

Akoestisch vermogen en intensiteit

Kennisbank Bouwfysica

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

1 Inleiding

Het is een bekend ervaringsfeit dat een geluid zwakker klinkt naarmate men verder van de geluidbron verwijderd is. Dit fenomeen is een gevolg van de wijze waarop de akoestische energie die een bron uitzendt zich over de omliggende ruimte verspreid. Het wordt dus veroorzaakt door de geometrische uitbreiding van de geluidgolven en staat geheel los van enig dempingsmechanisme. De vraag is nu hoe de geluidsterkte ter plaatse van een waarnemer in verband kan worden gebracht met de "sterkte" van de geluidbron zelf.

Als karakteristieke grootheid voor de bronsterkte nemen we de uitgezonden hoeveelheid akoestische energie per tijdseenheid ofwel het akoestisch *vermogen* W in watt. Tegelijkertijd definiëren we de akoestische intensiteit I als het akoestisch vermogen dat door een eenheid van oppervlak gaat; dit is een vectoriële grootheid met dimensie W/m^2 .

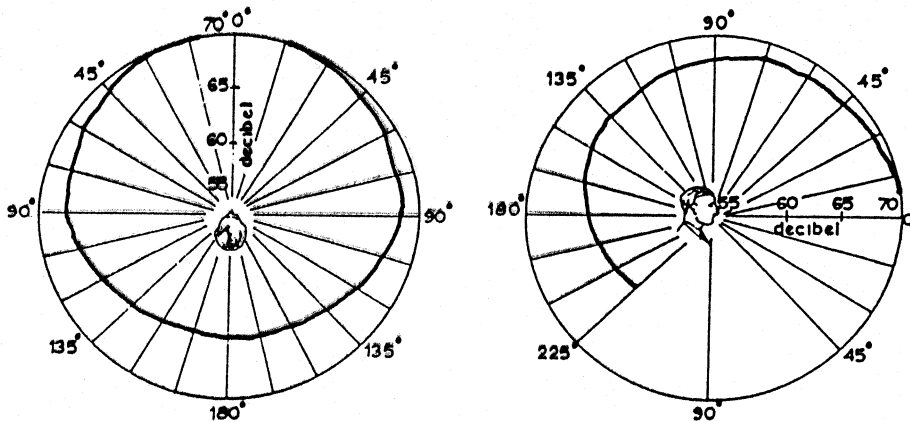
De geometrische golfuitbreiding - dat wil zeggen de uitstroom van akoestische energie - kan nu formeel worden weergegeven door de relatie:

$$W = \oint_S \vec{I} \cdot \vec{n} \, dS + \frac{\partial}{\partial t} \iiint_V E \, dV \quad (1)$$

Waarin:

W	het akoestisch vermogen van de geluidbron [W]
S	een gesloten oppervlak rond de geluidbron [m^2]
\vec{n}	de normaal op S
\vec{I}	de akoestische intensiteit ter plaatse van het oppervlak [W/m^2]
V	het door S omsloten volume [m^3]
E	de energiedichtheid binnen S [J/m^3]

In de stationaire situatie is de laatste term in het rechterlid van (1) gelijk aan nul. Bronnen hoeven niet naar alle richtingen evenveel energie af te stralen, hetgeen voor een boloppervlak met de bron als middelpunt volgens formule (1) betekent, dat de akoestische intensiteit afhangt van de plaats op dat oppervlak. Typische voorbeelden van bronnen met een zogenaamde richtingskarakteristiek zijn luidsprekers, vliegtuigmotoren en de mens (figuur 1).



figuur 1. richtingskarakteristiek voor de menselijke stem (vrije veld-situatie)

Is de afstand tot de bron voldoende groot, dat wil zeggen groot ten opzichte van de afmetingen van de bron en de golflengte van het geluid, dan kan voor de vrije veldsituatie vaak een verband gelegd worden tussen akoestisch vermogen, intensiteit en geluiddruk. De eerste stap daartoe is de veronderstelling van een eenvoudige bolvormige richtingskarakteristiek, zodat er ook een eenvoudig geometrisch oppervlak zal bestaan waarop de intensiteit overal gelijk is. Formule (8); (zie module A-1; "Golfkarakter van geluid") is dan in het stationaire geval te schrijven als $W = I \cdot S$.

Zo ontstaan de volgende geïdealiseerde bronmodellen, waarvoor de intensiteit op een afstand R uit het bronvermogen kan worden berekend:

puntbron:

$$I = \frac{W}{4\pi R^2} \quad (2)$$

lijnbron:

$$I = \frac{W^1}{2\pi R} \quad (3)$$

Let op: het akoestisch vermogen van een lijnbron (W^1) geldt per strekkende meter !

vlakbron van $a \times b \text{ m}^2$:

$$I = \frac{W}{\pi \cdot a \cdot b} \cdot \arctan\left(\frac{a}{2R}\right) \cdot \arctan\left(\frac{b}{2R}\right) \quad (4)$$

Formule (4) geldt voor een positie recht voor de bron en gaat voor $R \gg a$ en $R \gg b$ over in formule (2) zoals te verwachten is.

De volgende stap bestaat uit het vinden van een relatie tussen I en p_{eff} .

We nemen daartoe aan, dat het eerder gehanteerde golfmodel voor vlakke lopende golven op voldoende afstand van de bron een redelijke benadering is, en beschouwen een controlevlak van 1 m^2 , loodrecht op de voortplantingsrichting van het geluid. Op 1 m^2 lucht wordt een

kracht uitgeoefend door de geluiddruk p , die deze lucht in een tijdinterval dt verplaatst over een afstand $v \cdot dt$.

Er wordt dus arbeid op de lucht verricht ter grootte van $p \cdot v \cdot dt$ (arbeid = kracht \times weg) en geïntegreerd over een periode $t_2 - t_1$, vertegenwoordigt dit de energie, die van de ene naar de andere kant van het controlevlak gaat.

Bezien we het vermogen, dit is de energie per tijdseenheid, en bedenken we dat intensiteit gedefinieerd is als vermogen per m^2 , dan kunnen we schrijven:

$$I = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} p \cdot v \, dt$$

en op grond van de relatie $p = \rho c \cdot v$, vgl (6.7), vereenvoudigt zich dit tot :

voor vlakke lopende golven:

$$I = \frac{p_{\text{eff}}^2}{\rho c} \quad (5)$$

In analogie met het begrip geluidrukniveau heeft men ook voor akoestisch vermogen en akoestische intensiteit een niveau in dB gedefinieerd, te weten:

Akoestisch vermogensniveau:

$$L_w = 10 \cdot \log \frac{W}{W_0} \text{ [dB]} \quad (6)$$

referentievermogen $W_0 = 10^{-12}$ [W]

akoestisch intensiteitsniveau:

$$L_I = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0} \text{ [dB]} \quad (7)$$

referentie-intensiteit $I_0 = 10^{-12}$ [W/m²]

Met de gegeven niveaudefinities 4 (zie module A-2; "Geluidwaarneming"), 6 en 7 uit deze module, en volgens bronmodellen 2, 3 en 5 kunnen dan nog de volgende relaties gelegd worden:

puntbron in het vrije veld:

$$L_p = L_w - 10 \log 4\pi R^2 \quad (8)$$

lijnbron in het vrije veld:

$$L_p = L_w - 10 \log 2\pi R \quad (9)$$

Hieruit kan geconcludeerd worden, dat het geluidrukniveau bij een lijnbron afneemt met 3dB per afstandsverdubbeling en bij een puntbron met 6 dB.