

## Zaalakoestiek

Kennisbank Bouwfysica

Dictaat ct4220 Bouwfysica II, TU-Delft Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen,  
samengesteld door prof.ir. J.J.M. Cauberg

### 1 De akoestische kwaliteit van een ruimte

In feite dient elke ruimte die bestemd is voor de overdracht van spraak of muziek aan minimale eisen op het gebied van de akoestiek te voldoen.

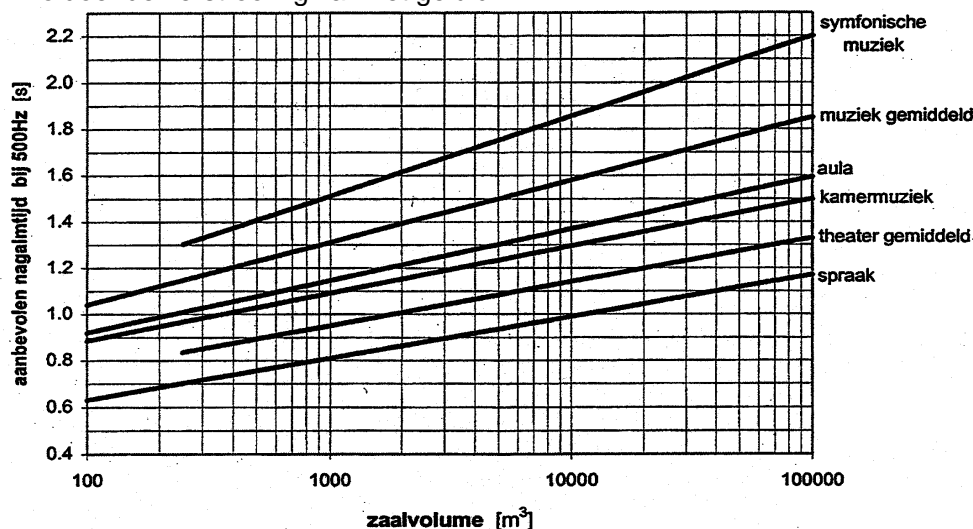
Indien deze eisen niet erg hoog zijn, dan wordt er vrijwel automatisch aan voldaan zonder speciale maatregelen bij ontwerp en realisatie. Anders is dit bij de bouw van een collegezaal, een schouwburg of een concertzaal. De akoestische eisen wegen zo zwaar, dat hiermede al in eerste ontwerpstadium rekening mee moet worden gehouden.

De akoestische kwaliteiten van een ruimte kunnen niet alleen op basis van fysische eigenschappen worden beoordeeld. Het eindoordeel is ook van subjectieve aard, zelfs de deskundigen zijn het lang niet altijd met elkaar eens!

Problemen in de beoordeling doen zich vooral voor bij concertzalen. Voor ruimten die uitsluitend zijn bedoeld voor overdracht van het gesproken woord zijn de akoestische eisen duidelijker te formuleren, namelijk dat het gesproken woord goed verstaanbaar moet zijn. Hiervoor zijn betrekkelijk eenvoudige ontwerpregels aan te geven o.a. in DIN 18041 "Horsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen".

Om een zaal bruikbaar te doen zijn voor spraak en/of muziek moet aan de volgende voorwaarden worden voldaan:

1. een bij het volume en het gebruik horend meest gunstige nagalmtijd (zie figuur 1);
2. een niet te hoog storend achtergrondgeluidniveau;
3. goede zichtlijnen, hetgeen wil zeggen dat alle aanwezigen goed zicht moeten hebben op het podium;
4. een goede vorm die ondersteunende reflecties oplevert, een goede geluidverdeling bezit, maar echo's vermijdt;
5. voldoende direct geluid;
6. voldoende verstrooiing van het geluid.



figuur 1. nagalmtijd afhankelijk van functie en volume

Hiermede wordt de basis gelegd voor een geslaagd zaalontwerp. Echter, het voldoen aan de voorwaarden geeft nog geen garantie voor de subjectieve begrippen die gekoppeld zijn aan de muziekweergave, zoals:

- volheid van toon;
- warmte van het geluid;
- glans van de klank;
- het al dan niet droog klinken van de tonen.

Door Beranek [1] is een aantal begrippen gedefinieerd waarmee de akoestische kwaliteiten van een ruimte min of meer fysisch omschreven kunnen worden.

## 2 Afstemming van de ruimte op de bron

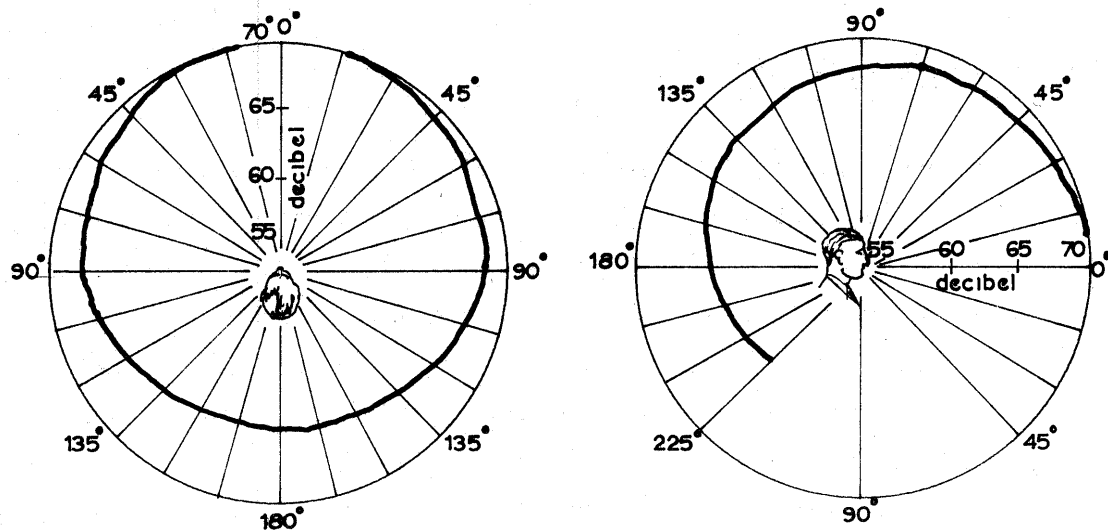
Voor een spreekzaal is het van belang dat zoveel mogelijk nuttig geluid het oor van de luisteraar treft. Het van de spreker afkomstige geluid bereikt het oor ten dele rechtstreeks (direct geluid), ten dele via gerichte reflecties van plafond en wanden (indirect geluid). Het indirecte geluid dat na reflectie bij de ontvanger arriveert binnen 50 ms wordt ervaren als direct geluid.

Het geluidsniveau op 1 m voor de mond van een spreker bedraagt ongeveer 70 dB. Voor andere afstanden ontstaan de volgende waarden, aannemende dat geen nuttige reflecties aanwezig zijn (tabel 1).

afstand vóór de spreker (m)	geluidsniveau (dB)
1	70
2	64
4	58
8	52
16	46
32	40

tabel 1. geluidafstraling door een spreker

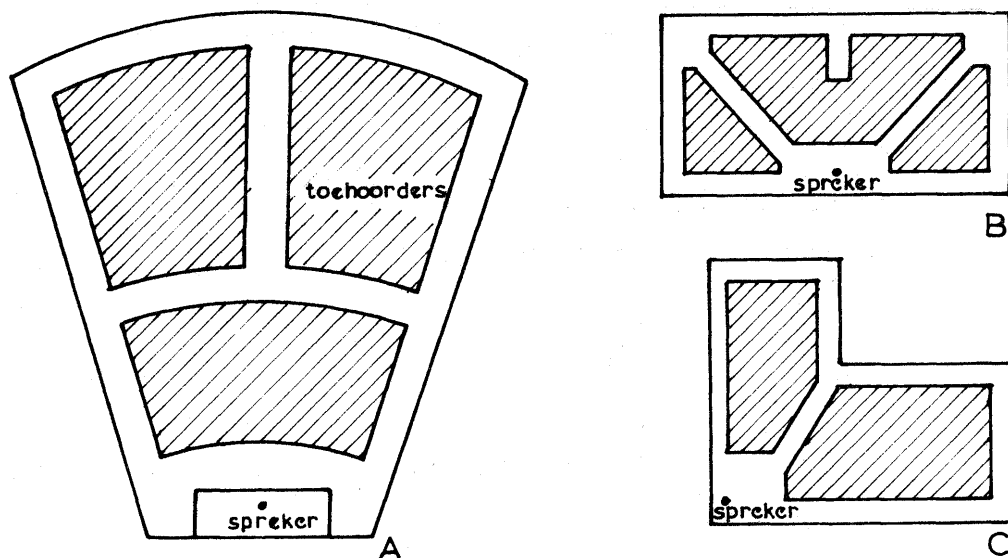
Een spreker straalt niet in alle richtingen evenveel energie uit. Figuur 2 geeft de richtkarakteristieken voor het horizontale en verticale vlak, zoals deze gelden voor een gemiddelde spreker.



figuur 2. richtkarakteristiek van een spreker

De meeste geluidenergie gaat naar voren. Hetzelfde geldt voor sommige muziekinstrumenten zoals de trompet en andere blaasinstrumenten. De richtkarakteristiek toont aan welke opstelling de toehoorder dient in te nemen ten opzichte van de geluidbron. Een tapvormige zaalplattegrond groepeerde toehoorders aan de kant van de spreker waar deze de meeste geluidenergie afgeeft (figuur 3a).

De plattegronden volgens figuur 3b en 3c zijn veel minder aan te bevelen. Deze vormen komen onder andere in de kerkbouw voor.



figuur 3. plattegronden van een spreekzaal

Als de straalsgewijze uitbreiding van het geluid wordt onderbroken door een obstakel, bijvoorbeeld een kolom, dan hangt het van de afmetingen van dit obstakel af of het geluid wordt gereflecteerd of er omheen buigt.

Is het voorwerp groot in vergelijking met de golflengte van het betreffende geluid, dan wordt het geluid gereflecteerd. Is de kleinste afmeting van het voorwerp klein in vergelijking met de golflengte, dan buigen de geluidgolven er omheen.

In een muziekzaal is sprake van een breed van belang zijnd frequentiegebied, dat ligt tussen 100 Hz en 10.000 Hz. Dit komt overeen met golflengten tussen 3,4 m en 0,034 m. In het vrije veld (geen reflecties aan wanden) achter een obstakel met een dikte van bijvoorbeeld 0,50 m zijn weinig hoge tonen hoorbaar. Voor de hoge tonen is men dan aangewezen op de gereflecteerde geluidgolven uit de naaste omgeving, die in een zaal wel maar in het vrije veld niet aanwezig zijn.

Op plaatsen in een geluidschaduw zal aan de klankkleur iets gaan mankeren door het tekort aan hoge tonen. De verstaanbaarheid van het gesproken woord zal daardoor ongunstig worden beïnvloed.

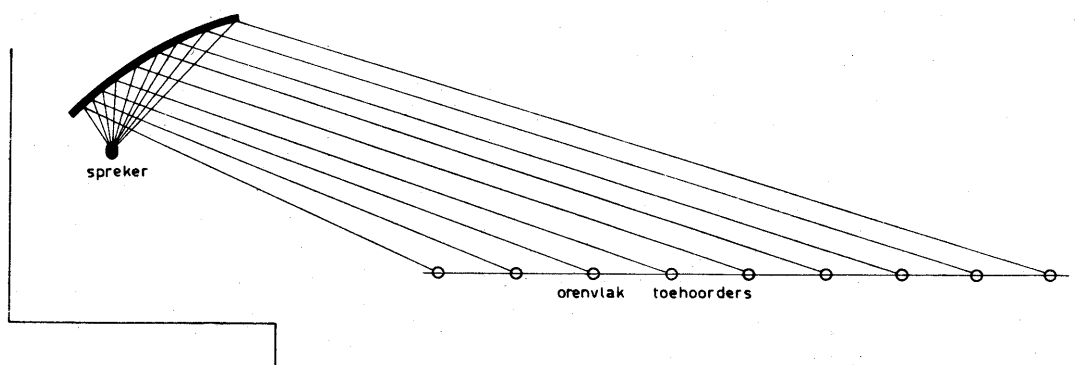
Er doet zich in zalen nog een ander buigingsverschijnsel van de geluidgolven voor. Dit verschijnsel hangt samen met de geluidabsorptie door het publiek. Strijkt het geluid van een spreker dicht over het publiek, dan hebben de lage en middelhoge tonen de neiging in het publiek te buigen en te worden geabsorbeerd.

Voor de middelhoge tonen worden door dit publiek sterk geabsorbeerd. Naarmate men zich verder achterin de zaal bevindt, zal de sterkte van het geluid met middelhoge frequentie sneller afnemen dan normaal; er treedt een verschuiving van de klankkleur op.

Voor een vlakke zaal kan deze extra verzwakking oplopen tot 0,5 dB/m.

Voor een publiek met een diepte van 20 m, gerekend van voorste tot achterste rij, zou dit een extra verlies kunnen geven van 10 dB. Aan deze geluidafname kan men ontkomen door het publiek onder een helling op te stellen: "goed zien is goed horen". Globaal moet de helling zodanig worden gekozen, dat de ooghoogte van elke volgende rij ten minste 0,12 m hoger is ten opzichte van de voorgelegen rij.

Ten slotte kunnen in een (vlakke) zaal verbeteringen optreden door het aanbrengen van een goed gevormde klankkaatsers boven de spreker. Het via een dergelijke reflector komende geluid heeft weinig last van het buigingseffect (zie figuur 4).



figuur 4. effect reflector op geluidverdeling

Ook gerichte reflecties vanuit de achterwand kunnen het directe geluid versterken.

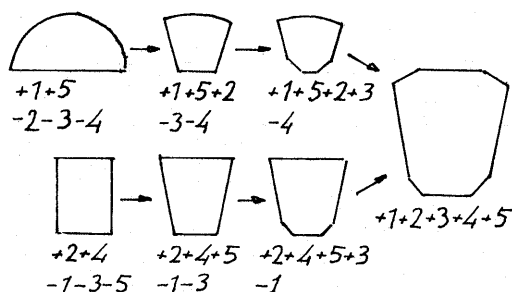
Bij het ontwerpen van de hoofdvorm van een zaal leiden de tot nu toe besproken aspecten tot een aantal basisuitgangspunten die in figuur 5, 6 en 7 zijn gegeven.



figuur 5. basisvormen van een spreekzaal

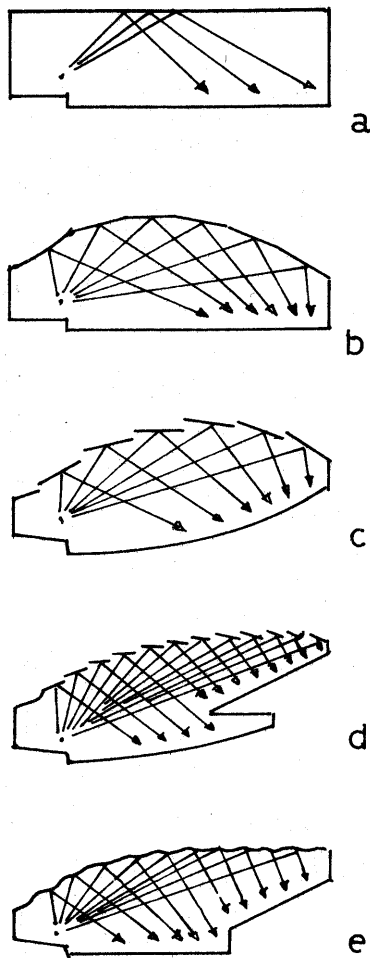
De plattegronden van figuur 5 maken duidelijk dat de verschillende voorwaarden leiden tot geheel uiteenlopende vormen. Dit blijkt vooral uit variant 1) en 2). Het komt erop neer een doelmatig compromis te vinden.

Figuur 6 schetst de parallel lopende ontwikkeling vanuit twee basistypen, die via enkele tussenvormen leiden tot één resultaat met zoveel mogelijk pluspunten. De cijfers 1 t/m 5 duiden op de karakteristieke kenmerken uit figuur 5.



figuur 6. ontwikkeling van zaalvormen die leiden tot een optimale vorm (voor codering zie figuur 5)

Voor het plafond van de zaal gelden dezelfde overwegingen als bij het aanbrengen van reflectoren en het bepalen van de vorm in de omgeving van de geluidbron. De systematische ontwikkeling is weergegeven in figuur 7.



figuur 7. ontwikkeling van een akoestisch gunstige vorm van een plafond

### **Toelichting bij figuur 7**

- Slechts een klein gedeelte van het directe en tegen het plafond gereflecteerde geluid bereikt het achterste gedeelte van de zaal. Voorin - waar reeds zoveel direct geluid wordt ontvangen - komt het grootste gedeelte van het tegen het vlakke plafond gereflecteerde geluid terecht. Dit is overbodig en kan bij hoge zalen zelfs leiden tot hinderlijke echo-effecten.
- Het plafond is zodanig gevormd, dat reflecties met een hoek van totaal  $90^\circ$  in het achterste gedeelte van de zaal worden geworpen. De afzonderlijke vlakken hebben hellingen die veroorzaken dat de reflecties naar achter toenemen, met de bedoeling dat de ontvangen geluidsterkte op alle plaatsen ongeveer even groot is. Dit is minder het gevolg van de totale plafondvorm, als van de hellingen van de afzonderlijke vlakken.
- Hier zijn de vlakken aangebracht onder dezelfde hellingen als in voorbeeld b. Een totaal nieuwe vorm is ontstaan door de hellende vloer, "goed zien is goed horen".
- Hier is het plafond in nog kleinere vlakken opgesplitst, waardoor men grotere vrijheid verkrijgt bij het bepalen van de zaalvorm; hellende vloer en balkon.
- Een verdere ontwikkeling van c. leidt tot deze golvende plafondconstructie.

### **LITERATUUR**

- L.L. Beranek, "Noise and Vibration Control"