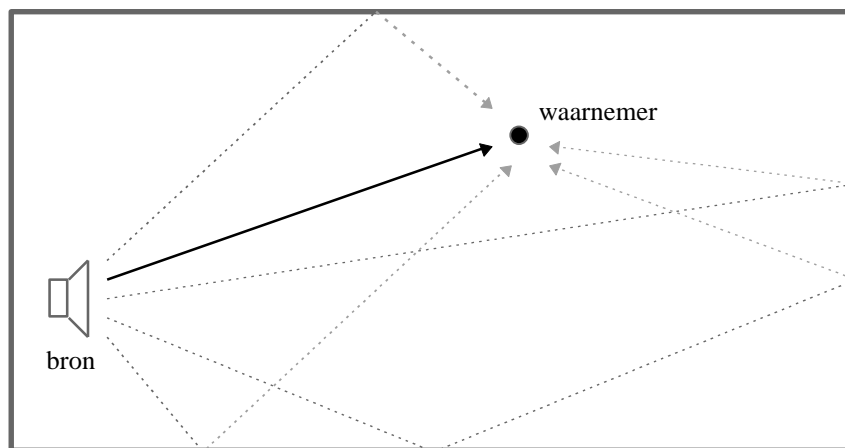


Diffuus geluidveld

Kennisbank Bouwfysica

Auteur: ir. L. Nederlof, prof.ir. J.J.M. Cauberg

Bij een geluidbron in een omsloten ruimte zal het geluid diverse malen reflecteren tegen de omhullende constructie. In een bepaald punt is het geluiddrukkniveau dan opgebouwd uit een deel dat rechtstreeks van de bron afkomstig is, het directe geluid, en een deel dat via één of meer reflecties arriveert, het indirecte geluid (figuur 1).



figuur 1. direct geluid (—) en indirect geluid (.....)

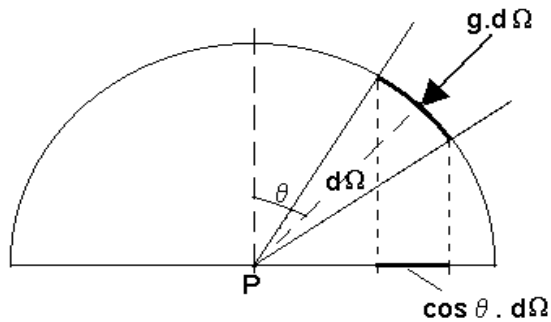
Het directe geluidveld kan vooralsnog beschouwd worden als een vrije-velde-situatie met één vlakke lopende golf, waarvoor de theorie uit de module "Akoestisch vermogen en intensiteit" geldt. Daarentegen wordt het indirecte geluidveld (galmveld) gevormd door golven die uit alle richtingen tegelijk kunnen komen, zodat de in module A-3; "Akoestisch vermogen en intensiteit" afgeleide relaties tussen bronvermogen, geluidintensiteit en effectieve geluiddruk niet zonder meer toepasbaar zijn.

Voor de akoestiek in ruimten dient de theorie dus uitgebreid te worden met een of meer nieuwe concepten en daarbij gaan we als volgt te werk.

Om een punt P in de ruimte denken we ons een halve bol met straal $R=1$ (figuur 2) en we willen nu een uitdrukking afleiden voor de intensiteit loodrecht op het grondvlak.

Daartoe voeren we een grootheid \mathbf{g}_θ in, die op te vatten is als een intensiteitsdichtheid per steradiaal in een bepaalde richting θ .

Over een kleine ruimtehoek $d\Omega$ in de richting θ bedraagt de akoestische intensiteit dan $\mathbf{g}_\theta \cdot d\Omega$, afkomstig van golven die nauwelijks in richting verschillen, zodat daarop de formules voor vlakke golven toegepast kunnen worden.



figuur 2. definitie geluidveld rondom een puntbron

Duiden we de effectieve geluiddruk van golven in de richting θ aan met $p_{\text{eff},\theta}$, dan mogen we nu schrijven (zie ook formule 5 uit module A-3; "Akoestisch vermogen en intensiteit"):

$$g_{\theta} \cdot d\Omega = \frac{p_{\text{eff},\theta}^2}{\rho c} \quad (1)$$

De resulterende effectieve geluiddruk in P komt nu tot stand door (1) te integreren over 4π steradianen (alle richtingen, dus een hele bol). Aannemende dat de golven onderling onafhankelijk zijn, komt dit voor het rechterlid neer op de sommatie voor alle invallende golven, dus:

$$\int_{4\pi} g_{\theta} \cdot d\Omega = \frac{\sum p_{\text{eff},\theta}^2}{\rho c} = \frac{p_{\text{eff}}^2}{\rho c} \quad (2)$$

De intensiteit in het grondvlak kan berekend worden door integratie over de halve bol van de component van $g_{\theta} \cdot d\Omega$ langs de normaal, zodat:

$$I = \int_{2\pi} g_{\theta} \cdot \cos \theta \cdot d\Omega \quad (3)$$

We definiëren nu een diffuus geluidveld als een geluidveld, waarin de geluidgolven in alle richtingen even sterk zijn en onderling onafhankelijk; met andere woorden: g_{θ} is constant. Voor een diffuus geluidveld kunnen de integralen in (2) en (3) dan eenvoudig opgelost worden en vinden we:

$$\int_{4\pi} g_{\theta} \cdot d\Omega = g \cdot 4\pi = \frac{p_{\text{eff}}^2}{\rho c} \quad (4)$$

En:

$$I = \int_{2\pi} g_{\theta} \cdot \cos \theta \cdot d\Omega = g \cdot \int_{2\pi} \cos \theta \cdot d\Omega = g \cdot \pi \quad (5)$$

Zodat via eliminatie van \mathbf{g} volgt:

$$I = \frac{p_{\text{eff}}^2}{4\rho c} \text{ voor diffuse geluidvelden} \quad (6)$$

Het diffuse geluidveld is weliswaar een geïdealiseerd veld, maar blijkt in de praktijk toch een zeer bruikbaar model voor de akoestiek in ruimten. Het in werkelijkheid optredende geluidveld kan daarbij altijd opgevat worden als de superpositie van een direct geluidveld en een diffuus galmveld. In hoeverre het geluidveld in een ruimte diffuus is, valt dan af te meten aan de mate waarin de optredende geluidrukniveaus plaatsafhankelijk zijn.

Bevindt zich in een omsloten ruimte een geluidbron met vermogen W , dan kan voor het diffuse geval de energiebalans aan het omhullend oppervlak S benaderd worden door een sommatie over alle deeloppervlakken S_i met absorptiecoëfficiënt a_i :

$$W = \iint_S I_n \cdot a \, dS \approx \bar{I} \cdot \sum_i a_i \cdot S_i = \bar{I} \cdot A \quad (7)$$

Waarin:

$$\bar{I} = \frac{p_{\text{eff}}^2}{4\rho c} \text{ een gemiddelde intensiteit, die geacht wordt te voldoen aan (6)}$$

$$A = \sum_i a_i S_i \text{ de totale absorptie in de ruimte, inclusief eventuele objecten, uitgedrukt in m}^2 \text{ open raam (m}^2 \text{ o.r.)}$$

De gemiddelde absorptiecoëfficiënt in een ruimte wordt nu gedefinieerd als:

$$\bar{a} = \frac{A}{S} = \frac{\sum_i a_i S_i}{\sum_i S_i} \quad (8)$$

De totale effectieve geluiddruk in een waarneempunt op afstand R van de puntbron in figuur 1 (module A-8; "Nagalmtijd") volgt uit de superpositie van het directe veld (formules 2 en 5 uit module A-3; "Akoestisch vermogen en intensiteit") en een indirect, diffuus veld (formules 6 en 8) dat echter pas na een reflectie ontstaat

$$p_{\text{eff,totaal}}^2 = p_{\text{eff,direct}}^2 + p_{\text{eff,indirect}}^2 = \rho c \frac{W}{4\pi R^2} + 4\rho c \frac{W(1-\bar{a})}{A} \quad (9)$$

en met de definities voor geluidrukniveau ((4) module A-2; "Geluidwaarneming") en vermogensniveau ((6); module A-3; "Akoestisch vermogen en intensiteit") geldt dan in een omsloten ruimte:

$$L_p = L_w + 10 \log \left[\frac{1}{4\pi R^2} + \frac{4(1-\bar{a})}{A} \right] \quad (10)$$

De afstand waarop het directe geluid en het indirecte geluid evenveel bijdragen aan het totale geluidrukniveau kan uit (9) of (10) afgeleid worden en wordt aangeduid als de galmstraal:

$$R_{\text{galm}} = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{A}{\pi(1-\bar{a})}} \quad (11)$$

Op afstanden groter dan de galmstraal zal het indirecte geluid dus overheersen en wordt het veronderstelde diffuse karakter van het geluidveld pas bewaarheid. Duidelijk wordt tevens dat het diffuse geluidveld het best benaderd wordt in een ruimte met een zo klein mogelijke galmstraal, dus zo weinig mogelijk absorptie. Een dergelijke nagalmkamer wordt bij voorbeeld gebruikt om de absorptiecoëfficiënt van materialen bij alzijdige inval te meten.

In een rumoerige ruimte wordt de effectieve geluiddruk van het indirecte geluid voornamelijk bepaald door andere geluidbronnen: aanwezige mensen, machines, etc. De galmstraal neemt dan niet alleen af, maar geeft ook een indicatie over de afstand waarop een spreker nog verstaanbaar is, dat wil zeggen boven het achtergrondlawaai uitkomt. Echter, pertinent onjuist is de idee, dat in een verder rustige zaal een spreker voorbij de galmstraal onverstaanbaar zou zijn. Evenmin is de galmstraal een ontwerp-variabele, omdat de totale absorptie A gebonden is aan eisen ten aanzien van de nagalmtijd van een ruimte.