

Sound & Science: Digital Histories

Archives NAG: Publicatie No. 5 van de Geluidstichting, Zwicker, C. (1936). Analyse der bouwacoustiek. Delft: Geluidstichting. 1936

<https://acoustics.mpiwg-berlin.mpg.de/text/publicatie-no-5-van-de-geluidstichting>



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

PUBLICATIE No. 5
VAN DE
GELUIDSTICHTING
DELFT - HOLLAND

ANALYSE DER BOUWACOUSTIEK

DOOR

PROF. DR. C. ZWIKKER

OVERDRUK UIT „HET PLAN”
PREMIE VAN „DE 8 EN OPBOUW” 1936

VAN HOLKEMA & WARENDORF N.V. - AMSTERDAM

6

ANALYSE DER BOUWACOUSTIEK

DOOR PROF. DR. C. ZWIKKER

1. INLEIDING

In dit artikel wordt nagegaan, welke acoustische problemen zich bij de bouw voordoen en in het kort de juiste oplossing gegeven. Er is geen ruimte om op elk onderdeel uitvoerig in te gaan. De vraagstukken vallen uiteen in twee volkomen los van elkaar staande groepen: die, verband houdende met de geluidsisolatie en gehorigheid, en die, verband houdende met de zaalacoustiek. De schrijver beperkt zich in dit artikel tot het probleem der geluidsisolatie. Dat der zaalacoustiek wordt uitvoerig behandeld in allerlei boeken, waarvan hier genoemd mogen worden:

W. C. S a b i n e: Collected papers on acoustics. Cambridge, Harvard University Press, 1923.
V. O. K n u d s e n: Architectural acoustics. New York, J. Wiley and Sons, 1932.

Voorop gaan enige paragrafen, gevende de definities van een aantal begrippen en de physiologische gegevens.

2. DEFINITIES

Geluid: Mechanische trillingen van gas- sen, vloeistoffen of vaste lichamen met frequenties tussen 20 en 20000 per seconde.

Luchtgeluid: Geluid, dat zich door de lucht voortplant.

Contactgeluid: Geluid, dat zich in vaste stoffen voortplant.

Lawaai: Geluid, dat ongevraagd het oor bereikt.

Geluidsintensiteit (I): De geluids- energiestroomdichtheid, d.i. de hoeveel- heid energie, die per seconde door een vlak- je ter grootte van de oppervlakte-eenheid treedt, geplaatst loodrecht op de voort- plantingsrichting. De geluidsintensiteit wordt uitgedrukt in erg/cm² sec of in watt/m² (1 watt = 10⁷ erg/sec).

Intensiteitsniveau (β): De loga- rithme van de verhouding van de intensi- teit tot een vaste intensiteit

$$\beta = \log \frac{I}{I_0}$$

Als vastgekozen nulpunt neemt men aan de waarde van

$$I_0 = 10^{-12} \text{ watt/m}^2$$

Een geluidsintensiteit, die 10ⁿ keer zo sterk is, kent men een intensiteitsniveau toe van n bel. Twee intensiteiten verschillen 1 de- cibel als

$$\log \frac{I_1}{I_2} = 0,1$$

dus als

$$\frac{I_1}{I_2} = \sqrt[10]{10} = 1,26$$

In Duitsland zegt men phon tegen de deci- bel. Het nulpunt der in Duitsland gebezigde phonschaal ligt 3,4 db hoger dan de (Ame- kaanse) decibel-schaal.

Geluidsniveau (L) van een willekeu- rig geluid: het intensiteitsniveau van een even sterk gehoorde zuivere toon van 1000 trillingen per sec. Eenheid: bel.

Geluidsterkte (G): Sterkte van de psychische geluidsindruk. Twee geluiden van hetzelfde geluidsniveau L hebben de-

zelfde geluidsterkte G. G is een functie van L. Over de vraag, welke die functie is, heerst geen eenstemmigheid.

Gehoorgrens: Kleinste waarde der ge- luidsintensiteit, die het oor nog als geluid kan waarnemen.

Pijngrens: Kleinste waarde der geluidsin- tensiteit, die de mens als pijnlijk beoordeelt.

Doorlaatbaarheid (τ): de verhou- ding van de geluidsintensiteiten, achter en voor een wand, waarop geluid valt.

Reflectiecoëfficiënt (r): de fractie van de op een wand vallende geluidsin- tensiteit, die teruggekaatst wordt.

Absorptiecoëfficiënt (a): de frac- tie van de op een wand vallende geluids- intensiteit, die niet teruggekaatst wordt. a + r = 1.

Dissipatievermogen (d): de fractie van de op een wand vallende geluidsin- tensiteit, die wordt omgezet in warmte. τ + d = a.

3. GELUIDSNIVEAU

Het oor is niet voor alle toonhoogten even ge- voelig. De toonhoogte is vastgelegd door de frequentie ν, het aantal geluidstrillingen per seconde, uitgedrukt in de eenheid sec⁻¹ (Duits: Herz; Frans: vibrations doubles).. Het oor is het gevoeligst voor ν = 3000 sec⁻¹; voor andere frequenties minder, om geheel

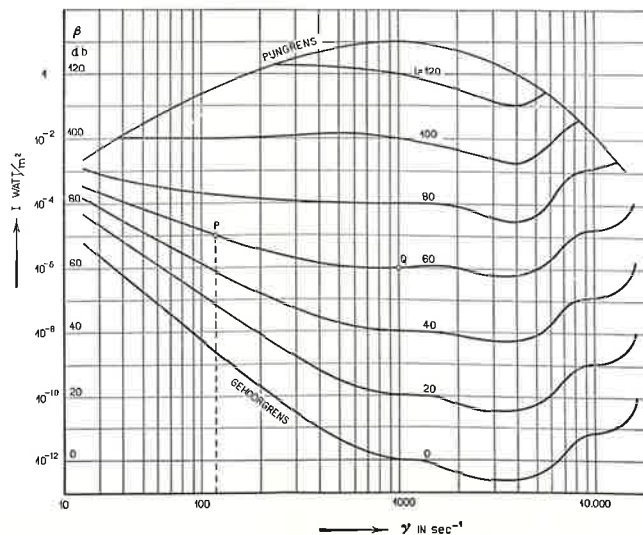


Fig. 1. Het gehooroppervlak

ongevoelig te worden voor frequenties beneden 20 sec^{-1} en boven 20000 sec^{-1} . Door het grote intensiteitsbereik, waarin we de trillingen als geluid waarnemen, zet men grafisch de intensiteit in den regel logaritmisch uit. Zie fig. 1. De onderste lijn is de gehoor-grens. Voor de toon $\nu = 1000 \text{ sec}^{-1}$ ligt de grens ongeveer bij $10^{-12} \text{ watt/m}^2$, reden waarom men deze waarde heeft ingevoerd als het grondniveau I_0 in de definitie van het intensiteitsniveau β . (Zie boven.)

De bovenste kromme uit fig. 1 stelt voor de pijngrens. Bij $\nu = 1000 \text{ sec}^{-1}$ is de intensiteit op de pijngrens 10^{-13} , d.i. 10 biljoen keer zo groot als de intensiteit op de gehoor-grens. Voor hoge frequenties, zowel als voor lage frequenties, naderen de gehoor-grens en de pijngrens elkaar, om het gehoor-oppervlak af te sluiten bij ongeveer $\nu = 20 \text{ sec}^{-1}$ en $\nu = 20000 \text{ sec}^{-1}$. De waarnemingen in deze uiterste hoeken van het gehoor-oppervlak zijn zeer onzeker en afhankelijk van individuele eigenschappen van de waarnemer. Oudere personen kunnen de hoge tonen niet meer horen. Bij doofheid ontbreken gebieden van het gehoor-oppervlak. Afhankelijk van de vorm en de plaats van deze ontbrekende gebieden zijn zeer veel typen van doofheid mogelijk.

De in het gehooroppervlak getekende kromme lijnen verbinden punten, die voorstellen zuivere tonen van wel verschillende frequentie en intensiteit, maar van dezelfde geluidsterkte. Naar de Amerikaan Munson, die met zorg deze gegevens met behulp van een groot aantal proefpersonen heeft bepaald, heten ze de Munsonse lijnen. In punt P is het geluidsniveau even hoog als in punt Q, ofschoon het intensiteitsniveau hoger is en wel is het intensiteitsniveau van P: $\beta = 70 \text{ db}$; het geluidsniveau $L = 60 \text{ db}$, namelijk gelijk aan de β voor het punt Q, waarvoor de frequentie is 1000 sec^{-1} . Getekend zijn de Munsonse lijnen, waarvoor het geluidsniveau respectievelijk 0, 20, 40, etc. decibel is.

De volgende tabel geeft een idee van de betekenis der verschillende waarden van het geluidsniveau L.

Pijngrens	L = 130	decibel
Vliegtuigmotor op 4 m afstand	120	„
Ketelsmidse	110	„
Claxon op 5 m afstand	100	„
Stoomhamer in afgesloten ruimte	90	„
Zeer luide muziek	80	„
Schrijfmachinekamer, tram	70	„
Enkele schrijfmachine, gesprek	60	„
Stille straat, winkel	50	„
Zachte muziek	40	„
Woninggeluiden	30	„
Tuingeluiden, fluisteren	20	„
Bladgeritsel	10	„
Gehoor-grens.	0	„

4. SAMENGESTELDE GELUIDEN

Een mengsel van twee tonen, elk met intensiteit I, klinkt luider dan een enkele toon met intensiteit 2I (meerstemmigheidseffect). Immers vergroting van de intensiteit van een zuivere toon met een factor 2 geeft op de logaritmische schaal van fig. 1 slechts een zeer geringe verplaatsing. Toevoeging van een tweede toon is echter veel sterker merkbaar. Zo is voor een toonmengsel met veel componenten (gedruis, geraas) het geluidsniveau hoger dan voor een zuivere toon van dezelfde totale energie-inhoud. Toch is het geluidsniveau van een dubbele toon niet twee keer dat van een enkele toon (maskerings- of verdovings-effect).

Verlaagt men de intensiteit in een zekere reden door tussenvoegen van een schot tussen geluidsbron en waarnemer of door vergroting van de afstand, dan zakken de intensiteitsniveau's (β) van alle samenklinkende tonen met eenzelfde bedrag (stel x db). Het geluidsniveau van een toon van 1000 sec^{-1} zakt ook met x db, het geluidsniveau van een lagere toon zakt echter met meer dan x db. Samengestelde tonen zakken nog meer in geluidsniveau, omdat van elk der compo-

nenten het intensiteitsniveau met x db zakt. Hieruit volgt, dat zuivere tonen doordringender zijn dan geraas en dat de hoge zuivere tonen doordringender zijn dan de lage.

Onder het isolerend vermogen i van een scheidingswand verstaat men de logarithme van $1/\tau$, (zie boven) of wel de reductie van het intensiteitsniveau. Een wand, die dus 1 miljoenste van de energie doorlaat ($\tau = 10^{-6}$) heeft een isolerend vermogen van 6 bel of 60 db. Een zuivere toon van 1000 sec^{-1} en $L = 60 \text{ db}$ zou door deze muur juist niet te horen zijn. Voor de isolatie van andere geluiden, eveneens met een geluidsniveau van 60 db, is een isolatie, kleiner dan 60 db, voldoende om ze tot onder de gehoorrens te brengen. Het isolerend vermogen is dus het minimum van de teweeggebrachte reductie van het geluidsniveau.

5. DOORLATING VAN LUCHTGELUID DOOR WANDEN

Een wand kan luchtgeluid doorlaten, doordat hij òf:

1e poreus is,

2e buigingstrillingen uitvoert.

ad 1. De porositeits-doorlating is alleen van belang bij stoffen gordijnen; bedraagt b.v. voor biljartlaken $\tau = 0,3$, $i = 5 \text{ db}$. Van houtvezelplaten is de doorlating tengevolge van de porositeit al kleiner dan die, tengevolge van het meetrillen.

Van veel groter belang voor de praktijk is het voorkomen van niet-gewilde openingen: niet gevulde voegen in een gemetselde muur, naden in een vloer, ruimte rondom de doorvoer van pijpleidingen, niet aansluiten van vloer aan gevel, krimp- en zetscheuren. Er komt door zulke openingen veel meer geluid dan men denkt. Geluid is een golfverschijnsel en buigt naar de openingen toe. Een rond gat van 5 mm diameter laat van een toon van frequentie $\nu = 300 \text{ sec}^{-1}$ wel 40 keer zo veel door als men zou verwachten op grond van de afmetingen. Twee openingen vlak bij elkaar laten bovendien 4 keer zo veel geluid

door als elke opening apart. Nog gevaarlijker zijn spleten. Men heeft gemeten, dat een lange spleet van 1 mm breedte 64 keer meer geluid doorliet dan geometrisch werd verwacht. Men kan wel aannemen, dat de lekken de belangrijkste bron van de gehorigheid in woonhuizen zijn. De praktijk leert, dat men deze lekken in deze tijd van scherpe concurrentie tussen de aannemers niet kan vermijden zonder uitvoerige omschrijvingen in het bestek. ad 2. De buigingstrillingen bepalen de eigenlijke doorlaatbaarheid van bouwmuren zonder fouten. Aan de invalzijde ondervindt de wand periodieke over- en onderdrukken wisselend met de geluidsfrequentie, weliswaar zeer klein, maar ze zijn er dan toch. De wand gaat, hoe zwaar en stijf hij ook is, iets mee-trillen en brengt daardoor de lucht aan de achterzijde in beweging, waardoor er luchtgeluid aan de achterzijde is gekomen, alhoewel er eigenlijk geen luchtgeluid wordt „door-gelaten” in den beperkten zin van dit woord.

6. GEWICHT EN STIJFHEID

De isolatie ontstaat nu, doordat de wand zich verzet tegen deze trillingen. Dit verzet kan op twee manieren geprikkeld worden: door de wand zwaar te maken of door hem stijf te maken. Een loden wand isoleert, omdat hij zwaar is, een plaatijzeren wand met versterkingsribben isoleert, omdat hij stijf is. Een wand, die zwaar en stijf is, isoleert slecht. Immers een zwaar lichaam trilt tegen de fase van de aandrijvende periodieke kracht in, een stijve veer echter beweegt in fase met de kracht. De reactiekrachten van massa en stijfheid werken elkaar tegen. Voor een bepaalde frequentie heffen ze elkaar zo volledig op, dat resonantie optreedt, d.w.z. sterke trilling. Men moet zorgen, dat deze resonantiefrequentie niet in het midden van het hoorbare gebied valt, dus òf zeer laag ligt (zware muur), òf zeer hoog ligt (stijve muur). Het klinkt misschien paradoxaal, als ik mededeel, dat betonnen en bakstenen muren als slap en zwaar zijn te beschouwen.

De eigentoon ligt laag, ze isoleren hoge tonen beter dan lage tonen. Muren, die omgekeerd werken, namelijk als stijf zijn te beschouwen, komen in de bouwpraktijk niet voor, tenzij men gesteund plaatijzer als bouw materiaal wil beschouwen. Stijve wanden hebben een zeer hoge eigenfrequentie en isoleren bij voorkeur de lage toonhoogten.

Van groot belang is echter, dat glazen en houten panelen tussen beide instaan, resonanties hebben, midden in het hoorbare gebied, en onverwacht grote doorlatingsvermogens vertonen. Het gedrag van hout laat zich daarom niet in kort bestek volledig uiteenzetten.

De massa van de wand neemt toe, evenredig met de dikte, de stijfheid neemt echter toe, evenredig met de derde macht van de dikte. Gaat men langzamerhand over van zeer dun hout tot dikker, dan neemt aanvankelijk de isolatie toe, omdat de massa groter wordt. Inmiddels neemt ook de stijfheid toe en wel sneller dan de massa, waardoor de stijfheidskracht de massakracht gaat tegenwerken en de isolatie slechter wordt. Vergroot men echter steeds meer de dikte, dan gaat de stijfheid zoveel over de massa domineren, dat de isolatie weer toeneemt. Er is dus voor elke houtsoort een gebied van diktes, dat men moet vermijden. De grenzen van dit gebied hangen af van de houtsoort en van de afmetingen van het paneel. Ruw gesproken mag men echter wel zeggen, dat dikten tussen 1 en 2 cm acoustisch verkeerd zijn. Omdat, afgezien van het geval der resonerende panelen, bij homogene muren de massa doorslaggevend is, gebruikt men een betrekking, die in hoofdzaak afkomstig is van Lord Rayleigh:

i (in decibel) = $5 + 20 \log m$ (in kg/m^2);
in tabelvorm:

$m =$	1 kg/m^2 ,	$i =$	5 db
	10		25
	100		45
	1000		65

Hier volgt nog een tabel van gemeten en vol-

gens de gewichtsformule berekende isolatievermogens:

6 1/2 cm baksteen, $m=160 \text{ kg/m}^2$, i (gemeten)	40	i (ber.)	49
12	240	50	53
25	500	58	59
38	740	64	62

7. MEERVOUDIGE WANDEN

Het nut van een spouwmuur volgt het best uit de hierboven ingevoerde gewichtsformule. Immers de isolatie van een wand met gewicht 2 m is:

$i_1 = 5 + 20 \log 2 m = 5 + 20 \log m + \log 2$;
daarentegen is de isolatie van een spouwmuur, bestaande uit twee, volkomen los van elkaar staande, muren, elk met gewicht m:

$$i_2 = 5 + 20 \log m + 5 + 20 \log m.$$

De winst door overgang op de spouwmuur is $5 + 20 \log m - 20 \log 2$, wat bijvoorbeeld bij $m = 100 \text{ kg/m}^2$ een bedrag van 39 decibel is. De hier gehouden redenering is niet geheel juist, er vormt zich tussen beide muren een klankkast, waarin het geluid blijft hangen en die de isolatie iets vermindert. In grote trekken wordt de idee van de spouwmuur echter door de logaritmische formule weergegeven. We merken terloops op, dat voor m kleiner dan 2 kg/m^2 de overgang van een enkelvoudige muur op een spouwmuur nadelig werkt.

Het reeds genoemde klankkast-effect treedt op, als de breedte van de spouw te klein is gekozen. Men neme hiervoor minstens 10 cm. De isolatie van een dubbele ruit bijvoorbeeld, komt pas volledig tot zijn recht, als de afstand 10 cm is geworden, wat moge blijken uit onderstaande tabel:

Isolatie van 2 ruiten van 3 mm glas (één ruit $i = 24 \text{ db}$):

Afstand	Isolatie
0 cm	28 decibel
1 cm	21
2 cm	26
5 cm	34
10 cm	40

Tussenplaatsen van een derde ruit tussen de twee buitenste geeft slechts weinig, tussenplaatsen van meer ruiten verkleint de isola-

tie zelfs weer door het klankkast-effect der opgesloten luchtmassa's. (Zie figuur 2).

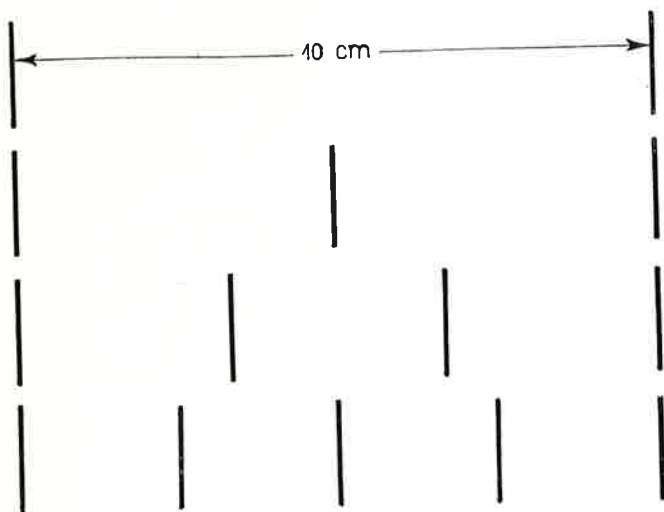


Fig. 2. Meernoudige ruit

1 ruit	$i = 24$ db
2 ruiten	40
3 „	44
4 „	36
5 „	32

Het klankkast-effect is bij muren wel, bij ruiten niet, te bestrijden door in de spouw geluidabsorberend materiaal te brengen in de vorm van een loshangende laag of door vulling (kurk, turf, glaswol, rockwool, houtvezelplaat, etc.). Vulling met een samenhangende laag in plaatvorm heeft constructieve voordelen, acoustisch werkt het in de regel nadelig, doordat de beide muurhelften aan elkaar gelegd worden en de spouw eigenlijk verdwijnt. Gebruikt men echter geen plaatvormige tussenlaag, dan bestaat grote kans op bruggen van mortel en tussengevalen steen, zodat de spouw potentieel eveneens verdwenen is. Vulling met een losse materie, vooral lichte, kan het isolerend vermogen van de spouwmuur vergroten, ook al heeft in dat geval toch nog wel een zekere koppeling der beide muurhelften plaats. Men vrage van bijzondere constructies steeds de meetat- testen op.

In het algemeen is men genoodzaakt, beide helften van de spouwmuur met elkaar te verbinden door steunbalken en steunijzers. Dit is acoustisch een gebrek; men beperke

dus het aantal verbindingen zo veel mogelijk. Deze verbindingen, mits op grote afstand van elkaar aangebracht, zijn voor de overgang van het luchtgeluid, waar we tot nu over gesproken hebben, van minder belang dan voor de overgang van contactgeluid (zie onder).

Fig. 3 geeft waarden van de luchtgeluids-isolatie weer.¹⁾

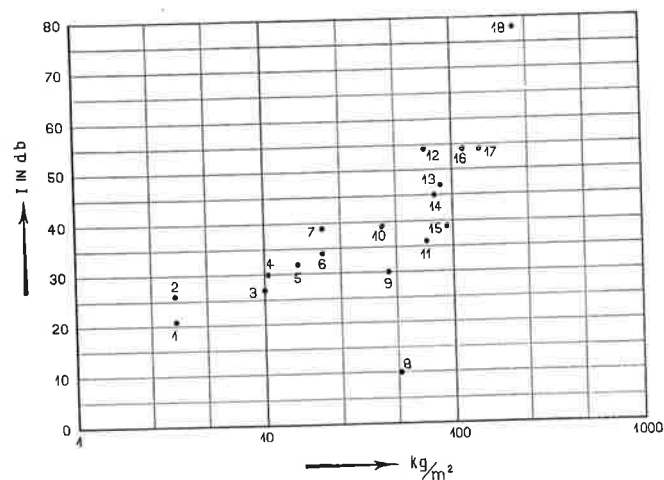


Fig. 3. Luchtgeluidisolatie in afhankelijkheid van het gewicht per m²:

1. Lumbolite
2. Insulwood
3. Holle triplex-deur
4. Algem-vloer
5. Oosterhoutse bouwplaat
6. Picus-multiplexdeur
7. Speciale constructie Insulwood
8. Drijfsteen
9. Algem-vloer
10. Cellenbeton
11. Stuc op riet
12. Stuc op ideaalgaas
13. Cellenbeton
14. Cellenbeton
15. Glazen bouwstenen
16. Gepleisterd cellenbeton
17. Gepleisterd gasbeton
18. Spouwmuur, 2 × ½ steen, gepleisterd

8. CONTACTGELUID

De muren van een gebouw kunnen nog andere trillingen uitvoeren dan de in par. 5 genoemde buigingstrillingen en die verantwoordelijk waren voor de overbrenging van luchtgeluid. Hierbij bleven de randen van de muur in rust, de buigingstrillingen plantten zich niet voort om de hoek heen naar andere muren of vloeren. Anders is het gesteld met de zo-

¹⁾ Zie noot pag. 54.

genaamde longitudinale en transversale golven. Deze breiden zich van het punt, waar ze ontstaan, naar alle zijden uit, gaan rondom hoeken en verspreiden zich, vooral in lichamen van grote samenhang (betonbouw, ijzerskelet) over grote afstanden. Het karakter der drie soorten trillingen wordt in de schetsen van fig. 4, 5 en 6, sterk overdreven, weergegeven.

Contactgeluid ontstaat in den regel, doordat voorwerpen, die met de muur of de bodem contact maken, trillingen opwekken: waterleiding, koffiemolen, piano, lift, straatgedreun, kloppen, schrapen, klappen met een deur, stampen, enz. Als een longitudinale golf op een hoek komt, zet hij zich aan de andere zijde voort als een transversale en omgekeerd. Bij dezelfde energie-inhoud is de verplaatsing van de muur bij een transver-

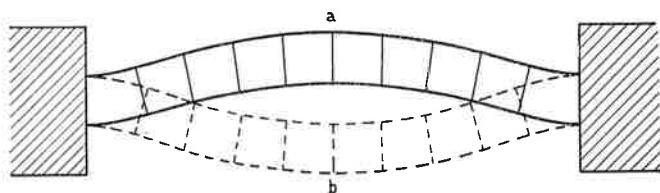


Fig. 4. Buigingstrillingen, a en b uiterste standen

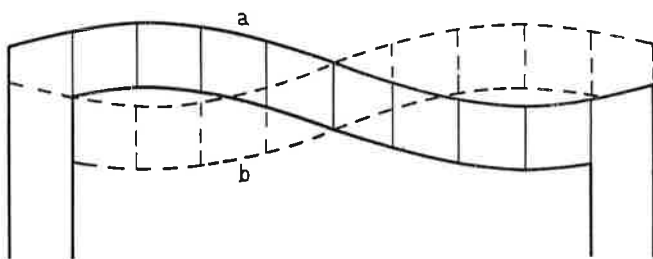


Fig. 5. Transversale (of schuif-)trillingen, a en b uiterste standen

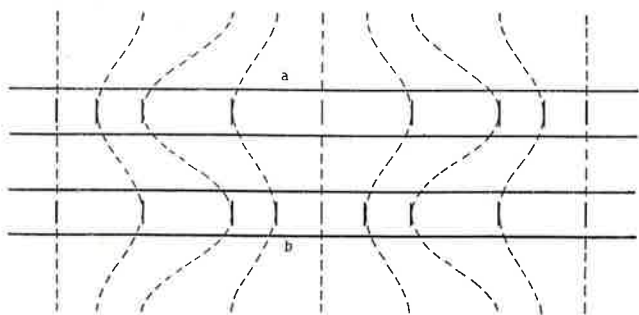


Fig. 6. Longitudinale (of harmonica-) trillingen, a en b uiterste standen

sale golf veel kleiner dan bij een buigingstrilling; de energie-overdracht aan de lucht is daarom van geen betekenis. De longitudinale golf laat de plaats van de wand onbeïnvloed en is dus in het geheel niet in staat, de lucht in beweging te zetten en luchtgeluid te produceren. Men kan echter de aanwezigheid der materiaaltrillingen constateren door het oor tegen de muur te leggen.

Contactgeluid zou dus op zichzelf helemaal niet hinderlijk zijn, als niet aan de wanden allerlei voorwerpen waren bevestigd, die door het contactgeluid in trilling worden gezet en wel in buigingstrilling en op deze wijze de geluidsenergie aan de lucht mededelen, waardoor we in staat zijn, het te horen. Als zulke voorwerpen komen in aanmerking: lichte panelen, deuren, ramen, radiatoren der centrale verwarming, betimmering, lampen, tafels, piano.

Omgekeerd kunnen al deze voorwerpen ook optreden als opvangsers van luchtgeluid en dit als contactgeluid overgeven aan de constructiedelen, die dan weer voor de verspreiding zorg dragen. Deze rol van microfoon spelen de lichte voorwerpen echter minder goed dan de omgekeerde, die van luidspreker, zoals boven beschreven.

9. BESTRIJDING CONTACTGELUID

Het contactgeluid is te bestrijden door de weg van de storingsbron naar de kamer, waarin de gestoorde mens zich bevindt, ergens te onderbreken door een elastische of dempende laag. Deze laag moet compleet zijn, een spijker, er doorheen geslagen, bederft reeds veel. Als isolatie-materiaal komen in aanmerking rubber, kurk, houtvezelplaten, leerpreparaten, turfpreparaten, metaalveren.

Het meest effectief werkt de isolatie, als men deze aanbrengt vlak bij de storingsbron (machine op isolerend fundament). Practisch onuitvoerbaar is het onderbreken van de massieve bouwconstructie door een isolerende laag. De sterkteleer komt hierbij te veel in het

gedrang. Wel is echter mogelijk de kamer van een ontvanger te isoleren van de doorlopende constructie. Men verkrijgt dan een dubbele kamer, een inwendige gevoelige en een uitwendige ongevoelige kamer. Wanneer afzonderlijke fundering onmogelijk is, moet de isolatie verkregen worden door de gevoelige vloer op rubber, kurk of spiraalveren te plaatsen. Ook de gevoelige wanden kunnen door middel van deze materialen of door spiraal- of bladveren steunen tegen de ongevoelige wanden. Verende plafondhangers beletten de overgang van het contactgeluid van de ongevoelige bouw naar het gevoelige plafond.

Waar twee gedeelten van de bouw van elkaar zijn gescheiden door metalen veren, daar heeft geen vernietiging plaats van het contactgeluid, maar slechts reflectie; in de andere genoemde materialen heeft behalve reflectie ook vernietiging der contactgeluidsenergie plaats door omzetting in warmte.

Ook zonder toepassing der specifiek acoustische materialen heeft demping der contactgeluidgolven plaats en wel in het bouw materiaal zelf. Deze demping is zeer afhankelijk van de aard van het materiaal. In ongewapend beton plant de storing zich over een afstand van 300 m voort, alvorens tot op $1/10$ van zijn waarde afgenomen te zijn (m.a.w. 10 decibel zwakker te zijn geworden). In ijzer bedraagt deze afstand 7500 m. Voor gewapend beton in de buurt van 1000 m. De noodzaak van zich om hoeken te moeten voortplanten betekent eveneens een belemmering voor de uitbreiding van het contactgeluid. Op een rechte hoek wordt in beton ongeveer 6% teruggekaatst, overgang van een zuil op een daarop loodrecht geplaatst vlak is nog moeilijker, slechts 10% gaat over, 90% wordt teruggekaatst. Dit voortdurend gereflecteerd worden, gepaard met de langzame omzetting van de geluidsenergie in warmte stelt grenzen aan de uitbreiding van het contactgeluid.

10. LOOPGELUID

Het is een onjuiste voorstelling, dat loopgeluid geheel een soort contactgeluid zou zijn. Bij het lopen over een vloer worden drie soorten geluid opgewekt.

1e In de eerste, maar niet de belangrijkste, plaats wordt inderdaad contactgeluid gemaakt, dat zich eventueel tot ver verwijderde gedeelten van het gebouw kan uitbreiden. Dit zal voorkomen bij lopen op een betonnen of stenen vloer, bij lopen op een houten vloer moet het contactgeluid al beginnen met de overgang hout-steen te overwinnen om in de muur te komen, wat zo'n verzwakking betekent, dat we de storing verder wel kunnen verwaarlozen.

Verder is het veroorzaakte contactgeluid afhankelijk daarvan, of men al of niet dicht bij de vaste muren loopt. Een speciaal geval, waarbij men dicht langs de muur gaat, is het lopen op een trap. Hierbij wordt in aanzienlijke mate contactgeluid gemaakt.

2e In de tweede plaats veroorzaakt het lopen luchtgeluid. Dit is namelijk het tikkende of klakkende geluid, dat men zelf hoort bij het neerzetten van de voet. Dit geluid gedraagt zich op dezelfde wijze als het geluid, dat zou worden opgewekt door vlak boven de vloer op een ander voorwerp dan de vloer te tikken. De last, die de benedenburen van dit geluid ondervinden, wordt bepaald door de luchtgeluid-isolatie van de vloer.

3e In de derde plaats buigt onder de last van de voetdruk de vloer in zijn geheel door. Behalve gekraak tengevolge van de beweging van de planken langs elkaar of van de planken over de balken, treedt nu nog op de toon, die ontstaat doordat de vloer in zijn geheel trilt. Het is een lage toon. De sterkte van het geluid wordt bepaald door de dikte der vloerbalken. De sterkte hangt ook af van de plaats, waar gelopen wordt; loopt men langs de wand, waarop de steunbalken zijn opgelegd, dan trilt de vloer niet zo heftig als wanneer men in het midden van de kamer loopt. Hoort men uitsluitend het hier in de derde plaats ge-

noemde loopgeluid, dan is het niet mogelijk, de plaats van de lopende persoon op de vloer aan te geven. Kan men dit wel, dan hoort men het onder twee aangegeven luchtgeluid en is de luchtgeluid-demping van de vloer onvoldoende. Het hier onder ten derde genoemde loopgeluid wordt in de literatuur wel sterk verwaarloosd. Bestrijdingsmiddelen zijn het gebruik van stevige balken of voldoende dik beton en het aanbrengen van een volkomen vrijhangend stuc-plafond.

11. GELUIDDEMPING DOOR ABSORBERENDE WANDBEKLEDING

Het geluidsniveau in een ruimte, waarin zich personen bevinden, kan omlaag gebracht worden door de wanden zodanig te bekleden, dat ze zoveel mogelijk geluid absorberen; dat wil zeggen, men moet materialen nemen met grote absorptiecoëfficiënt a (zie voor de definitie par. 2). Het product van het oppervlak O van een muurvlak met de absorptiecoëfficiënt heet het absorberend vermogen A van dit muurvlak: $A = O \cdot a$. Voor de gehele kamer berekent men het absorberend vermogen door de absorberende vermogens van alle muur-, plafond- en vloer-gedeelten samen te stellen. Het absorberend vermogen wordt uitgedrukt in „vierkante meters open raam”. Een open raam heeft namelijk een $a = 1$, zodat voor een raam $A = O$. Een absorberend vermogen, groot n „m² open raam” is dus even groot als het absorberend vermogen van inderdaad n m² openstaand raam. Heeft men in een vertrek een geluidsproductie, groot E (uit te drukken in watts), dan leert de theorie, dat de geluidsintensiteit I in dit vertrek is:

$I = \frac{4E}{Ac}$, waarin c = geluidsnelheid (340 m/sec.). Het doet er hierbij niet toe, of deze geluidsenergie E in het vertrek door geluidmakende voorwerpen wordt opgewekt, of dat hij van buiten komt en door de kamerwanden of resonerende panelen aan de lucht wordt medegedeeld.

Wat ook de origine van het geluid is, steeds

wordt de intensiteit I verkleind in de reden $\frac{a_1}{a_2}$ als men overgaat van een gemiddelde absorptiecoëfficiënt a_1 , op een grotere, a_2 . Een gepleisterde kamer heeft b.v. een $a_1 = 0,02$; bekleedt met de wanden met houtvezelplaten met $a_2 = 0,20$, dan wordt de geluidsintensiteit gereduceerd met een factor 10. Het intensiteitsniveau (β , zie par. 1) neemt af met de logarithme van deze factor 10, dus met 1 bel of 10 db. Het geluidsniveau neemt dan minstens met 10 db af, in sommige gevallen (schrijfmachinegeratel en andere geluiden, die uit zeer veel toonhoogten zijn samengesteld) wel met 20 db.

Heeft men in kamer A last van machinelaawaai, afkomstig uit kamer B, dan kan men zowel kamer A als kamer B acoustisch behandelen. Waren beide kamers oorspronkelijk gepleisterd en bedekt men de wanden van beide kamers met houtvezel-board, dan is de totale reductie van het intensiteitsniveau in kamer A twee keer zo groot als in het vorige voorbeeld, dus 20 db: de reductie van het geluidsniveau 20 db of hoger, eventueel zelfs 40 db.

Als acoustische materialen zijn op de markt houtvezelplaten, acoustische pleisters, asbest en andere gespoten materialen, doek, kurk- en houtplaten, enz. De geluidsabsorptie geschiedt doordat de materialen poreus zijn en (of), doordat ze meetrillen. Of de een, dan wel de andere fysische oorzaak verantwoordelijk is voor de geluidsabsorptie is van invloed op de „karakteristiek”, d.w.z. op de vraag, hoeveel het materiaal absorbeert van geluid van verschillende toonhoogte. Een hard, maar poreus materiaal zal de lage tonen slecht, de hoge beter absorberen; een meetrillend, volkomen poriënloos paneel, zal bij voorkeur de lage tonen absorberen, de hoge minder. Men vrage daarom de absorptiecoëfficiënten voor de frequenties 128, 256, 512, 1024 en 2048 aan alvorens een keus te doen. Met materialen, zoals houtvezelboards, kan men door min of meer vaste bevestiging verschillende karakteristieken be-

reiken, in sommige gevallen ook door onoordeelkundig aanbrengen veel bederven. Fig. 7 vertoont de karakteristieken¹⁾ van enige acoustische materialen.

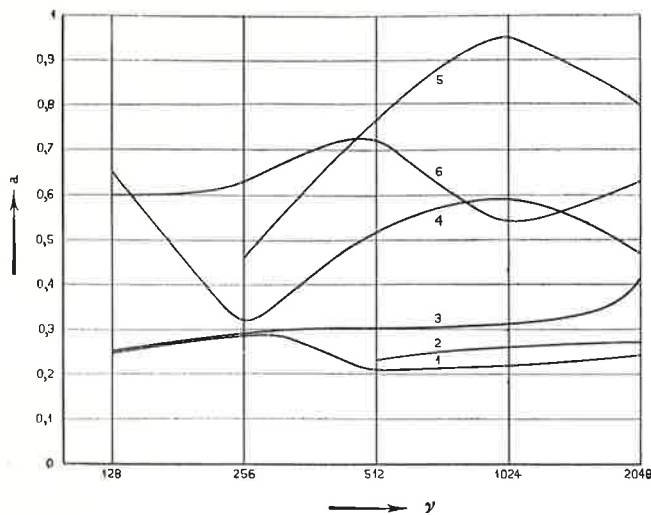


Fig. 7. Geluidsabsorptie voor verschillende frequenties:

1. Insulite, geplakt
2. Insulwood, gespijkerd
3. Decoosto, acoustische pleister
4. Cellenlijm op latwerk
5. Acoustic Celotex
6. Asbest Spray

12. DEMPING IN LUCHTKANALEN

Het geluid, dat uit ventilatoren-Openingen komt, is voor een gedeelte afkomstig van het schoepenrad van de machine, voor een ander deel wordt het opgewekt door het strijken van de lucht langs de wanden van het kanaal. Het eerste is te verminderen door langzaam draaiende ventilatoren te nemen, het tweede door de windsnelheid te verkleinen en door de wanden niet van te dun blik te maken. De geluidvoortplanting door de kanalen is te bestrijden door ze inwendig te bekleden met geluid-absorberende materialen. De totale reductie van het intensiteitsniveau is evenredig met de lengte l van de buis en met de absorptiecoëfficiënt a , omgekeerd evenredig met de straal r ;

$$i = \frac{10l}{8r} a \text{ decibel.}$$

Voorbeeld: $l = 100 \text{ m}$, $r = 1 \text{ m}$, $a = 0,2$:
 $i = 25 \text{ decibel.}$

¹⁾ Getallen overgenomen uit: Ir. C. Boot. — Grondslagen der Bouwacoustiek. Publicatie Nr. 2 der Geluidstichting.

Een ander middel is het aanbrengen van verwijdingen of vernauwingen in het ventilatiekanaal. Omdat vernauwingen de luchtweerstand vergroten, is het gewenster verwijdingen

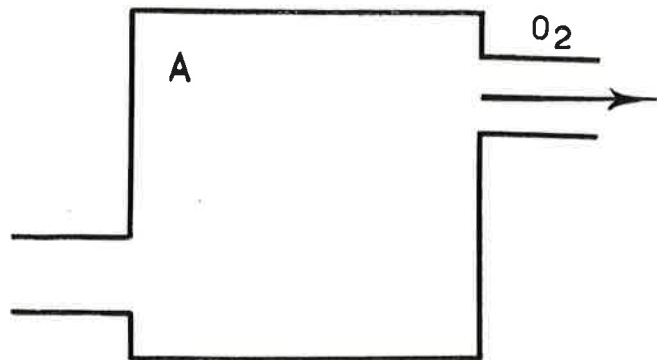


Fig. 8. Eenvoudige suskamer

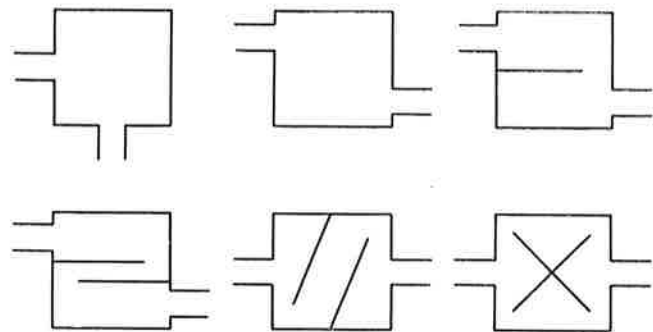


Fig. 9. Diverse vormen van suskamers

aan te brengen, waardoor „suskamers” ontstaan. Wanneer de in- en uitreeping niet onmiddellijk tegenover elkaar liggen is:

$$i = 10 \log \frac{O_2}{A} \text{ decibel,}$$

waar O_2 = opening van de uitstroombuis,

A = absorberend vermogen van de wanden
 = oppervlak \times abs. coëfficiënt.

Voorbeeld: Kubische kamer van 2 m, bekleed met materiaal van $a = 0,21$.

$O = 24 \text{ m}^2$, $A = 5 \text{ m}^2$ open raam. Stel $O_2 = 0,5 \text{ m}^2$: $i = 10 \text{ db.}$

Groter isolatie verkrijgt men nog door inbrengen van tussenschotten.

Enige vormen van suskamers vertoont fig. 9. Isolaties tot 70 db zijn met gebruik van een absorptiemateriaal van $a = 0,50$ bereikbaar.

13. NASCHRIFT

Het was niet de bedoeling, in het voorgaande een populair artikel te schrijven over „aardige gevallen". Het besef van de noodzaak van acoustische verzorging van de bouw werd bij den lezer a priori aanwezig ondersteld. Hierop voortbouwend werd in droge, zakelijke, stijl een opsomming gegeven van de diverse kanten, die het gehorigheidsprobleem bezit, in den regel met aanduiding van de meest eenvoudige oplossingen.

Ofschoon de aangegeven geneesmiddelen dikwijls zeer voor de hand liggend en logisch zijn, is toch het juiste inzicht nog betrekkelijk jong. De praktijk ontwikkelt zich nog in nauwe aansluiting aan de theoretische inzichten; men is niet tevreden, voordat men door een voldoende aantal metingen de overtuiging heeft gekregen, dat op dit of dat vraagstuk de theorie inderdaad is toe te passen en niet door een onvoorziene bij-om-standigheid is uitgeschakeld. Deze onderzoekingen, in Nederland verricht door de Geluidstichting¹⁾, waarvan schrijver dezes het voorrecht heeft, secretaris te zijn, hebben dikwijls plaats in opdracht van leveranciers van bijzondere materialen. Omdat ook onderzoek nodig is van de dagelijkse bouwmaterialen, wordt gerekend op de belangstelling en materiele steun van de bouwkundige wereld.

¹⁾ Lidmaatschap Geluidstichting f 1.50 per jaar; persoonlijk donateurschap f 10.— per jaar; zakelijk donateurschap f 25.— per jaar. Donateurs krijgen de publicaties van de Geluidstichting toegezonden, terwijl tevens aan zakelijke donateurs 10% korting op de door de Loonmeetdienst uitgevoerde metingen, wordt verleend.

