

Max Planck Research Group
Epistemes of Modern Acoustics

Sound & Science: Digital Histories



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**

Symposium over Zaal- acoustiek, 6 April 1939

Georganiseerd door de „Geluidstichting”

I. DE VORMGEVING VAN AUDITORIA

Voordracht gehouden door Prof. Dr. A. D. Fokker

*II. HET GEBRUIK VAN ACOUSTISCHE
MATERIALEN*

Voordracht gehouden door Prof. Dr. C. Zwilker

III. GELUIDKAATSERS

Voordracht gehouden door Pater A. J. M. Mulder

*IV. ACOUSTIEKVERBETERING MET
LUIDSPREKERS*

Voordracht gehouden door Dr. J. de Boer, Eindhoven

**Overdruk uit „Bouwbedrijf en Openbare Werken” Nos. 14 en 15
van 7 en 21 Juli 1939**

PUBLICATIE No. **23**
VAN DE
GELUIDSTICHTING
DELFT - HOLLAND

Moorman's Periodieke Pers N.V. - Den Haag 1939

SYMPOSIUM OVER ZAALACOUSTIEK, 6 APRIL 1939

I. DE VORMGEVING VAN AUDITORIA

VOORDRACHT GEHOUDEN DOOR PROF. DR. A. D. FOKKER

Elke zaal, die geconstrueerd moet worden, heeft een eigen karakter. Elke taak tot het ontwerpen van een auditorium vormt een eigenaardig complex van voorwaarden en mogelijkheden, dat zich slechts eenmaal voordoet. Het vinden van de juiste oplossing, het scheppen van eenheid is de taak van den kunstenaar-architect, met zijn intuïtie, die gericht is op de synthese van de zoo verschillende aspecten, die het probleem, zooals het concreet in den tijd en in de ruimte voor hem ligt, heeft. Voorzoover de architect ingenieur en een man van de wetenschap is, gaat het voor hem om de kennis van algemeene regels, gebaseerd op de eigenschappen van zijn materialen en op de natuurwetten. De bezinning op die algemeene regels is de taak van den technicus en van den natuurkundige.

Toen Sabine in Amerika begon met de wetenschappelijke doordiening van de acoustiek, richtte hij zich hoofdzakelijk op den nagalm en deszelfs beheersching. In vele gevallen overschaduwde het belang van den goeden nagalm alle andere overwegingen. De nagalm heeft zijn nut en zijn gevaar. Hij is onmisbaar voor de versterking van het ten gehore, tot onze ooren gebrachte geluid. Hij kan strekken tot schade, hij kan het overgebrachte geluid onverstaaenbaar maken. Hij kan essentieel zijn voor de verhooging van de schoonheid van het geluid; doordat hij het voortgebrachte geluid nog eenigen tijd vasthoudt, geeft hij van nature de verrijking met muzikale consonanties van opeenvolgende tonen. Indien opeenvolgende klanken een gemeenschappelijken boventoon hebben, doet de nagalm dezen boventoon ononderbroken doorgaan, terwijl de ondertonen wisselen.

Wanneer het gaat om het gesproken woord, komt het er meestal opaan om den nagalm te bekorten. Langer dan 1 seconde zal hij niet mogen duren. Bij zalen groter dan 2000 m³ kan men dit niet bereiken dan door kostbare bekleeding van groote oppervlakken, die het spreken moeilijk maken, omdat de intensiteit van het geluid daaronder te zeer lijdt. Bij groote zalen moet men het geluid richten.

Wanneer men spreekt van auditoria kan men om te beginnen stellen, dat de zaak besproken zal worden van uit een vaste plaats, uit een bepaald spreekgestoelte. Het is dan mogelijk om zulk een spreekgestoelte te omgeven door een geluidkaatser. Hierop zal Pater Mulder nader ingaan.

In deze samenvatting zal beschouwd worden op welke wijze de

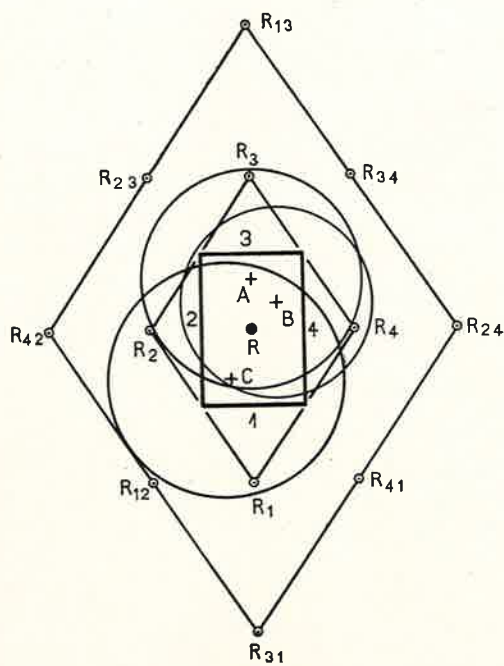
vormgeving van het auditorium kan worden in dienst gesteld, om het geluid in de goede richting te kaatsen. De kaatsende functie moet dan worden toebedeeld aan de wanden zelf der zaal.

Voorop moet de eisch staan, dat geen gekaatst geluid met zooveel vertraging na het rechtstreeksch geluid tot den hoorder komt, dat deze twee merkbaar afzonderlijke, geluidsindrukken krijgt. Indien deze eisch wat streng gesteld wordt, dan wil dat zeggen, dat er geen grooter wegverschil tusschen directe en tusschen teruggekaatste stralen mag worden toegelaten dan 12 m.

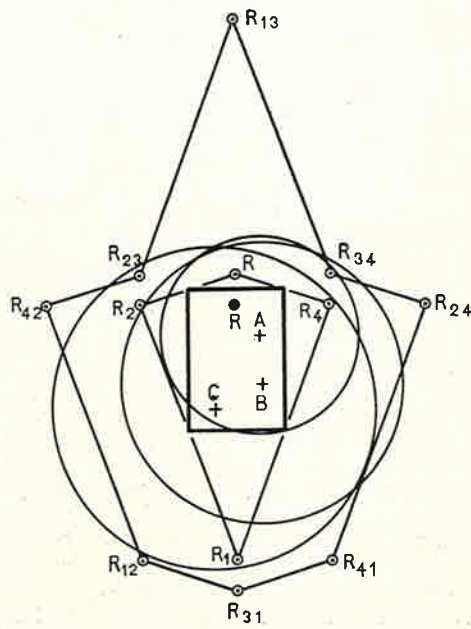
Als voorbeeld wordt beschouwd een rechthoekige zaal van 20 bij 30 m² oppervlak. Laat om te beginnen den spreker R midden in de zaal staan. Men kan dan construeeren zijn spiegelbeeld bij spiegeling in de wanden, een keer R₁ R₄ en bij spiegeling in de wanden tweemaal, enz. Om te beoordeelen met hoeveel wegverschil de diverse gekaatste stralen aankomen in verschillende plaatsen van de zaal, behoeft men slechts te letten op het verschil van het punt in de zaal tot de diverse spiegelbeelden. Indien wij om dat punt in de zaal een cirkel slaan, met een straal, 12 m grooter, dan de afstand van dat punt tot den spreker zelf, dan kunnen wij zeggen, dat van alle spiegelbeelden die binnen dien cirkel gelegen zijn een nuttige reflectie aankomt, van alle spiegelbeelden buiten dien cirkel gelegen een hinderlijke reflectie. In afb. 1 is dit voor de punten A, B en C gedaan.

Men zou ook een omgekeerden weg kunnen volgen en de spiegelbeelden kunnen opzoeken van den hoorder in de wanden, en nagaan, welke van deze spiegelbeelden ligt binnen een cirkel, die om den spreker beschreven wordt met een straal, 12 m langer, dan de afstand tot den hoorder. Indien de hoorder niet verder dan 6 m van een wand zit, kan hij uit dezen wand stellig geen hinderlijke reflectie krijgen. Desgelijks indien de spreker minder dan 6 m van den wand verwijderd is, zal de kaatsing door dezen wand voor geen enkelen hoorder hinderlijk kunnen zijn. Dit leidt er vanzelf toe dat men den spreker niet opstelt midden in een zaal, maar voor hem een plaats kiest dicht bij een wand. In afb. 2 is de plaats van den spreker 3 m van den korten wand.

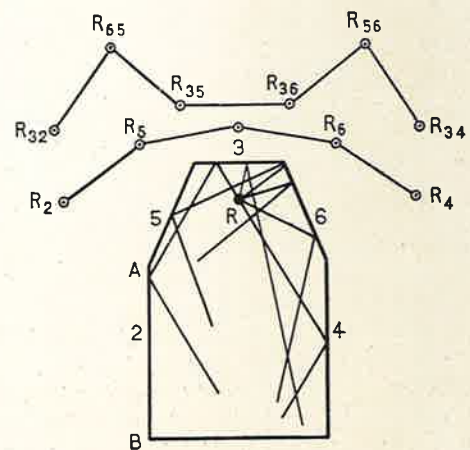
Onder de gekaatste beelden zijn er twee op een afstand 20 m van den redenaar. Noodzakelijkerwijze zullen er dus plaatsen zijn, die daarvan een hinderlijke reflex krijgen. Wij kunnen opzoeken de gedeelten van de zijwanden, die tot die hinderlijke reflecties aanleiding geven: en het ligt voor de hand, dat wij deze gedeelten onschadelijk willen maken. Op een bijzonder effectieve manier geschiedt dit, indien wij deze gedeelten met de hoeken afsnijden door middel van twee scheeve wanden. Deze wandstukken zullen weder tot nieuwe spiegelbeelden aanleiding geven en wij kunnen ze zoo kiezen, dat deze spiegelbeelden vrijwel de geheele zaal bestrijken, doordat zij in het verlengde liggen van de oorspronkelijke lange wanden, althans



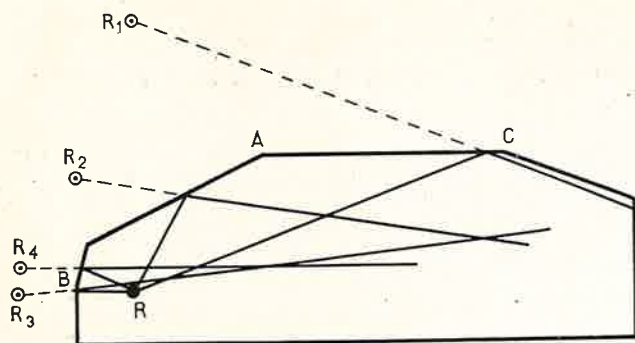
Afb. 1.



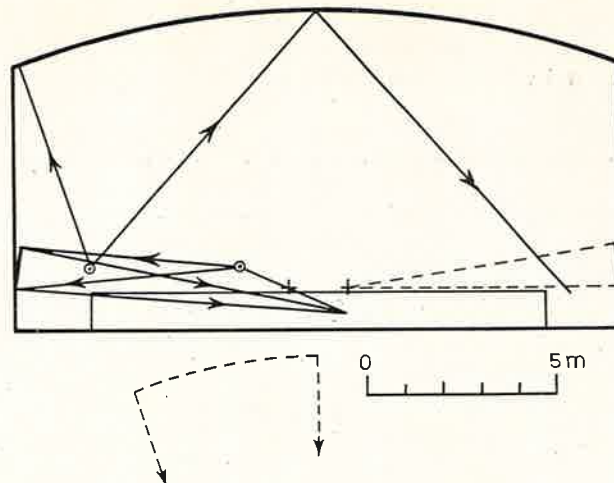
Afb. 2.



Afb. 3.



Links Afb. 4.



Rechts Afb. 5.

minder dan 12 m verwijderd van den redenaar. Wij hebben nu te controleren of die nieuwe wandstukken door herhaalde reflecties geen schadelijke beelden geven. Dit alles laat zich aan de hand van de afb. 3 ook zien. De reflecties tegen den achterwand der zaal zijn alleen niet hinderlijk voor de menschen achterin de zaal. Men kan den achterwand bekleeden met absorbeërend materiaal, waardoor deze reflectie geheel verdwijnt, maar dan wordt de geluidssterkte achter in de zaal soms te klein. Dan kan men beter den achterwand zig-zag-vormig maken onder hoeken van 30° . Hierdoor wordt het geluid achterin de zaal versterkt.

Evenals wij stukken van de lange wanden hebben gesneden, kunnen wij dat ook doen van het plafond. Wij nemen aan, dat er achter in de zaal een balkon is en wij kijken tot hoever het plafond nuttig geluid kaatst naar het balkon. Het nuttelooze gedeelte snijden wij af. Vóór in de zaal zal de reflectie van het balkon hinderlijk kunnen zijn. Ook hier snijden wij een stuk daarvan af en wij vervangen het door een ander, dat wederom door zijn geluidkaatsing de geheele zaal van geluidsbundels voorziet. Uit overwegingen van welstand kunnen wij den rand van het schuine stuk laten aansluiten aan den rand van de afschuiningen der verticale wanden. Ook den wand achter den spreker kunnen wij op dergelijke wijze behandelen, waardoor het nuttig rendement van verstaanbaar geluid verhoogd wordt.

Wanneer wij nu de reeks geluidsbeelden zien, die nuttig werkzaam zijn in de zaal, welke beantwoorden aan scheeve platte vlakken, dan kunnen wij ook op andere wijze tewerk gaan en wij kunnen een reeks van dergelijke geluidsbeelden, zooals die ons nuttig voorkomt aanleggen, hetzij op een rechte lijn, hetzij op een cirkel om den spreker heen, hetzij op een cirkel, die zich van den spreker afkeert. Indien wij dan de wandstukken construeeren, die aanleiding geven tot deze beeldvormingen, dan krijgen wij wanden, die raken aan een parabool, of wel een ellips, of een hyperbool, in welks brandpunt de redenaar zou staan. De overgang van hier naar gekromde vormen is duidelijk, men nadert dan tot de constructies, die gelijken op den geluidkaatser om het spreekgestoelte en die een hoogst effectieve geluidsoverbrenging waarborgen. Echter zal de toepassing van deze streng rationeele vormen nog wel toekomstmuziek blijven. Kan men het gedeelte van deze elliptische oppervlakken in de nabijheid van den spreker vergelijken met de grootte van zijn mond, geleidelijk gaat deze functie over in de functie van het gedeelte nabij de hoorders: een vergroot oor.

Waar het mogelijk is gebleken om met het beperkte oppervlak van een klankkaatser om het spreekgestoelte op 60 m afstand fluisteren te verstaan, bestaat zeker de mogelijkheid om groote hallen van minstens 100 m lengte gemakkelijk bespreekbaar te construeeren.

De aandacht wordt gevestigd op de volgende algemeene regels die men in acht kan nemen bij het ontwerpen van zalen, bestemd voor discussies, en waarin verschillende sprekers van verschillende plaatsen door de medeleden der vergadering kunnen worden verstaan.

Een eerste eisch is, dat het plafond niet te hoog zal zijn. Immers de spreker en het spiegelbeeld van zijn mond, mogen niet meer dan 12 m verwijderd zijn. Indien het plafond plat is, zal het dus niet hooger dan 6 m boven den staanden spreker mogen zijn. Als norm voor de hoogte van zoo'n zaal, laat ons zeggen een gemeenteraadszaal, moet het dus niet hooger zijn, dan $7\frac{1}{2}$ m.

Indien het plafond plat is, dan zal voor de nuttige kaatsing een gedeelte van het plafond in werking komen, dat gelijkvormig is aan het oppervlak, dat door de vergaderden wordt bezeten, met gehalveerde afmetingen. Het is mogelijk om in één richting de nuttig kaatsende plafond-oppervlakte te vergrooten tot de helft van de

plafond-breedte zelf. Om dit in te zien letten wij op een spreker, aan den rand van het bestoelde oppervlak, en verlangen, dat een geluidsstraal van hem naar den dichtstbijzijnden plafondhoek naar hemzelf wordt teruggekaatst. In het midden van de zaal is het plafond horizontaal, de straal, die daarheen gaat komt naar den overbuur van den spreker aan de andere zijde van het bestoelde oppervlak.

Deze twee eischen bepalen het middelpunt van de kromming, die voor het plafond gewenscht is. Aan alle sprekers staat in deze richting de helft van de volle plafondbreedte als kaatser ter beschikking. Het is bepaald fout om bij een kromming van het plafond het middelpunt in den vloer te kiezen.

Men zou eenzelfde beschouwing als voor het plafond gegeven is, op de zijmuren willen toepassen. Echter zou dit slechts mogelijk zijn, indien geen stoelen verder dan 6 m van eenige zijmuren zouden staan. Bij zalen van 7 m breedte heeft men echter geen bijzondere maatregelen noodig.

Bij grootere zalen kan men een gedeelte, het onderste gedeelte van de wanden, gebruiken om het geluid naar het gehoor te richten. Men moet zich dan instellen op een spreker, die 6 m van den wand staat. Staat hij er dichterbij, dan heeft niemand van de echo last. Staat hij er verder af, dan moet men zorgen, dat de reflecties in het gehoor vallen, binnen 6 m van den wand. Dit leidt tot de keuze van een gekromde lambrizeering van 1,10 m tot 2,30 m hoogte, met een krommingsmiddelpunt 7,2 van den wand af, en 1,10 m hoog.

Discussie.

Dr. De Boer stelde de vraag, hoe groot men den zig-zag-vorm van den achterwand moest kiezen. De hoogte van den driehoek is ongeveer 1 m.

Prof. Zwicker merkte op, dat het maximale wegverschil van 12 m in sommige gevallen opgevoerd kan worden tot 15 à 16 m, namelijk in het geval, dat verschillende wegverschillen tegelijk aanwezig zijn. Een wegverschil van 15 m, indien dit alleen voorkomt, is hinderlijk, komen echter bovendien nog voor 10 m en 13 m, dan behoeft 15 m wegverschil niet meer hinderlijk te zijn, door den continuen overgang.

II. HET GEBRUIK VAN ACOUSTISCHE MATERIALEN

VOORDRACHT GEHOUDEN DOOR PROF. DR. C. ZWIKKER

§ 1. Het was in 1892, dat de grondlegger der moderne zaal-acoustiek, Wallace Clement Sabine, de aandacht vestigde op den invloed van den galm op de verstaanbaarheid van het gesproken woord, en op de schoonheid van de muziek. De oorzaak van den galm is te zoeken in de betrekkelijk kleine voortplantings-snelheid van het geluid en in het betrekkelijk groote reflectievermogen van alle zaalbegrenzingsen. Terwijl een wit gestucadoord plafond het licht slechts voor 80 % reflecteert en er dus 20 % van opslorpt, kaatst het van het geluid 98 % terug en slorpt er slechts 2 % van op. Er zijn talrijke opeenvolgende reflecties noodig om een geluidstraal

zooveel in intensiteit te doen dalen, dat hij niet meer gehoord kan worden. Dit gepaard met de kleine snelheid (340 m per sec.) geeft aanleiding tot nagalmverschijnselen, die in kleine kamers gedurende 1 sec., in groote zalen gedurende 10 sec. en meer waarneembaar zijn. Elke voortgebrachte klank wordt gevolgd door een geluidstaart van kleinere of grootere intensiteit. Er heeft een vervloeiing van de afzonderlijke klanken plaats, wat oorzaak is van de verminderde verstaanbaarheid van het gesproken woord.

Sabine's grondleggende proeven in het Fogg Art Museum in Boston leerden, dat verrassende verbeteringen in de verstaanbaarheid waren te verkrijgen door toepassing van pluche kussens, waarin het geluid gesmoord kon worden. Hij kende aan deze kussens, maar daarna ook aan elk ander voorwerp in de zaal, een bepaald geluidsabsorberend vermogen toe, en wel door vergelijken met de geluidsabsorptie van een openstaand venster. Hoe grooter het venster, hoe meer geluid er door verloren gaat en als eenheid van geluidsabsorberend vermogen is te gebruiken de „vierkante meter openraam". Een persoon, die midden in de ruimte staat, absorbeert ook geluid en wel is hij in dit opzicht equivalent aan een halve m²-openraam. Telt men het absorberend vermogen van alle voorwerpen en wandbekledingen bij elkaar, dan verkrijgt men het totaal absorberend vermogen van het vertrek, zeg A en Sabine vindt zoowel experimenteel als theoretisch zijn beroemde formule voor den nagalmtijd t, uitgedrukt in het volume van de zaal V en in A:

$$t = \frac{1}{6} \frac{V}{A}$$

De nagalmtijd t is de tijd gedurende welken een luid gesproken woord nog naklinkt. (Exacter gezegd is het de tijd, waarin een geluid tot op één millioenste van zijn beginwaarde in intensiteit zakt).

In bijna alle auditoria kan de verstaanbaarheid verhoogd worden door den nagalmtijd te verkorten, d.w.z. door het absorberend vermogen te doen toenemen. Het is namelijk in de praktijk moeilijk om voldoende absorberend materiaal aan te brengen, reden waarom in practisch alle gevallen de galm eerder te veel dan te weinig is.

§ 2. Kan er ook te weinig galm zijn? Ja, een dergelijke zaal noemt men dood. De eischen, die men stelt aan radio- en gramfoonstudio's zijn zoodanig, dat men de demping erin zoo hoog moet opvoeren, dat een normaal mensch deze ruimten „dood" vindt. Maar niet alleen zulke bijzondere ruimten kunnen dood zijn, er zijn ook concertzalen met te weinig galm, waarin de muziek niet voldoende helder opklinkt of uitklinkt. Ook een ruimte, die slechts voor toespraak is bestemd, kan te dood zijn. Zulks manifesteert zich hierin, dat:

- de stem van den spreker niet welluidend is in een dergelijke ruimte;
- de spreker zelf zijn stem onnatuurlijk zwak vindt en zich daarvoor niet op zijn gemak voelt,
- het geluid op de achterste rijen toehoorders zoo zwak wordt, dat men gedeelten van den zin mist, niet zoozeer, omdat het directe geluid op zichzelf te zwak is, maar meer omdat het gestoord wordt door toevallige geluiden, die altijd aanwezig zijn (schuifelen, neusnuiten, kraken van stoelen of papier etc.)

Het gevolg van één en ander is, dat men noch voor de muziek, noch voor de spraak de demping te ver moet opvoeren, doch dat in alle gevallen een zeer bepaalde demping, dus een zeer bepaalde nagalmtijd als de meest gewenschte wordt gevoeld. In afb. 1 zijn deze eischen grafisch voorgesteld. In een grootere zaal is een iets langere nagalmtijd gewenscht. Verder zijn de eischen tamelijk sterk uiteenlopend voor de verschillende bestemmingen van de zaal en men ziet onmiddellijk de moeilijkheid, die zich voordoet bij de vaststelling van den nagalmtijd van een zaal, die voor alle bestemmingen geschikt moet zijn. Wanneer men orgelmuziek uitsluit, varieert de gewenschte nagalmtijd voor een zaal van 12 000 m³ tusschen 1 en 2 sec. en de architect moet een compromis maken, waarbij aan elke bestemming

een zeker gewicht moet worden gegeven. Aanbevolen wordt voor een zaal, die niet voor spraak, maar alleen voor muziek moet dienen:

Volume:	10 000	20 000	30 000 m ³
t:	1,7	1,9	2,1 sec.

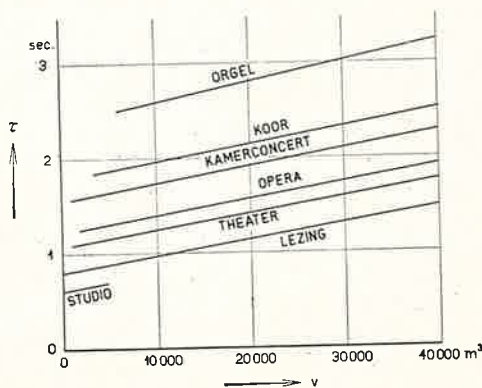
Om deze korte nagalmtijden te verkrijgen, zijn speciale acoustische materialen noodig. Nog veel ernstiger gaan de acoustische materialen de architectuur beïnvloeden, als men de zaal nog meer wil dempen om ze ook aan te passen aan het gesproken woord.

§ 3. In het algemeen is het gemakkelijker om aan de eischen van afb. 1 te voldoen, naarmate de zaal kleiner is. Het volume V, dat met de derde macht der lineaire afmetingen evenredig is, daalt sneller dan het absorptievermogen A, dat met het kwadraat der lineaire afmetingen evenredig is. Bij gelijkvormige verkleining van de zaal daalt dus t evenredig met de lineaire afmetingen. Men moet dus aanraden om het volume zoo klein mogelijk te houden.

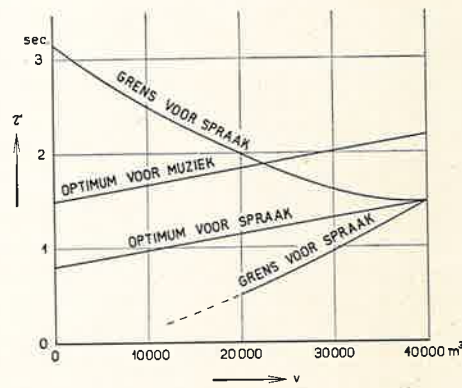
Ook hieraan worden echter grenzen gesteld. Deze komen allereerst van de zijde der luchtverversching. Voor ons klimaat neemt men aan, dat bij een volume van 15 m³ per persoon kunstmatige ventilatie overbodig zou worden, voor het tropische klimaat is nog grooter volume gewenscht. Dit zou voor een auditorium van 2000 personen een volume vereischen van 30 000 m³, wat automatisch aanleiding zou geven tot groote acoustische moeilijkheden. Na de invoering van de techniek der klimatiseering lijkt het mogelijk, het volume tot veel kleinere proporties terug te brengen. Heel ver kan men om redenen van vormgeving niet gaan. De bouwpractijk heeft geleerd, dat het minimum wel ongeveer ligt bij 6 m³ per persoon. De als acoustisch goed bekend staande concertzalen bezitten vrijwel alle een volume per persoon, liggend tusschen 6 en 7 m³.

Het is zelfs om zuiver acoustische redenen ongewenscht, lager te gaan en wel omdat dan de bezettingsgraad van de zaal te grooten invloed heeft op den nagalmtijd. Een compact aaneengesloten publiek van 2 personen per m² wordt in het algemeen beschouwd als een ideaal geluiddempend oppervlak (absorptiecoëfficiënt 100 %), terwijl de ledige stoelen veel minder absorbeeren. Deze variatie in het absorberend vermogen A tengevolge van verschillende bezettingsgraad is relatief des te voelbaarder, naarmate de zaal een kleinere totale A heeft. In een zaal met groot volume, waarin men ter verkrijging van een voldoende korten nagalmtijd reeds veel absorberend materiaal heeft moeten invoeren, is de invloed van het publiek minder te merken. Men heeft de gewoonte de berekeningen uit te voeren met een bezettingsgraad van 1/3.

§ 4. In afb. 2 zijn aangegeven de toleranties van den nagalmtijd voor de spraak. Er is een bovenste grens, waarboven tengevolge van den overdadigen nagalm alles dooreenvloeit; er is een onderste grens, waarbeneden het geluid te zwak wordt. De onderste grens is practisch niet realiseerbaar, ons interesseert dus vooral de bovenste grens. Deze is geteekend in de veronderstelling, dat de vormgeving van de zaal ideaal was (zie voordracht Fokker). In het algemeen zal de bovenste grens tengevolge van gebreken in de vormgeving en wegens ondoelmatige opstelling van den spreker lager liggen. Volgens de grafiek zouden volumina tot 20 000 m³ bruikbaar zijn zoowel voor spraak als voor muziek, in de practijk komt men vaak niet verder dan tot een volume van 12 000 m³, waarbij onder goede muziek-



Afb. 1.



Afb. 2.

condities een lezing nog tot in alle hoeken is te volgen. De grafiek illustreert wel, hoe bij het grooter worden van het zaalvolume de acoustische moeilijkheden toenemen, die ik als volgt zou kunnen karakteriseeren:

Tot 10 000 m³ is de eenige zorg den nagalmtijd aan te passen aan de muziekeischen; van 10 000 m³ tot 20 000 m³ moet bovendien alle aandacht besteed worden aan de vormgeving; van 20 000 m³ tot 40 000 m³ zijn muziek- spraakeischen niet meer met elkaar tot overeenstemming te brengen; boven 40 000 m³ is het geheel onmogelijk zonder hulp van klankkaatsers of luidsprekers de zaal te bespreken.

Heel veel kerkruinten liggen in den rechterbovenhoek van de grafiek, ja zelfs buiten de grafiek en zijn dus met de ongewapende stem niet te bespreken.

Een eenvoudig benaderingsregeltje zegt, dat in een ruimte met steenen wanden, houten vloeren en niet anders dan houten zitplaatsen de nagalmtijd bedraagt:

$$t = \frac{1}{2} \sqrt[3]{V}$$

wat voor een ruimte van 27 000 m³ een nagalmtijd levert van 15 sec., dus een waarde, die volkomen buiten het veld van de afbeeldingen 1 en 2 valt.

Uitkomst kan in deze gevallen verkregen worden door toepassing van klankkaatsers of luidsprekersystemen.

§ 5. Dat in de oudere bouwwerken de nagalmtijd soms (lang niet altijd) voldoende kort was, was te danken aan het gebruik van veel pluche-bekleding, gordijnen al of niet gedrapeerd en tapijten. Verder werkte de onderverdeling van de wanden en het plafond door den bouw van nissen, loges en door toepassing van profileeringen en cassetteeringen gunstig.

Een eenvoudig rekensommetje leert, dat als wij de gemiddelde absorptie-coëfficiënt van de zaalbegrenzungen op 0,5 aannemen, overeenkomend met wat inderdaad optrad bij een ruim gebruik van pluche en draperieën, dat dan de nagalmtijd in een zaal van 27 000 m³ zou uitkomen op 2 sec., welke waarde toevallig overeenstemt met de muzikale eisch voor een dergelijke zaal.

Naarmate men het gebruik van wat tegenwoordig als stoffig wordt beoordeeld, heeft nagelaten, is men verplicht geweest, speciale materialen in te voeren. De pluche bekleding van de stoelen is, gedeeltelijk om acoustische redenen, oogluikend weer toegelaten moeten worden.

De nieuwe materialen moeten aan veel eischen voldoen en het is nu de vraag, of er een materiaal bij is, dat aan alle eischen voldoet. Ik wil me beperken tot een lijstje van 10 „geboden”, ofschoon het heusch niet veel moeite kost er nog eenige aan toe te voegen. De 10 voor de hand liggende eischen zijn:

1. Hooge absorptie.
2. Gelijkmatige absorptie voor alle frequenties.
3. Gemakkelijk aan te brengen.
4. Goedkoop.
5. Behoorlijk aanzien.
6. Mogelijkheid van reinigen.
7. Niet gemakkelijk te beschadigen.
8. Duurzaam.
9. Krimpvrij.
10. Brandvrij.

Het zwakke punt van de meeste acoustische materialen is wel de mogelijkheid van beschadiging, reden waarom men het materiaal liever buiten handbereik houdt. Hierdoor echter verliest men een aanzienlijk oppervlak en wordt men er toe gedwongen het overgebleven oppervlak met hoog-absorbeerend materiaal te bewerken.

§ 6. Als zoodanig beschikken wij over:

Acousti-celotex en gespoten of geperst vezelmateriaal (asbest, rock wool, glaswol, slakkenwol, vilt). Het vezelmateriaal kan afgedekt worden met een geperforeerde metaalplaat, met al of niet geperforeerd linnen, geperforeerd papier, asbestdoek etc. Tusschen vezelstof en de afdekking kan een luchtlaagje gehouden worden, waardoor in het algemeen de absorptie toeneemt.

Door al deze mogelijkheden beschikken wij over een keur van

absorbentia, die ongeveer 70 % van het invallende geluid absorbeeren, van zeer verschillend uiterlijk en decoratievermogen en in prijs varieerend van f 8 tot f 20 per m². Aan alle 10 gestelde eischen is redelijk wel te voldoen. Het is echter niet te ontkennen, dat oude gewoonten verlaten moeten worden en vervangen door nieuwe werkwijzen. De absorptie is zeker zoo goed als die van pluche, zoodat het mogelijk is, zalen van groot volume te bouwen; het is zelfs principieel mogelijk om voor een auditorium van 2000 personen vast te houden aan het volume, dat om ventilatie-redenen wordt gewenscht en dat uit artistiek oogpunt ook veel meer mogelijkheden biedt dan een gedrukt volume.

§ 7. De minder absorbeerende materialen zijn de hout- en riet-vezelplaten, acoustische pleisters, kurkplaten, rietplaten, dun triplex. De absorptie-coëfficiënt van deze materialen ligt tusschen 15 en 35 %, is ook zeer afhankelijk van de wijze van bevestigen. Er is ook een poreuze natuur-kalksteen (Cottlesloe-stone, Australië), die 25 % van het invallend geluid absorbeert. De laag-absorbeerende materialen zijn goedkoop, dan de hoog-absorbeerende, zelfs relatief bij inachtneming van het absorptie-vermogen.

Deze materialen leenen zich voor het verbeteren van auditoria van kleineren omvang (collegezalen, gerechtszalen), voor het rustiger maken van gangen, trappen, hallen, kantoorlokalen, zwembaden, etc. Zij zijn in het algemeen ook eenvoudiger aan te brengen dan de hoog-absorbeerende, hebben echter alle hun eigen bezwaren. Hout-vezelmateriaal zijn vatbaar voor volumewerking onder invloed van waterdamp. Ook de pleisters zijn niet volkomen vormvast. Decoreeren gaat altijd ten koste van een gedeelte van de absorptie. Op het gebied der duurzaamheid staat men wel eens voor verrassingen. De mogelijkheid van reinigen is onder het oog te zien, omdat opstijgende warme luchtstroom boven radiatoren, kachelpijpen e.d. de neiging vertoonen de materialen plaatselijk te verontreinigen. Stof blijft gemakkelijker hangen aan de poreuze en min of meer ruwe acoustische oppervlakken, dan aan een glad stuc-oppervlak, zoodat de verontreiniging sneller in zijn werk gaat.

Het is overigens opvallend hoeveel zalen van een tijdelijken aard gebouwd worden, die zoo korten levensduur hebben, dat van de ongewenschte eigenschappen der acoustische materialen nauwelijks iets wordt bemerkt. Van een tentoonstelling is men zich bewust, dat hij voor korten tijd gebouwd wordt; men ziet echter steeds meer gebeuren, dat interieurs van restaurants en bioscopen telkens na eenige jaren worden „gemoderniseerd”. Bij een dergelijke exploitatie-politiek komen ook de goedkoopste en de kortst levende materialen nog tot een gemotiveerde toepassing.

§ 8. Speciale eischen worden nog aan de materialen gesteld, wanneer men overgaat tot paneelverwarming of tot koofverlichting. In het eerste geval moet het materiaal een goede geleider zijn voor de warmte, een eisch, die lijnrecht in strijd is met het poreuze karakter der absorbentia. In het geval van koofverlichting werkt men met strijkend licht, dat elke naad en elke oneffenheid in het materiaal sterk doet spreken; ook weer een verschijnsel, dat zich bij glad-gestreken stuc veel minder ernstig voordoet.

Tot nu toe is het practisch niet gelukt, acoustische materialen in ziekenhuizen te introduceeren, hoezeer ook de rust in dergelijke gebouwen erdoor gebaat zou zijn. Men vreest, dat de poriën verzamelpplaatsen zullen worden van bacteriën. De kans hierop is inderdaad grooter, dan bij gladde stucwanden, wegens de geringere mogelijkheden van schoonmaken.

In de laatste jaren neemt men een toenemend gebruik van hoog-absorbeerende stoffen in machinekamers waar. Over de werking van stoom en in de lucht zwevende oliedruppeltjes op de houdbaarheid en de absorptie-coëfficiënt zijn nog niet ervaringen in voldoende omvang verzameld.

Een voldoende gedempte zaal kan als acoustisch gebrek een echo bezitten. Deze ontstaat door kaatsing van het directe geluid tegen het plafond en wordt speciaal ondervonden door de voorste rijen toehoorders. In een goed gedempte zaal neemt men echo waar bij een plafondhoogte van 6 m en hooger, bij een slecht gedempte zaal eerst bij plafondhoogten vanaf 10 m. Is deze echo niet door een andere vormgeving van het plafond te vermijden, dan moet men op de betreffende plaats van het plafond een zoo hoog mogelijke

absorptie aanbrengen. Men heeft geconstateerd, dat de echo niet meer gehoord kan worden, indien de absorptie ter plaatse 95 % bedraagt. Een materiaal met zoo'n hoog absorptiecoëfficiënt is niet in den handel verkrijgbaar; men kan het echter zelf maken door multi-pele lagen van steeds ijler wordende stof.

Nog op een andere wijze grijpen vormgeving en materiaalkeuze op elkaar in en wel in het geval van zalen met holle wanden. In zoo'n geval bestaat altijd het gevaar, dat er wegens brandpuntwerking plekken van te groote geluidsterkte ontstaan. Het is dan noodig het holle oppervlak een geluidverspreidend karakter te geven. Dit kan geschieden door onderverdeeling van den wand met kas-setten; het kan ook onzichtbaar geschieden door deze wand vlak te laten, maar afwisselend uit vlakjes van groot en klein absorptievermogen te doen bestaan. Kiest men hiervoor b.v. Canadeesche asbest en gips, dan ziet men op eenigen afstand nauwelijks het verschil in karakter der beide gedeelten. Ook combinaties met marmarplaten kunnen een zeer decoratieve en tegelijkertijd een sterk geluidstrooiende werking hebben.

Discussie.

De heer Van der Sande stelde de volgende vragen:

1°. Het absorberend vermogen van een zaal wordt bepaald door $A = O \cdot a$. Kan men nu veelal niet met een lage absorptie-coëfficiënt a uitkomen door maar groote O te nemen, zoodat men de duurere en minder handelbare materialen met hoog absorberend vermogen niet noodig heeft?

Prof. Zwikker antwoordde hierop, dat het oppervlak O meestal vast ligt, omdat men b.v. het geheele plafond of alle vier de muren met hetzelfde materiaal wil bestrijken. Het eigenaardige is, dat materialen met een absorptie tusschen die van het hooge absorberend vermogen ($\pm 70\%$) en het lage ($\pm 25\%$) in den handel niet verkrijgbaar zijn.

2°. De tweede vraag was, wat het bezwaar was van het gebruik van absorberend materiaal in ziekenhuizen. Dit kan niet zijn, dat bacteriën zich hierin gemakkelijk kunnen vastzetten, vanwege de groote poriën, daar de bacteriën nog vele malen kleiner zijn, dan de poriën in bijv. gips.

Het antwoord was: dat het schoonmaken niet mogelijk is.

Dr. Bijtel heeft daarbij nog een nadere toelichting gegeven. Het moet in ziekenhuizen mogelijk zijn de zalen te kunnen ontsmetten, zonder ze te moeten ontruimen en te moeten uitdampen.

Gevraagd werd wat de invloed van het vochtgehalte der lucht op het absorberend vermogen is.

Deze invloed is niet groot. Vergroting van het vochtgehalte zal niet altijd het absorberend vermogen verkleinen, maar kan dit ook vergroten. Echter is het effect meestal te verwaarlozen.

Prof. Dr. A. D. Fokker maakte de opmerking, dat hij de meening toegedaan was, dat de optimum nagalm niet afhankelijk was van het zaalvolume en dat de stijging in de lijn van de grafiek nagalm = f (zaalvol.) een compromis was om tegemoet te komen aan de geluidsterkte.

Hierbij maakte Ir. Vermeulen de opmerking, dat waarschijnlijk een geblinddoekt iemand een gelijken nagalm wenschte voor alle zaalvolumina, maar dat men zich, als men rondkijkt, onbehagelijk zou voelen in een groote zaal met langen nagalm.

Ir. Van Loghem vroeg wat prof. Zwikker dacht over de acoustiek van een zaal, die in Moskou gebouwd wordt, voor 20 000 personen met een hoogte van 100 m en een volume van 400 000 m³, in het bijzonder of de invloed van het plafond hier mag worden verwaarloosd.

Prof. Zwikker antwoordde hierop, dat deze zaal zeker niet besproken zal kunnen worden vanaf den kathedr, maar met behulp van een luidsprekerinstallatie. De invloed van het plafond is er zeker; men zal last hebben van een echo, tenzij men het plafond bedekt met materiaal, dat 95 % absorbeert.

Ir. Cohen Henriquez stelde de vraag of de absorptie over het geheele frequentiegebied dezelfde moest zijn.

Dit had prof. Zwikker niet bedoeld. De absorptie moest geen

plotselinge maxima of minima vertoonen, zoodat zekere toonhoogten geheel zouden wegvallen of te lang zouden doorklinken. Theoretisch zou de demping van het materiaal in phon over het geheele frequentiegebied constant moeten zijn. Hierop dieper in te gaan zou echter te ver voeren.

III. GELUIDKAATERS

VOORDRACHT GEHOUDEN DOOR PATER A. J. M. MULDER.

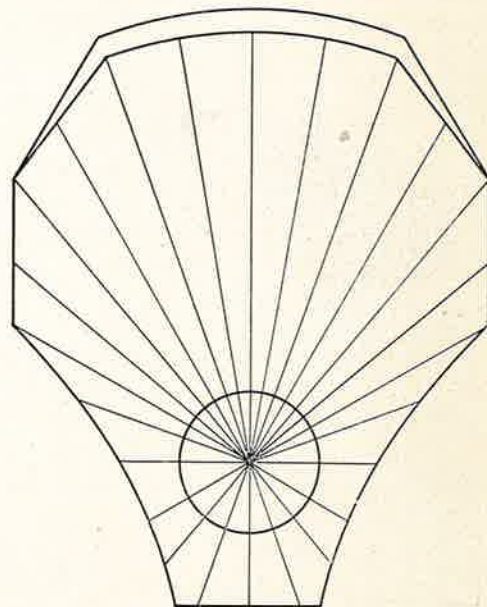
In deze verhandeling zal geen theoretische uiteenzetting worden gegeven van de geluidkaatsers in het algemeen, maar alleen de praktische resultaten, de bouw en de historische ontwikkeling van den „geluidspiegel” zoodat hij genoemd is, omdat hij veel overeenkomst vertoont met een hollen spiegel voor het licht.

De historische ontwikkeling is de volgende:

In 1891—1892 vond Pater L. Th. de Groot aanleiding voor het onderzoek van de acoustiekverbetering in kerken n.a.v. een Amerikaansch klankbord, dat een kerk in 's-Gravenhage bespreekbaar had gemaakt. Pater De Groot meende, dat de groote kracht van het klankbord gelegen was in de doelmatige terugkaatsing van het geluid. Hij vond, dat de verticale doorsnede van dezen klankkaatsers een parabool, de horizontale een cirkel was. Pater De Groot heeft eenige klankborden gemaakt van hout en ook van bordpapier. De horizontale doorsnede, de cirkel, is in het tegenwoordig licht beschouwd, niet goed. De Groot heeft verschillende cirkels beproefd en zelfs een rechte als doorsnede. Ook dit laatste werkte nog verbeterend.

Eerst Pater J. Kramers heeft als horizontale doorsnede de hyperbool gekozen, zoodat de doorsneden, die tot op heden dezelfde gebleven zijn, waren: verticale doorsnede parabolisch, horizontale doorsnede hyperbolisch. Pater Kramers heeft de constructiemethode verbeterd. Het geraamte werd niet meer opgebouwd uit elkaar snijdende schenkels, maar uit schenkels, die straalsgewijze van één punt uitgaan. (Centrale constructiemethode). Van de verticale en den horizontalen schenkel is de vorm bekend (parabolisch resp. hyperbolisch). Maar hoe is nu de vorm van de tusschenliggende schenkels? Pater Kramers heeft deze als functie van den „uitwijkingshoek” α trachten uit te drukken met behulp van empirische formules, uitgaande van de gedachte, dat het quadratische vormen waren. Hij heeft er echter geen juiste vorm voor weten te vinden. Bij het bouwen der kaatsers bleken zoo nu en dan in het oppervlak oneffenheden te ontstaan. Echter kon door schaven van de schenkels altijd de vorm glad verloopende gemaakt worden.

Een tweede probleem bij de centrale constructie is het onderling verbinden der schenkels. In het allereerste begin werden dwars-schenkels gebruikt, eveneens van hout. Men had echter dan het



Afb. 1.

nadeel, dat het hout ging trekken, waardoor de vorm veranderde en soms zelfs het bekleedsel scheurde. Pater Kramers heeft de schenkels laten maken uit een reeks kleine geploegde plankjes grenenhout, aan weerszijden door klampers uit vurenhout versterkt. De onderlinge verbinding wordt gemaakt met ijzeren trekstangen, in kophout gevat. Het geraamte wordt daarna eenige dagen te drogen gelegd.

Meestal zijn de geluidkaatsers hol, echter zijn er ook gemaakt voor openingshoeken groter, dan 180° .

Prof. Fokker heeft den theoretischen kant van de kwestie beschouwd en betoogd, dat de geluidspiegel cilindrische golfvronten terugkaatsen moest, waartoe het kaatsende oppervlak de meetkundige plaats moest zijn van de punten, welker afstand tot een vast punt (het brandpunt) en tot een vaste lijn (de as van het gereflecteerde golfvront) een constant verschil hebben.

Nuyens en Philippi leidden daarna de formule van dit oppervlak af (physica 10—19—1930). Deze wordt:

$$\sqrt{x^2 + y^2 + z^2} = \sqrt{(x+a)^2 + y^2} - b$$

van de horizontale hyperbool, dan volgt uit bovenstaande formule

Is f de brandpuntsafstand en 2α de hoek tusschen de asymptoten, de formule voor de schenkels bij de centrale constructie als functie van den hoek α :

$$x + p - qz^2 \cos^2 \alpha = r \sqrt{x^2 + z^2}$$

waarin $p = f(1 + \cos \lambda)$, $q = 1 - \cos \lambda / 4f$ en $r = \cos \lambda$. (Zie Physica 12—311—1932).

Zijn voor een geluidkaatser λ en f vastgesteld, dan is deze dus volkomen bepaald.

De formules zijn aan de practijk getoetst en de ongeveer 90 spiegels, die thans volgens deze formules zijn vervaardigd bleken zeer goed te voldoen.

Globale berekening van de versterking door den geluidkaatser leert het volgende:

Stel, het publiek bevindt zich binnen een hoek van 120° , zoodat in horizontale richting ongeveer $1/3$ van de totale geluidshoeveelheid het publiek bereikt. In verticale richting is de hoek, waaronder de spreker het publiek ziet veel kleiner en wel niet veel meer dan 15° of $1/24$ van het totaal. Zoodat $1/72$ van de totale geluidssterkte bij het publiek komt. Dit blijkt voldoende te zijn om een spreker in de open lucht tot op 20 à 25 m te verstaan. In een zaal is dit iets beter door teruggekaatsd geluid, maar dan is er kans, dat de lettergrepen elkaar gaan overdekken. Is bijv. het gewelf van een kerk 34 m hoog, dan is $1/3$ sec. voor terugkaatsing noodig en dus iemand, die 5 lettergrepen per sec. zegt is niet meer te verstaan. Is het gewelf 17 m hoog, dan is de looptijd $1/10$ sec., de lettergrepen overdekken elkaar voor de helft en ook in dit veelvuldig voorkomende geval kan de spreker dus niet worden verstaan.

Wordt de spreker in het brandpunt van een geluidkaatser gezet, dan wordt door de verticale en horizontale openingshoek 120° te kiezen aan de nuttige geluidssnelheid $1/3 \times 1/3$ of $1/9$ toegevoegd. Door sterk overhellende geluidkaatsers te nemen, worden de schadelijke reflectie tegen het hooge plafond vermeden. Tevens wordt de nagalmtijd verkort, doordat het geluid gericht wordt op het geluid-absorbeerend vlak, dat de toehoorders vormen. Al deze beschouwingen leiden tot breede en naar voren springende spiegels. Verder maakt men den brandpuntsafstand zoo klein mogelijk, omdat dan een beter effect wordt verkregen bij dezelfde afmetingen van den kaatser.

Aanvankelijk werkte Pater Kramers met een brandpuntsafstand van 60 cm, dit is verkort tot 45 cm. Bij een bestaanden kansel is het meestal niet mogelijk den spiegel onderaan breed te maken, daar dan de spreker niet meer den kansel beklimmen kan. In dit geval maakt men den kaatser van onderen smal en eerst zoo hoog neemt men de grootste breedte, dat de spreker er juist onderdoor kan.

Soms is ook de klankkaatser overal zoo breed gemaakt als noodig. Na de vervaardiging is daarna een gedeelte als deur uitgezaagd en met scharnieren weer bevestigd. De keuze van den openingshoek is tamelijk willekeurig. Men neemt den openingshoek niet zoo groot, dat alle toeschouwers omvat worden, omdat dan de geluidssterkte in het midden te laag wordt. De meer ter zijde zittende toeschouwers verstaan den spreker, zooals uit de practijk blijkt, toch wel door het directe geluid en door het buigingsverschijnsel. Het is een kwestie van ervaring de grootte van den horizontalen openingshoek te bepalen. De afscherming van het plafond wordt zoo bepaald, dat de straal van den mond des sprekers naar den rand van den kaatser geen schadelijke terugkaatsing geeft tegen het gewelf der kerk. De verticale helling van de spiegelas kan men uit de lengte der kerk en de hoogte van den kansel gemakkelijk zoo bepalen, dat de geheele stralenbundel tot bovenaan toe op het gehoor terecht komt. Door de laatste twee gegevens is de lengte der verticale parabool bepaald.

De horizontale richting van de spiegelas wordt meestal zoo geplaatst, dat hij het gehoor in twee gelijke deelen verdeelt. In katholieke kerken, waar de preekstoel uiteraard niet in de as der kerk staat, zal men de as ongeveer samen laten vallen met de diagonaal van het middenschip. Wat den omtreksvorm betreft, hier zou het oordeel van den kunstenaar den doorslag moeten geven. De kunstenaar staat er echter jammer genoeg in vele gevallen afwijzend tegenover.

Wat het berekenen der schenkels betreft, berekend worden meestal de schenkels voor $\alpha = 0, 10, 20$ enz. tot 90° . Voor het smallere onderste gedeelte wordt er minder berekend. Op het geraamte wordt een dunne laag zacht hout bevestigd. Hierop wordt de oppervlakte-



Afb. 2.



Afb. 3.



Afb. 4.

laag, bestaande uit hard hout (Slavonisch eiken, voor de tropen djatihout) vastgemaakt.

De resultaten zijn in praktisch alle gevallen goed, in sommige gevallen zelfs buitengewoon.

Discussies.

Prof. Dr. A. D. Fokker stelde de volgende vragen:

Is een brandpuntsafstand van 45 cm niet aan den korten kant?

Moet de plaats van den spreker niet heel precies vastgelegd worden, zoodat hij precies in het brandpunt praat?

Heeft de redenaar zelf geen klachten, dat de storende geluiden uit de zaal sterker hinderend werken?

Pater Mulder antwoordde hierop, dat de brandpuntsafstand 45 cm geen bezwaar was. Eenmaal was zelfs 40 cm gekozen, maar dit is aan den korten kant. Wat betreft de juiste plaats, in een kerk is praktisch altijd dezelfde spreker op den kansel en hiervoor wordt de kaatser gemaakt. De hoogte is meestal 1,60 m. Voor kortere menschen wordt een bankje aangebracht. Zelfs indien de spreker buiten het brandpunt is, geeft de kaatser nog goede resultaten. Het eenige effect is, dat de zône, waar men nu het best te verstaan is, iets verschuift.

Wat betreft de klachten van den redenaar zelf het volgende:

Voor al in het begin heeft men wel eenige hinder van de geluiden uit de zaal, maar men went hieraan en wat veel leed verzacht, de spreker voelt, dat hij door den geluidkaatser veel beter verstaan wordt.

Daarna vroeg Ir. C. Boot nog naar de literatuurplaats van de Berlijnsche publicatie van Pater Mulder. Deze is: „Zentrallblatt der Bauverwaltung“, Heft 11, 1935.

IV. ACOUSTIEKVERBETERING MET LUIDSPREKERS

VOORDRACHT GEHOUDEN DOOR: DR. J. DE BOER, EINDHOVEN.

Een electro-acoustische geluidsinstallatie bestaat uit een drietal onderdeelen:

een microfoon, die de luchtrillingen omzet in electrischen wisselstroom;

de versterker, die deze versterkt, en

de luidspreker, waarin de omzetting van electrischen wisselstroom in luchtrillingen plaats vindt.

In een acoustisch ideale zaal is een geluidsinstallatie niet noodig. De oorzaken, dat in een zaal het gesproken woord wel versterkt moet worden, kunnen de volgende zijn.

1o. De zaal is acoustisch juist gebouwd, maar te groot, zoodat de intensiteit van den stem van den spreker kleiner wordt, dan het in de zaal aanwezige lawaainiveau.

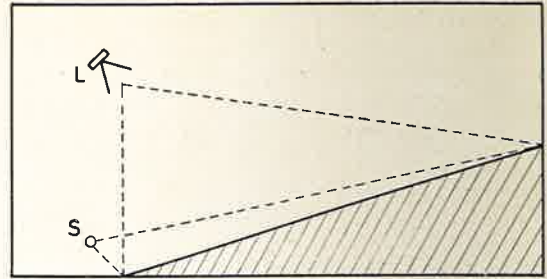
2o. Door een te grooten nagalm is de verstaanbaarheid in de zaal slecht, of de intensiteit van het directe geluid is te klein.

3o. De vorm van de zaal is ongunstig; bijv. in kerken schermen de pilaren het geluid af, zoodat het publiek achter de pilaren het gesproken woord minder goed verstaat. Of de spreker is zoodanig in de zaal geplaatst, dat de geluidsverdeling slecht wordt.

Deze drie gevallen worden achtereenvolgens besproken.

1o. De verstaanbaarheid zou in dit geval niets te wenschen overlaten, als de geluidsintensiteit maar grooter was. Dit is met behulp van

Afb. 4.



luidsprekers te bereiken. Het heeft echter het gevolg, dat we in de zaal een fictief vlak met negatieve absorptie-coëfficiënt inbrengen. De microfoon vangt het geluid op en de luidspreker zendt dit, versterkt, weer uit. De nagalm neemt toe. Het is zelfs mogelijk door een geluidsinstallatie de totale absorptie van zaalwanden nul te maken en het geluid sterft dan niet meer uit. Dit verschijnsel staat bekend als acoustische terugkoppeling. Bij een gelijkmatige verdeling van de geluidsintensiteit in de ruimte zou zoo de geluidsinstallatie geen verbetering geven.

Door twee middelen kan men nu de geluidsinstallatie toch verbeterend laten werken.

In de eerste plaats kan men de microfoon dicht bij den spreker plaatsen. Dan is de intensiteit van het nuttige geluid grooter, dan de gemiddelde intensiteit in de zaal. Men heeft dan niet zooveel versterking noodig. De stem van den spreker wordt veel meer versterkt dan de galm en het lawaai in de zaal.

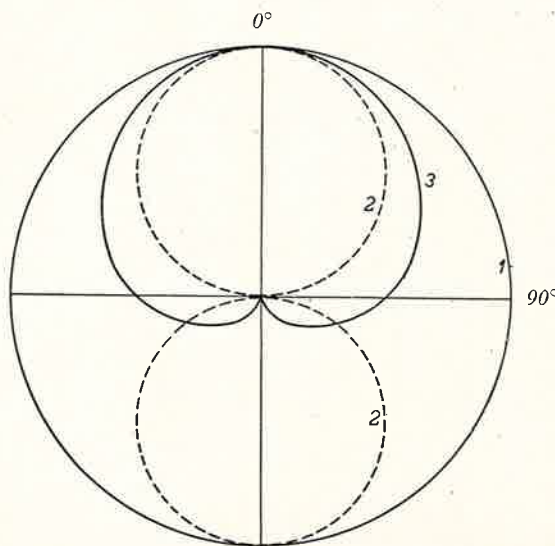
Een tweede verbetering is een microfoon met richteffect te gebruiken.

Men heeft drie soorten microfoons, waarvan de richtingdiagrammen in afb. 1 aangegeven zijn.

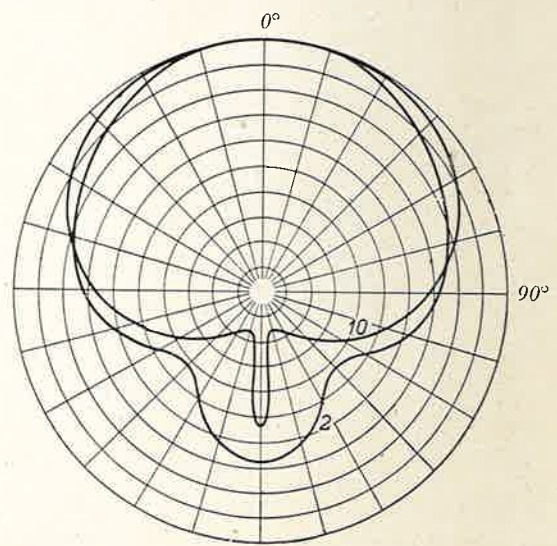
1. reageert even sterk op geluid uit alle richtingen.
2. heeft een maximale gevoeligheid voor geluid, dat komt van den voor- en den achterkant, terwijl 3. hoofdzakelijk reageert op geluid, dat valt op den voorkant.

Bij de microfoon 2 en 3 is de negatieve absorptie-coëfficiënt $3 \times$ zoo klein als bij het type 1. Ze moeten zoo opgesteld worden, dat de richting van hun grootste gevoeligheid samenvalt met de richting van den spreker. In dit geval zal weer het nuttige geleid meer versterkt worden, dan de schadelijke nagalm. De luidsprekers mogen niet geheel willekeurig worden geplaatst. Het is gewenscht, dat hun onderlinge afstand en hun afstand tot den spreker niet meer, dan 12 à 15 m bedraagt daar anders de wegverschillen tusschen de directe geluidsgolf van den spreker en de golven van de luidsprekers te groot worden en deze dan gescheiden worden gehoord.

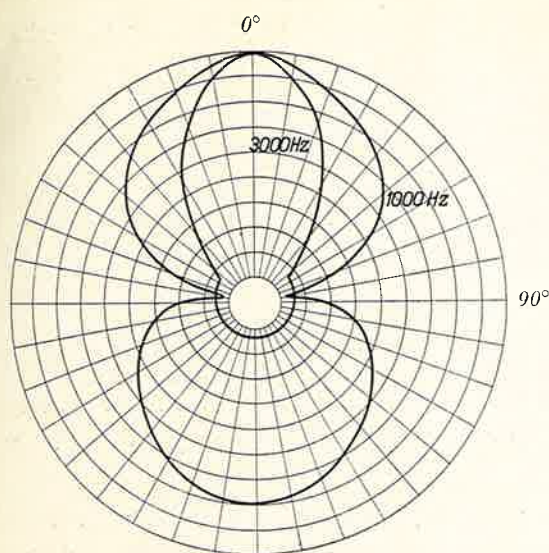
Verder is het nog gewenscht, dat het lijkt of het geluid van den spreker komt. Door het intensiteitsverschil aan beide ooren (voor hogere tonen) en het tijdsverschil (voor lagere tonen) kan de



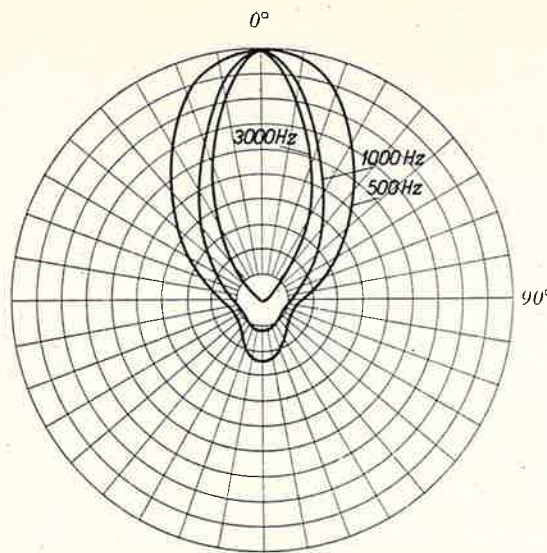
Afb. 1.



Afb. 5.



a
Afb. 2.



b
Afb. 3.

toehoorder de richting van den spreker bepalen. Worden de luidsprekers in horizontale richting van den spreker geplaatst, dan veranderen deze verschillen. Voor verticale verplaatsingen zijn deze verschillen veel minder gevoelig, zoodat men de luidsprekers zoo mogelijk boven den spreker moet plaatsen en niet op zij van hem.

2o. Bij een te grooten nagalm wordt de spraak onverstaanbaar. Men kan dan het nuttige geluid grooter maken door luidsprekers met een uitgesproken richteffect, die op het publiek gericht worden en dus door het absorbeerend vermogen hiervan den nagalmtijd niet vergrooten. Het richteffect van een luidspreker is afhankelijk van de verhouding van het stralend oppervlak tot de golflengte. Deze is voor 50 Hz 630 cm, voor 10 000 Hz 3,4 cm.

Bundeling treedt op voor die frequenties, waarvoor het stralend oppervlak grooter is, dan de golflengte. Hoe grooter stralend oppervlak dus, hoe lager tonen nog gebundeld worden. Verder wordt het richteffect vergroot door de conus in de hoorn te plaatsen. Afb. 2 en afb. 3 geven de richtingsverdeling aan voor een luidspreker zonder en met hoorn voor verschillende frequenties.

De laagste frequenties kunnen zonder den luidspreker zeer groot te maken niet gericht worden. Echter hebben de lage tonen maar geringen invloed op de verstaanbaarheid. Indien alle frequenties beneden 500 Hz worden afgesneden, blijft de verstaanbaarheid nog 95%. De lage tonen, waarvoor geen richteffect optreedt, kunnen in de versterkingsinstallatie door toepassen van een filter afgesneden

worden. Dit afsnijden mag niet te ver doorgevoerd worden, daar anders het timbre te veel verandert. Men gaat in de praktijk meestal tot 300 Hz. Ook is het directe geluid te versterken t.o.v. den nagalm door het plaatsen van vele kleine luidsprekertjes.

In het geval, dat de spreker laag staat, ziet de spreker S het auditorium onder een kleinen hoek. Het is bekend, dat zoo'n langs het publiek strijkende geluidsgolf een zeer groote absorptie ondervindt. Door op een hooge plaats een gericht luidspreker L aan te brengen kan dit verbeterd worden (zie afb. 4).

3o. De ongunstige vorm van een zaal kan zich uiteten in bijv. echo's en schaduwwerking van pilaren. Wat dit laatste betreft is in afb. 5

aangegeven de schaduwwerking van een hindernis. Kromme I geldt ongeveer voor een golf van 1000 Hz, die valt op een bol met straal 50 cm en II voor een bol met straal 10 cm. Men ziet dus, dat de schaduwwerking aanzienlijk is. Achter de hindernis komt zeer weinig geluid. Het plaatsen van luidsprekers achter de hindernissen geeft hier verbetering.

Staat een spreker aan de lange zijde van een zaal, dan moet dat geluidsniveau links en rechts van den spreker door eenige groote luidsprekers of door vele kleine luidsprekertjes verhoogd worden.

Voorbeelden van acoustiekverbetering door luidsprekers zijn getoond. O.a.

Een collegezaal in Gent, waar vele kleine luidsprekertjes zijn aangebracht.

Het parlamentsgebouw in Praag, waar het geluid alleen op de tribunes door luidsprekers verbeterd werd.

In een kerk in Antwerpen zijn achter pilaren luidsprekers aangebracht.

In de Salle des Assemblées van het Volkenbondspaleis (inhoud 18 000 m³) is voor de zaal een klanknis aangebracht. Voor de tribunes zijn weer luidsprekers aangebracht.

De discussie bracht geen belangrijke punten.

(De afbeeldingen zijn overgenomen uit Philips Technisch Tijdschrift, 3e jaargang, 1938, pag. 225 e.v.)

