

Sound & Science: Digital Histories

Archives NAG: Publicatie No. 52 van de Geluidstichting, Anonymous. Geluidabsorptie en Geluidisolatie: Symposium georganiseerd door de Geluidstichting te Delft op 27 April 1949. Delft: Geluidstichting, 1949.

<https://acoustics.mpiwg-berlin.mpg.de/text/publicatie-no-52-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

*Overdruk uit het Polytechnisch Tijdschrift, nrs. 41-42, 45-46, 49-50 en 1-2
van de 4e en 5e jaargang (verschenen tussen 18 Oct. 1949 en 10 Jan. 1950)*

PUBLICATIE No. **52**
VAN DE
GELUIDSTICHTING
DELFT - HOLLAND

Geluidabsorptie en Geluidisolatie

Symposium georganiseerd door de Geluidstichting te Delft op 27 April 1949

Algemene inleiding over Acoustiek

Geluidabsorptie

Het Int. contact over geluidisolatiemetingen

Recente gegevens betr. geluidisolatie

Algemene inleiding over ACOUSTIEK*

Ir W. TAK,

Acoustisch Adviseur der N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken

Definities

- Geluid** : mechanische trillingen van gassen, vloeistoffen of vaste lichamen met frequenties tussen 20 en 20.000.
- Luchtgeluid** : geluid dat zich door de lucht voortplant.
- Contactgeluid** : geluid dat zich in vaste stoffen voortplant.
- Frequentie** : aantal trillingen per seconde.
- Golflengte** : product van de voortplantingssnelheid en de tijd van één trilling.
- Geluidsintensiteit** : hoeveelheid energie per seconde, die door een vlakje, ter grootte van de oppervlakte-eenheid, en geplaatst loodrecht op de voortplantingsrichting, stroomt. De geluidsintensiteit wordt uitgedrukt in watts per m² (1 W = 10⁷ erg/sec).
- Geluidsniveau in bell**: logarithme van de verhouding van de aanwezige intensiteit tot een vaste drempelintensiteit

$$\left(L = \log \frac{I}{I_0} \right)$$

Als vaste drempelintensiteit neemt men aan de waarde $I_0 = 10^{-12}$ W/m².

Luidheid of luidte van een willekeurig geluid in foon

: geluidsniveau in decibell van een even sterk gehoorde zuivere toon van 1000 trillingen per seconde.

Reflectie-coëfficiënt

: gedeelte van de op een wand vallende geluidsintensiteit, dat teruggekaatst wordt.

Absorptie-coëfficiënt

: gedeelte van de op een wand vallende geluidsintensiteit, dat niet teruggekaatst wordt.

Doorlatendheid

: verhouding van de geluidsintensiteiten van een bepaald geluid vóór en achter een wand.

Wanneer zich ergens een trillend lichaam bevindt, dan zal de lucht in de onmiddellijke nabijheid van dit lichaam afwisselend worden verdicht en verdund. De luchtdeeltjes worden daar ter plaatse dus in trilling gebracht, overeenkomstig de bewegingen van de „bron”. Deze opeenvolging van verdichtingen en verdunningen zal zich niet tot de onmiddellijke nabijheid van de bron beperken, doch zich voortplanten met een snelheid van ongeveer 340 m/sec. Wanneer een dergelijke luchttrilling ons oor bereikt, zal ons trommelvlies eveneens in trilling worden gebracht, hetgeen als geluid wordt waargenomen, mits de frequentie

ligt binnen het hoorbaarheidsgebied dat zich uitstrekt van 20 tot 20.000 tril lingen per seconde. De frequentie bepaalt de toonhoogte van het geluid. Het oor is niet voor alle toonhoogten even gevoelig. Het gevoeligst is het voor $\nu = 3000$ trillingen/sec. Dit betekent dat men voor bijv. $\nu = 100$ een veel grotere energie moet gebruiken dan voor $\nu = 3000$, wil men beide tonen even sterk horen. De geluidsintensiteit bij 100 Hz is dan dus veel groter dan bij 3000 Hz, hoewel de luidheid bij beide even groot is. Onder luidheid verstaat men het geluidsniveau van een even sterk gehoorde zuivere toon van 1000 Hz. Wil men dus van een willekeurig geluid de luidheid (of luidte) bepalen, dan dient men eerst de intensiteit van een even sterk gehoorde toon van 1000 Hz te meten, waarna de logarithme uit de verhouding van deze intensiteit tot die van de vast gekozen drempel van 10^{-12} W/m² het te bepalen geluidsniveau aangeeft, uitgedrukt in bells (1 bell = 10 decibell). Men spreekt bijv. van een luidheid van 70 foon indien de intensiteit van een even sterk gehoorde toon van 1000 Hz gelijk is aan 10^{-5} W/m², immers

$$L = \log \frac{10^{-5}}{10^{-12}} = 70 \text{ dB.}$$

In de practijk komt het dikwijls slechts op de globale waarde van de luidte aan. Men kan voor de bepaling hiervan gebruik maken van onderstaande vergelijkingstabel, die een idee geeft van de betekenis der verschillende waarden van de luidheid.

| | |
|--|----------|
| pijngrens | 130 foon |
| vliegtuigmotor op 4 m afstand | 120 „ |
| ketelsmidse | 110 „ |
| claxon op 5 m afstand | 100 „ |
| stoomhamer in afgesloten ruimte | 90 „ |
| electriche tram, of fortissimo in muziek | 80 „ |
| lawaaig restaurant | 70 „ |
| normaal gesprek | 60 „ |
| straatgeluiden | 50 „ |
| zachte muziek | 40 „ |
| woninggeluiden | 30 „ |
| fluisteren | 20 „ |

Na deze min of meer algemene inleiding komen wij tot het eigenlijke onderwerp van onze voordracht.

Besproken zullen worden de beide in de acoustiek zo belangrijke onderwerpen, *absorptie* en *isolatie*.

Deze beide onderwerpen geven dikwijls aanleiding tot verwarring. Het verschil kan in het kort als volgt worden geformuleerd:

de geluidabsorptie dempt het geluid dat in de kamer wordt gemaakt of reeds tot daar is doorgedrongen;

de geluidisolatie beoogt het verminderen van het *binnendringen* van geluid in de kamer.

Geluidabsorptie.

Wanneer in een ruimte geluid wordt gemaakt, ontvangt de waarnemer de luchttrillingen, die rechtstreeks van de bron het oor bereiken (direct geluid), alsmede de trillingen, die één of meer malen aan de wand zijn gereflecteerd (indirect geluid). In stationnaire toestand zal dus de sterkte

*) Voordracht gehouden op de Geluidsdag van 27 April 1949. In onze volgende afleveringen zullen wij nog drie voordrachten die op de Geluidsdag werden gehouden publiceren.

van het waargenomen geluid worden bepaald door de sterkte van het indirecte plus dat van het directe geluid. Wanneer men nu de wanden, het plafond en de vloer bedekt met absorberend materiaal, dan zal de sterkte van het indirecte geluid dalen, zonder dat aan de geluidsbron zelf iets is veranderd. De afneming van de geluidssterkte is des te groter naarmate de absorptie-coëfficiënt (α) van het aangebrachte materiaal hoger is. Het product van het oppervlak O en de absorptie-coëfficiënt α van het materiaal, waarmee het is bedekt, heet het absorberende vermogen van dit oppervlak. Voor een afgesloten ruimte berekent men het totale absorberende vermogen door de absorberende vermogens van alle muren, het plafond en de vloer samen te tellen. Een oppervlak van O m² met een absorptie-coëfficiënt α heeft een even groot absorberend vermogen als dat van αO m² met een absorptie-coëfficiënt 1. Een open raam heeft een absorptie-coëfficiënt = 1, daar hieraan niets wordt gereflecteerd. Het absorberend vermogen van een oppervlak wordt derhalve uitgedrukt in vierkante meters open raam.

Uit het bovenstaande blijkt, dat het gebruik van absorptiematerialen een middel is om geluiden, die in één vertrek worden waargenomen te verzwakken, onafhankelijk van het feit of de bron zich in, dan wel buiten het vertrek bevindt.

De geluidsabsorptie kan echter ook nog van een andere kant worden bekeken. Wanneer in een ruimte een geluidsbron werkt, waarvan de sterkte zich voortdurend wijzigt — wij denken hier bijv. aan het gesproken woord dat men zou kunnen opvatten als een aaneenschakeling van geluidsstootjes — dan zal niet een stationaire toestand worden bereikt; de trillingen, die ons van ieder geluidsstootje achtereenvolgens bereiken, zullen voortdurend zwakker worden, omdat het aantal reflecties, dat een trilling ondergaat met de tijd toeneemt, en bij elke reflectie een gedeelte van de geluidsenergie verloren gaat. Dit verschijnsel van het langzaam uitsterven van de geluidsterkte noemt men de nagalm. De tijd waarin de sterkte van een bepaalde waarde tot op een millioenste van die waarde is gedaald (afneming met 60 dB) noemt men de nagalmtijd. Deze nagalmtijd nu is van beslissende betekenis voor wat wij noemen de „acoustiek van de zaal”. Is hij te lang, dan klinkt de zaal hol en is hij te kort, dan klinkt de zaal droog. Het zal duidelijk zijn dat de nagalmtijd afhankelijk is van het totale absorberende vermogen.

Een eenvoudige formule (Sabine) luidt:

$$\tau = 1/6 \frac{V}{A}$$

Hierin is τ de nagalmtijd in seconden, V het volume van de ruimte in kubieke meters en A gelijk aan $\alpha_1 O_1 + \alpha_2 O_2 + \alpha_3 O_3 + \dots$, waarin O_1, O_2, O_3, \dots de grootte van de verschillende oppervlakken voorstellen en $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots$ de absorptie-coëfficiënten van de materialen, waarmee deze oppervlakken zijn bedekt.

De nagalmtijd speelt een belangrijke rol zowel voor weergave van muziek, als voor de verstaanbaarheid van het gesproken woord.

Ons oor kan twee geluiden, die het binnen 0,06 sec bereiken, niet meer gescheiden waarnemen. Het directe geluid en het allereerste gedeelte van de nagalm worden dus als één geluid gehoord, dat is nuttig geluid, de rest wordt afzonderlijk waargenomen en stoort daarbij de eerste waarneming. Nu hangt de verstaanbaarheid af van de verhouding tussen de sterkte van het nuttige geluid en de sterkte van het storende geluid. Hoe lager de storende luidheid is, des te beter is de verstaanbaarheid. In verband hiermede is het gewenst dat de sterkte van de nagalm na 0,06 sec met 3 à 6 dB is gedaald. Dit betekent dus dat voor een goede verstaanbaarheid een bepaalde absorptie wordt vereist. Echter vermindert de absorptie ook het allereerste, nuttige deel van de nagalm, en de geluidsterkte, die daarvan het gevolg is, mag voor een goede verstaanbaarheid niet beneden een zekere waarde dalen. De absorptie mag dus in verband met het storende geluid niet te klein, en in verband met de sterkte van het nuttig geluid

niet te groot zijn. Voor een bevredigende oplossing moet derhalve een compromis worden gevonden.

Voor kleine zalen leidt dit niet tot grote moeilijkheden. Voor zeer grote zalen is een oplossing, uitsluitend door middel van absorptiematerialen niet mogelijk. Men kan hier echter de sterkte van het nuttige geluid voor bepaalde plaatsen in de zaal, door speciale vormgeving van de wanden vergroten. Op de plaatsen, die het verst van de geluidsbron verwijderd zijn, is de sterkte van het directe geluid zeer gering en is men aangewezen op de sterkte van het indirecte geluid.

Wanneer men er nu bijv. in een theaterzaal voor zorgt, dat het geluid van het toneel door schuin plaatsen van de wanden rondom het toneel, reeds na eerste reflectie geheel achterin de zaal wordt geworpen, dan zal het hieraan gereflecteerde geluid, indien het absorptievermogen van deze schuine wanden zo klein mogelijk wordt gehouden, de sterkte van het nuttige geluid achterin de zaal belangrijk vergroten. De absorptie, benodigd voor de reductie van het storende lawaai, kan dan aan de meer naar achteren gelegen zijwanden en voornamelijk aan de achterwand worden aangebracht zonder dat daarbij schade wordt berokkend aan de sterkte van het nuttige geluid. Op deze wijze kunnen ook zeer grote zalen acoustisch goed bespreekbaar worden gemaakt.

Als acoustische materialen zijn op de markt: houtvezelplaten, acoustische pleisters, weefsels, kurk, vilt, asbest e.a. De geluidabsorptie geschiedt doordat de materialen poreus zijn of meetrillen. Elk materiaal heeft zijn eigen karakteristieke geluidabsorptie, d.w.z. verschillende toonhoogten worden in verschillende mate geabsorbeerd.

Een hart, maar poreus materiaal zal voornamelijk de hoge tonen absorberen, een dicht paneel zonder poriën daarentegen hoofdzakelijk de lage tonen.

Met houtvezelplaten in de vorm van panelen kan, afhankelijk van de wijze van aanbrengen, een min of meer constante absorptie over het gehele frequentiegebied worden bereikt. Men moet bij het aanbrengen van absorptiematerialen echter uiterst voorzichtig zijn omdat, indien dit ondeskundig geschiedt, veel kan worden bedorven.

Geluidisolatie.

Wanneer buiten een ruimte geluid wordt gemaakt, dan kan men binnendringen van dat geluid verminderen door het isolerend vermogen van de wanden op te voeren. Een wand kan luchtgeluid doorlaten doordat hij óf poreus is óf buigingstrillingen uitvoert. In het algemeen kan echter de doorlating door porositeit in de engste zin van het woord worden verwaarloosd ten opzichte van die ten gevolge van het meetrillen. In de practijk is, behalve de genoemde factoren, van zeer groot belang het vermijden van openingen in de wand, niet gevulde voegen, naden tussen vloer en muur, openingen langs pijpleidingen, krimpscheuren, slecht sluitende deuren, kieren in raamkozijnen e.d. Al deze fouten spelen een zeer belangrijke rol bij de geluidisolatie. Doordat geluid een golfverschijnsel is, treedt aan dergelijke openingen buiging op, waardoor veel meer geluid wordt doorgelaten dan geometrisch is te verwachten. Wanneer bovengenoemde fouten niet voorkomen, dan wordt de doorlatendheid eigenlijk uitsluitend bepaald door de buigingstrillingen van de wanden. Aan de zijde van de geluidsbron ondervindt de muur afwisselend over- en onderdruk, die hem, hoe zwaar en stijf hij ook moge zijn, doen meetrillen. Hierdoor ontstaat aan de achterzijde, dus in het vertrek dat van de bron moet worden geïsoleerd, luchtgeluid. De mate waarin de wand zich tegen deze trillingen verzet, bepaalt de isolatie. De massa van een wand veroorzaakt weerstand tegen trilling die des te groter is, naarmate de frequentie hoger ligt. Derhalve isoleert een zware wand de hoge frequenties beter dan de lage. De stijfheid van een wand daarentegen verzet zich meer tegen langzame dan tegen snelle trillingen, waardoor de lage frequenties beter worden geïsoleerd dan de hoge. Ergens is een overgangsfrequentie, waarbij de reactiekrachten van massa en stijfheid elkaar juist opheffen. De wand komt dan in resonantie, waarbij de isolatie dus minimaal is.

Men moet er voor zorgen, dat de frequentie, waarbij de wand in resonantie komt, zo laag mogelijk ligt, daar ons oor voor lage tonen minder gevoelig is. In het algemeen zal men dus zware constructies moeten toepassen. Voor homogene wanden kan voor het bepalen van de isolatie gebruik worden gemaakt van de volgende formule: $i = 5 + 20 \log M$. Hierin is i de geluidisolatie in dB en M de massa in kg/cm^2 . Wanneer men een muur tweemaal zo dik maakt, dan blijkt uit de formule dat de isolatie slechts met 6 dB wordt verhoogd; immers voor de tweemaal zo dikke muur geldt $i = 5 + 20 \log 2M$, zodat het verschil is $20 \log 2 = 6$.

Toepassing van een spouwmuur geeft een veel grotere verbetering van de isolatie, daar de luchtgeluidtrillingen eerst worden gedempt door de eerste muur, vervolgens door de spouw lopen en daarna door de tweede muur nogmaals gedempt. Voor de isolatie kan men nu verwachten: $i = 5 + 20 \log M + 5 + 20 \log M$. De isolatie van een spouwmuur kan nog worden verhoogd door in de spouw absorberend materiaal te brengen, dat geen contact tussen de twee delen mag maken.

De gegeven formule vertoont in de praktijk soms grote afwijkingen. Spouwmuren voldoen in de regel niet aan de voorwaarde, dat de beide wanden volkomen van elkaar gescheiden zijn, dus dat geen gemeenschappelijke fundering, verbinding door dwarsmuren, spouwankers e.d. voorkomen.

Bij de isolatie van een vertrek spelen de deuren en ramen een zeer belangrijke rol. Een goede ruitisolatie wordt verkregen indien men dubbele ruiten aanbrengt met een tussenruimte van 8—10 cm. Het verdient aanbeveling de ruiten van verschillende dikte te nemen.

Bij de deuren zorge men er voor dat zij goed in hun sponning sluiten. Een dun laagje vilt en een goede klemsluiting zijn aan te raden.

Tot nu toe hebben wij gesproken over isolatie van luchtgeluid. In de praktijk is echter van evenveel belang de bestrijding van contactgeluid.

De muren van een gebouw kunnen, behalve de genoemde buigingstrillingen, longitudinale en transversale golfbewegingen uitvoeren, die zich van het punt van oorsprong

over grote afstanden door de samenhangende materie kunnen uitbreiden. Dit contactgeluid kan worden bestreden door de weg van de storingsbron naar het vertrek dat beschermd dient te worden, te onderbreken met behulp van een elastisch materiaal. De oorzaak van contactgeluid kan van velelei aard zijn en al naar gelang hiervan komen voor isolatie verschillende materialen, zoals rubber, kurk, houtvezelplaat, metaalveren, e.d. in aanmerking. Om een zo goed mogelijke isolatie te bereiken, moet bovendien zeer veel aandacht worden besteed aan de wijze waarop deze materialen worden verwerkt.

Het meest effectief is de isolatie indien men ze vlak bij de storingsbron aanbrengt: zo moeten bijv. machines zoveel mogelijk op rubber worden geplaatst, leidingen, die trillingen van machines of andere storingsbronnen zouden kunnen overbrengen met behulp van flexibele koppelingen worden onderbroken, enz. enz.

Resumerend merken wij op, dat *absorptie* ten doel heeft:

1. verbetering van de acoustiek in een vertrek; zowel voor muziek als spraak kan dit worden bereikt door een juiste keuze van de nagalmtijd;
2. vermindering van het geluidsniveau in een vertrek, onafhankelijk van het feit of de bron zich binnen, dan wel buiten het vertrek bevindt.

Toegepast wordt dit bijv. in kantoorlokalen, waar ter bestrijding van de geluidshinder van schrijfmachines e.d., het plafond wordt bekleed met een materiaal met een zeer hoge absorptie-coëfficiënt.

Geluidisolatie heeft uitsluitend ten doel het geluidsniveau in een vertrek laag te houden wanneer de bron zich *buiten* de ruimte bevindt.

Een geluidsbron kan dus van een toehoorder worden *geïsoleerd* door het tussenplaatsen van een scheidingswand het doorgelaten geluid en het geluid dat om de wand heen of door openingen in de wand de toehoorder bereikt, kan worden verminderd door het aanbrengen van *absorptie*-materialen, ter plaatse van de bron, in het vertrek van de toehoorder, of in beide.

GELUIDABSORPTIE*

Dr Ir C. W. KOSTEN *Laboratorium voor Technische Physica der Technische Hogeschool, Delft*

1. Inleiding.

Absorptie van geluid kan zijn nut hebben bij de regeling van de nagalmtijd τ in zalen. τ hangt volgens de wet van Sabine met het zaalvolume V en het totaal absorberend vermogen A samen als

$$\tau = \frac{1}{6} \frac{V}{A} \quad \left(\begin{array}{l} \tau \text{ in sec} \\ V \text{ en } A \text{ in m}^2 \end{array} \right)$$

Het totaal absorberend vermogen A is gedefinieerd als

$$A = a_1 S_1 + a_2 S_2 + a_3 S_3 + \dots = \sum a S,$$

waarin S_1, S_2, S_3, \dots oppervlakten zijn van wanddelen met absorptiecoëfficiënt a_1, a_2, a_3, \dots . De absorptiecoëfficiënt a is tenslotte gedefinieerd als de fractie van de op een wand vallende geluidsenergie die niet wordt teruggekaatst, derhalve als de geabsorbeerde energiefractie.

Ook verlaging van het lawaainiveau in kantoorlokalen e.d. wordt door absorptie verkregen. Ook hier is de grootte $A = \sum a S$ bepalend.

2. Bepaling absorptiecoëfficiënt a .

Van de tientallen ontwikkelde methoden ter bepaling van a willen we er twee noemen:

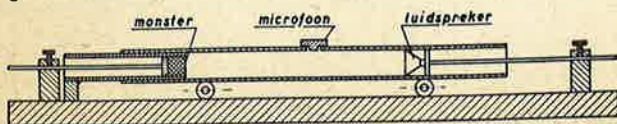
a. de interferometer; b. de nagalmmethode.

De in fig. 1 geschetste interferometer bestaat in hoofdzaak uit een cilindrische metalen buis, die zonder geluidlekken kan schuiven over twee holle zuigers, die op een gefixeerde afstand van elkaar staan. In de ene zuiger bevindt zich het monster (vilt, houtvezelplaat of ander monster), in de andere een kleine luidspreker. In de wand van de verschuifbare cilinder is een microfoon gemonteerd, die ons in staat stelt het verloop van de geluidsdruk van monster tot luidspreker te volgen. Het geluidspatroon in de buis is opgebouwd uit twee geluidsgolven, een op 'het monster invallende en een door het monster gereflecteerde. Absorbeert het monster niets, dan zijn beide golven even sterk. Er zijn dan plaatsen in de buis, waar de microfoon geluidsdruk nul aanwijst (minima gelijk nul). Daartussen liggen plaatsen van versterking (maximale geluidsdruk). Absorptie brengt met zich mee, dat de gereflecteerde golf zwakker is dan de invallende. Er zijn geen plaatsen meer van volledige uitdoving. Het is duidelijk, dat de geluidsdruk in de minima gedeeld door die in de maxima, samen moet hangen met de absorptiecoëfficiënt a . Berekening leert, dat het verband is

$$a = 1 - \left(\frac{p_{\max.} - p_{\min.}}{p_{\max.} + p_{\min.}} \right)^2$$

Deze simpele methode geeft betrouwbare, nauwkeurige en reproduceerbare resultaten voor de geluidsabsorptie bij loodrecht op het monster invallend geluid. Voorts kan men

Fig. 1. Principe-tekening van een interferometer.



volstaan met een monster van bv. 1 dm². Metingen aan eenzelfde materiaal in verschillende laboratoria geven dezelfde uitkomsten. Het belangrijkste bezwaar tegen de methode is, dat in de praktijkomstandigheden geluid van alle mogelijke richtingen op de materialen invalt; over het gedrag bij scheve inval nu leert de methode niets. Een bijkomend bezwaar voor min of meer veerkrachtige materialen is, dat bewegingen van het monster zelf door de kleinheid van het monster worden bemoeilijkt. Absorptie door houten betimmeringen e.d. kan men met een interferometer niet meten. Daarentegen is de methode zeer geschikt voor pleisters, vilt, houtvezelmateriaal enz.

De nagalmmethode berust op de wet van Sabine $\tau = V/6A$. Men meet langs electro-acoustische weg de nagalmtijd τ der proefruimte, de nagalmkamer, het volume wordt opgemeten en A berekend. Dit doet men tweemaal, één keer met de zg. lege kamer (τ groot, A klein; gladde harde niet-absorberende wanden) en één keer nadat bv. 10 m² proefmateriaal is aangebracht in de nagalmkamer (τ kleiner, A groter). A is nu vergroot met $a \times 10$ m², zodat a berekenbaar is uit het verschil van de twee gemeten A 's. Deze methode spreekt aan bij de architect; men bootst de praktijk na; het materiaal wordt niet alleen bij loodrechte inval beproefd. Het laatste is ongetwijfeld een voordeel. Bovendien belemmert men materiaalbewegingen niet en kan men dus bv. paneelabsorptie bestuderen. Exact is de methode echter allerminst, ware het slechts door de onbetrouwbaarheid van de basisformule $\tau = V/6A$. De uitkomsten zijn steeds hoger dan die van de interferometer (door alzijdige geluidsinval en buigingseffecten). In verschillende kamers en laboratoria vindt men doorgaans andere uitkomsten. Ook blijkt de gevonden waarde voor de absorptiecoëfficiënt af te hangen van de grootte van het monster. Voorts maakt de noodzaak van de grote monsters (10 m²) de methode kostbaar in tijd en materiaal.

3. Absorptie door starre poreuze materialen.

Het zuivere voorbeeld hiervan is de acoustische pleister. Ook houtvezelmateriaal, niet te zacht vilt e.d. volgen min of meer dezelfde wetten. De absorptie komt tot stand, doordat de geluidsgolven in de poreuze media dringen. De lucht in de media komt in tuiling ten opzichte van het starre skelet. Er ontstaat wrijvingswarmte, die in mindering komt van de geluidsenergie. Absorptie komt hier dus door de viscositeit van de lucht. Men zou denken, dat de absorptie steeds beter wordt naarmate de poriën fijner worden, immers de wrijving zal steeds meer effect hebben. Dit is onjuist, hetgeen men begrijpt als men 'denkt aan een materiaal met microscopisch fijne poriën, bv. kalkzandsteen of gewone klinker. De geluidsgolven slagen er niet in, zich voort te zetten in de steen, doch reflecteren reeds direct aan het voorvlak. Er is klaarblijkelijk een optimale poriëndiameter. Dat deze niet in getalswaarde is uit te drukken, komt, omdat er nog vele andere factoren zijn, die mede de absorptie bepalen. Zo is er de porositeit. Als richtlijn kan men stellen, dat het gewenst is dat meer dan de helft van het materiaalvolume wordt ingenomen door poriën die onderling met elkaar worden verbonden (lucht in afgesloten cellen doet

*) Voordracht gehouden op de Geluidsdag van de Geluidstichting op 27 April 1949 te Delft.

aan de absorptie niet mee). Een andere belangrijke grootte is de zg. structuurfactor, die zijn oorsprong vindt in de grillige loop en vorm van de poriën. Het gevolg hiervan is dat het net is alsof het materiaal gevuld is met lucht die enkele malen zwaarder is dan gewone vrije lucht. Dit is ons zeer welkom. Hierdoor komt het nl., dat absorberende lagen reeds goed zijn bij enkele centimeters dikte. Hadden de poriën de gedaante van nauwe rechte cilindertjes loodrecht op het laagoppervlak, dan zou de laag 2 tot 4 keer zo dik moeten zijn voor hetzelfde effect. Zij zouden zich min of meer gedragen als gewone orgelpijpjes. Zij resoneren als de lengte circa een kwart van de golflengte van het geluid is. Voor deze frequentie is de absorptie maximaal. Voor 2 cm dikte zou dit betekenen maximale absorptie bij 4 à 5000 trillingen per seconde (hertz), hetgeen onpractisch hoog is. Het uitbuiten van het structureffect is dan ook zeer belangrijk.

Dikkere lagen zullen, als de luchtweerstand zo klein is dat de golven tot achterin doordringen, lagere frequenties absorberen dan dunne. Soms is het economischer dunne lagen aan te brengen op een luchtlaag, hetgeen ongeveer hetzelfde effect heeft als een laag van de gecombineerde dikte. Bovendien kan paneelwerking bij de zeer lage frequenties optreden (meetrillen van de gehele laag als plaat), hetgeen gunstig is, daar poreuze materialen in het algemeen de neiging hebben, de hoogste frequenties het best te absorberen.

Het is duidelijk dat men absorptie door luchtwrijving in de poriën onmogelijk maakt door het oppervlak dicht te verven. Men zij dus op zijn hoede bij iedere oppervlaktebewerking, die het aanbrengen van een gesloten laag of zelfs fijn poeder op het oppervlak meebrengt.

4. Absorptie door elastische lagen.

Een zuiver voorbeeld hiervan zijn bv. zeer poreuze sponsrubberlagen met een dicht oppervlak. Ook andere materialen, zoals glaswollagen, de moderne zeer zachte houtvezelmateriaal en wellicht gespoten asbest, absorberen gedeeltelijk door vering en dus nog wel enigszins indien het oppervlak zou zijn afgedicht. Denken wij, om de gedachten te bepalen, aan een soepele laag van enkele centimeters dikte, voorzien van een massaloos afgedicht huidje (cellophaan of dergelijk materiaal). Het geluid moet erin slagen het gesloten oppervlak in voldoende mate in trilling te brengen. Derhalve moet de stijfheid van de absorberende laag niet te groot zijn. Absorptie treedt nu op, doordat de laag niet ideaal elastisch is. Er treedt vaste wrijving op in het skelet (bv. wrijving van vezels over elkaar), voorts zal de lucht in de poriën gaan trillen en hierdoor geluidsenergie en warmte omzetten zoals in 3. Deze materialen hebben vergeleken bij de starre poreuze materialen voor- en nadelen. Hun gedrag is slechts op laboratoriumschaal bestudeerd.¹⁾ De theorie ervan is veel gecompliceerder dan die van starre materialen, doordat zowel de vaste materie als de lucht in de laag kunnen trillen²⁾. Doordat de massa van het skelet mee moet trillen ontstaat een trillingssysteem, dat veel trager is dan dat van trillende lucht. De zg. eigenfrequenties (resonantiefrequenties), waarbij de absorptie hoog is, liggen dan ook reeds bij lage frequentie, zeg 200 Hz en hoger. Dit absorberen der lage frequenties is een groot voordeel. Voorts zijn deze materialen door hun gesloten oppervlak hygiënisch, stofvrij, afwasbaar en verfbaar. Het verven moet ook nu echter nog deskundig gebeuren, daar de oppervlakte uiterst licht moet blijven. Een te massieve afdichting wrekt zich door een daling van de absorptiecoëfficiënt bij de hoge frequenties, hetgeen doorgaans echter niet zo'n groot bezwaar is.

5. Paneelabsorptie.

Dunne betimmeringen en glasoppervlakken kunnen gaan meetrillen met geluid. Vanzelfsprekend geschiedt dit het sterkst bij de resonantiefrequentie(s) van de panelen, die zeer laag liggen (zeg 100 à 400 Hz). Daar de inklemming wrijvingsverliezen meebrengt zal dit meetrillen absorptie

veroorzaken. Dit absorptie-effect kan men nog uitbuiten door achter de panelen geschikte materialen (vilt, glaswol) aan te brengen. Het is bv. reeds voordelig het latwerk, waarop de betimmering is bevestigd met dergelijk materiaal te bekleden. Het effect van deze poreuze materialen is niet zo zeer dat de absorptie bij resonantie wordt verhoogd, doch de betimmering in nu niet langer absorberend uitsluitend bij resonantie, maar ook daarbuiten (voorbeeld: 30 % absorptie van 200 tot 500 Hz). De resonantiefrequentie is bij benadering berekenbaar uit de formule

$$v = \frac{60}{\sqrt{ml}} \text{ (Hz)} \quad \begin{matrix} (m = \text{aantal kg/m}^2 \text{ paneel}) \\ (l = \text{dikte luchtlaag in meters}) \end{matrix}$$

Bij de afleiding van deze formule is aangenomen, dat de stijfheid die zich verzet tegen indrukking van het paneel, die van het achterliggend luchtkussen is. Die van het paneel zelf is verwaarloosd. Dit mag, indien de afmeting der panelen niet al te klein is. Overigens kan men desgewenst hiervoor corrigeren. Dit zg paneleffect is een welkome aanvulling van de absorptie bij lage frequenties. Ook hier gelden de reinigbaarheid en de verfbaarheid als voordelen.

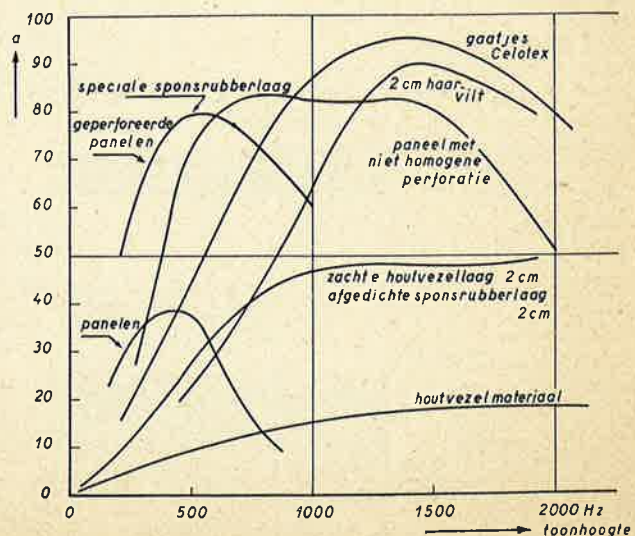
6. Resonatoren.

Poreuze materialen absorberen zeer goed bij die frequenties, waarbij de luchtlaag in het materiaal in resonantie is (3). Het zelfde geldt voor verende lagen en panelen. Flessen en soortgelijke volumina, door een hals met de buitenlucht in verbinding, kunnen ook resoneren. Dienovereenkomstig is te verwachten, dat zij zullen absorberen voor frequenties in de buurt van deze resonantiefrequenties. Hun resonantiefrequentie kan men proefondervindelijk vaststellen door ze als een dwarsfluit aan te blazen. Men behoeft geen fles te nemen, doch kan eenvoudig resonatoren maken door in een vat een gat te maken. Voor niet te gecompliceerde constructies kan men de eigenfrequentie eenvoudig berekenen. Bestaat de resonator uit een dunwandig vat (vorm onverschillig), waarin een rond gat, dan is bv.

$$\text{resonantiefrequentie} = 54 \sqrt{\frac{\text{gatdiameter}}{\text{volume}}} \quad \begin{matrix} \text{(lengten in meters)} \end{matrix}$$

Evenals bij panelen is het zaak de resonator niet ideaal te maken om te voorkomen dat hij slechts bij de resonantiefrequentie absorbeert. Men doet dit bv. door de resonator een geschikte vulling (bv. glaswol) te geven. Voor de uitvoering moeten wij kortheidshalve naar de literatuur²⁾ verwijzen. Het dempen van de resonator met bv. glaswol is

Fig. 2. Verzamelgrafiek met enkele karakteristieke absorptiekrommen.



ook nodig om de nagalmtijd van de resonator zelve te verkleinen. Laat men dit na, dan zal de resonator wel is waar een constant aangehouden toon absorberen, bij stoppen van de toon zal de resonator echter soms te lang naklinken en de nagalmtijd van de zaal vergroten (Griekse openluchttheaters).

7. Geperforeerde panelen.

Dit soort materialen is feitelijk een combinatie van alle reeds genoemde. Het door de perforatie binnendringende geluid wordt door luchtwrijving in de poriën van de doorgaans achter deze panelen aangebrachte media in warmte omgezet. Het paneel kan zelf meetrillen. Voorts werkt elk gaatje als resonator met het erbij behorende luchtvolumetje achter het paneel. Dit laatste effect is wel het belangrijkste. Het absorptiegedrag van geperforeerde panelen berekent men dan ook met de resonatortheorieën²⁾. Door de gatdiameter, het aantal gaatjes per m² en de erachter liggende luchtlaag in dikte te regelen kan men de resonantiefrequentie geschikt kiezen. Door een geschikte vulling te kiezen regelt

men de zg selectiviteit, d.w.z. men regelt hiermee de breedte van het frequentiegebied, waarin wordt geabsorbeerd. Grotere frequentiebandbreedten gaan natuurlijk gepaard met een lagere maximale absorptie. Het berekenen van dit soort materialen is naar verhouding simpel, de te berekenen resultaten zeer bevredigend. Met name lukt het de lage frequenties in een brede frequentieband te absorberen, en zolang men de perforaties ongemoeid laat is men vrij in de oppervlaktebewerking (reinigen en verven).

8. Numerieke resultaten.

Het is hier niet de plaats uitgebreide numerieke gegevens te verschaffen. Hiervoor kan worden verwezen naar acoustische handboeken. Ten einde enig idee te geven van wat bereikt kan worden, geven wij in figuur 2 een verzamelgrafiek met gemiddelde resultaten.

1) C. W. Kosten, Diss., Delft 1942.

2) C. Zwicker en C. W. Kosten, Sound absorbing materials, Elsevier, Amsterdam 1949, ter perse.

Het INTERNATIONAAL CONTACT over GELUIDISOLATIE-METINGEN

Ir. E. W. VAN HEUVEN

Zoals eerder op dit Symposium werd uiteengezet, omvat het begrip geluidisolatie het verband dat bestaat tussen de geluidniveaus in twee (in verticale- of horizontale zin) aangrenzende ruimten, wanneer in één der ruimten (het „zendvertrek“) geluid wordt geproduceerd, waarvan een fractie door de scheidingsconstructie (muur of vloer) naar het andere vertrek (het „ontvangvertrek“) wordt doorgelaten. Als nadere verfijning zullen wij echter een onderscheid maken tussen isolatie voor luchtgeluid en isolatie voor contact- of klop geluid.

Bij de luchtgeluidisolatie is de gang van zaken als volgt. De luchttrillingen die in het zendvertrek worden opgewekt oefenen op de scheidingsconstructie een wisselkracht uit die de laatste in trilling brengt. In het ontvangvertrek worden de trillingen van de wand of het plafond weer aan de lucht overgedragen en als geluid gehoord.

Indien zich gaten, spleten of doorgaande poriën in de wand bevinden is er bovendien een mogelijkheid dat de luchttrillingen van het zendvertrek zich rechtstreeks door deze openingen naar het ontvangvertrek voortplanten.

Voor de aan de zijde van het zendvertrek op de wand invallende geluidenergie geldt dat een gedeelte wordt gereflecteerd; de niet gereflecteerde fractie bestaat dus uit de energie die in de wandbekleding wordt geabsorbeerd, vermeerderd met de — doorgaans verwaarloosbare — fractie die wordt doorgelaten. Indien de doorgelaten energie slechts 1 promille bedraagt van de op de wand vallende energie, betekent dit dat, afhankelijk van nader aan te geven omstandigheden, de geluidintensiteit in het ontvangvertrek tennaastenbij een duizendste van die in het zendvertrek bedraagt, met andere woorden dat er een verschil van 30 dB tussen beide geluidniveau's bestaat. Dit betekent, dat een normaal gesprek in het zendvertrek in het ontvangvertrek verstaanbaar is en dat dus een dergelijke isolatie van de scheidingswand in acoustisch opzicht als „slecht“ moet worden gequalificeerd.

Door de reflecties, in diverse richtingen, van het geluid aan de wanden van het zendvertrek ontstaat hier een tamelijk homogene verdeling van de geluidsterkte, waarbij geldt dat in de evenwichtstoestand de per sec door de geluidbron geproduceerde energie gelijk is aan de totaal in alle wanden per sec verdwijnende geluidenergie (absorptie en doorlating). De scheidingsconstructie geraakt dus vrij homogeen in trilling en de totale hoeveelheid per sec doorgelaten geluidenergie zal evenredig zijn met het oppervlak van de scheidingsconstructie.

Ook in het ontvangvertrek ontstaat een tamelijk homogene verdeling van de geluidsterkte, doordat hier de door de trillende scheidingsconstructie geproduceerde geluidenergie aan de wanden gedeeltelijk wordt gereflecteerd, gedeeltelijk geabsorbeerd en doorgelaten naar volgende ruimten. Bij een gegeven waarde van de per sec door de wand in de ontvangkamer geproduceerde geluidenergie is de gemiddelde geluidsterkte in het ontvangvertrek dus nog slechts bepaald door het totaal absorberend vermogen van dit vertrek.

Het is duidelijk dat er een evenredigheid bestaat tussen de gemiddelde geluidsterkte in het zendvertrek en die in het ontvangvertrek, m.a.w. dat er een constant verschil in dB bestaat tussen beide geluidniveau's. Volgens het

voorgaande hangt dit verschil in dB, behalve van de aard van de scheidingsconstructie, ook af van het oppervlak van de scheidingswand en van het totaal absorberend vermogen van het ontvangvertrek. Uit metingen¹⁾ van de gemiddelde geluidsterkten in zend- en ontvangvertrek, en van de afmetingen van de wand en het totaal absorberend vermogen van het ontvangvertrek valt dan af te leiden de verhouding (in dB) tussen de per sec per m² op de wand vallende geluidenergie en de per sec per m² aan de andere zijde uitgestraalde geluidenergie. Deze grootte die nog slechts door de aard van de scheidingsconstructie wordt bepaald, heet de geluidisolatie van de wand (of vloer) voor luchtgeluid (Eng. Sound Reduction Factor). De geluidisolatie is in het algemeen afhankelijk van de frequentie van het voortgebrachte geluid. Om echter één enkel getal voor de luchtgeluidisolatie van een bouwconstructie te kunnen geven, was het in Holland vóór en tijdens de afgelopen oorlog de gewoonte, metingen te verrichten bij de frequenties 100, 200, 300 enz. tot en met 2000 per/sec en de bij deze frequenties gevonden waarden van de geluidisolatie in dB rekenkundig te middeelen.

Bij de voortplanting van contactgeluid van zend- naar ontvangvertrek is de gang van zaken enigszins anders. Hier wordt de scheidingsconstructie in trilling gebracht door rechtstreeks mechanisch contact met de trillingbron. Aan de zijde van het ontvangvertrek worden deze trillingen van de wand aan de lucht overgedragen op soortgelijke wijze als dit bij de voortplanting van luchtgeluid het geval is.

Vaak is het onderscheid tussen transmissie van lucht-

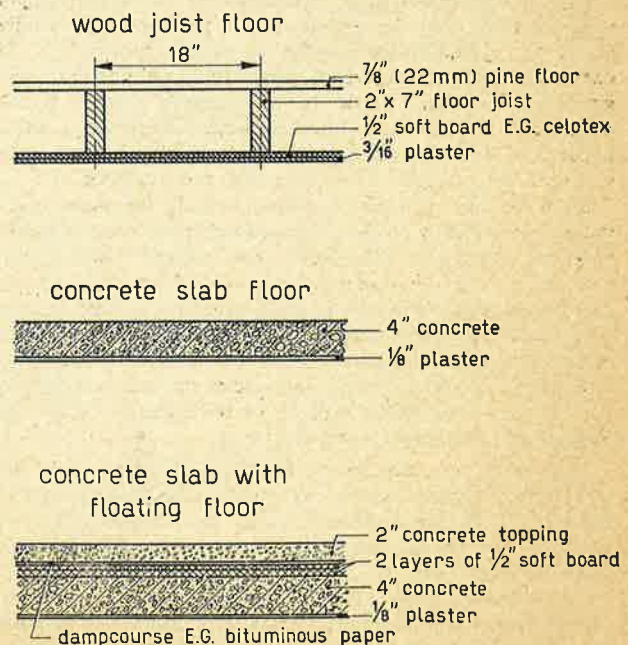


Fig. 1. Overzicht van de constructie van de drie standaard vloertypen.

¹⁾ Voordracht gehouden op de Geluidsdag van de Geluidstichting op 27 April

geluid en contactgeluid moeilijk aan te geven. Bij de meest typische bronnen van contactgeluid, zoals bv. hameren, lopen, schuiven met meubels, hoort men zowel in het zend- als in het ontvangvertrek praktisch slechts het geluid dat door de trillende scheidingsconstructie wordt geproduceerd. Bij de meeste in een woning voorkomende geluidbronnen wordt zowel lucht- als contactgeluid geproduceerd: slaan van deuren, vaten wassen, piano, violoncel, radio. Daarentegen zijn de wijzen van geluidvoortbrenging waarbij geen rechtstreeks contact tussen trillingsbron en scheidingsconstructie bestaat, zoals praten, zingen, viool spelen, typische bronnen van luchtgeluid.

Het zal uit het voorgaande duidelijk zijn dat men de isolatie tegen contactgeluid van een scheidingsconstructie niet op eenvoudige wijze kan afleiden uit de gemiddelde geluidsterkten in zend- en ontvangvertrek. Daarvoor is de geluidsterkte in het zendvertrek te zeer afhankelijk van de wijze waarop het contactgeluid wordt geproduceerd. Bovendien kan het voorkomen dat voor een bepaalde bron van contactgeluid, bv. lopen, een kleine variatie van de afdeklaag een aanzienlijk verschil geeft in de geluidsterkte in het zendvertrek, terwijl de geluidsterkte in het ontvangvertrek (en dus de hinderlijkheid) onveranderd blijft.

Om deze redenen is het beter de kwaliteit van een constructie ten aanzien van contactgeluid aan te geven door de (voor absorptie gecorrigeerde) geluidsterkte in het ontvangvertrek, wanneer de scheidingsconstructie in het zendvertrek wordt aangestoten met een gestandaardiseerde bron van contactgeluid. Het spreekt vanzelf dat men als geluidbron hiervoor een der meest typische bronnen van contactgeluid kiest, i.c. hameren.

Tijdens de oorlog werd in Nederland als hamerapparaat ingevoerd een Rawlplug hamer, type „Handy”. Dit is een met de hand aangedreven hamerapparaat waarbij een nokkenschijf telkens een massa tegen de spanning van een veer oplicht. Bij het terugspringen hamert de massa op een pen die in contact wordt gebracht met de te onderzoeken constructie. Om een goed contactpunt te verkrijgen werd tussen de pen en de bouwconstructie een 1/2" stalen kogellager gebruikt.

De gemiddelde geluidsterkte in de ontvangkamer werd gemeten met een geluidsterktemeter die met een filter was uitgerust, zodanig dat de frequentiecarakteristiek overeenkomt met de oorgevoeligheid bij 40 foon (een in woningen normaal voorkomend geluidniveau).

Om nu één enkel getal te geven voor de isolatie tegen contactgeluid, zoals dat is gedaan in de geciteerde publicatie no. 1 van „Ratiobouw”, werd de (voor absorptie in de ontvangkamer gecorrigeerde) gemiddelde geluidsterkte afgetrokken van een waarde die bij hameren met de Rawlplughamer op praktisch niet-isolerende constructies werd gevonden; dus zodanig dat voor de minst-isolerende constructies de opgegeven getallen tot nul naderen.

Door de hier tijdens de oorlog noodgedwongen ingevoerde werkwijzen bij geluidisolatiemetingen werden getalwaarden verkregen die slechts een relatief beeld geven van het gedrag der onderzochte bouwconstructies, en die niet vergelijkbaar zijn met in het buitenland volgens andere methoden gemeten waarden. Daarom was het na de oorlog een dringende noodzaak contact op te nemen met acoustische laboratoria in andere landen om aldus tot een vergelijking van de eigen resultaten met de in buitenlandse literatuur opgegeven getallen te komen.

Het eerste contact kwam in 1946 tot stand met het „National Physical Laboratory” en het „Building Research Station”, beide in Engeland. Later werd dit contact uitgebreid met vertegenwoordigers van het „Lydtেকনিক Laboratorium” van de Techn. Hogeschool te Kopenhagen en van het „Centre d'Acoustique Technique” te Parijs, terwijl op het Internationaal Acoustisch Congres te Londen in 1948 aan de besprekingen over dit onderwerp werd deelgenomen door 11 landen, waaronder de Ver. Staten van Amerika.

De resultaten van de diverse internationale ontmoetingen

over standaardisatie van de bouw-acoustische methoden zullen in het navolgende kort geschetst worden.

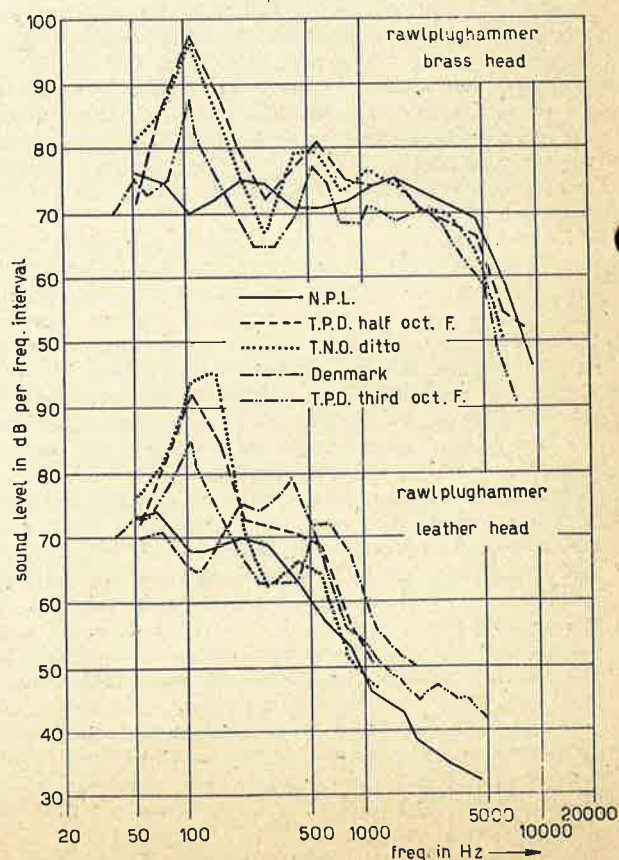
Luchtgeluidisolatie. In het buitenland heerste alom de praktijk, de meetresultaten van de isolatie als functie van de frequentie tot één enkel getal te middelen op een logaritmische frequentieschaal, d.w.z. de metingen te verrichten bij een reeks frequenties die een meetkundige reeks vormen en de isolatiegetallen in dB bij deze frequenties rekenkundig te middelen. In Holland werd tot dusverre het gemiddelde genomen van een reeks isolatiewaarden bij frequenties die een rekenkundige reeks vormen. Bovendien strekt zich de omvang van het frequentiegebied dat in beschouwing wordt genomen in het buitenland aan de zijde van de hoge frequenties verder uit.

Voorgesteld is thans de middeling overal te verrichten op logaritmische frequentieschaal over een meetgebied van 100 tot 3200 per/sec. Ten aanzien van de in de vroegere Nederlandse literatuur opgegeven waarden betekent dit gemiddeld een verlaging van deze getallen met ca 5 dB. Met deze correctie op de vroegere getallen voor isolatie van luchtgeluid van constructies bestaat er een behoorlijke overeenkomst tussen de Nederlandse en de buitenlandse resultaten.

Contactgeluid. De vergelijking van contactgeluid-metresultaten bracht meer moeilijkheden met zich mee. Dit was te verwachten, aangezien de hier opgegeven waarden ten zeerste afhankelijk zijn van de keuze van de bron van het contactgeluid en van vele andere meetomstandigheden. In Engeland werd gewerkt met een apparaat voorzien van vier valhamers, die met een messing en een hardrubber slagkant op de vloer kunnen vallen. Het normale tempo bedroeg hier 4 slagen per seconde. In Denemarken was eveneens een valhamerapparaat aanwezig. Hier, en bij de Rawlplughamer in Holland bedroeg het tempo ca 10 slagen per seconde.

Om de contactgeluidmetingen op elkaar te kunnen herleiden werd allereerst afgesproken dat alle partijen metingen

Fig. 2. Het absolute geluidniveau onder de kale betonvloer. three specified floors



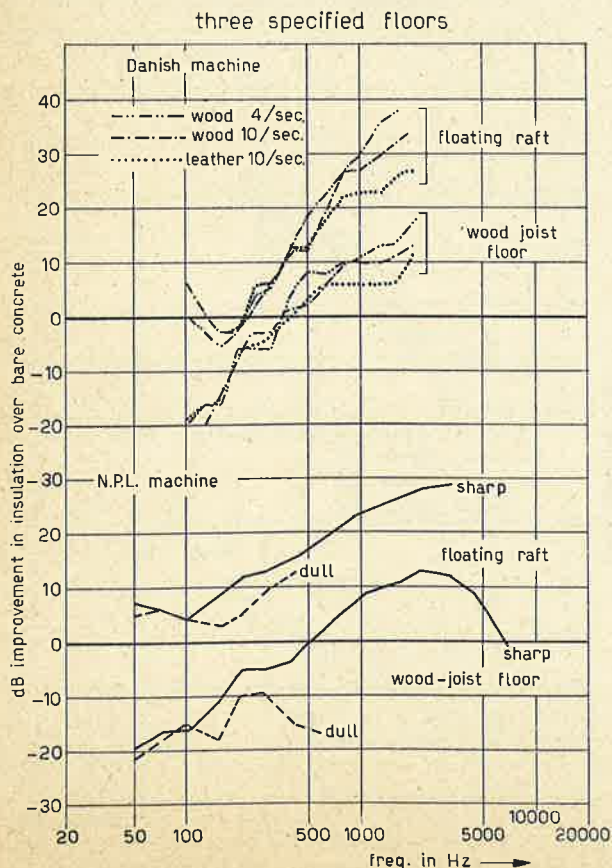
zouden doen aan een drietal standaard vloertypen (fig. 1).

Dit waren: een houten vloerconstructie met balken, een kale betonvloer en een betonvloer met dekvloer, bestaande uit een laag zacht board waarop een afdekvloer was aangebracht. Elke partij zou in eigen laboratorium deze constructies meten, zowel met de eigen contactgeluidbron als met de Rawlplughamer. In Nederland werden dus alleen metingen verricht met de Rawlplughamer. Bij deze hamer zouden contactstukken van messing, hout en leder worden gebruikt om scherpe en doffe slagen te kunnen geven.

Een vergelijking van de meetresultaten van het geluidniveau in de ontvangkamer als functie van de frequentie zag er niet veelbelovend uit. In fig. 2 zijn uitgezet de krommen voorstellend de analyses van het geluid met de Rawlplughamer, zowel met contactvlak van messing als van leder, bij kloppen op de kale betonvloer. Van dit vloertype toch kan worden verwacht dat de minste incidentele afwijkingen bestaan tussen de uitvoeringen in de diverse laboratoria. Tussen de verschillende krommen komen afwijkingen voor van 10 tot 20 dB, die zouden kunnen worden toegeschreven aan verschillen in het oppervlak van het geteste monster, verschillen in de grootte en de totale absorptie van de ontvangkamer, verschillen in de doorlaatsbreedte van de elektrische filters voor frequentieanalyse van het geluid, enz.

Vele van deze afwijkingen kunnen worden geëlimineerd indien men uit de getallen van elke deelnemende partij uitrekent het verschil in geluidsterkte tussen de diverse vloertypen bij een bepaalde frequentie. Als voorbeeld is in fig. 3 uitgezet de verbetering van de houten- en de dekvloerconstructie ten opzichte van de kale betonvloer, als functie van de frequentie. Onder de verbetering is hier verstaan het aantal dB dat het geluidniveau onder een kale betonvloer bij een frequentie meer bedraagt dan het niveau onder een der andere monsters bij dezelfde frequentie. De in deze figuur getekende resultaten zijn verkregen

Fig. 3. De verbetering in decibels, gemeten door de Deense en Engelse groepen met hun eigen methoden.



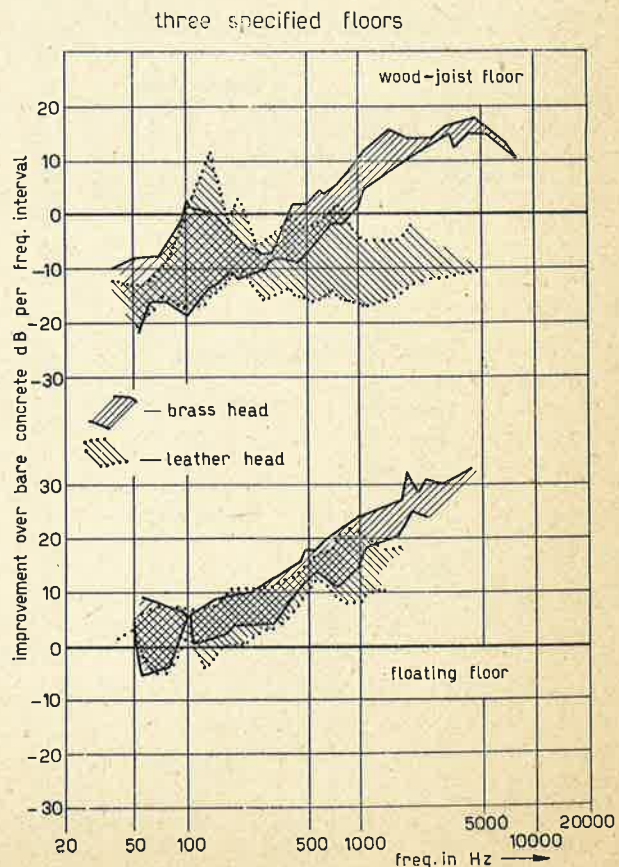
in Denemarken en in Engeland met de in die landen gebruikelijke hamermachines.

Ofschoon de resultaten onderling tot 10 dB uiteenlopen, blijkt toch in alle gevallen de tendentie naar voren te komen dat de houten balkenvloer bij frequenties lager dan ca. 500 per/sec een negatieve verbetering geeft, d.w.z. dat bij hameren op de houten vloer de lage frequenties in de ontvangkamer luider klinken dan bij de kale betonvloer. Dit is van groot belang voor de beslissing of een monolitische betonconstructie acoustisch beter of slechter is dan de traditionele balkenvloer. Immers ons oor is gevoeliger voor frequenties hoger dan 500 per/sec dan voor lagere en dus zou men vermoeden dat om deze redenen de betonnen vloer acoustisch slechter zou zijn dan de houten balkenvloer. Het hangt er echter in de praktijk ten zeerste van af in hoeverre de hogere frequenties ook werkelijk worden aangestoten; zuiver hameren op de vloer is nu juist niet een veelvuldig voorkomend verschijnsel. Hier is een uitgebreide enquête over de aard van woninggeluiden noodzakelijk om een statistisch inzicht te krijgen, hoe de in de praktijk voorkomende frequenties verdeeld zijn over het hoge en het lage gebied. In Engeland is een dergelijke enquête gehouden²⁾ die als resultaat opleverde dat, wat hinderlijkheid betreft het slaan van deuren bovenaan staat, gevolgd door de radio. Behalve de geluiden die op de vloer hun ontstaan vinden, blijkt dus ook de muurconstructie voor contactgeluid belangrijker dan in eerste instantie was vermoed.

Voor het statistisch inzicht in de verdeling van de hinder door contactgeluid is het ook van belang dat de aard van het contactvlak een rol speelt. In fig. 3 blijkt dit door het verschil in verbetering van de ene vloer ten opzichte van de andere, speciaal bij de Engelse metingen, bij zachte en bij harde hamers.

In fig. 4 zijn uitgezet de omhullenden van de bundels krommen die in de verschillende laboratoria zijn gevonden bij gebruik van de Rawlplug hamer, resp. met contactvlak

Fig. 4. Vergelijking van de verbetering, gemeten met contactvlak van messing en leder.



van messing en van leder. Wederom zijn uitgezet de verbeteringen van de houten vloer en de dekvloerconstructie ten opzichte van de kale betonvloer. Deze figuur toont duidelijk hoe de verbetering van de ene vloer ten opzichte van de andere afhankelijk is van de aard van het contactvlak van de hamer speciaal indien we de houten vloer met de kale betonvloer vergelijken; bij vergelijking van de dekvloerconstructie ten opzichte van de enkelvoudige betonvloer geldt dit niet.

Dit effect zou men niet onmiddellijk verwachten. Immers, indien de verschillende contactvlakken bij een gegeven frequentie verschillende krachten op de vloer overdragen, dan nog zouden de verschillen in geluidsterkte bij die frequentie onder twee verschillende vloermonsters onafhankelijk moeten zijn van de aard van het contactvlak. Blijkens fig. 4 wordt echter de bij een bepaalde frequentie overgedragen kracht bepaald door de combinatie van het contactvlak van de hamer en de oppervlaktelaag van de vloer. Hierdoor wordt tevens duidelijk waarom bij de houten vloer ten opzichte van de kale betonvloer uitgesproken verschillen optreden voor contactvlakken van messing en leder, terwijl dit bij de dekvloerconstructie ten opzichte van de enkelvoudige betonvloer practisch niet het geval is. In het laatstgenoemde geval is de oppervlaktelaag van beide vloeren beton; in het eerstgenoemde geval is hij van hout, resp. beton.

Naar aanleiding van de verschillen die in de meetresultaten bestonden leek het gewenst na te gaan of deze afwijkingen voortkwamen uit individuele verschillen tussen de in de diverse laboratoria uitgevoerde monsters, dan wel uit afwijkingen in de meetapparaturen voor geluidsterktemeting. Daarom zijn door alle deelnemende partijen metingen verricht te Kopenhagen aan de aldaar aanwezige monsters van de enkelvoudige betonvloeren en de betonnen dekvloerconstructie. Hierbij brachten de Engelse en de Nederlandse ploeg elk hun eigen meetapparatuur mee.

Fig. 5. Het absolute geluidniveau beneden de vloer met een hamermachine met houten contactstukken.

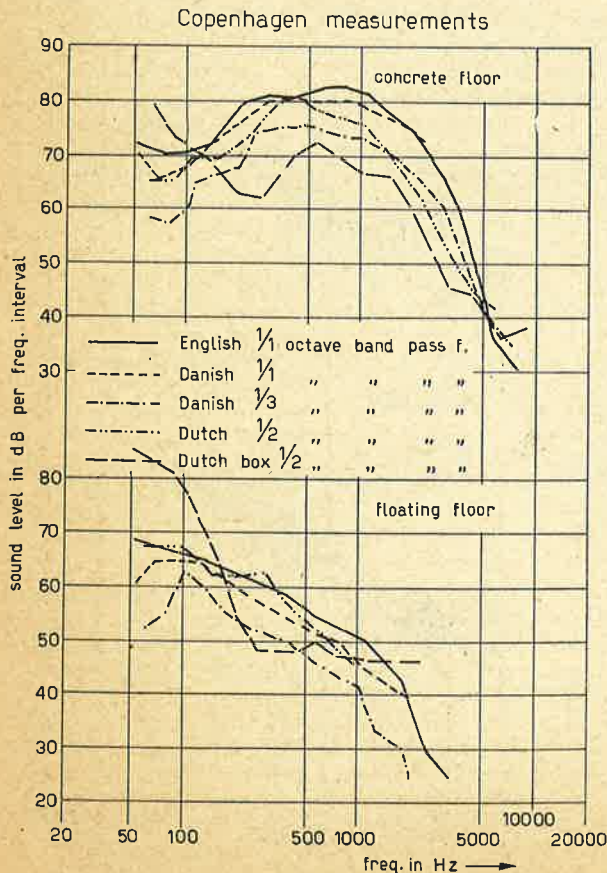
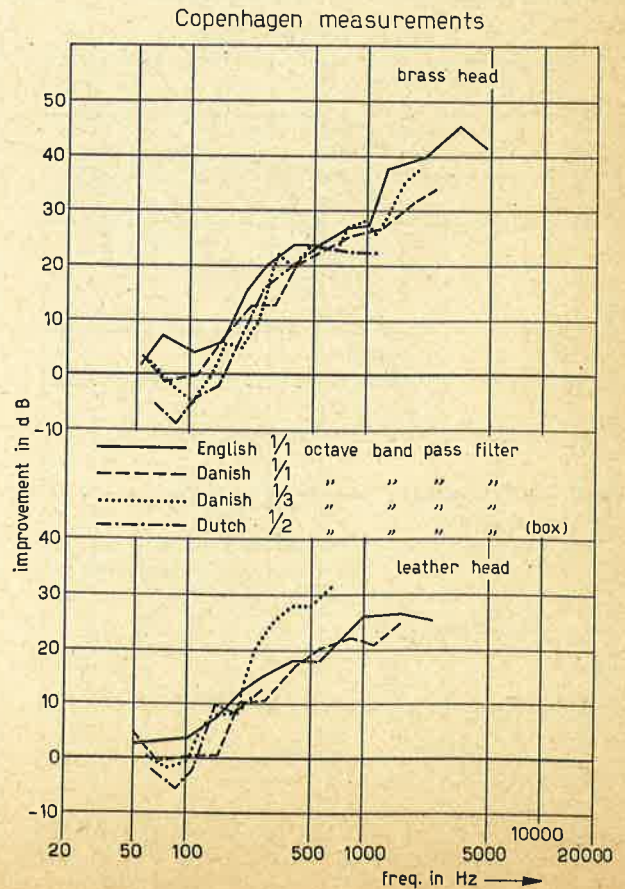


Fig. 5 geeft de metingen te Kopenhagen van de geluidsterkte als functie van de frequentie, onder de enkelvoudige betonvloer en de betonnen dekvloerconstructie, bij gebruik van de Deense hamermachine met houten contactstukken. Alle partijen maten het gemiddelde geluidniveau in de ontvangkamer; de Hollanders deden bovendien een reeks metingen in de acoustisch sterk absorberende microfoonkist die in Nederland voor metingen aan kleine monsters gebruikelijk is. Indien men bij de diverse krommen in aanmerking neemt de verschillen in doorlaatbreedte van de gebruikte filters (bijvoorbeeld: een filter met een bandbreedte van 1/2 octaaf geeft bij een geluid met gelijkmatige frequentieverdeling 3 dB minder uitgangssignaal dan een filter dat een vol octaaf bandbreedte uifiltret bij dezelfde gemiddelde doorlaatfrequentie), dan bestaat er een zeer bevredigende overeenkomst tussen de resultaten. Ook de in fig. 6 weergegeven verbeteringen van de dekvloerconstructie ten opzichte van de kale betonvloer vertonen in het algemeen geen grotere afwijkingen dan 2,5 dB van het gemiddelde. Hier behoeft men zoals vanzelf spreekt, niet voor de bandbreedte van de filters te corrigeren, aangezien deze bij beide vloeren gelijk is.

Uit het voorgaande mag worden geconcludeerd dat er ten aanzien van de verschijnselen bij de transmissie van contactgeluid een grote afhankelijkheid bestaat van acoustische en mechanische omstandigheden waaronder het geteste monster verkeert, en dat men dus bij het opgeven van de resultaten de wijze waarop, en de omstandigheden waaronder de metingen zijn verricht, zo volledig mogelijk moet beschrijven. Ook heeft het geen zin een methode aan te geven volgens welke uit de resultaten één enkel cijfer voor de contactgeluidisolatie van een bouwconstructie kan worden afgeleid. Men moet het gedrag voor contactgeluid steeds karakteriseren door een volledige opgave van de frequentieanalyse van het geluid onder de vloer, bij gebruik van een gestandaardiseerd hamerapparaat. De term „contact-

Fig. 6. De verbetering, gemeten met de rawlplug-hamer met contactvlak van messing resp. leder.



geluidisolatie" zal men dan ook bij voorkeur moeten vermijden en vervangen door „contactgeluidtransmissie”.

Uit de internationale metingen zijn een aantal specificaties naar voren gekomen betreffende de aard en eigenschappen van een standaard hamerapparaat, de afmetingen en wijze van oplegging van het geteste monster, de afmetingen van de ontvangkamer enz. Deze zullen voor internationale standaardisatie worden voorgedragen.

DISCUSSIE.

Ir. R. Vermeulen: Het middelen met verschillend gewicht van de frequentiegebieden is willekeurig en zou vervangen moeten worden door een gewicht bepaald door het gemiddelde spectrum van voorkomende lawaaibronnen. Wat is het resultaat van een subjectieve beoordeling?

Spreker: De thans gevolgde methode van middelen der isolatiewaarden van geluid betekent dat men van alle octaven of gedeelten daarvan over het gehele spectrum gelijke waarde toekent. Er zijn indicaties dat men indien men de eveneens in octaven of gedeelten daarvan ontlede klopgeluid spectra tot één cijfer zou willen verwerken, in verband met de meeste voorkomende bronnen van contactgeluid op een vloer, meer waarde zou moeten toekennen aan de lage frequenties dan bv. volgens een aequi-foonlijn volgens Munson voor de gemiddelde geluidsterkte in woningen. Dit wordt ook bevestigd bij vergelijking van subjectieve metingen met objectieve waarden van het totale geluid, gemeten met een dergelijk correctiefilter. Er bestaan plannen om ook in Holland een enquête te houden over het voorkomen van hinderlijke geluiden, zoals in Engeland is gedaan.

Prof. Dr. A. D. Fokker: Is het niet nodig, behalve op de impulsie, ook op de tijdsduur van de klopp te letten, en te denken aan het spectrum van de eigen frequenties van de vloer?

Spreker: Inderdaad. Dat de verbeteringen van de ene vloer ten opzichte van de andere afhangen van de combinatie van hamer en oppervlaktelaag, dus ook van de tijdsduur van de indrukking, wijst in deze richting. Uiteraard zullen eigen frequenties van de vloer waarvan de periode korter is dan de contactduur, in geringere mate worden aangestoten.

Hr. P. A. van Luyt: Is de inleider iets bekend over het gebruik van verende hamers ter bestrijding van lawaai?

Spreker: Hieromtrent is mij niets bekend. Voor het inslaan van een spijker bv. moet een bepaalde totale impuls-overdracht plaats hebben. Men kan dit doen met enkele grote-, of met een groot aantal kleine impulsen. Het is zeer de vraag welke van beide manieren de meeste geluidhinder zal veroorzaken.

Hr. F. L. P. Dewald (B.N.A.): Zijn bij de uiteenlopende meetresultaten geen factoren werkzaam die een grote rol spelen bij muziek(strijk)instrumenten? Voor het onderzoek lijkt mij dit van belang.

Spreker: Men vindt bij een gegeven constructie, vooral indien grove inhomogeniteiten voorkomen (planken vloer bv.) grote verschillen van punt tot punt. De praktijkomstandigheden zijn echter van dien aard dat ook in deze gevallen een gemiddelde moet worden genomen over de gehele vloer, hetgeen bijv. betekent dat de geometrische vorm van het standaard hamerapparaat niet zo moet zijn dat te zeer op één enkel punt wordt gemeten.

Ir. G. Kranen: Waarom geen standaard meetapparatuur in alle samenwerkende, met het onderzoek bezig zijnde landen, ter vergemakkelijking van het vergelijken van de meetresultaten?

Dr. Ir. C. W. Kosten antwoordt: Het blijkt uit de internationale metingen dat de verschillen praktisch niet voortkomen uit verschillen in de elektrische meetapparatuur; wel uit verschillen in de monsters en de situatie waarin deze worden gemeten.

Een standaardisatie in dit opzicht kan niet geschieden dan nadat een vergelijking is gemaakt, om de goede kwaliteiten van alle meetmethoden te kunnen combineren. Bovendien moet men het verband tussen de bestaande meetmethoden kennen ter vergelijking van de oudere literatuurgegevens. Internationale standaardisatie van een hamerapparaat is, zoals vanzelf spreekt, dringend gewenst. In de voorlopige standaardisatievoorstellen is daar dan ook rekening mee gehouden.

1) Voor de in Holland gebruikte meetmethoden zij verwezen naar: „Geluidisolatie in Woningen”, Publ. no. 1, Stichting „Ratiobouw”, den Haag (uitg. Ahrend).

2) Dennis Chapman, Sound in Dwellings, Wartime social survey, Londen, November 1943.

1. Inleiding.

Men doet goed bij de bestudering van geluidstransmissieproblemen in een gebouw een bepaalde gedachtengang te volgen. Men begint daartoe met het opsporen van de lawaaibronnen, die zich binnen of buiten het gebouw kunnen bevinden. Soms is het dan al dadelijk mogelijk het door de bron geproduceerde lawaai te verminderen.

Heeft men met lawaai van buiten te maken, dan moet de ligging van het gebouw t.o.v. de bron worden beschouwd.

Wordt het lawaai in het gebouw opgewekt, dan behoeft de inrichting van de plattegrond bestudering, alsmede de opstelling van machines, liften e.d.

Ten slotte komt men tot de toepassing der middelen, die een gewenste isolatie geven: muren met een juiste luchtgeluidisolatie en vloeren met een goede lucht- en contactgeluidisolatie. Op de isolatie van muren en vloeren wordt dieper ingegaan; de nadere punten worden in het kort behandeld.

2. Lawaai van buiten

Het is gebleken, dat in woningen vaak veel hinder wordt ondervonden van lawaai van buiten. Bronnen zijn hier wegverkeer, spoorwegen, fabrieken, vliegvelden e.d.

Het behoort tot de taak van de stedenbouwkundige door een juiste planning zorg te dragen voor een rustige omgeving van woonwijken.

Wanneer men het binnendringen van het buiten geproduceerde lawaai wil beperken, moet de luchtgeluidisolatie van de gevels aan zekere eisen voldoen, afhankelijk van de luidheid van dit lawaai. De geluidisolatie van gevels, een punt waaraan nog weinig aandacht wordt geschonken, wordt meestal bepaald door die van de ramen. Een ruit van 5 kg/m^2 isoleert gemiddeld 25 dB, dus zeer weinig. Toepassing van dubbele ruiten kan hier grote verbetering geven. Op die wijze kan wel 45 dB gemiddelde isolatie worden bereikt. Soms zijn daarbij bijzondere voorzieningen voor de ventilatie nodig.

3. Lawaai van binnen

Juiste gegevens omtrent lawaaihinder in woningen zijn van groot nut om te kunnen vaststellen, welke normen men moet aanleggen voor de lucht- en contactgeluidisolatie.

In de voordracht van Ir van Heuven werd reeds gesproken over de „Social Survey”, naar geluidhinder in woningen, die in 1943 in Engeland werd gehouden.

Aan een groot aantal bewoners van eengezinshuizen en étagewoningen van oude en nieuwe constructie werden vragen gesteld over de luidheid die zij in hun huizen waarnamen, de mate waarin zij daardoor werden gehinderd e.d. De resultaten van deze enquête zijn belangwekkend:

*) Voordracht gehouden op de Geluidsdag van de Geluidstichting op 27 April 1949.

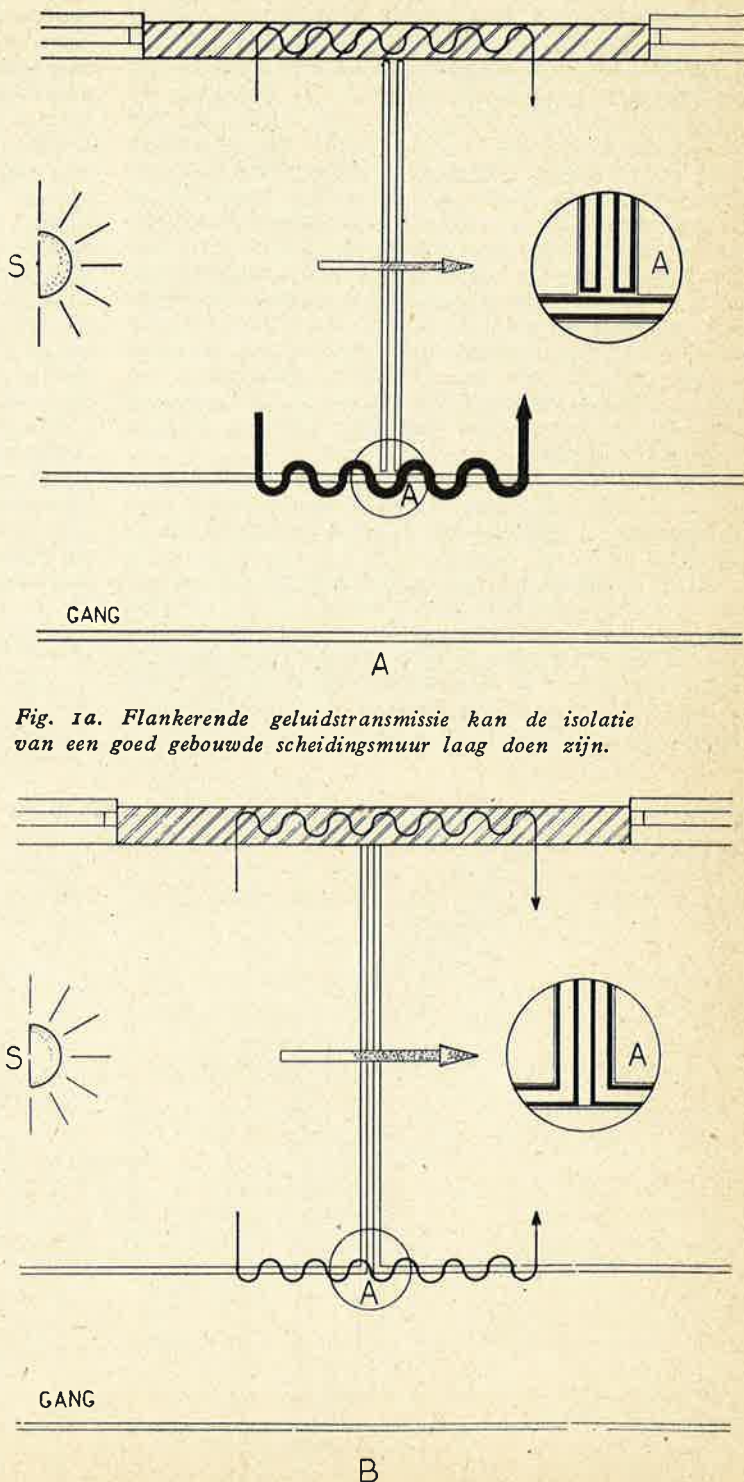


Fig. 1a. Flankerende geluidstransmissie kan de isolatie van een goed gebouwde scheidingsmuur laag doen zijn.

Fig. 1b. Het tegengaan van flankerende transmissie door onderbreking van de doorlopende dunne flankerende gangmuur. De onderbreking kan voor het oog onzichtbaar worden gemaakt.

27% der bewoners van eengezinswoningen ondervonden hinder, 21% werden in de slaap gestoord. Voor de étage-woningen van oude constructie (stapelbouw) waren de uitkomsten 35% gehinderd en 26% in de slaap gestoord.

In moderne étagewoningen (skeletbouw) ondervonden 57% der inwoners hinder en werd van 52% de slaap verstoord. Deze cijfers vormen wel een overtuigend bewijs van de sociale betekenis van het geluidisolatieprobleem! Hinder veroorzakend waren in deze volgorde: het slaan van deuren, de radio, schuiven van stoelen, spelende kinderen. Slaapverstorend waren: slaande deuren, schuivende stoelen en waterleidinglawaaai.

Ook in ons land wordt aan dergelijk statistisch materiaal behoefte gevoeld. Onder auspiciën van de Geluidcommissie T.N.O. wordt daartoe een enquête voorbereid, waaraan ook de Stichting „Ratiobouw” haar medewerking verleent. Het zal interessant zijn de uitkomsten van beide enquêtes te vergelijken.

Bezien wij de hierboven genoemde lawaaibronnen in woningen nader, dan merken wij op dat deze luchtgeluid, contactgeluid of beide voortbrengen.

Voor bestrijding aan de bron komen vooral de contactgeluidbronnen in aanmerking. Het slaan van deuren (lucht- en contactgeluid) kan worden bestreden door het gebruik van deursluiters en door het aanbrengen van rubber of vilt in de sponningen.

Ter beperking van waterleidinggeruis moet een oplossing worden gevonden in de richting van flexibele verbindingen van de kranen op de buizen en van de buizen op de muren. Er worden op dit punt reeds proefnemingen gedaan.

Machines e.d. dient men op te stellen op een elastische onderlaag of op stalen of rubber veren. Men doet goed ze in een kelder te plaatsen. Loopgeluiden e.d. kunnen worden beperkt door een geschikte oppervlakte-behandeling van de vloer (zie ook hieronder).

In de inleiding werd reeds opgemerkt dat de inrichting van de plattegrond en de rangschikking van de vertrekken in verticale zin aandacht verdient.

Kiest men een doelmatige indeling van het gebouw, dan immers kan het aantal constructies dat aan hoge isolatie-eisen moet voldoen beperkt blijven. Als voorbeeld kan worden genoemd een blok eengezinswoningen, waarin de plattegronden der naast elkaar gelegen huizen elkaars spiegelbeeld zijn. Slechts om het andere huis liggen dan woonkamers aan weerszijden van een bouwmuur, die een hoge isolatie moet hebben. Tevens grenzen telkens twee trapshuizen aan elkaar, zodat de daar aanwezige bouwmuur geen bijzondere hoge isolatie eist. In étagewoningen moet men slaapkamers niet naast een centraal trappenhuis situëren. De onderlinge ligging der plattegronden van de woonlagen is hier dan ook van veel belang. Een woonkamer behoort niet recht boven een slaapkamer te liggen etc.

Het is van groot nut, dat met deze overwegingen bij het ontwerpen van woningen en andere gebouwen ter dege rekening wordt gehouden.

4. Aan de isolatie te stellen eisen

a. Luchtgeluid

Op grond van gegevens, uit een enquête verkregen en de resultaten van metingen in de betreffende woningen kan men bepaalde eisen voor de luchtgeluidisolatie formuleren.

Men kan echter ook uitgaan van een zekere maximale luidheid, die men toelaatbaar acht in een woon- of slaapvertrek. Gegeven de luidheden die normaal in woningen voorkomen (radio, spraak) en de isolatie van verschillende constructies (als functie van de frequentie) kan dan worden nagegaan of de toegestane luidheid aan de „ontvang-

zijde” niet wordt overschreden. (Bij deze werkwijze moet gebruik gemaakt worden van een omrekeningsmethode decibells-phones).

In ons land bestaan nog geen voorschriften omtrent Geluidisolatie. Een eerste voorstel daartoe is gedaan in het boekje „Geluidisolatie in woningen”, (Publicatie I van de Stichting „Ratiobouw”), doch gezien de wijzigingen in de meetmethoden sindsdien kan daaraan geen grote waarde worden gehecht. Momenteel wordt dit vraagstuk door een normalisatiecommissie bestudeerd.

Engeland kent wel voorschriften op dit gebied. Men eist voor de luchtgeluidisolatie tussen de woonkamers of woon- en slaapkamer in twee aangrenzende woningen een gemiddelde van 55 dB, tussen andere vertrekken: 45 dB; tussen twee leslokalen in een school: 45 dB.

Het lijkt aannemelijk, dat in Nederland isolaties van dezelfde orde van grootte zullen worden aanbevolen.

b. Contactgeluid

In Engeland bestaan ook eisen in zake de contactgeluidisolatie. Deze zijn echter gebaseerd op een berekeningswijze die hier niet in gebruik is en ook niet internationaal is aanvaard, zodat vermelding ervan geen nut heeft.

Ook de getallen genoemd in Publicatie I van Ratiobouw berusten op een verouderde meetmethode.

Het is tot dusverre niet mogelijk gebleken de kwaliteit van een constructie wat betreft de contactgeluidisolatie in één getal uit te drukken. Hoe de eisen ten aanzien van contactgeluid zullen worden geformuleerd moet worden afgewacht.

5. Het mechanisme van de geluidsdoorgang door muren en vloeren

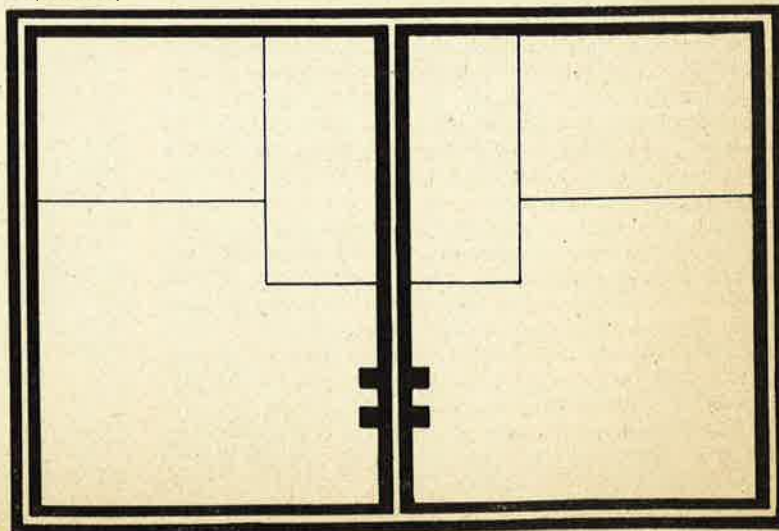
Voordat nu wordt overgegaan tot bespreking van de wijze waarop goed isolerende constructies kunnen worden verkregen, volgen hier enkele opmerkingen over de voortplanting van geluid in een gebouw. Deze kan op drie manieren geschieden, zoals ook reeds is aangestipt in de voordracht van Ir. Tak.

- Langs directe weg: door openingen, scheuren, „geluidlekken”;
- Door het in trilling geraken van de scheidingsconstructies in hun geheel (membranen);
- Door trillingen, die zich om deze scheidingsconstructies heen voortplanten.

De onder a genoemde wijze van overdracht is het gemakkelijkst te bestrijden nl. door de openingen af te dichten.

Onder b wordt geduid op de voornaamste wijze van overdracht zowel voor lucht- als contactgeluid. Hierop wordt dan ook het meest de aandacht gericht.

Fig. 2. Plattegrond van twee eengezinswoningen; twee onafhankelijke dozen in een buitendoos.



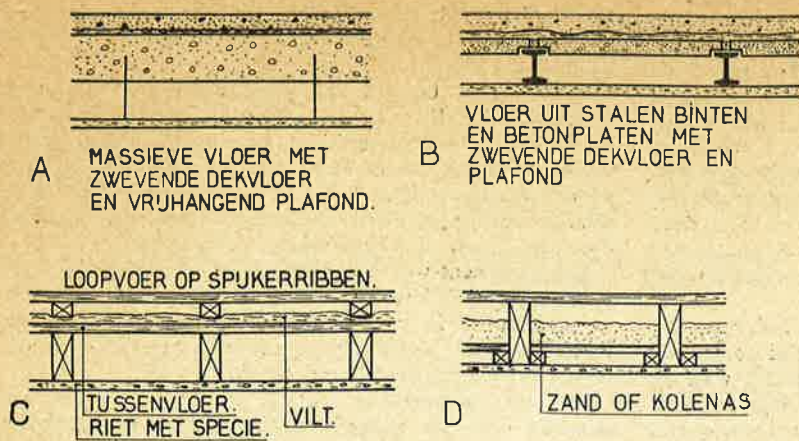


Fig. 3. Enkele spouwconstructies voor vloeren.

Het onder c genoemde is de zogenaamde indirecte transmissie of flankerende transmissie (flanking effect) die in figuur 1 wordt toegelicht. Op dit verschijnsel moet terdege worden gelet: een op zichzelf goed isolerende constructie kan waardeloos zijn, wanneer de aangrenzende constructies te veel geluid op deze wijze overdragen. Hoewel verder de normale overdracht, de wand als trillende membraan, wordt beschouwd, kan er niet genoeg op worden gewezen hoe funest voor de uiteindelijke isolatie de invloed van „geluidleken” en indirecte transmissie kan zijn. Men dient hierop dan ook steeds bedacht te wezen.

6. Luchtgeluid

De tot dusverre vaak voorkomende bouwmuur van één-steens baksteen, aan weerszijden afgepleisterd, heeft een gemiddelde luchtgeluidisolatie van 49 decibell (dB). Deze gemiddelde waarde is bepaald op de nu gebruikelijke wijze (zie de voordracht van Ir van Heuven). Houdt men de Engelse eisen in het oog, dan blijkt de één-steens bouwmuur dus 6 dB te weinig te isoleren. De „massawet” leert dat de massa per m² van de muur verdubbeld zou moeten worden om aan de eis van 55 dB te voldoen (zie voordracht van Ir Tak). Men zou dus een tweesteens muur (44 cm) moeten kiezen. Het behoeft geen betoog dat een dergelijke kostbare en oneconomische oplossing niet in aanmerking komt. De vraag rijst nu, hoe men dan wel de waarde 55 dB kan verwezenlijken. Het antwoord luidt: door toepassing van spouwconstructies, mits de daarin aanwezige spouw consequent wordt doorgevoerd. Mechanisch contact van de spouwbladen door doorstekende koppen of doorlopende vloerbalken dient vermeden te worden. Spouwankers, om andere redenen noodzakelijk, moeten zo slap mogelijk worden gehouden. Het inpakken van de ankers in een rubber slang schijnt goed te kunnen voldoen.

Zoals van de massieve muur kan ook van de spouwmuur theoretisch de isolatie als functie van de frequentie worden bepaald. Het blijkt dan dat de spouwconstructie voor lagere frequenties iets minder, doch voor hogere frequenties belangrijk meer isoleert dan de massieve muur, die dezelfde massa per m² heeft, zodat ook het gemiddelde aanmerkelijk hoger ligt.

Is dus met massieve muren de gewenste isolatie tussen twee woningen niet bereikbaar, ook bij toepassing van spouwconstructies moet aan zekere voorwaarden worden voldaan. Men moet nl. de invloed van de indirecte overdracht trachten teniet te doen. Immers, brengt men een bouwmuur aan van twee halfsteensmuren, waartussen 5cm spouw, en zijn de buitenmuren normaal steenswerk, dan zal, zelfs al worden spouwankers weggelaten, de isolatie beneden de verwachting blijven door de indirecte overdracht langs de gevel. Ook de buitenmuren moeten dan dus als spouwconstructies worden uitgevoerd, zodat de beide woningen acoustisch onafhankelijk van elkaar zijn. De figuur 2 laat zien, dat dus twee dozen binnen een grote doos ont-

staan. Om een werkelijk geheel bevredigende oplossing te verkrijgen, moet aan de volgende eisen worden voldaan:

1. De binnenste doos moet worden geplaatst op een veerkrachtige laag, bv. van met bitumen geïmpregneerd vilt, om overdracht via de fundering te vermijden.
2. Er moeten zo weinig mogelijk, liefst geen, spouwankers worden gebruikt.
3. De schoorstenen in beide woningen dienen gescheiden te worden gehouden. Op het punt waar zij samen komen, dus bv. vlak onder de kap, moet een veerkrachtige laag „kortsluiting” voorkomen.
4. Kozijnen in de gevel mogen de spouwbladen niet aan elkaar verbinden. Er zijn dan twee oplossingen

mogelijk:

- a. Men plaatst het kozijn in het buitenste spouwblad; de spouw wordt met een slappe plaat afgesloten, eventueel met toepassing van vilt, en een opening wordt in het binnenste spouwblad gespaard. Een bezwaar is dat dan geluidoverdracht plaats vindt van het raam via het buitenste spouwblad naar het raam in het aangrenzende huis, dat weer geluid uitstraalt. Deze „kortsluiting” is op te heffen door in de gevel bv. een doorgaande voeg aan te brengen, die men opvult met bitumen.
- b. Plaast men het kozijn in het binnenste spouwblad, dan vermijdt men de „kortsluiting”, doch het is een bezwaar dat de spouw toegankelijk is voor regen e.d.; de spouwafdichting, die slap moet zijn, is dan een zwak punt in de constructie.

Wanneer men aan deze punten de nodige aandacht schenkt, wordt de gewenste geachte waarde van 55 dB bereikt bij toepassing van twebladige spouwconstructies van bv. 2 x 11 cm baksteen of 2 x 8 cm beton. Dit is niet alleen gebleken uit tal van experimenten in speciale proefgebouwtjes, doch onlangs werd het bij metingen in een woning volgens een nieuw Nederlands systeem duidelijk bewezen. Inderdaad had de ontwerper aan bovengenoemde punten veel zorg besteed.

Heeft het bovenstaande vooral betrekking op de z.g. stapelbouw, ook in de skeletbouw kunnen de vulmuren met succes een hoge isolatie krijgen. Is er een enkel frame, zoals meestal, dan moeten beide bladen van de spouw daaraan worden bevestigd. Natuurlijk moet een starre verbinding weer worden vermeden. Er zijn daartoe speciale bevestigingsmiddelen nodig, waarbij gezorgd wordt dat zich tussen twee spouwmuuren en framedelen b.v. vilt bevindt.

Uiteraard bestaan er bij dit systeem grote kansen op indirecte overdracht en moeten tal van details met zorg worden bekeken. De oplossing bestaat uit het volledig vrij maken van alle wanden, vloeren en plafonds. De spouwbladen kan men het beste van verdieping naar verdieping door laten lopen, ter vermindering van lekken door de vloer, die vaak uit twee delen bestaat.

Is het skelet geheel als dubbel frame uitgevoerd dan, is het probleem natuurlijk eenvoudiger.

Hoewel voor de practijk wellicht te gecompliceerd, kunnen ook met drie- en vierbladige spouwconstructies met een geringe totale massa per m² opmerkelijke resultaten worden bereikt. Bij proeven bleek een spouwmuur bestaande uit vier bladen, met een gezamenlijke massa van 75 kg/m² aan de 55 dB-eis te voldoen. Men vergelijk daarbij de massieve een-steens baksteenmuur met een massa van 400 kg/m², die gemiddeld 49 dB isoleert!

Resumerend kan dus worden gezegd dat aan een bouwmuur de volgende eisen zullen moeten worden gesteld:

1. de muur moet van fundering tot dak een volledige scheiding tussen de woningen vormen;

2. gebruikt men massieve muren, dan wordt de gewenste isolatie van 55 dB eerst verkregen bij muren van ten minste 44 cm dikte;
3. de toepassing van spouwmuur met van elkaar geïsoleerde bladen met een totale massa van 300 kg/m^2 maakt het mogelijk een isolatie van 55 dB te bereiken. Voorwaarde is daarbij dat ook de gevels spouwmuur zijn.

Richten wij nu onze aandacht op vloerconstructies. Aan vloeren, die een scheiding tussen twee woonlagen vormen, moeten dezelfde eisen voor de luchtgeluidisolatie worden gesteld. Daarnaast moet de contactgeluidisolatie aan zekere voorwaarden voldoen. Afgaande op de in Engeland geldende voorschriften betekent dit dus weer 55 dB gemiddelde isolatie. Dit blijkt zeer moeilijk te zijn. 'n Enkelvoudige houten vloer, zoals de z.g. Hollandse vloer, is volkomen onvoldoende. Voor een vloer, bestaande uit houten balken, planken en gepleisterd board als plafond b.v. bedraagt de isolatie 32,5 dB. Dezelfde vloer, waarin onder de planken een glaswollaag is aangebracht levert 39,5 dB. Het is duidelijk dat het gebrek aan massa hiervan de oorzaak is. Ter vergroting van de massa per m^2 vult men de vloeren b.v. wel op met zand. De isolatie stijgt dan aanmerkelijk. Genoemde houten vloer, met een vulling van 10 cm kolenas, gaf als uitkomst 45 dB.

Steenachtige vloeren zijn zwaarder en hebben dus een hogere luchtgeluidisolatie. Zo isoleert een betonnen vloer van 12 cm, waarop 2,5 cm estrich en planken, 45 dB.

De norm van 55 dB wordt echter ook hier niet bereikt. Hiertoe moet de vloer ook als spouwconstructie worden uitgevoerd met onafhankelijke bladen van een redelijk grote massa. Figuur 3 geeft enkele voorbeelden. Discontinuitéit in de constructie is ook hier van groot belang en tal van details eisen de aandacht.

7. Contactgeluid.

Uit de resultaten van bovengenoemde enquête is gebleken hoe belangrijk een goede contactgeluidisolatie van vloeren tussen woonlagen is. Reeds werd opgemerkt dat de contactgeluidisolatie van een constructie nog niet in een getal kan worden uitgedrukt. Men volstaat voorlopig met het opgeven van het spectrum van het geluidveld, dat onder de vloer ontstaat, wanneer een gestandaardiseerd hamerapparaat op de vloer in werking is gesteld. Onderlinge vergelijking van deze spectra verschaft dan inzicht in de kwaliteit van de constructies. Het maakt nog een punt van onderzoek uit of genoemde machine als voldoende representatief kan worden beschouwd. Er wordt n.l. slechts één specifieke bron van contactgeluid beschouwd, wellicht gedraagt een vloer zich echter anders, wanneer schuifgeluiden e.d. worden opgewekt.

Al kunnen dus nog geen numerieke gegevens worden verstrekt, in algemene trekken kan wel worden beschreven, hoe de constructies zullen moeten worden samengesteld, willen zij aan zekere eisen voldoen. Het verschil tussen contactgeluid en luchtgeluid is gelegen in de wijze waarop de constructie in trilling wordt gebracht. De voort-

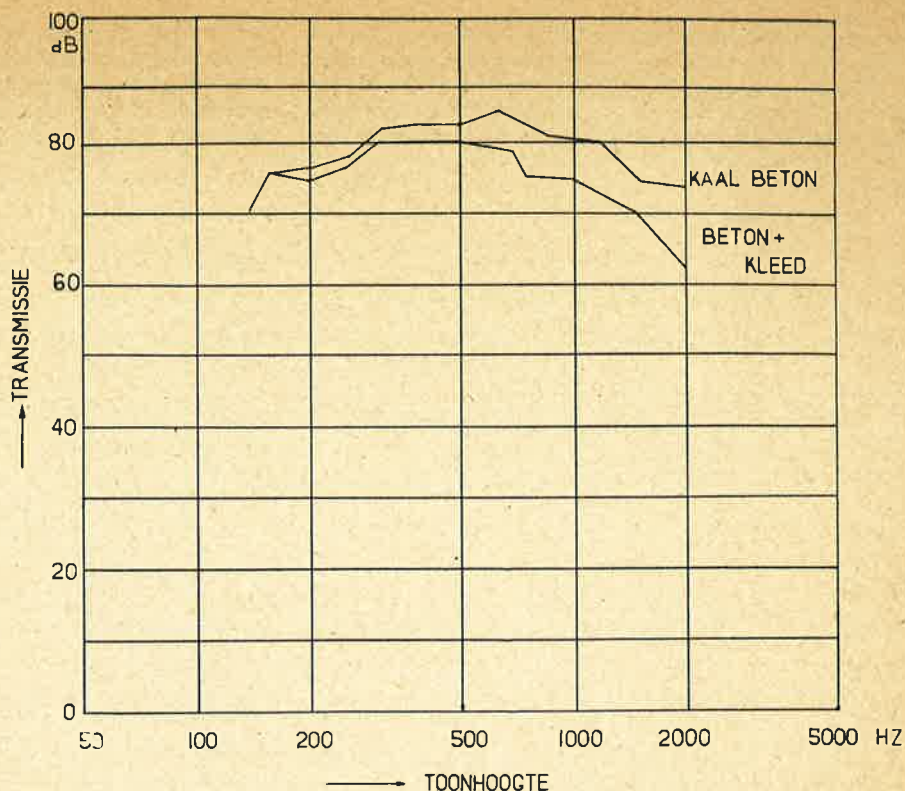


Fig. 4. De invloed van een afwerkingslaag (i.c. een kleed) op de transmissie door een betonvloer.

planting van het geluid geschiedt op dezelfde wijze. Daaruit volgt dus al dadelijk dat ook hier de toepassing van spouwconstructies aangewezen is (zie figuur 3).

Daarnaast is de aard van de oppervlaktelaag van grote invloed. Deze bepaalt hoe de impulsen in de constructie komen. Op de grafieken (figuur 4) komt duidelijk de gunstige werking van een kleed op een betonvloer tot uiting. Het is dus wenselijk een enigermate elastische vloerafdekking te kiezen. Dat daarbij dan vaak de luidheid van voetstappen e.d. in het bovenvertrek daalt, is een bijkomend voordeel, dat echter met de eigenlijke transmissie van het contactgeluid naar het benedenvertrek niets uitstaande heeft.

Er is momenteel nog niet voldoende materiaal verzameld om een meer gefundeerd oordeel uit te spreken over de kwaliteit van vloeren wat hun contactgeluidisolatie betreft.

Vermeldenswaard is nog het resultaat van een onlangs ingesteld summier onderzoek naar de hinderlijkheid van enkele bronnen van contactgeluid. Door de waarnemers werd aan een onbedekte betonvloer een betere isolatie toegekend dan aan een, eveneens onbedekte, Hollandse vloer met plafond van tengels, riet en specie.

Wanneer de uitgebreide metingen, die nu aan de gang zijn in de z.g. Proefwoningen T.N.O., een speciaal voor bouw-fysisch onderzoek gebouwd blok étagewoningen te Rotterdam, voltooid zijn, zal, naar gehoopt wordt, ons inzicht ook in het contactgeluidisolatievraagstuk veel verdiept worden. Het zal echter ook daarna nodig zijn op ruime schaal, de metingen onder praktijkomstandigheden voort te zetten. Voor dit doel wordt thans door de Geluidcommissie T.N.O. en de Technisch Fysische Dienst T.N.O. en T.H. een z.g. meetwagen, rijdend acoustisch laboratorium, ingericht.

Samenvatting.

Het is de bedoeling geweest van de organisatoren van dit symposium, allen die betrokken zijn bij de bouw van woningen, kantoren, ziekenhuizen enz. te overtuigen van het belang van het acoustisch verantwoord bouwen en daarbij tevens mededeling te doen van de moderne inzichten op dit terrein. Hierbij is het geluidisolatieprobleem van emi-

nente betekenis. Hoewel er nog tal van problemen zijn, die om een oplossing vragen — en het financiële is daarvan niet het minste! — menen wij de weg te kunnen wijzen die kan leiden tot vermindering van de lawaaihinder in woningen. Naar onze mening zal daartoe moeten worden overgegaan

tot het gebruik van spouwconstructies zowel voor bouwmuren als voor vloeren tussen de woonlagen. Alleen wanneer men dergelijke constructies onder de in deze voordrachten genoemde voorwaarden toepast, zal men aan hoge, doch wenselijke isolatie-eisen kunnen voldoen.

