

# Sound & Science: Digital Histories

Archives NAG: Publicatie No. 14 van de Geluidstichting. Zwikker, C. [1938]. Geluidsproblemen bij luchtbehandelingsinstallaties, Delft: Geluidstichting, 1938.

<https://acoustics.mpiwg-berlin.mpg.de/text/publicatie-no-14-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

# Geluidsproblemen bij luchtbehandelingsinstallaties<sup>1)</sup>

door

Prof. Dr. C. ZWIKKER. Hoogleraar aan de Technische Hoogeschool te Delft

## Inleiding.

Het zij mij vergund een overzicht te geven over alle punten van aanraking tusschen de twee in den titel vereenigde hoofdtukken der techniek. Het zal mij niet mogelijk zijn, alle onderwerpen even uitvoerig te bespreken. Bij de indeeling zal ik mij sterk laten beïnvloeden door de omstandigheid, of er in mijn laboratorium over het betreffende onderwerp experimenten hebben plaats gevonden.

Veel van wat ik U ga behandelen is te voorschijn gekomen bij de bouw van de A.V.R.O.-studio. Ik stel het op prijs ook hier nog eens mijn waardeering uit te spreken voor de wijze, waarop de A.V.R.O.-directie en de architecten, de heeren Merkelbach en Karsten, mij in de gelegenheid hebben gesteld de diverse problemen te overdenken en experimenteel te onderzoeken.

De onderwerpen vallen uiteen in drie groepen n.l.:

I. Beïnvloeding van de acoustische verschijnselen door de toestand van de lucht.

II. Het opwekken van geluid door luchtbehandelingsinstallaties.

III. Het dempen en isoleeren van het onder II genoemde geluid.

## I. Luchtproblemen in de acoustiek.

Ia. Het zal bekend zijn, dat de afstemming van het orgel sterk afhangt van de temperatuur en de vochtigheidsgraad van de lucht en dat elke installateur van verwarmings- of luchtinstallaties met achterdocht wordt beschouwd door den organist. Inderdaad is het orgel gevoeliger voor veranderingen in de luchttoestand dan de mensch en het is dikwijls zoo, dat de voor het publiek ontworpen installatie van luchtbehandeling te slecht is voor het orgel, zoodat dit een eigen luchtbehandeling moet hebben. Ook met het oog op repetities, waarbij de zaal of kerk niet bezet en dus niet verwarmd is, is het noodig, dat het orgel zijn eigen luchtbehandeling bezit. Over de invloed van te droge lucht op het hout van de pijpen is reeds geklaagd; ik meen echter, dat de ervaring in dit opzicht nog niet voldoende is, om met zekerheid van nadeelige gevolgen te kunnen spreken.

Ib. De toestand van de wandbekleedingsmaterialen wordt beïnvloed door de vochtigheidstoestand van de lucht. Houtvezels en textiele vezels nemen door imbibitie water op, de vezels zwel-

len en de porositeit van het materiaal verandert. Het opnemen en afstaan van dit gebonden water gaat echter zoo langzaam, dat de hoeveelheid niet bepaald is door de oogenblikkelijke luchttoestand, maar de over een lange tijd gemiddelde toestand. Behalve de vochtigheidsgraad speelt nog een beslissende rol de temperatuur van de wand. Bij een verwarmings-systeem, waarbij paneelverwarming wordt toegepast en koude lucht wordt ingevoerd, zullen de wandbekleedingsmaterialen meer indrogen. Bij een systeem daarentegen, waarbij warme lucht wordt ingevoerd en de muren kouder zijn dan de lucht, zullen de vezels water opnemen. Het is hierbij heelemaal nog niet noodzakelijk, dat er zichtbare of onzichtbare (namelijk plaatsvindend in de poriën) condensatie optreedt. Fig. 1 vertoont globaal de verandering van het percentage watergewicht voor vezelstoffen (hout, textiel) met de vochtigheidsgraad  $\varphi$  van de lucht. Hoe kouder de

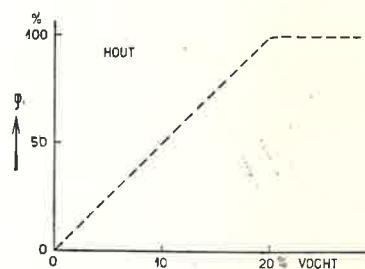


Fig. 1. Vochtopname door vezelstoffen.

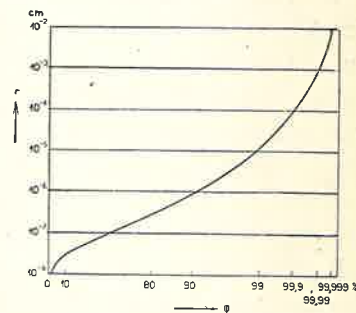


Fig. 2. Capillair-condensatie.

muren, hoe grooter daar ter plaatse de  $\varphi$  is. Bij een bepaalde temperatuur treedt capillaricondensatie op; waardoor de imbibitie indirect wordt bevorderd. Fig. 2 laat U zien het verband tusschen  $\varphi$  en de straal der poriën, die water opnemen door capillaircondensatie.

De zwelling heeft tot gevolg een verandering van de porositeit en een verkleining van de absorptie-coëfficiënt voor het geluid, dus een vermindering van de acoustische waarde van het materiaal. Treedt behalve de zwelling ook nog capillair-condensatie op, dan wordt een gedeelte van het materiaal onwerkzaam; nog sterker wordt dit, als het temperatuurverval in de poreuze stof zoo groot is, dat er oppervlakte-condensatie in de diepere lagen optreedt.

Fig. 3 geeft U het verband tusschen de acoustische absorptie-coëfficiënt en de luchtweerstand voor een houtvezelplaat van een halve duim dikte. De luchtweerstand is in droge toestand al grooter dan de optimale in verband met de mechanische

<sup>1)</sup> Lezing gehouden voor de Vereeniging voor Luchtbehandeling op 20 Mei 1938.

sterkte; bij vergroting van de luchtweerstand door zwelling verwijderd de absorptie-coëfficiënt zich nog meer van het maximum.

Behalve door porositeitswerking kan een wandbekleding, die in de vorm van platen is aangebracht ook geluid absorberen, doordat hij meertilt. Wanneer de platen vochtiger worden, worden zij slapper, trillen minder goed mee, waardoor ook een verlies in geluidabsorptie wordt veroorzaakt.

Het is dus gewenscht de muren zoo droog mogelijk te houden.

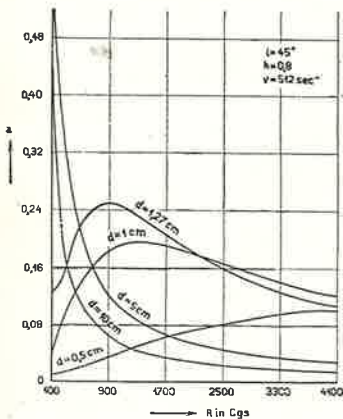


Fig. 3.

Absorptiecoëfficiënt en lucht weerstand van houtvezelplaten.

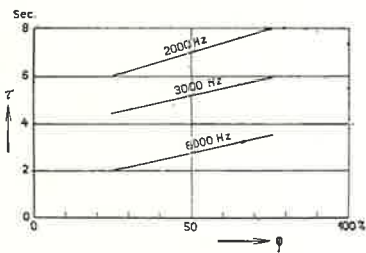


Fig. 4.

Nagalmtijd en vochtigheidsgraad.

Andere acoustische materialen, b.v. acoustische pleister zijn weliswaar ook eenigszins hygroscopisch, maar vertoonen de zwellings-effecten in veel geringere mate (vergel. C. F. Neergaard, J.A.S.A. 2, 106, 1930; hospitalen, zwembaden).

Ic. Het is gebleken, dat de galm in groote zalen afhangt van de vochtigheidsgraad van de lucht, vooral bij de hogere tonen, en wel wordt de galm sterker bij grooter watergehalte van de lucht. Men heeft oorspronkelijk gedacht, dat het een gevolg was van veranderingen in de wandbekledingen. De vergrote galm volgt echter zonder traagheid de veranderingen in de  $\phi$ , zoodat men dit effect wel aan de lucht zelf moet toeschrijven. Door de onderzoekingen van Knudsen is duidelijk geworden, dat de lucht zelf geluid absorbeert en wel des te beter, naarmate hij droger is. In een droge atmosfeer sterft het geluid dus sneller uit, het geluid klinkt droog. Fig. 4 laat U zien, hoe volgens Knudsen (J.A.S.A. 3, 126, 1931) in een bepaald geval de nagalmtijden van een vertrek beïnvloed worden door de  $\phi$ . De optredende variaties in de nagalmtijden zijn door muziekdeskundigen zeer duidelijk te bemerken.

II. Geluidproductie.

IIa. Een luchtbehandelingsinstallatie kan op allerlei manieren geluid opwekken en wel in de eerste plaats door de machines. Motoren, pompen, compressoren en branders werken niet volkomen geruischloos. In sommige gevallen gaat een vlampijp loeien als een orgelpijp. Ook een oliebrander maakt noodzakelijk lawaai. Voor een goede menging van oliedamp en lucht moet de vlam namelijk trillen. Dit trillen gaat met een sterk geluid gepaard. Onderdrukt men het trillen, dan loeft de vlam. Eveneens een gevaarlijk lid van de installatie is de luchtpersomp voor de injectiedruk. Het geluid van propellers en centrifugaal-ventilatoren wordt beperkt door de omtrekssnelheid gering te houden en

de toonhoogte van het geluid (bepaald door toerental  $\times$  aantal schoepen) laag te houden.

IIb. De stroomende lucht zelf wekt geluid op in de kanalen, maar vooral daar, waar hij in hoeken wordt geblazen of op uitspringende hoeken terecht komt. In deze gevallen wijkt de lucht afwisselend naar links en naar rechts uit in een regelmatig tempo, wat gepaard gaat met een sterk geluid, dat soms tot een geloei kan aangroeien. Van een aan mijn laboratorium geleverde ventilator had men de punt van het slakkenhuis weggenomen, omdat de lucht, die hier tegen aanbliet een daverend geweld maakte. Het resultaat hiervan was inmiddels, dat de capaciteit onvoldoende was geworden. Mijn collega Prof. Dr. W. J. D. van Dijck voorzag dit slakkenhuis van een neus in stroomlijnform (zie fig. 5). Met de nieuwe neus steeg de capaciteit met 20%, het lawaai bleef achterwege.

IIc. Stroomlijn en stilte hangen trouwens in het algemeen met elkaar samen. Fig. 6 laat U zien de in een vertrek optredende geluidsniveaux bij vier verschillende vormen van een loefer. De uitstroomopening kon hoekig of vloeiend gemaakt worden, ook de klep kon hoekig of gestroomlijnd worden uitgevoerd. Voor de vier combinaties wordt het geluidsniveau aangegeven bij verschillende standen van de klep. Wij zien, dat de gestroomlijnde klep bij een afsluiting van 75% weinig voordeel heeft. Dit komt, omdat het gebruikte stroomlijnmodel niet voor elke stand van de klep gunstig staat ten opzichte van de luchtstroom. Men zal in het door ons onderzochte geval geneigd zijn, de klep of op 50%, of dicht te zetten en het lawaai-gebied in de buurt van 75% afsluiting over te slaan.

II d. Bij een rooster-opening is de geproduceerde hoeveelheid geluidenergie evenredig met het oppervlak van de opening en evenredig met de vierde macht van de luchtsnelheid. Een opening van 1 m<sup>2</sup> produceert bij een luchtsnelheid van 5 m/sec een luidheidsniveau van 40 à 50 decibel in de kamer. De evenredigheid met de vierde macht van de luchtsnelheid is als volgt te begrijpen. De wervelingen zullen drukvariaties leveren, die

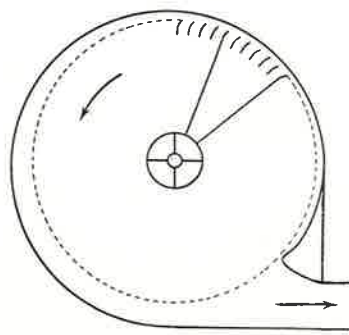


Fig. 5.

Waaier met gestroomlijnde tong.

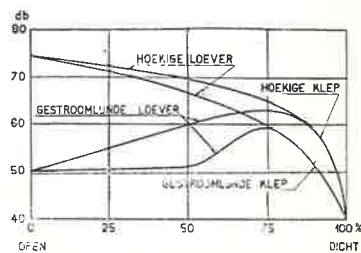


Fig. 6.

Geluidproductie bij straalmonden.

evenredig zijn met  $\frac{1}{2}\rho v^2$ . De geluid-energie is weer evenredig met het kwadraat dezer drukfluctuaties en wordt dus evenredig met  $v^4$ .

Overigens behoeft de geluidenergie in de praktijk deze  $v^4$ -wet niet altijd te volgen. Immers, om de luchtsnelheid te veranderen moeten wij kleppen verdraaien, zoodat de geometrische toestand verandert. Wanneer nu deze kleppen ook gesuis meebrengen, of misschien de hoofdoorzaak van het geluid zijn, zullen wij be-

halve de factor  $v^4$  ook in rekening moeten brengen een factor, die verandert met de klepstand. Het is dan ook heel goed mogelijk, dat de maximale geluidproductie niet samenvalt met de grootste lichtsnelheid (zie fig. 6).

III. Ook de strooming van de lucht langs de wanden van luchtkanalen brengt een geluid voort. Misschien wordt deze geluidproductie wel beïnvloed door de ruwheid van het oppervlak, deze invloed zal echter gering zijn. Ook bij de best afgewerkte oppervlakken staat de lucht aan het oppervlak stil en vormt zich een wervellaag.

U weet, dat de wrijvingsweerstand in kanalen niet zoo sterk uiteenloopen; het verschil tusschen beton en blik is slechts een factor  $1\frac{1}{2}$  in de weerstand, wat omgerekend op geluidproductie een verschil van 3 à 4 decibel zou beteekenen ten gunste van blik.

Het kanaal-geluid wordt echter veel sterker beïnvloed door het meetrillen der kanaalwanden. Dun blik versterkt om deze reden het geluid, asbest-cement zal niet zoo gemakkelijk meetrillen.

### III. Geluidsbestrijding.

IIIa. In veel fabrieken zullen een aanzienlijk grooter aantal machines staan te trillen dan in de kelder van een air-conditioned woningcomplex. In die fabriek doet het getril en gedreun geen kwaad, in een woonhuis is het echter niet toe te staan. Vandaar ook, dat bij goed uitgebalanceerde en stil-gemaakte machines voorzorgen moeten worden genomen om te maken, dat contactgeluid zich niet door het geheele gebouw verspreidt.

Het is beslist noodzakelijk, de machines op veerende fundeeringen te plaatsen (rubber, kurk, spiraalveeren etc.). Stalen pijpen moeten worden onderbroken door stukken rubberslang of door expansie-stukken. Pijpleidingen moeten geïsoleerd in de muur worden bevestigd. Er werden een aantal lantaarnplaatjes vertoond, waarin de maatregelen waren te zien, die genomen zijn bij den bouw van de A.V.R.O.-studio en die ten doel hadden de voortplanting van het contactgeluid door het gebouw te voorkomen.

IIIb. De doorgang van luchtgeluid door de luchtkanalen wordt

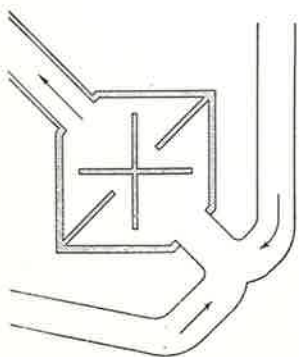


Fig. 7.  
Suskamer.

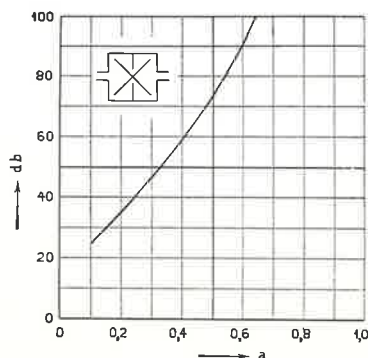


Fig. 8.  
Geluidreductie in suskamer.

belemmerd door een bekleding met acoustisch materiaal. Ik heb hiervoor berekend, dat men op een lengte  $l$  een geluidreductie heeft, die gelijk is aan  $\frac{5}{2} \frac{l}{d} \cdot a$ . decibel, waarin  $a$  = absorptiecoëfficiënt van geluid,  $d$  = diameter van het kanaal.

De formule is behalve door mijzelf ook door anderen experi-

menteel geverifieerd. Larson en Norris (Jl. Heating, Piping and Air Cond. Jan. '31) vonden de volgende getallen:  $l = 100$  ft,  $d = 3,6$  ft,  $a = 0,2$ , reductie 15 db, terwijl volgens mijn formule het moet zijn 14 db.

In de Guide 1937 van de A.S.H.V.E. worden op p. 343 geluidreducties medegedeeld, die gelden voor hoogwaardige acoustische materialen ( $a = 0,60$ , voorbeelden: acousti-celotex, Burgess Acousti-pad, Isola, Limpet etc.). Men geeft aan een factor  $f$ , die overeenkomt met  $l/d$  in mijn formule en wel is  $f = 6$  à  $7$  voor een reductie van 10 db. Invulling in mijn formule van  $\frac{l}{d} = 6,5$  en  $a = 0,60$  geeft eveneens een reductie van 10 db.

Afdoende geluidreductie door inwendige bekleding van de kanalen voert dus tot de bewerking van lange stukken. Moelijkheden komen hierbij van verschillende kanten.

De bekleding moet behalve aan de eisch van hoge geluidabsorptie nog aan allerlei andere eischen voldoen: stofvrij zijn, ongevoelig voor warme, vochtige lucht, eventueel snelle temperatuur- en vochtwisselingen kunnen uithouden; mechanisch voldoende vast om niet langzamerhand uit elkaar te worden geblazen, de wrijvingsweerstand moet klein zijn. Vindt men een materiaal, dat aan al deze eischen voldoet, dan kan men nog voor de moeilijkheid komen, dat dit materiaal onmogelijk is aan te brengen aan de binnenkant van een kanaal.

IIIc. Vandaar, dat ik voor gebruik in de A.V.R.O.-studio heb ingevoerd de „suskamer”. Het luchtkanaal is onderbroken door een kamer ter grootte van een klein vertrek, waarin het geluid bezinkt. Het geluid wordt door tusschenschotten gedwongen een omweg te maken door de kamer. Hierbij hebben de wanden, die geluidabsorberend zijn, gelegenheid het geluid op te nemen. De bestendigheidseischen voor het wandmateriaal zijn dezelfde als hierboven opgenoemd voor de bekleding van de kanalen. In fig. 7 is een model van een suskamer geteekend. Het geluid komt altijd in een trechtervormige ruimte. De reflecties in zoo'n trechter zijn altijd zoo gemaakt, dat het geluid naar zijn oorsprong terug wordt gedrongen. Het geluid, dat er in slaagt in de volgende cel van de suskamer te komen, is intusschen herhaaldelijk teruggekaatst door de absorberende wand en heeft aanzienlijk aan sterkte ingeboet.

De heer C. W. Kosten heeft theoretisch de werking van de suskamers berekend. Onze beschouwingen zijn gepubliceerd in de Revue d'Acoustique <sup>1)</sup>, het resultaat ziet U in fig. 8. Het blijkt, dat met hoogwaardige absorptie-materialen (b.v.  $a = 0.60$ ) enorme geluidreducties zijn te bereiken. In het A.V.R.O.-gebouw is gewerkt met stoffen, bezittende gemiddeld een  $a = 0.20$ , zoodat 30 db demping werd verkregen.

Bij de suskamers zocht men een compromis tusschen groote geluidreductie en kleine luchtweerstand. Het is zeer eenvoudig door verkleining van de openingen de geluidreductie te vergrooten. Onvermijdelijk neemt dan de weerstand toe. Door genomen proeven is ons gebleken, dat het drukverlies bij elke hoek van de suskamer juist de stuwdruk  $\frac{1}{2} \rho v^2$  bedroeg, dus in het model van fig. 7 was dit 5 keer het geval. Halveering van de openingen maakt de snelheid in de openingen twee keer zoo groot, het drukverlies 4 keer zoo groot. Het bovengenoemde resultaat van 30 db geluidreductie werd verkregen bij een drukverlies van 1 mm H<sub>2</sub>O op een totale waaierdruk van 20 mm H<sub>2</sub>O.

<sup>1)</sup> Revue d'Acoustique 4, 1935, p. 1.

## DISCUSSIE

*Prof. Dr. M. de Haas* vraagt of de verschillende, door spreker behandelde gevallen van geluidisolatie niet sterk beïnvloed worden door de frequentie van het geluid.

*Prof. Dr. C. Zwikker*: Inderdaad speelt de frequentie een rol. In het algemeen zijn hoge tonen gemakkelijker te isoleren dan lage tonen. Echter maakt een reductie van 10 decibel voor de lage tonen op het oor meer indruk dan eenzelfde reductie voor de hoge tonen, zoodat de verwachte moeilijkheden in de regel meevallen.

*A. Eibink* heeft opgemerkt, dat mist het geluid absorbeert; hoe is dit te rijmen met de opmerking, dat vochtige lucht het geluid minder absorbeert?

*Prof. Dr. C. Zwikker*: zoodra er waterdruppels gevormd worden treedt een energie-verlies op ten gevolge van het wrijven van de trillende luchtdeeltjes langs de druppels. De slechte voortplanting van het geluid in de vrije atmosfeer op heete, vochtige dagen moet worden toegeschreven aan een sterke temperatuurgradient, waardoor het geluid omhoog wordt getild.

*Dr. F. C. Huygen* merkt op, dat in fig. 00 de kromme naar boven ombuigt zelfs ondanks het feit, dat de geluidreductie reeds logaritmisch is uitgedrukt, namelijk in decibels; men zou het omgekeerd verwacht hebben.

*Prof. Dr. C. Zwikker* antwoordt, dat het geluid, dat doorgelaten wordt een groot aantal (b.v. 12) reflecties ondergaat in de suskammer. De doorgelaten hoeveelheid geluid zal evenredig zijn met  $(1-a)^{12}$  of met een nog hogere macht van  $(1-a)$ . In grafiek uitgezet geeft dit inderdaad een zeer snel toenemen van de reductie bij toename van  $a$ .

*Ir. A. F. Bunge* vraagt of er ook een algemeen geldend verband bestaat tusschen het vermogen van verschillende stoffen om geluid en warmte te isoleren.

*Prof. Dr. C. Zwikker* antwoordt, dat hij eigenlijk niet gesproken heeft over geluid-isoleerende, doch over geluid-absorberende stoffen en dat hij zich heel goed stoffen kan voorstellen, die goed geluid isoleeren, maar slecht warmte isoleeren.

*P. Beyers* heeft voor het beperken van de geluidsverspreiding van een uitlaatpot van een dieselmotor een omkleeding van hout aangebracht en vraagt of de geluidsbeperving in hoofdzaak te

wijzen is aan het hout of aan de luchtlaag tusschen het hout en de uitlaatpot.

*Prof. Dr. C. Zwikker* antwoordt, dat dit zeer van de omstandigheden afhangt en deze vraag zonder meer niet is te beantwoorden.

*S. Tanger* vraagt of de luchtbeweging invloed heeft op het meesleepen van geluid.

*Prof. Dr. C. Zwikker* antwoordt, dat dit niet het geval is, de geluidsdistibutie en voortplanting is technisch gesproken onafhankelijk van luchtbeweging en temperatuursverschillen, althans binnenskamers. Wel kunnen bij het werken met een microfoon zwevingsverschijnselen optreden tengevolge van de verplaatsing van knopen en buiken, welke verplaatsing veroorzaakt kan zijn door temperatuurfluctuaties op plaatsen, die zich niet noodzakelijk dicht bij de microfoon behoeven te bevinden.

*Ir. H. H. W. van Eyk* vraagt welke temperatuur en vochtgehalte ideaal zijn voor een orgel.

*Prof. Dr. C. Zwikker* is van meening, dat men geen ideale temperatuur kan opgeven. Het is alleen van belang, dat de temperatuur constant is. Ook voor de vochtigheidsgraad is constantheit van meer belang dan een bepaalde ideale waarde. Te droge lucht zal echter het hout doen krimpen, vooral als het vroeger gewend is geweest aan hogere vochtigheidsgraden.

*Ir. H. H. W. van Eyk*, is voor een concertzaal een bepaalde vochtigheidsgraad voor te schrijven en is de gewenschte vochtigheidsgraad afhankelijk van de aard van de voortgebrachte muziek?

*Prof. Dr. C. Zwikker*: In het algemeen is in concertzalen de absorptie van de hoge tonen relatief ten opzichte van de absorptie van de lage tonen te groot. Om dit euvel niet nog te versterken bezige men dus vochtige lucht. Voor jazz-muziek klemmt dit nog meer dan voor symphonie-concerten.

*Ir. P. W. Deerns* vroeg: Is er een speciale vochtigheidsgraad aan te geven, die optimaal is voor de acoustische materialen?

*Prof. Dr. C. Zwikker*: Deze zou zeer laag moeten zijn, lager dan in verband met andere eischen mogelijk is. Bovendien zal men in materialen, waarin een temperatuurgradient optreedt, op de koudere plaatsen toch een hogere relatieve luchtvochtigheid overhouden.