weergever is daarom anders dan hier geschetst, en daardoor is ook zijn optimale plaats een andere.

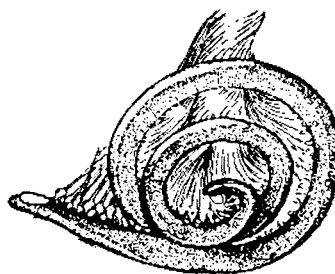
## Stereo

We hebben aangenomen dat de weergever er een van een stereo-paar zal zijn en gingen verder niet in op specifieke eisen van stereo-weergave. Dat is een hoofdstuk dat los staat van de zorg voor een correct muzikaal timbre. De kamer drukt zijn eigen stempel op de weergave, zowel in mono als in stereo.

**Peter J. Walker, OBE** is ontwerper-in-ruste van versterkers en (electrostatische) luidsprekers en oprichter van The Acoustical Manufacturing Company in Huntingdon, Engeland, later herdoopt in QUAD Electroacoustics Ltd.

Dit artikel verscheen oorspronkelijk als *The Sound of the Room* in het augustusnr van HiFi News & Record Review, 1991.

Wij van TransTec vergeten wel eens dat er een hele generatie rondloopt die de worsteling om werkelijkheids-weergave niet heeft meegemaakt. En dan is "een hifi" al gauw iets dat je koopt, liefst met korting, en op de fiets mee naar huis neemt, en daar staat-ie dan. Met specificaties die er niet om liegen. Of wel. En 5 jaar garantie. Of 20. Vandaar dat we blij zijn met deze bijdrage van Peter Walker die het allemaal weer eens op een rijtje zet. High fidelity, je moet het zelf maken.



Overigens vinden wij dat de minister van landbouw etc. kalfsoren aangenaaid dient te krijgen. In stereo.



