Zeitschrift: Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

Herausgeber: Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe

Band: 32 (1954)

Heft: 3

Artikel: Verbesserung der Wirksamkeit von Akustikplatten durch Resonatoren

Autor: Kurtze, G.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-874463

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Siehe Rechtliche Hinweise.

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. Voir Informations légales.

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. See Legal notice.

Download PDF: 14.05.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

N° 3 - BERN, 1. III. 1954 - JAHRGANG - ANNÉE - ANNO XXXII

TECHNISCHE MITTEILUNGEN

BULLETIN TECHNIQUE

PTT

BOLLETTINO TECNICO

Herausgegeben von der Schweizerischen Post-, Telegraphen- und Telephonverwaltung. Publié par l'administration des postes, télégraphes et téléphones suisses. Pubblicato dall'amministrazione delle poste, dei telegrafi e dei telefoni svizzeri

Verbesserung der Wirksamkeit von Akustikplatten durch Resonatoren

G. Kurtze, Bern

534.845

Zusammenfassung. *Akustikplatten werden seit einigen Jahren gern und häufig, aber nicht immer in der richtigen Weise zur Lärmminderung in Räumen bzw. zur Verringerung der Nachhallzeit angewandt. Die vorliegende Arbeit zeigt an einigen Beispielen, wie man durch geeignete Montage der Platten deren akustische Wirksamkeit erhöhen kann. Mit sehr geringem Mehraufwand entstehen aus den primär nur als poröse Absorber wirksamen Akustikplatten Resonanzabsorber in Form von Platten-, Loch- oder Schlitzresonatoren, mit denen insbesondere eine zusätzliche Absorption bei tiefen Frequenzen erzielt werden kann. Die Beispiele werden an Hand von Messungen im Kundtschen Rohr diskutiert. Für die Berechnung der Resonatoren werden Faustformeln angegeben.*

Résumé. *Depuis quelques années, les panneaux absorbants sont fréquemment utilisés, mais pas toujours de la manière la plus rationnelle, pour atténuer le bruit dans les locaux ou pour diminuer le temps de réverbération. A l'aide de quelques exemples, le présent article montre comment on peut augmenter l'efficacité de ces panneaux par un montage approprié. Moyennant un minime supplément de frais, il est possible, en disposant les panneaux de manière à former des résonateurs à trous ou à fente, d'augmenter leur effet primaire d'absorbants par porosité. Les résonateurs ainsi obtenus procurent une absorption supplémentaire particulièrement importante aux basses fréquences. Les exemples sont discutés d'après les résultats de mesures exécutées dans le tube de Kundt. Pour le calcul des résonateurs, on a appliqué des formules empiriques.*

Die Verwendung von porösen Schallschluckstoffen in Form von Akustikplatten zur Verringerung störenden Nachhalls hat sich heute für Zweck- und Wohnräume weitgehend eingebürgert. Allerdings ist die «Akustikplatte» das Ergebnis eines Kompromisses zwischen architektonischen und akustischen Forderungen, wobei in vielen Fällen die Akustik etwas zu kurz gekommen ist, so dass die Platten oft mehr schön als wirksam sind. Selbst unter der Voraussetzung aber, dass die Platte noch eine ausreichende Porosität aufweist und dass vor allem ihre Oberfläche schalldurchlässig ist, kann man von einer direkt auf die Wand gebrachten 2...3 cm starken Platte eine nennenswerte akustische Wirksamkeit erst bei Frequenzen oberhalb 1000 Hz erwarten.

Poröse Stoffe absorbieren Schall in erster Linie durch ihren Strömungswiderstand; sie können also nur wirksam werden, wenn sie an einen Ort gebracht werden, wo eine nennenswerte «Strömung» herrscht. Unmittelbar vor einer harten Wand ist die Normalkomponente der Schallschnelle stets Null. Das erste Schnellemaximum, wo optimale Wirksamkeit zu erwarten ist, befindet sich bei senkrechtem Schalleinfall in ¼ Wellenlänge Abstand von der Wand. Man sollte also, wie das vielfach auch geschieht, die Platten in einem Abstand von 1...3 Plattenstärken vor der Wand anordnen.

Plattenresonatoren

Durch die Montage der Akustikplatten in gewissem Abstand von der Wand wird ausser der erhöhten porösen Schluckung zugleich ein weiterer akustischer Effekt wirksam. Die Platte bildet zusammen mit dem dahinterliegenden Luftkissen ein schwingungsfähiges Gebilde, das durch den auftreffenden Schall angeregt wird und – in erster Linie durch die in der Platte auftretenden Deformationsverluste – Schall absorbiert. Die Eigenfrequenz eines solchen Membran- oder Plattenresonators lässt sich leicht näherungsweise berechnen. In Analogie zu einem elektrischen Schwingungskreis, wobei die Masse M pro Flächeneinheit der Platte der Induktivität und die Federung F des Luftkissens der Kapazität entspricht, gilt:

$$f_o = \frac{1}{2\pi}\sqrt{1/MF}\,. \qquad (1)$$

Die Federung F ist gegeben durch $F = \dfrac{d}{\varrho_o c^2}$

c = Schallgeschwindigkeit in Luft
d = Tiefe des Luftkissens
ϱ_o = Dichte der Luft

Beispiel: Man erhält für eine Platte der Flächenmasse 1 g/cm² in 4 cm Wandabstand: f_o = 100 Hz.

Daraus zeigt sich eine wichtige Eigenschaft der Resonatoren, nämlich die, dass sie bei geringer Bautiefe bereits relativ tiefe Frequenzen absorbieren können. Um den gleichen Effekt mit porösen Stoffen zu erzielen, würde man eine Schichtdicke von annähernd einem Meter benötigen. Dieser Vorteil ist freilich durch den Nachteil erkauft, dass sich die Absorption auf ein ziemlich schmales Frequenzband beschränkt. Die obige Berechnung gilt, solange die Dimensionen des Luftkissens klein zur Wellenlänge bei der Resonanzfrequenz sind. Bei grösseren Flächen ist eine entsprechende Unterteilung des Luftraumes unbedingt erforderlich. Die Eigenfrequenz ergibt sich aus der Rechnung insofern nur näherungsweise, als die Eigensteifigkeit der Platte unberücksichtigt geblieben ist, die eine Verkleinerung der Federung F und damit eine Erhöhung der Eigenfrequenz bewirkt. Die Grösse des Fehlers richtet sich natürlich nach der Einspannweite, also nach der Grösse der Platten. Bei der handelsüblichen 40×40 cm² messenden Platte kann man im allgemeinen mit einer Erhöhung der Eigenfrequenz von 30 bis 40 % rechnen. Die genaue Berechnung ist, da neben der Eigensteifigkeit der Platte auch die Art der Befestigung eine Rolle spielt, umständlich und auch meist nicht erforderlich. Es ist vorteilhaft, die Platten so lose wie möglich zu befestigen. Je starrer die Aufhängung ist, um so kleiner wird meist die Absorption.

Durch diese Plattenabsorber erhält man somit ohne jeden zusätzlichen Aufwand eine meist höchst willkommene zusätzliche Absorption bei tiefen Frequenzen. Der maximale Schluckgrad wird dabei in der Regel von der Grössenordnung 50 % sein. Um einen Schluckgrad von annähernd 100 % zu erreichen, muss nicht nur der Imaginärteil der Eingangsimpedanz des Absorbers verschwinden (Resonanz), sondern es muss auch noch ihr Realteil dem Wellenwiderstand $\varrho_0 c$ der Luft ungefähr gleich sein. Das lässt sich durch entsprechende Dämpfung des Resonators erreichen, jedoch ist es schwierig, einen Plattenresonator in definierter Weise zu dämpfen. Ein Einbringen poröser Schluckstoffe in den als Federung wirkenden Luftraum hinter den Platten ist praktisch wirkungslos. Innerhalb dieses Luftraumes, dessen Dimensionen klein zur Wellenlänge sein müssen, tritt keine nennenswerte Schallschnelle auf. Ein Kontakt solcher Materialien mit der schwingenden Platte selbst würde zu unkontrollierbaren Dämpfungen führen und muss daher vermieden werden. Die Biegewellendämpfung in der Platte ist vorgegeben, wenn man nicht speziell angefertigte Platten verwenden will, und die Art der Aufhängung ist stets undefiniert. Von einer Kombination Akustikplatte + Plattenresonator sollte man also nicht mehr verlangen, als einen Schluckgrad von 30...40 % von etwa 150 Hz an aufwärts. Für hohe Frequenzen (> 1000 Hz) ist das in der Regel auch ausreichend, da die Absorption in diesem Bereich durch Einrichtungsgegenstände, anwesende Personen usw. noch wesentlich erhöht wird. Dagegen hätte man bei mittleren und tiefen Frequenzen manchmal gern eine grössere Absorption. Für diesen Zweck sind dann Helmholtz-Resonatoren geeigneter, die sich ebenfalls ohne grossen Aufwand mit einer Akustikplatten-Auskleidung verbinden lassen.

Helmholtz-Resonatoren

Der Prototyp eines Helmholtz-Resonators ist bekanntlich eine Flasche. Die Luft im Flaschenhals wirkt als schwingende Masse, die Luft im Bauch der Flasche als Federung und die Eigenfrequenz lässt sich wiederum nach Formel (1) berechnen. Nun ist natürlich die schwingende Luftmenge nicht genau auf den Inhalt des Halses beschränkt, vielmehr schwingt auch die angrenzende Luft zum Teil noch

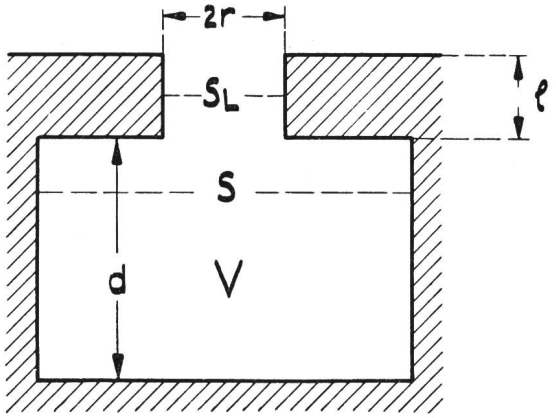

Fig. 1. Helmholtz-Resonator

mit. Das ist beim Plattenresonator in gleicher Weise der Fall, nur dass dort die Masse der mitschwingenden Luft gegenüber der Plattenmasse nicht ins Gewicht fällt. Hier trägt man dieser mitschwingenden Mediummasse durch eine Mündungskorrektur Rechnung, indem man bei der Berechnung der Masse mit einer vergrösserten «wirksamen» Halslänge l' rechnet. Nach *Rayleigh* gilt für die Masse pro Flächeneinheit (vgl. Fig. 1):

$$M = \varrho_0 l' \,, \quad l' = l + \frac{\pi}{2} r$$

bei kreisförmigen Öffnungen mit dem Radius r.

Ferner ist zu berücksichtigen, dass bei dem in Figur 1 dargestellten Lochresonator, im Gegensatz zum Plattenresonator, der Querschnitt der schwingenden Masse kleiner ist als der Querschnitt des Luftkissens, was zu einer «weicheren», das heisst grösseren Federung führt. Die Federung F ist demnach durch den Flächenfaktor $\varepsilon = \frac{S_1}{S} = \frac{\text{Lochfläche}}{\text{Gesamtfläche}}$ zu dividieren. $F = \frac{d}{\varepsilon \varrho_0 c^2}$.

Für die Eigenfrequenz gilt dann

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{\varepsilon}{d\, l'}} = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S_1}{l' V}} \qquad (2)$$

wobei V das Federungsvolumen ist.

Diese Formel gilt unter der Voraussetzung, dass das schwingende Volumen klein gegen das Federungsvolumen V ist, was ja in der Praxis immer erfüllt ist. Ferner muss der Lochradius gross sein gegen die Dicke der akustischen Grenzschicht, die gegeben ist durch die Wellenlänge der Viskositätswelle in Luft:

$$\lambda_v = 1{,}4 \cdot 1/\sqrt{f_0}\ [\text{cm}].$$

Diese Bedingung ist jedoch nicht kritisch, da die zu erwartenden Abweichungen für die wirksame Masse nur maximal 30 % betragen und da die Öffnungen schon aus praktischen Gründen meist grösser gewählt werden. Die Formel (2) gilt näherungsweise auch für Resonatoren mit einer Vielzahl von Löchern, solange der als Federung dienende Luftraum in Parzellen unterteilt ist, die klein zur Wellenlänge bei der Resonanzfrequenz sind. Eine strenge Rechnung müsste hier die gegenseitige Beeinflussung der einzelnen Löcher berücksichtigen, die sich auf die Grösse der mitschwingenden Mediummasse auswirkt. Für die Praxis ist dieser Fehler jedoch unbedeutend.

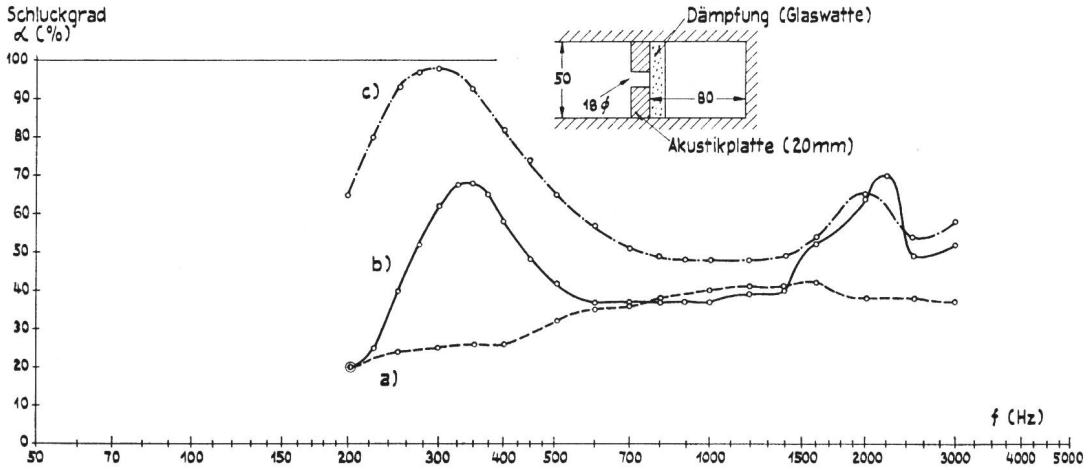

Fig. 2.
Schluckgrad einer 2 cm starken Akustikplatte vor 8 cm Luftpolster
a) ungelocht
b) gelocht, ungedämpft
c) gelocht und gedämpft
Gemessen bei senkrechtem Schalleinfall im Kundtschen Rohr

Als Beispiel sei eine 2 cm starke handelsübliche Akustikplatte angenommen. Diese Platte weist, in 8 cm Wandabstand montiert, bei senkrechtem Schalleinfall (Rohrmessung) die in Figur 2a wiedergegebene Absorptionskurve auf. Der Absorptionskoeffizient erreicht erst bei 1000 Hz die 40 %-Grenze. Verlangt wird grössere Absorption bei tiefen Frequenzen. Wird diese Platte nun mit Löchern von 1,8 cm ∅ in einem Abstand von 5 cm voneinander versehen, also mit 400 Löchern pro Quadratmeter, so ergibt sich für den entstehenden Helmholtz-Resonator:

$S_1 = 2{,}55\ \text{cm}^2$
$l' = 2{,}0 + 1{,}4 = 3{,}4\ \text{cm}$
$V = 200\ \text{cm}^3$ $\qquad f_0 = 330\ \text{Hz}$
$c = 3{,}4 \cdot 10^4\ \text{cm/sec}$

Die Messung (Figur 2b) ergibt ein Absorptionsmaximum von annähernd 70 % bei 340 Hz. Zusätzlich tritt eine weitere Absorptionsspitze bei 2000 Hz auf, die sich aus obiger Rechnung nicht ergibt. Bei dieser Frequenz sind jedoch die Voraussetzungen nicht mehr erfüllt. Die Resonatortiefe ist nicht mehr klein gegen die Wellenlänge (d = $\lambda/2$), und der Resonator schwingt in einer Art «Oberwelle».

Um maximale Absorption zu erzielen, muss der Resonator nun noch an den Wellenwiderstand der Luft angepasst werden. Die dazu erforderliche Dämpfung ist berechenbar, doch benötigt man für die Berechnung Stoffkonstanten, die wieder erst gemessen werden müssen, so dass die direkte Messung im Rohr für die Praxis die einfachste Lösung ist. Im Gegensatz zum Plattenresonator ist der Helmholtz-Resonator leicht in definierter Weise zu dämpfen, da wir hier in den Löchern einen Ort maximaler Schnelle haben, wo poröse Materialien optimal wirksam werden können. Figur 2c zeigt die Absorptionskurve, die sich ergibt, wenn man hinter die Löcher des erwähnten Resonators eine 2 cm starke Platte aus Glaswatte (ϱ = 0,15 g/cm³) legt. Das Maximum liegt praktisch bei 100 %, die Resonanzkurve ist breiter geworden und die Absorption ist im ganzen Bereich wesentlich höher als im Fall a). Zum Teil ist letzteres allerdings auf die grössere Schichtdicke zurückzuführen. Die Resonanzfrequenz ist gegenüber b) etwas nach tiefen Frequenzen hin verschoben.

Schlitzresonatoren

Lochresonatoren sind als Innenauskleidung von Räumen nicht immer beliebt, zumal die Löcher natürlich höchstens durch ein leichtes Gewebe, nicht aber durch Papier oder ähnliche luftundurchlässige Beläge verdeckt werden dürfen. In vielen Fällen wird man daher Schlitzresonatoren verwenden, die konstruktiv vielleicht noch einfacher sind. Die Berechnung von Schlitzresonatoren ist allerdings etwas komplizierter als die von Lochresonatoren, doch kann man für die Praxis ganz gut mit einfachen Faustformeln auskommen. Es ist ja nur in den seltensten Fällen erforderlich, die Resonanzfrequenz genau zu berechnen*), und die günstigste Dämpfung lässt sich empirisch sicher schneller finden als durch Rechnung.

*) Für die genaue Berechnung siehe *Smits* und *Kosten*, Acustica **1**, (1951), 114.

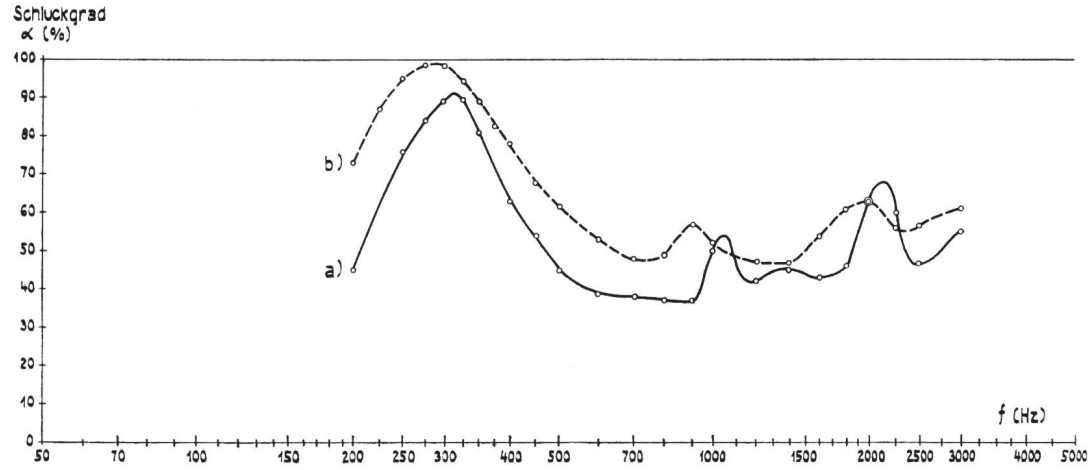

Fig. 3.
2 cm starke Akustikplatte mit 6 mm breiten Schlitzen in 55 mm Abstand, vor einem 6 cm tiefen Luftpolster
a) ohne Dämpfung
b) gedämpft durch 2 cm Glaswatte hinter den Schlitzen

Für die Resonanzfrequenz eines Schlitzresonators mit einem einzigen Schlitz von unendlicher Länge gilt

$$f_o = \frac{c}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{S}{l' V}}, \qquad (3)$$

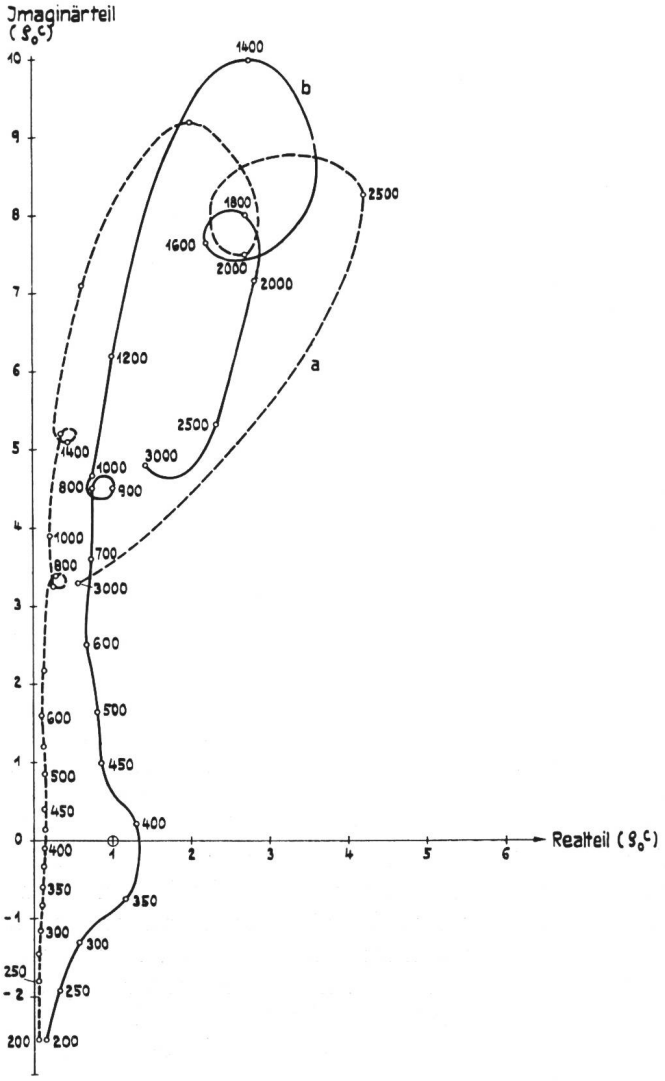

Fig. 4. Ortskurve für den Schlitzresonator Figur 3
a) ohne Dämpfung
b) mit Dämpfung durch 2 cm Glaswatte

wobei S die Schlitzfläche (pro Längeneinheit), V das Federungsvolumen (pro Längeneinheit) und l′ die wirksame Schlitztiefe ist, die nach *Ingerslev* und *Nielsen* **) gegeben ist durch

$$l' = l + 0{,}5\,b + 2/\pi \cdot \ln \frac{\lambda_r}{\pi b}$$

l = Schlitztiefe
b = Schlitzbreite (klein gegen λ_r)
λ_r = Wellenlänge in Luft bei der Resonanzfrequenz

Als Beispiel sei die 2 cm starke Akustikplatte vor 6 cm Luftraum angenommen, versehen mit Schlitzen von 6 mm Breite mit einem Mittenabstand von 5,5 cm. Die Rechnung liefert für diesen Fall eine Resonanzfrequenz von 350 Hz. Das Ergebnis der Rohrmessung zeigt die Figur 3a. Die gemessene Resonanzfrequenz ist 400 Hz, mit einem Schluckgrad von 80 %. Wie die zugehörige Ortskurve (Figur 4a) zeigt, ist der Realteil der Impedanz noch zu klein, denn die Kurve schneidet die reelle Achse bei 0,15 $\varrho_o c$. Dämpfung des Resonators mit Glaswatte ergibt die Kurve Figur 3b, wobei aus der entsprechenden Ortskurve (Figur 4b) zu ersehen ist, dass in diesem Fall der Optimalwert ($Z = \varrho_o c$ im Resonanzfall) bereits überschritten ist. Nun kommt es im allgemeinen weniger darauf an, eine Absorption von genau 100 % zu erzielen, als vielmehr, hohe Absorption in einem möglichst breiten Frequenzbereich zu haben. Da die Resonanzkurven mit zunehmender Dämpfung breiter werden, ist es deshalb zweckmässig, die Resonatoren stärker zu dämpfen, als zur Erzielung der Anpassung erforderlich, die Anpassungswerte aber auf keinen Fall zu unterschreiten. Die in den Ortskurven bei höheren Frequenzen auftretenden Schleifen sind wahrscheinlich auf Plattenresonanzen zurückzuführen. Im übrigen zeigt die Absorptionskurve des Schlitzresonators – wie nicht anders zu erwarten – praktisch die gleichen Werte, wie die des Lochresonators.

Wie gut die Wirkung von Akustikplatten sein kann, wenn diese wirklich in erster Linie nach akustischen Gesichtspunkten hergestellt werden, sei am Beispiel einer Glasfaserplatte demonstriert (Figur 5).

**) *Ingerslev, F.* und *Nielsen, A. K.*, Ingen Vidensk. Skr. 1944, Nr. 5, S. 31.

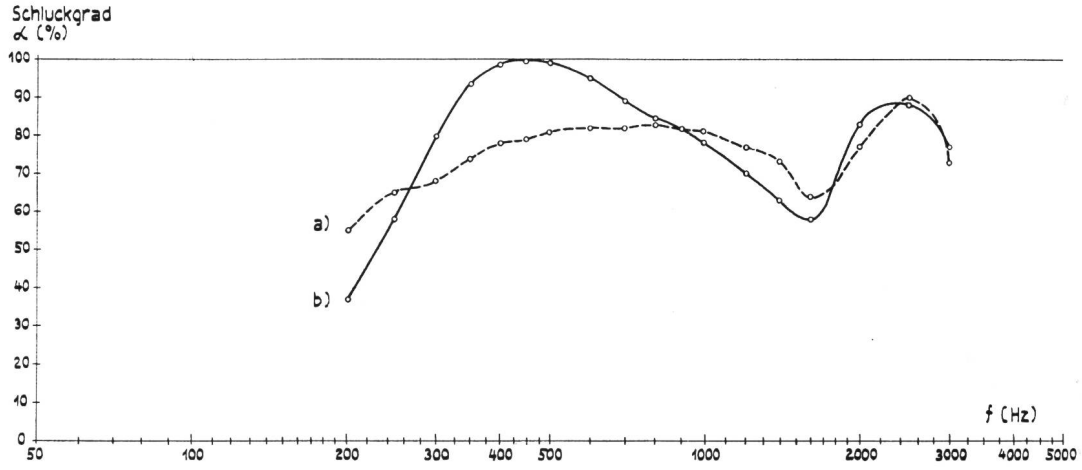

Fig. 5.
Schluckgrad einer 2 cm starken Glasfaserplatte der Dichte 0.15 g/cm³ in 8 cm Wandabstand
a) ohne Schlitze
b) mit 5 mm breiten Schlitzen in 55 mm Abstand

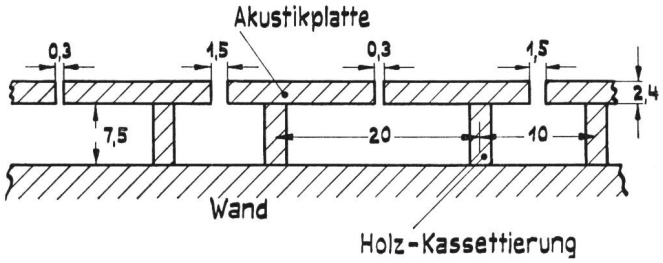

Fig. 6. Absorptionsanordnung, bestehend aus zwei Typen von Schlitzresonatoren (Masse in cm)

Es handelt sich dabei um eine 2 cm starke Glasfaserplatte mit einem dünnen porösen Gipsüberzug auf der Vorderseite. Die Platte wurde in 8 cm Abstand von der Wand montiert und zeigt bereits ohne Schlitze (Figur 5a) eine erstaunlich hohe Absorption. Mit 5 mm breiten Schlitzen in 55 mm Mittenabstand ergibt sich die in Figur 5b wiedergegebene Absorptionskurve. Die gemessene Resonanzfrequenz ist 450 Hz, während die Rechnung für diesen Fall etwa 300 Hz ergibt. Der Unterschied ist dadurch zu

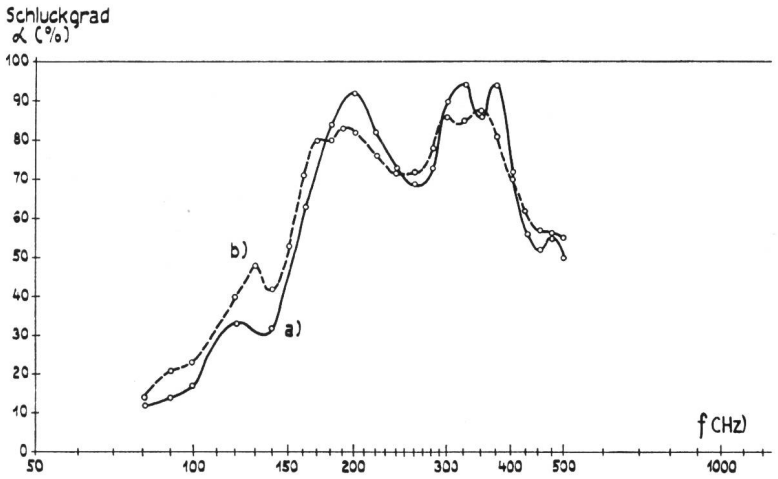

Fig. 7. Absorptionskurve der in Fig. 6 dargestellten Schlitzresonatoranordnung (Rohrmessung)
a) ungedämpft
b) Schlitze durch eine 10 mm starke Glaswatteschicht schwach gedämpft

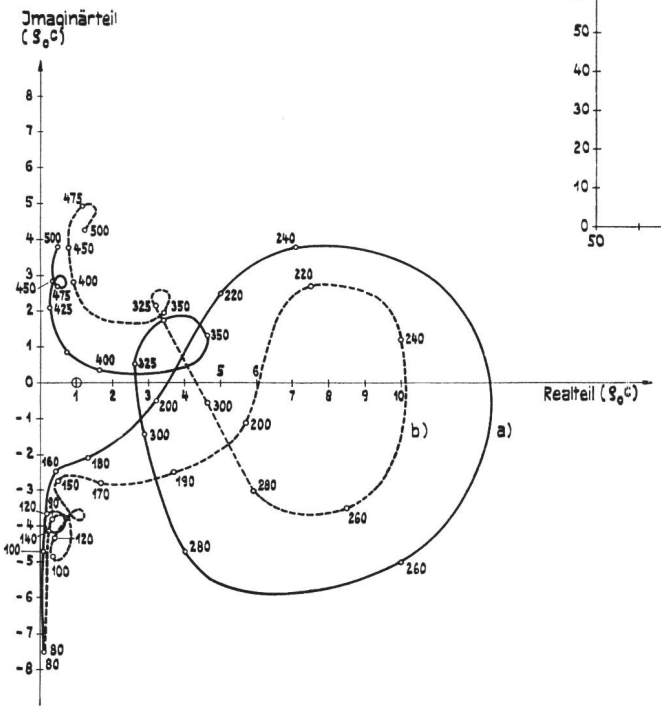

Fig. 8. Ortskurven der in Fig. 6 dargestellten Schlitzresonatoranordnung
a) ungedämpft
b) durch 10 mm Glaswatte schwach gedämpft

erklären, dass es sich bei dieser weichen und stark porösen Platte (Porosität etwa 95 %) nicht mehr um sauber definierte Schlitze handelt, so dass sich eine vergrösserte «wirksame» Schlitzbreite ergibt. Leider sind Platten dieser Art für die Praxis meist nicht zu gebrauchen, da sie nur eine sehr geringe mechanische Festigkeit aufweisen.

Kombination von Schlitzresonatoren mit verschiedenen Eigenfrequenzen

Hohe Absorption in einem grösseren Frequenzbereich lässt sich erzielen, wenn man nebeneinander Resonatoren mit verschiedenen Eigenfrequenzen ver-

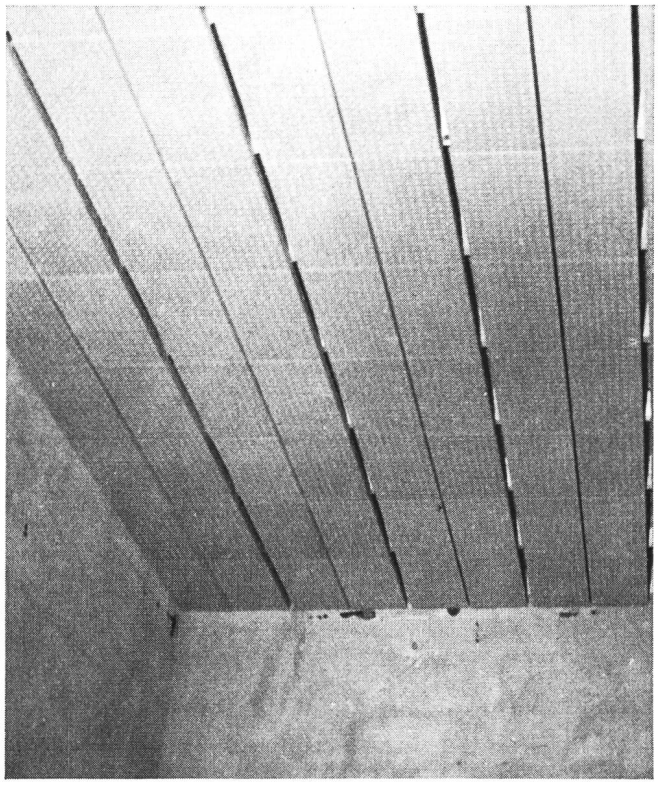

Fig. 9. Deckenauskleidung eines Studios bei Radio Genf, ausgeführt in der in Fig. 6 skizzierten Konstruktion

wendet. Figur 6 zeigt eine aus zwei Schlitzresonatorentypen bestehende Anordnung im Querschnitt. Verwendet wurden Akustikplatten von 24 mm Stärke. Um eine hohe Absorption zu erreichen, muss hier natürlich jeder Resonator auf die ganze, von beiden Resonatoren eingenommene Fläche angepasst werden. Zu diesem Zweck wurde eine aus beiden Typen zusammengesetzte Baueinheit im Rohr gemessen. Figur 7 zeigt die Resultate mit und ohne zusätzliche Dämpfung. Die Ortskurven (Figur 8), die nun natürlich etwas unübersichtlicher werden, zeigen deutlich, dass auch bei den ungedämpften Resonatoren der Resonanzwiderstand noch $> \varrho_0 c$ ist. Eine noch geringere Dämpfung, die zum Beispiel durch Glättung der Schlitzkanten erreicht werden kann, würde zwar Maximalwerte von 100 % ergeben, doch würden dann die Flanken der Resonanzkurven zu steil und die Absorption zwischen den beiden Resonanzfrequenzen zu klein werden. Darüber hinaus besteht die Gefahr, dass bei zu schwacher Dämpfung die Ausschwingzeiten der Resonatoren zu lang werden, so dass sie nachhallverlängernd wirken. Es ist deshalb auch von Kombinationen von mehr als zwei verschiedenen Resonatoren keine sehr hohe Absorption mehr zu erwarten, da die Anpassung des einzelnen Resonators an eine noch grössere Fläche eine noch geringere Dämpfung erfordert. Die vorliegende Kombination von zwei Resonatoren zeigt jedoch wesentlich günstigere Eigenschaften als ein einzelner Resonator, wie man durch Vergleich der Figuren 3 und 7 leicht feststellen kann.

In der gleichen Weise lässt sich eine solche Kombination natürlich auch mit Lochresonatoren ausführen, jedoch ist den Schlitzen aus architektonischen Gründen wahrscheinlich der Vorzug zu geben. Es versteht sich, dass die Federungs-Lufträume der beiden verschiedenen Resonatoren voneinander getrennt sein müssen. Ebenso ist eine Kassettierung der einzelnen Resonatoren quer zu den Schlitzen erforderlich.

Die in Figur 6 skizzierte Resonatoranordnung wurde mit gutem Erfolg zur Auskleidung der Decke

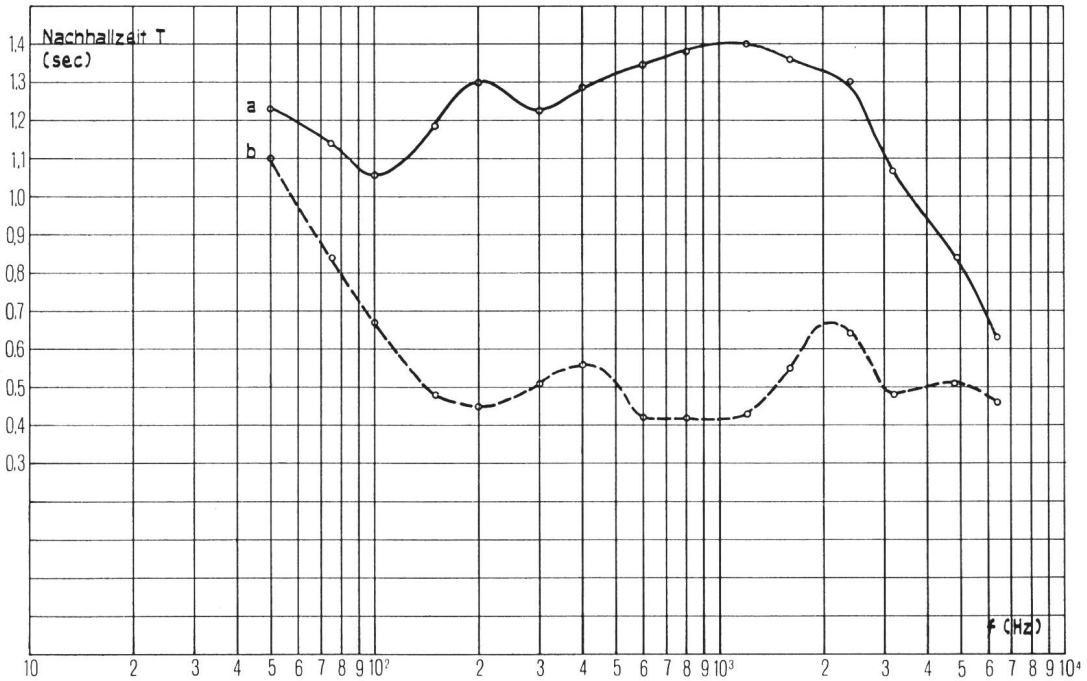

Fig. 10.
Nachhallkurve des Studios Fig. 9, a) vor, b) nach der Montage der Deckenresonatoren

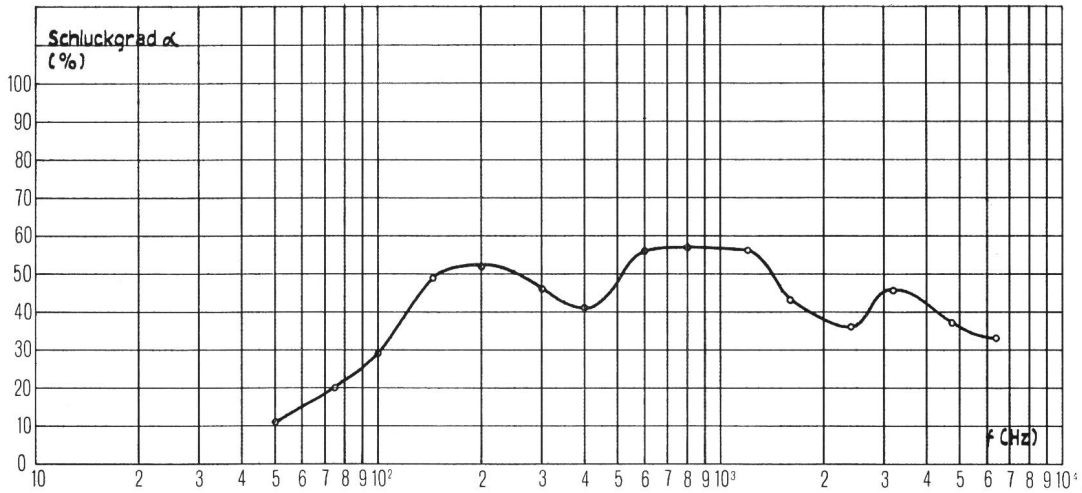

Fig. 11.
Schluckgrad der Studiodecke Fig. 9, berechnet mit der *Millington*formel aus den Nachhallkurven Fig. 10

eines kleinen Rundfunkstudios (35 m³) verwendet. Figur 9 zeigt die praktische Ausführung, und Figur 10 gibt die Nachhallkurve des Studios vor und nach der Auskleidung der Decke wieder. Während die verwendeten, relativ harten Akustikplatten als poröse Absorber erst oberhalb 1000 Hz wirksam werden, zeigt sich hier bereits ab 100 Hz eine starke Verkürzung der Nachhallzeit. Der aus den beiden Nachhallkurven mit der *Millington*formel berechnete Absorptionskoeffizient (Figur 11) ist ein Mass für die Wirksamkeit der Resonatoren in diesem Raum, kann jedoch mit dem Schluckgrad für statistischen Schalleinfall nicht ohne weiteres identifiziert werden, da der Raum mit 35 m³ für Messungen bei tiefen Frequenzen zu klein ist.

Adresse des Verfassers: Dr. *Günther Kurtze*, III. Physikalisches Institut der Universität, Göttingen, Bürgerstrasse 42.

Zwei neue Geräte für statistische Messungen

531.721
621.317.75

Von *G. Fontanellaz* und *E. Wey*, Bern

Zusammenfassung: *Die Verfasser beschreiben zwei Geräte für die statistische Registrierung und Auswertungen von schwankenden Messwerten. Das eine, der Integrator, gestattet die Häufigkeitsverteilung von Spannungsschwankungen direkt aufzunehmen. Das andere, das Kurvenabtastgerät, dient der Auswertung von Registrierstreifen und liefert die Häufigkeitsverteilung der aufgezeichneten Kurve.*

Einführung

In der experimentellen Forschung beobachtet man oft ganz unregelmässige Schwankungen und möchte deren Merkmale bestimmen. Nach der Statistik können solche Schwankungen durch folgende drei Grössen erfasst werden: Durchschnitt (Medianwert), Streuung (mittlere quadratische Abweichung) und mittlere Häufigkeit der Schwankungen. Beobachtet man während längerer Zeit eine grössere Zahl von Messwerten und zählt zum Beispiel, wie oft einzelne Werte vorkommen, so ergibt sich die bekannte Häufigkeitsverteilung, die es erlaubt, die drei charakteristischen Werte zu ermitteln. Im allgemeinen lässt sich mit einer entsprechenden Abszissentransformation immer eine Normalverteilung nach Gauß erreichen. Übersichtlich wird die Auswertung, wenn die gefundene Verteilung auf einem Papier mit logarithmischer Ordinate aufgezeichnet wird. Auf einem solchen Papier erscheint die Gaußsche Normalverteilung als hyperbelähnliche Kurve mit gerade auslaufenden

Deux nouveaux appareils pour mesures statistiques

Par *G. Fontanellaz* et *E. Wey*, Berne

Résumé. *Les auteurs décrivent deux appareils construits pour l'enregistrement statistique et l'évaluation des valeurs de mesures variables. Le premier appareil, l'intégrateur, permet de relever directement la répartition de la périodicité des variations de la tension. Le second, l'analyseur de courbes, sert à évaluer les bandes enregistrées et fournit la répartition de la périodicité de la courbe relevée.*

Introduction

Au cours de recherches expérimentales, on constate souvent des variations absolument irrégulières dont on voudrait préciser les caractéristiques essentielles. D'après la statistique, ces variations peuvent être réparties en trois grandeurs: moyenne (valeur médiane), dispersion (déviation quadratique moyenne) et périodicité moyenne des variations. Lorsqu'on observe pendant assez longtemps un grand nombre de valeurs de mesures et qu'on compte, par exemple, la fréquence à laquelle reviennent certaines valeurs, on obtient la répartition de la périodicité connue qui permet de calculer les trois valeurs caractéristiques. On arrive généralement à avoir toujours une répartition normale d'après Gauss en transformant en conséquence les abscisses. L'évaluation donne une représentation très claire lorsque la répartition trouvée est reproduite sur une feuille de papier à ordonnées logarithmiques. La répartition normale selon Gauss apparaît sur cette feuille de papier sous