

Sound & Science: Digital Histories

Archives NAG: Publicatie No. 8 van de Geluidstichting. Fokker, A. D. (1936). Geluidkaatsingen in de akoestiek. Delft: Geluidstichting, 1936.

<https://acoustics.mpiwg-berlin.mpg.de/text/publicatie-no-8-van-de-geluidstichting>



Scan licensed under: [CC BY-SA 3.0 DE](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/de/) | Max Planck Institute for the History of Science



**MAX PLANCK INSTITUTE
FOR THE HISTORY OF SCIENCE**

PUBLICATIE No. 8 DER GELUIDSTICHTING

GELUIDKAATSINGEN IN DE AKOESTIEK

DOOR

Prof. Dr. A. D. FOKKER

OVERDRUK UIT DE PROTESTANTSCHEN TECHNISCHE, ECONO-
MISCHE EN HUISHOUDELIJKE GIDS — No. 24 — D.D. JUNI 1936



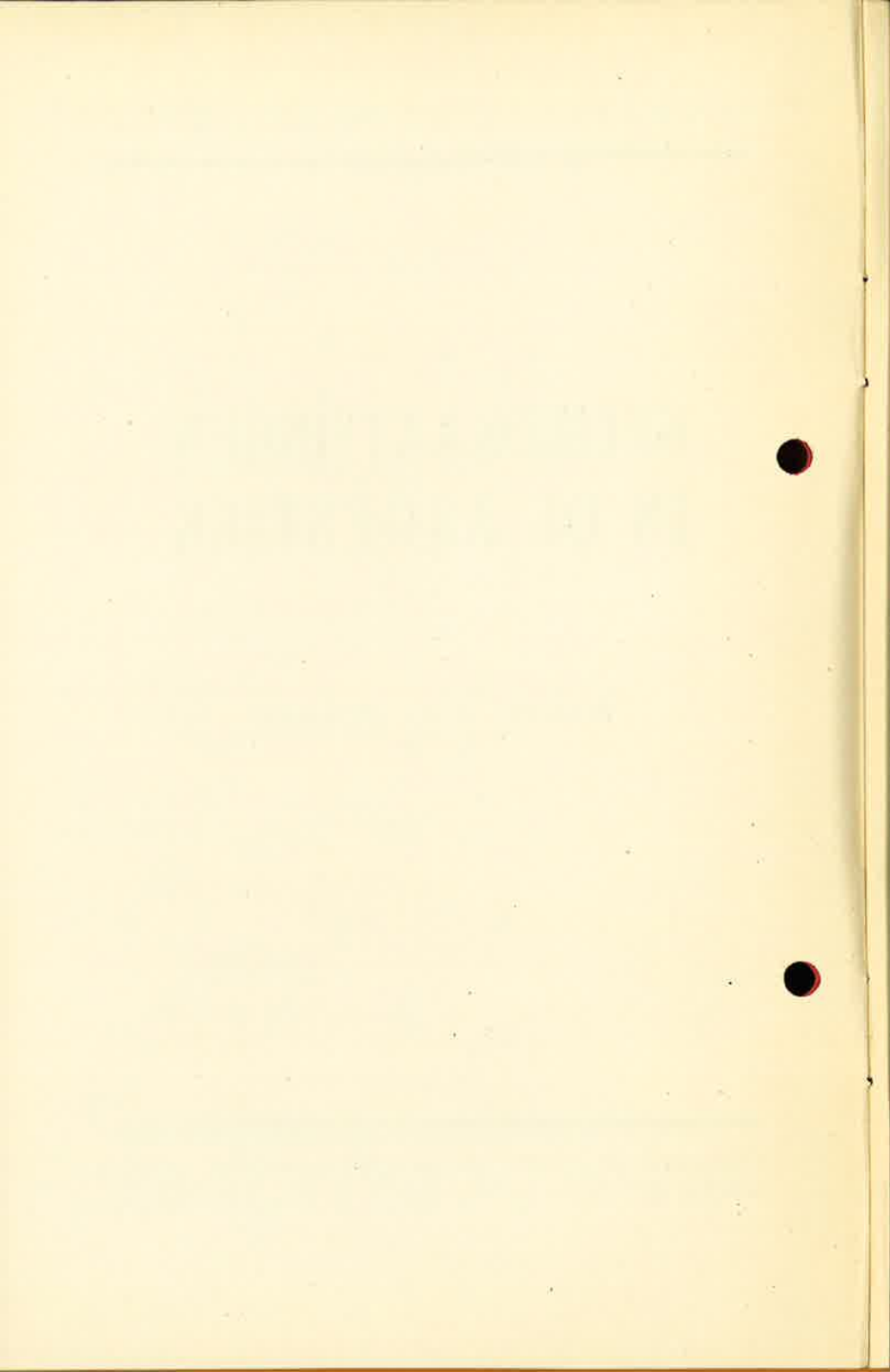
PUBLICATIE No. 8 DER GELUIDSTICHTING

GELUIDKAATSINGEN IN DE AKOESTIEK

DOOR

Prof. Dr. A. D. FOKKER

OVERDRUK UIT DE PROTESTANTSCHЕ TECHNISCHE, ECONO-
MISCHE EN HUISHOUDELIJKE GIDS — No. 24 — D.D. JUNI 1936



De groote problemen van de akoestiek luiden: hoe verkrijgt men een zoo sterk mogelijk geluid, en: hoe verkrijgt men een zoo duidelijk mogelijk verstaanbaar geluid? Deze vragen loopen gedeeltelijk evenwijdig. Immers: tot de verstaanbaarheid zal een grootere sterkte van het geluid aanzienlijk bijdragen. Gedeeltelijk echter streven die vragen tegen elkander in, want het is een kleine kunst om, met harde wanden en een harde zoldering, die haast geen geluid absorbeeren, een aanzienlijke geluidsintensiteit te verkrijgen, zonder dat het geluid verstaanbaar wordt: integendeel zal elk detail alras in een galmzee verdrinken. Die nagalm bestaat uit een ineenlopende reeks van echo's, teweeggebracht door de wanden en de voorwerpen in het vertrek of in de zaal, snel op elkaar volgende en samenvloeiende tot een haast continue geluidstroom, een diffuse echo kan men zeggen. Om hem te vermijden zal men de wanden met absorbeerend materiaal moeten bekleeden, om daarmee ongewenschte echo's te voorkomen. Daarmee vermindert men de geluidsterkte. Te zwak mag het geluid niet worden, echo's zal men blijven noodig hebben. De vraag wordt dus: wat zijn nuttige en wat zijn ongewenschte echo's?

Het antwoord luidt, dat nuttig is de echo, die men als zoodanig niet meer hoort, hinderlijk is de echo die men nog afzonderlijk onderscheiden kan. Geheel buitensporig zou een echo zijn, die een geheel woord (bijv. „Wesel") nog onderscheidbaar weer zou geven. Echter is ook een echo, die na 0.1 seconde terugkomt, onuitstaanbaar en daarom ontoelaatbaar. Wij kunnen een echo voor de akoestiek alleen dan gebruiken, wanneer het oor volstrekt niet bij machte is om hem van het hoofd-

GELUIDKAATSINGEN IN DE AKOESTIEK

geluid te onderscheiden. De echo moet met zijn opwekker in ons oor volkomen samensmelten, om zuiver als versterker en niet als zinverstoorder te werken.

Wij willen in de studie die volgt aan den veiligen kant blijven en een strenge eisch stellen, deze n.l. dat de echo niet later ons oor bereikt dan 0,04, d. i. $\frac{1}{25}$ seconde na het hoofdgeluid. Wij richten aldus de acoustiek in op het duidelijk verstaan van de articulaties van een redenaar.

* * *

Het zal goed zijn, aan de hand van een eenvoudig geval na te gaan, hoe men den factor der geluidkaatsing in de akoestiek kan analyseeren. Wij denken aan een rechthoekige zaal van 20×30 m².

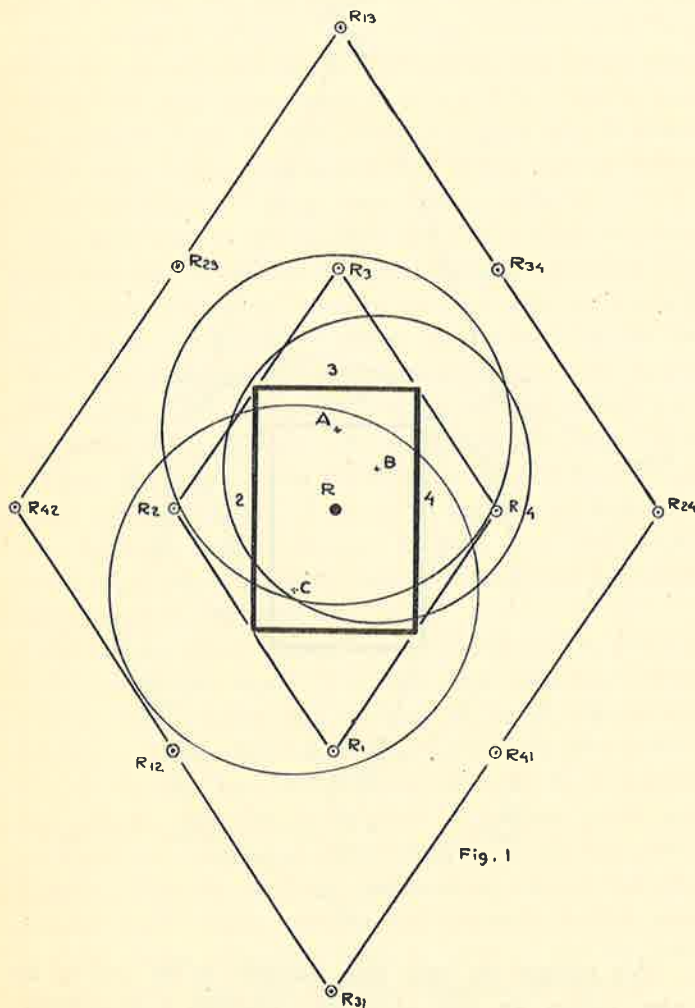
Het is bekend, dat het stemgeluid van een mensch niet in alle richtingen in gelijke mate uitgaat. Naar voren klinkt het bijna tweemaal zoo sterk als naar achteren. Maar daar willen wij van af zien. Wij idealiseeren en denken dat in alle richtingen het geluid even sterk uitstraalt.

Van de geluidsbron wordt in een vlakke wand een beeld gevormd, niet anders dan alsof de wand een spiegel ware die een licht spiegelt. Van dat geluidsbeeld komen geluidstralen als echo uit den wand. Wanneer het eenmaal teruggekaatste geluid op een andere wand valt, zal er bij een tweede terugkaatsing opnieuw een beeld gevormd worden, achter dien wand, en ditmaal niet een spiegelbeeld van de geluidsbron, maar een spiegelbeeld van het eerste geluidsbeeld. En zoo gaat de vorming van telkens nieuwe beelden van beelden door zoolang de geluidstralen blijven doorloopen en van den eenen wand naar den anderen worden gekeatst.

Het valt niet moeilijk om in een teekening de plaatsen van die geluidsbeelden aan te geven.

GELUIDKAATSINGEN IN DE AKOESTIEK

Laat ons aannemen, dat de redenaar R zich in het midden van de zaal opstelt (Fig I). Er zijn vier geluidsbeelden na een eerste kaatsing: R_1, R_2, R_3, R_4 . Na



een tweede kaatsing zijn er acht beelden: $R_{13}, R_{31}, R_{24}, R_{42}, R_{12}, R_{23}, R_{34}, R_{41}$. Zoo voortgaande zou men na

GELUIDKAATSINGEN IN DE AKOESTIEK

een derde geluidkaatsing twaalf beelden krijgen, en allengs het gansche teekenvlak met successieve beelden bedekken.

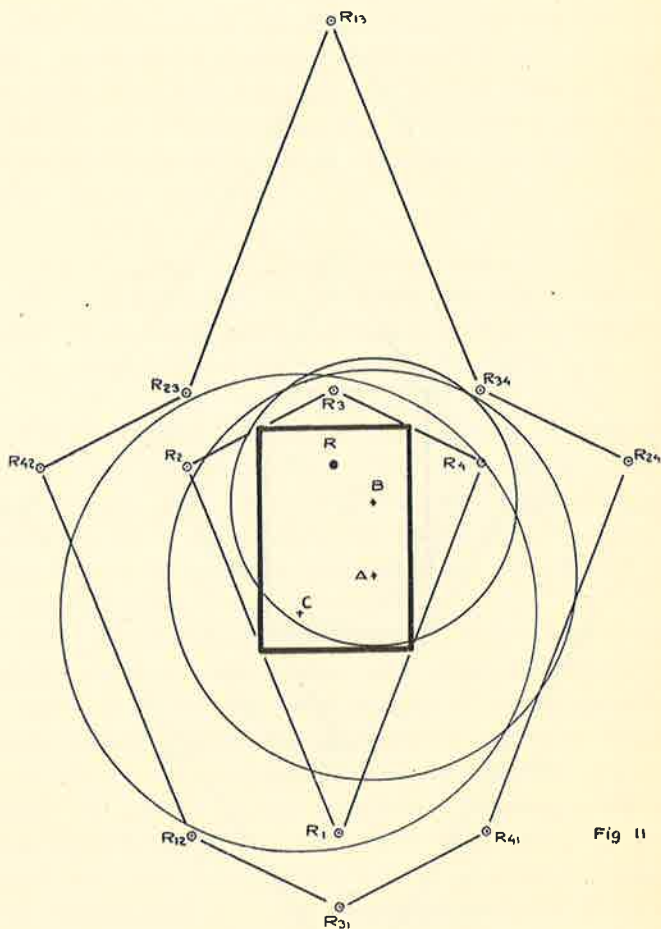


Fig 11

Wij kunnen nu eens drie plaatsen in de zaal in het oog vatten en ons afvragen: hoeveel nuttige echo's krijgen wij daar? In aanmerking nemende de voortplantingssnelheid van het geluid, — ongeveer 300 m

per sec — zullen wij een echo nuttig noemen, wanneer hij komt van een geluidsbeeld dat niet meer dan 12 m verder af ligt dan de primaire geluidsbron. Om het punt A slaan wij een cirkel met een straal, die 12 m langer is dan de afstand van A tot den redenaar zelf. Wij zien, dat er echt binnen de cirkel maar één beeld valt, hoewel er nog twee vlakbij liggen. Maar het is ons om vergelijkingen te doen, en dus zeggen wij: A krijgt één nuttige echo. Eveneens krijgt B één nuttige echo. C ligt gunstiger, C krijgt twee nuttige echo's.

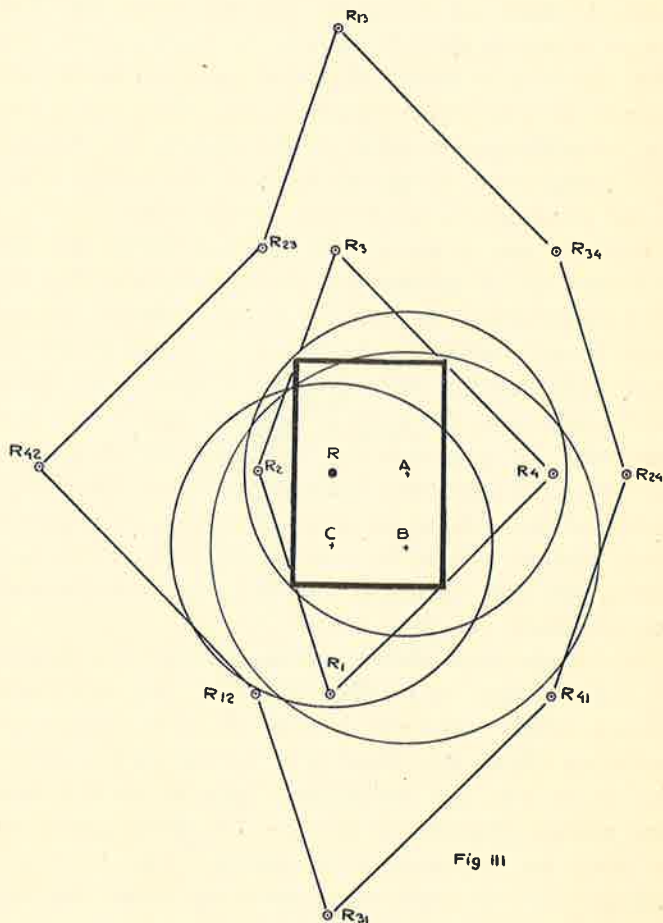
Inplaats van in het midden der zaal stellen wij den redenaar op 5 m midden voor een korte zijwand (Fig. II). Wij construeeren de beelden na één reflectie, die wij door lijnen verbonden hebben, en de beelden die na twee reflecties tot stand komen, eveneens door lijnen verbonden. Om een punt A slaan wij een cirkel, met een straal 12 m grooter dan de afstand van A tot den spreker. Er liggen twee beeldpunten binnen (R_3 en R_4), twee nuttige echo's. In punt B komen er eveneens twee nuttige echo's. In punt C zelfs vier. De vergelijking van deze opstelling met de vorige valt kennelijk ten voordeele van deze uit.

Als derde geval stellen wij den spreker 5 m midden voor den langen wand (Fig. III). Men ziet, dat C twee nuttige echo's krijgt van beelden (R_1 en R_2) binnen den kritischen cirkel. Eén beeld R_{12} , ligt vlak bij dien cirkel: dat is er een van een dubbele reflectie. In B komen drie nuttige reflecties, in A twee. Dit derde geval ziet er over het algemeen even gunstig uit als het voorgaande. Pas als men in aanmerking neemt, dat een spreker naar voren meer geluid uitzendt, besluit men dat de vorige opstelling beter is speciaal met het oog op het direct van den spreker opgevangen geluid.

In Figuur IV is het geval voorgesteld, dat de spreker in een hoek der zaal is opgesteld. Dit geeft wederom

GELUIDKAATSINGEN IN DE AKOESTIEK

een verbetering. Wij zien dat A vijf nuttige echo's krijgt, drie van een enkele terugkaatsing (R_2 , R_3 , R_4), en twee na tweevoudige kaatsing (R_{23} en R_{34}). B krijgt

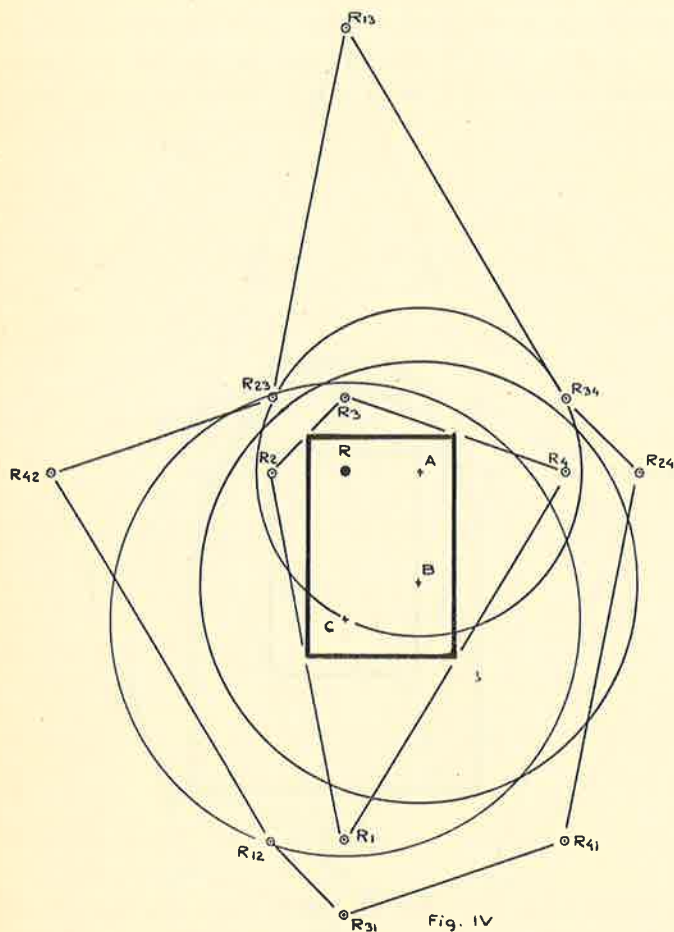


drie nuttige echo's, en C krijgt er vijf, eveneens drie na enkele, twee na tweevoudige kaatsing.

Beter wordt de opstelling voor den korten wand ook, wanneer men den spreker dichter bij den wand plaatst,

GELUIDKAATSINGEN IN DE AKOESTIEK

op 3 m, als in Figuur V. De nuttige reflecties zijn hier $2 + 1$ voor A, $3 + 1$ voor B en $4 + 1$ voor C. Dit behoeft ons niet te verwonderen, omdat door de



nadering tot den wand de afstand van de geluidsbron tot zijn beeld verkleind wordt. Naarmate die onderlinge afstand kleiner wordt zal ook het verschil van hun afstanden tot een of anderen hoorder kleiner worden.

GELUIDKAATSINGEN IN DE AKOESTIEK

Dit verschil van de afstanden moet immers altijd kleiner zijn dan de derde zijde in den driehoek. Indien geluidsbron en beeld dus dichter dan 12 m bij elkander

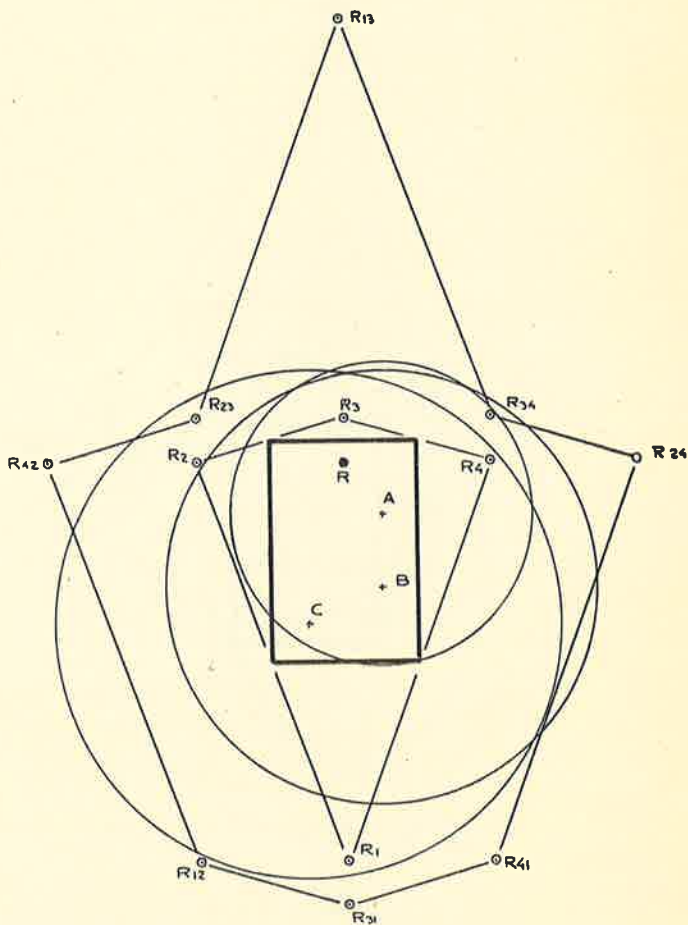
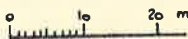


Fig. V



GELUIDKAATSINGEN IN DE AKOESTIEK

zijn, is de reflectie altijd nuttig, waar men die ook maar hoort.

* * *

Wij letten nu eens op de reflectie door den langen wand in het geval van Figuur V. De afstand van geluidsbron en beeld is hier 20 m. Er zullen dus punten

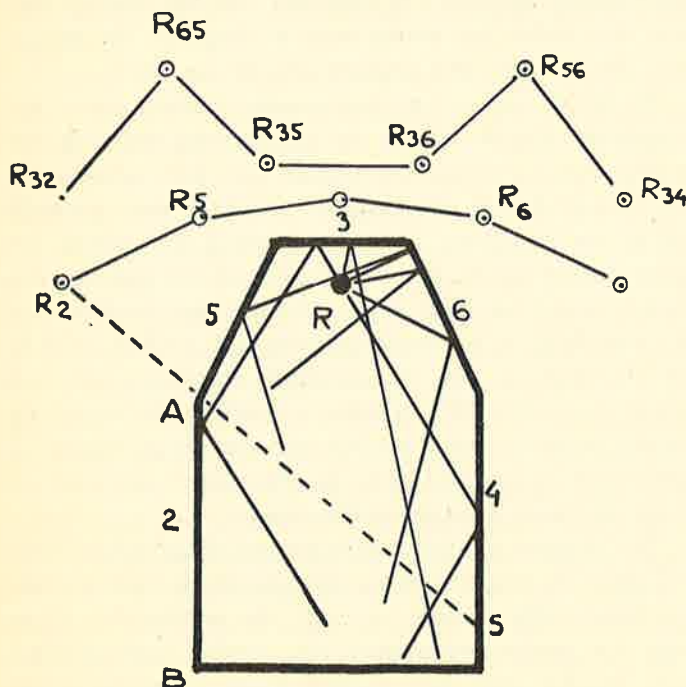


Fig. VI

in de zaal zijn voor welke de echo niet meer nuttig is. Wij zoeken daarvan enkele op. Eén zoo'n punt ligt tusschen spreker en den wand, op 4 m van den spreker, 16 m van het beeld R₂. Voor dat punt doet de wand geen nut. Een ander punt ligt in S, bij den tegenoverliggenden wand (zie Fig. VI). Lettende op den geluidstraal,

GELUIDKAATSINGEN IN DE AKOESTIEK

die van R_2 naar S gaat, komen wij tot de conclusie, dat de geluidskaatsing van het wanddeel tusschen de hoek en het punt A geen nut doet voor de akoestiek in de zaal. Wij kunnen dus gevoegelijk dit wandstuk missen, en trachten te vervangen door een ander, dat misschien een beeld geeft, dichter dan 12 m bij de geluidsbron gelegen. De reflecties van het overige deel van den wand zijn nuttig voor al diegenen die verder van den spreker zijn gezeten dan de lijn $R_2 S$.

Bij het opzoeken van een gunstig beloop voor het wandstuk, dat vervangen zal het onnutte deel van den ouden wand, kunnen wij uitgaan van den wensch, dat dit wandstuk zoo ver mogelijk de zaal met gekaatst geluid zal bestrijken. Dit zal het geval zijn, indien het geluidsbeeld ligt in het verlengde van het vlak van den ouden wand dat blijft staan. Dit legt het beeld vast in R_5 met $A R_5$ in het verlengde van B A, en $A R_5 = A R$, en daarmee is ook de gezochte stand van het stuk wand gevonden. Wij worden vanzelf, strikt logisch en zonder willekeur geleid tot den zaalvorm, die in Figuur VI geteekend is, bepaald door de afmetingen der zaal en door de keuze van de sprekersplaats.

Ter verdere contrôle teekenen wij de geluidsbeelden, die door de omgevende wanden van den spreker worden gevormd. Wij vinden er vijf, die minder dan 12 m van den spreker verwijderd zijn, zoodat, waar men die ook tegelijk met den spreker hoort, zij nuttig geluid zullen geven. Ook de geluidsbeelden R_{32} en R_{34} kunnen alleen in zaaldeelen gehoord worden, waar zij een nuttige versterking geven.

De geluidsbeelden R_{65} en R_{66} echter zijn niet zoo onschuldig. Zij liggen bijna 20 m van R verwijderd. Het zou wel eens veiliger kunnen zijn de vorming van deze beelden te verhinderen. Nu is voor de vorming van R_{56} verantwoordelijk dat gedeelte van vlak 5 (zie

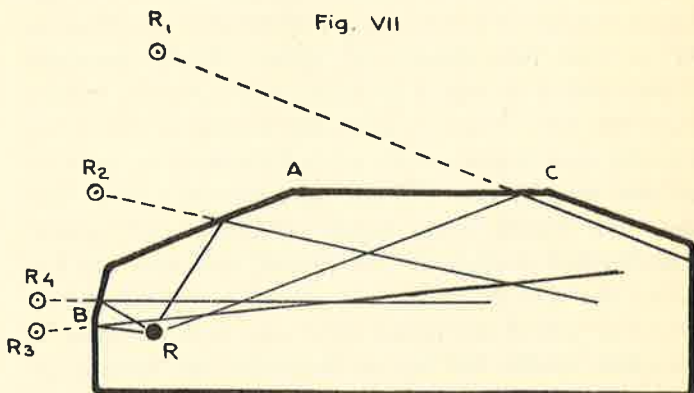
de fig.), waardoor geluidstralen worden gekaatst van het beeld R_5 naar den wand 6. Dit is slechts een klein gedeelte van het vlak 5, en men zou dat kunnen afdekken met absorbeerende stof. Men onttrekt daarmee de nuttige reflectie door vlak 5 slechts aan menschen, die dicht bij den spreker gezeten zijn, en die toch nog van andere kanten ruimschoots gekaatst geluid ontvangen.

Geluid, dat van den achterwand der zaal wordt gekaatst, schijnt te komen, uit geluidsbeelden, die minstens 54 m van den spreker af liggen. Alleen personen dichter dan 6 m van dien achterwand gezeten hebben daar nut van. Voor de overigen beteekent die terugkaatsing een ongewenschte echo. Men moet dat bezwaar uit den weg ruimen. Dit kan op tweeërlei manier. Men kan, ten eerste, den wand bekleeden met geluid-absorbeerend materiaal. Ten tweede kan men ook hier zuinig zijn met de geluidsenergie, en wenschen, dat het gekaatste geluid ten goede komt aan deze verafgezeten hoorders, zonder dat het de dichterbij den spreker gezetene stoort. Dat kan men verwezenlijken door den achterwand te breken. Op de plattegrond krijgt men dan een gebroken lijn, met stukken van omtrent 1 m, die met de ongebroken lijn hoeken van 30° insluiten. Het van den spreker komende geluid zal daardoor, naar rechts en naar links, gekaatst worden in richtingen, die, in het midden, precies 30° afwijken van de ongebroken wandlijn, en meer naar de kanten toe afwisselend wat meer en wat minder dan 30° daarvan afwijken. De achterwand vertoont op deze wijze banen. Elke baan kaatst het geluid vóór langs zijn buurman, zijwaarts, en niet naar het deel van de zaal, waar de spreker is.

* * *

GELUIDKAATSINGEN IN DE AKOESTIEK

Nadat de plattegrond der zaal vanzelf zijn vorm gegrepen heeft, moeten wij de leiddraad, die wij daarbij vonden, volgen bij de vormgeving aan de lengtedoorsnede. Stel dat men de zaal 10 m hoog wil maken, met een horizontaal plafond, en dat er achter in de zaal een balcon zal komen, dat toehoorders tot op zekere hoogte bergen kan. Wij stellen den spreker wederom 3 m vóór den wand, en zijn mond brengen wij 3 m



boven den vloer. Niets is gemakkelijker dan het geluidsbeeld R_1 van den spreker te teekenen dat het plafond maakt (Figuur VII), en na te gaan, welke de uiterste straal is, die vandaar, bij C, naar het balconpubliek gekaatsd wordt. Tot zoover kunnen wij het plafond nuttig gebruiken, en verder niet. Ja zelfs zou het verdere gedeelte, bij den achterwand, schadelijk zijn, omdat het met dien wand, door een dubbele reflectie, geluid vóór in de zaal terugbrengt als een sterk verlate en hinderlijke echo. Die hoek tusschen plafond en achterwand wordt dus door ons weggesneden met een vlak, dat parallel loopt met de geluidstralen, die van het plafond daar vóór langs loopen naar het balcon. Bij contróle blijkt, dat dit scheeve vlak zelf het van den spreker

GELUIDKAATSINGEN IN DE AKOESTIEK

opgevangen geluid nog nuttig terugwerpt in het balcon-publiek. Dat is punt één.

Als tweede punt zoeken wij op de ontmoeting van de scheeve flankeringsstukken naast den spreker met zijwand en plafond, in A. Van hier af kunnen wij het plafond naar beneden laten hellen, met een plat vlak dat een geluidsbeeld R_2 zal maken. Indien wij dat beeld R_2 in het verlengde kiezen van het horizontale plafond, zullen de uiterste teruggekaatste stralen langs het plafond strijken, en achter in de zaal op het balcon gericht worden. Wij maken $AR_2 = AR$ en vinden in de middelloodlijn op RR_2 het beloop van het hellend plafondvlak.

Vervolgens teekenen wij het beeld R_3 in den wand achter den spreker, en gaan na tot welke hoogte B deze wand benut kan worden om met deze geluidstralen het balcon nog te bestrijken. Hooger dan B hebben wij dien wand dan niet noodig. Boven B laten wij den wand naar voren hellen, zoodat er een beeld R_4 gevormd wordt. Laat ons R_4 kiezen in het verlengde van het hellende plafond, dan is daardoor de helling van het hellend wandstuk bepaald.

Aldus is langs rationeele weg een gunstige lengte-doorsnede voor de zaal gevonden.

Gaat men na, hoeveel geluidkaatsingen men hebben zal, dat ziet men, dat er drie kaatsingen zijn, uit R_2 , R_3 , R_4 , die de geheele zaal bestrijken. De kaatsing uit R_1 bestrijkt nog eens extra het achterste deel der zaal en het balcon, terwijl dit laatste bovendien nog profiteert van de kaatsingen door het verste hellende plafondstuk.

Tenslotte zou men langs dergelijke lijnen ook het dwarsprofiel der zaal nog eens kunnen opzetten. Maar dat laten wij liever aan den lezer over.

* * *

GELUIDKAATSINGEN IN DE AKOESTIEK

Daar door de keuze der kaatsende vlakken zooveel geluidsenergie in het auditorium gericht wordt, en dit laatste sterker geluid absorbeert dan eenig materiaal, behoeft er niet veel vrees voor een te lange nagalm te bestaan. Niettemin kan het zijn nut hebben, al ware het slechts om ook voorbereid te zijn op een slechte opkomst van het publiek, om absorbeerend materiaal aan te brengen. Daartoe leent zich altijd de achterwand uitstekend, maar ook de zijwanden kunnen hier diensten bewijzen. Immers, het publiek bevindt zich slechts op den vloer en op het balconvlak, de zijwanden behoeven dus niet op alle hoogten, door de geheele ruimte heen het geluid te kaatsen. Het is niet moeilijk om die gedeelten van de zijwanden op te sporen, die geen geluid nuttig kaatsen, of welker kaatsing niet onmisbaar is. Meestal zijn het horizontale strooken van de zijwanden, welker kaatsing men missen kan, en die dus bedekt kunnen worden met absorbeerend materiaal.

Voor het overige spreekt het vanzelf, dat men de kaatsende werking van de wanden en van de zoldering niet mag belemmeren, Volstrekt ontoelaatbaar zijn daarom voor de zijwanden uitspringende kolommen of spanten, en voor het plafond draagbalken of binten, die in de dwarsrichting loopen. De oppervlakken die nuttig kunnen kaatsen behooren dat onbelemmerd te doen. De oppervlakken welker kaatsing gemist kan worden, of zelfs hinderlijk is, die bedekke men met absorbeerend materiaal.

In een goed gerichte geluidkaatsing ligt het geheele geheim van eene voorbeeldige akoestiek: een juiste kaatsing, een goede akoestiek!

