

# Ingeluid

## MATERIAALKEUZE VAN BELANG VOOR GOEDE AKOESTIEK

Onder een goede akoestiek verstaan we een goede omgeving die past bij de gebruiksfunctie van een ruimte. In de ontwerp-fase dient de architect hiertoe allereerst, in overleg met de toekomstige gebruikers, een goed inzicht te verkrijgen in de beoogde functie en het gebruik van de ruimte. Aansluitend kan hij bekijken welke akoestiek het beste bij deze gebruiksfunctie past en met welke materialen het gewenste doel kan worden bereikt.



*Bij een goede akoestiek realiseert men werk- en verblijfsruimten met voldoende privacy en beperking van concentratieverstoring.*

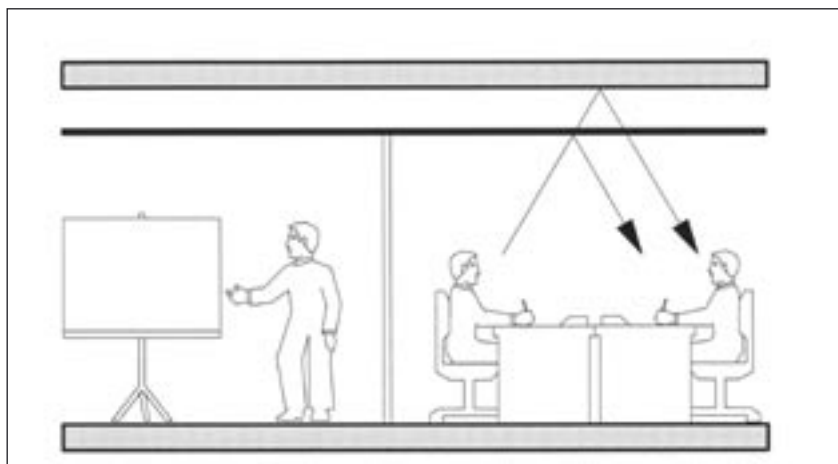
**K**ijken we naar het mogelijk gebruik van een ruimte, dan kan vanuit akoestisch oogpunt een onderscheid worden gemaakt in enkele primaire doelstellingen om een goede akoestiek te realiseren:

- beheersen van de optredende geluid-niveaus in ruimten waar (ongewenst) geluid wordt geproduceerd;
- realiseren van een voldoende (speech-) privacy. Het realiseren van werk- en verblijfsruimten met voldoende privacy en beperking van concentratieverstoring;
- bevorderen van een goede spraakverstaanbaarheid.

Voordat we nader op deze aspecten ingaan, is het wellicht verstandig even enkele basisbegrippen te behandelen.

### Basisbegrippen

Geluid bestaat uit een trillende beweging van luchtdeeltjes, die door het gehoor waarneembaar zijn. Deze trillende bewe-

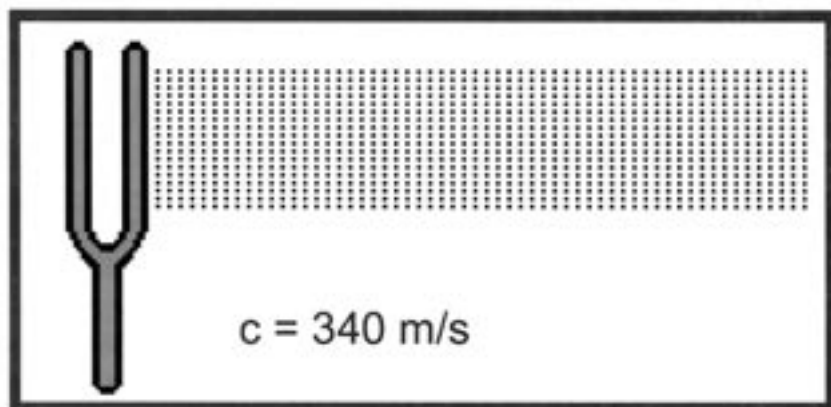


*Figuur 1. Het is zaak te bekijken welke akoestiek het beste bij een gebruiksfunctie past.*

ging wordt opgewekt door een geluid-bron (stembanden, luidspreker, machine) en wordt via een tussenstof (lucht, een vloeistof of een vaste stof) verder geleid naar het gehoororgaan waar de trillingen als geluid worden waargenomen. Door de geluidbron worden de luchtdeeltjes in trilling gebracht waardoor luchtverdichtingen en -verduunningen ontstaan. De luchtdeeltjes voeren een trilling uit rond

hun evenwichtstoestand. De geluidgolf plant zich in dezelfde richting voort als de bewegingsrichting van de luchtdeeltjes. Dit noemt men een *longitudinale golfbeweging* (zie figuur 2).

De snelheid van deze golfbeweging hangt af van de massa en de elastische eigenschappen van de materie. Zo is de geluidssnelheid in lucht bij een normale atmosferische druk en bij 20°C circa



Figuur 2. Bij een longitudinale golfbeweging plant de geluidgolf zich in dezelfde richting voort als de bewegingsrichting van de luchtdeeltjes.

340 m/s. In water ongeveer 1480 m/s en in ijs zelfs 3200 m/s.

## Toonhoogte

De snelheid waarmee de drukverhogingen en -verlagingen elkaar opvolgen, is een maat voor de toonhoogte. Bij langzame drukvariëaties (trage golven) horen we een lage toon en naarmate de variaties in de druk sneller worden, horen wij hogere tonen.

De tijd tussen twee drukpieken is de periodetijd. Het omgekeerde van de periodetijd is de frequentie, het aantal malen per seconde dat een drukpiek optreedt. De frequentie wordt uitgedrukt in Hertz (Hz). De afstand tussen twee drukpieken noemen we de golflengte. Het verband tussen frequentie, voortplantingssnelheid en golflengte bedraagt:  $f=c/\lambda$ . Bij 100 Hz bijvoorbeeld bedraagt de golflengte circa 3,4 m en bij 1000 Hz circa 34 cm.

De hoorbare drukvariëaties voor het menselijke oor liggen in een frequentiegebied tussen 20 Hz (golflengte 17 m in lucht) en 20.000 Hz (golflengte 17 mm in lucht). De belangrijkste frequenties liggen in het bereik van 125 tot 2000 Hz. Bij de hoge frequenties hebben we het overigens vaak over kilohertz (2 kHz = 2000 Hz).

## Geluidsspectrum

Om praktische redenen wordt het frequentiegebied ingedeeld in frequen-

tiebanden. Het hoorbare gebied kan zo worden ingedeeld in tien octaafbanden ofwel dertig tertsbanden. Zuivere tonen hebben maar één frequentie. Een muziektoon heeft naast de grondtoon ook hogere (harmonische) frequenties. De geluiden die we in ons dagelijks leven tegenkomen (industrie, wegverkeer, treinen, stofzuiger enzovoorts) bestaan uit een mengsel van geluid met verschillende toonhoogte en verschillende geluidsterkte. Het samenspel aan geluidsterkte in verschillende frequentiebanden noemen we een geluidsspectrum.

Geluid van een geluidbron plant zich over het algemeen in alle richtingen (bolvormig) voort. Doordat de geluidenergie zich, bij het bewegen van de bron af, over een steeds groter oppervlak verdeelt, neemt de geluidsterkte ook steeds verder af. Deze afname is omgekeerd evenredig met het boloppervlak. We noemen dit geometrische afname. Uitgedrukt als geluidniveau bedraagt de geometrische afname van een puntbron 6 dB per afstandverdubbeling.

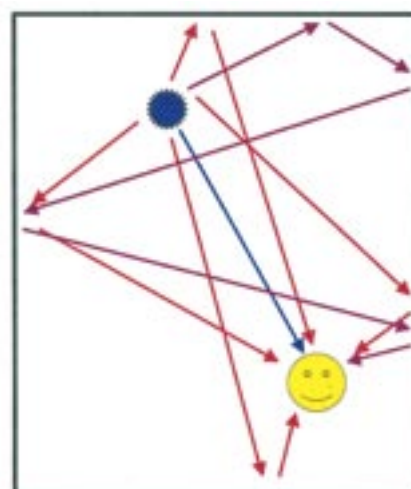
## Reflecties en nagalm

Als we naar de geluidvoortplanting in een ruimte kijken, dan zal het geluid zich in eerste instantie van de bron naar de toehoorder voortbewegen. Het overbruggen van deze afstand kost tijd. Het geluid zal dus enkele milliseconden nadat het door de bron is uitgezonden hoorbaar zijn. Het

geluidniveau is ook afhankelijk van de afstand: hoe verder weg, des te lager het geluidniveau (geometrische uitbreiding).

Naast dit zogenoemde 'directe geluid' zendt de geluidbron ook in andere richtingen geluid uit.

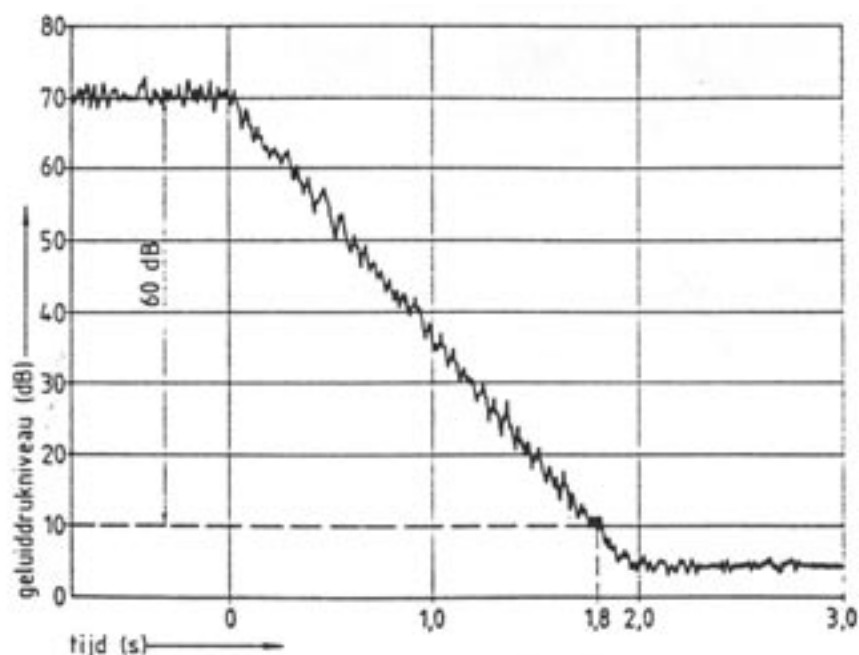
Door reflectie tegen wanden, plafond en vloer kan ook dit geluid bij de toehoorder terechtkomen. Door de langere afgelegde afstand zal dit geluid echter later arriveren en een lager geluidniveau hebben.



Figuur 3. Door reflectie tegen de wanden komt geluid ook bij de toehoorder terecht.

Indien de wand niet alle geluidenergie reflecteert, maar een deel doorlaat of absorbeert, zal de geluidreflectie verder in niveau afnemen. Alle reflecties samen geven een in de tijd afnemend geluidniveau bij de toehoorder. Figuur 4 geeft het in de tijd afnemende geluidniveau als een ruisbron plotseling wordt uitgeschakeld. Het geluidniveau neemt in de tijd regelmatig af, langs een rechte lijn.

De nagalmtijd is gedefinieerd als de tijd die het geluid erover doet om 60 dB in niveau af te nemen. De nagalmtijd in deze figuur bedraagt 1,8 s. Een lange nagalmtijd betekent dat de reflecties niet of nauwelijks worden geabsorbeerd. Dit zal het geval zijn in ruimtes met harde vlakken zoals bij een zwembad of in een lege woonkamer. Wanneer er geluidabsorberende materialen worden toegepast zoals gordijnen,



Figuur 4. Bij het plotseling uitschakelen van een ruisbron neemt het geluidniveau in de tijd regelmatig af, langs een rechte lijn. De nagalmtijd is de tijd die het geluid erover doet om 60 dB in niveau af te nemen, in deze figuur 1,8 s.

tapijt of een bankstel, zal de nagalmtijd veel korter zijn.

## Geluidabsorptie

Er blijkt een relatief eenvoudige relatie te zijn tussen de nagalmtijd, de geluidabsorptie en het volume van een ruimte. Deze relatie is door de Amerikaan Sabine experimenteel bepaald en later ook theoretisch afgeleid.

De geluidabsorptie is de effectieve absorptie in m<sup>2</sup>. Zo geeft 10 m<sup>2</sup> materiaal dat 100 procent van de opvallende geluidenergie absorbeert evenveel geluidabsorptie als 20 m<sup>2</sup> materiaal dat 50 procent van de opvallende geluidenergie absorbeert. Men spreekt ook wel over de geluidabsorptie in m<sup>2</sup> 'open raam' (o.r.). Een open raam geeft immers 100 procent 'geluidabsorptie' omdat alle opvallende geluidenergie uit de ruimte verdwijnt.

Opgemerkt wordt dat deze formule ervan uitgaat dat alle energie in alle richtingen even goed verdeeld is, een zogenaamd diffuus geluidveld. Over het algemeen is daar geen sprake van. Vooral ook het verdelen van de geluidabsorptie over alle vlakken maakt dat de ruimte diffuser zal

zijn. Een ruimte waar alle geluidabsorptie bijvoorbeeld tegen het plafond zit, zal een langere nagalmtijd hebben dan op grond van de formule van Sabine wordt uitgerekend. Als bekend is hoe groot de ruimte is en welke materialen worden toegepast, is het mogelijk om met de formule van Sabine de nagalmtijd te berekenen.

## Nagalmveld

De geluidabsorptie in een ruimte heeft niet alleen invloed op de nagalmtijd. Wellicht nog veel belangrijker is dat geluidabsorptie invloed heeft op het geluidniveau. Dicht bij de geluidbron is het directe geluid van de geluidbron nog heel sterk en wordt het geluidniveau bepaald door de afstand tot deze geluidbron. Op grotere afstand is het directe geluid van de geluidbron echter niet meer zo sterk en is de bijdrage van alle reflecties in de ruimte veel sterker. Bij een diffuus geluidveld is het totaal aan al die reflecties op alle posities in de ruimte ongeveer even sterk. Het geluidniveau hangt dan niet meer af van de afstand tot de bron.

Omdat de reflecties worden beïnvloed door de geluidabsorptie in de ruimte hangt

het geluidniveau in het zogenaamde nagalmveld af van de totale hoeveelheid absorptie in de ruimte:  $L_p = L_w + 10 \log(4/A)$ . Hierbij is  $L_w$  het geluidvermogen van de geluidbron (zeg maar de geluidsterkte). Hoe luid een ruimte wordt ervaren, hangt dus af van  $10 \log(4/A)$ . Opgemerkt wordt dat hierbij uitsluitend nog de hoeveelheid absorptie een rol speelt en niet het volume. Natuurlijk is het zo dat je in een grote ruimte vaak meer absorptie hebt of kunt aanbrengen dan in een kleine ruimte. Er kunnen dus twee redenen zijn om geluidabsorptie aan te brengen: reductie van de nagalmtijd of reductie van de luidheid.

## Nagalmkamer

De formule van Sabine wordt ook gebruikt om in het laboratorium de geluidabsorptie te testen. In de zogeheten nagalmkamer wordt onder meer de geluidabsorptie gemeten van afwerkingsmaterialen



In de nagalmkamer wordt onder meer de geluidabsorptie gemeten van afwerkingsmaterialen voor plafonds, wanden en vloeren en van individuele objecten zoals stoelen, kanttoerschermen en baffles.

voor plafonds, wanden en vloeren en van individuele objecten zoals stoelen, kanttoerschermen en baffles, maar ook van personen. De nagalmtijd wordt twee keer gemeten: met en zonder het meetobject. Beide keren wordt de geluidabsorptie berekend. Het verschil geeft de totale geluidabsorptie van het meetobject. Indien dit object een duidelijk oppervlak heeft (bijvoorbeeld een plafond) dan is de geluidabsorptiecoëfficiënt te berekenen uit de verhouding van de gemeten geluidabsorptie in m<sup>2</sup> en het oppervlak van het meetob-

ject. Er worden in de nagalmkamer nogal wat voorzieningen getroffen om een dif-fuus geluidveld te bereiken. De wanden staan scheef, het plafond ligt schuin en er zijn aan het plafond en aan de wanden geluidverstrooiende platen opgehangen. Op basis van de meetgegevens kan de architect een beoordeling maken of een bepaald afwerkingsmateriaal geschikt als geluidabsorberend materiaal.

## Beheersing geluidniveaus

Daarmee keren we terug naar de primaire doelstellingen om een goede akoestiek te realiseren. Om in een ruimte een voldoende hoeveelheid absorptie te realiseren, worden de eisen veelal gesteld in de vorm van een na te streven nagalmtijd. Niet omdat dit de primair van belang zijnde grootheid is, maar omdat deze, zoals we hiervoor hebben besproken, direct samenhangt met het volume en de totale hoeveelheid absorptie en daarmee een grootheid is waarmee kan worden gerekend en die bovendien door een meting ook kan worden gecontroleerd.

Bij de selectie van de toe te passen afwerkingsmaterialen is het van belang de absorptie-eigenschappen te kennen en waar nodig specifiek af te stemmen op de eigenschappen van de geluidbron. Omgekeerd kan ook op basis van de te behalen hoeveelheid absorptie in de praktijk en het beschikbare oppervlak een eis/streefwaarde aan de geluidabsorberende kwaliteit van een afwerkingsmateriaal worden gesteld. Door deze eis vast te leggen in een bestek voor een specifiek werk liggen de te realiseren productspecificaties vast.

## Opslingereffect

Bij mensen als geluidbronnen is het geluidvermogen geen vast gegeven, maar afhankelijk van de wanorde/stemming en de hoogte van een te overstemmen achtergrondgeluidniveau. Het blijkt dat de akoestiek van een ruimte een rol speelt in de mate van stemverheffing waarmee

gesprekken worden gevoerd. Bij een hoger achtergrondgeluidniveau zal men met een verhoogd stemvolume moeten spreken



*Bij een hoger achtergrondgeluidniveau zal men met een verhoogd stemvolume moeten spreken om zich verstaanbaar te kunnen maken.*

om zich verstaanbaar te kunnen maken. Dit fenomeen (opslingereffect) wordt ook wel aangeduid als het 'zwembad- of cocktailparty-effect' en treedt op vanaf het moment dat de combinatie van geluid veroorzaakt door (pratende of schreeuwende) personen en de ruimte-akoestiek zodanig is dat geluidniveaus van circa 65 dB(A) in het nagalmveld worden bereikt. Streefwaarde hierbij is voldoende absorptie toe te voegen zodat het optredende geluidniveau onder de 65 dB(A) wordt gehouden.

## Privacy

Het realiseren van een bepaalde geluidisolierende of geluidabsorberende kwaliteit stelt geheel andere eisen aan materialen en constructies. Denk hierbij aan een geopend raam in de gevel. Wat betreft geluidabsorptie is dit een optimale constructie; alle opvallende geluidenergie wordt doorgelaten en komt niet terug in de ruimte, de absorptiecoëfficiënt is 1,0. Voor wat betreft de geluidisolatie is een open raam de slechtst denkbare constructie. Alle opvallende geluidenergie wordt doorgelaten; de geluidisolatie is 0 dB.

Een gesprek dat in een naastgelegen vertrek of nabijgelegen werkplek verstaanbaar is, werkt vaak concentratieverstorend

en afleidend en is soms onaanvaardbaar vanuit het oogpunt van privacy. De mate van speech-privacy wordt hoofdzakelijk bepaald door de sterkteverhouding tussen het van de bron komend geluid en het heersende achtergrondgeluid. Deze verhouding wordt de signaal/ruis ( $s/r$ )-verhouding genoemd. Als we spraak wel willen verstaan, dan moet de  $s/r$ -verhouding groot zijn, terwijl als we willen voorkomen dat spraak wordt verstaan, deze  $s/r$ -verhouding klein moet zijn.

Uitgaande van een maskerend achtergrondgeluidniveau van 35 dB(A) in een te beschermen verblijfsruimte, is een geluidisolatie van  $R'w = 38$  dB (met accent = praktijkwaarden inclusief flankerende nevenwegen) vereist voor een normale privacy. Voor een verhoogde privacy moet een 5 dB hogere geluidisolatie worden gerealiseerd.

## Spraakverstaanbaarheid

In ruimten die geschikt moeten zijn voor het houden van vergaderingen, toespraken en dergelijke, is een goede natuurlijke spraakverstaanbaarheid een eerste vereiste.

De nagalmtijd wordt bepaald door de afmetingen van de zaal en in de zaal aanwezige geluidabsorptie. Voor een deel zal deze absorptie steeds worden geleverd door de materialen waaruit plafond, vloer en wanden zijn opgebouwd.

Voor een deel wordt de totale geluidabsorptie ook bepaald door de aanwezige mensen, het auditorium. Voor een goede verstaanbaarheid is het gewenst dat de nagalmtijd van de zaal bij een volledige publieksbezetting niet te lang is. Afhankelijk van het volume, tussen 0,8 en 1,0 seconde. Een kortere nagalmtijd is niet gewenst daar de zaal dan niet 'aanspreekbaar' is (te laag geluidniveau, vermoeiend voor de spreker). ■

*De auteur is werkzaam bij Adviesbureau Peutz bv in Mook.*