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: 7

Artikel: Vergleichende Messungen der Schallabsorption von Schluckstoffen un Rohr und Hallraum

Autor: Kurtze, G. / Lauber, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-874480

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 06.12.2025

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

Nº 7 - BERN, 1. VII. 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

Vergleichende Messungen der Schallabsorption von Schluckstoffen in Rohr und Hallraum

Von *G. Kurtze* und *A. Lauber*, Bern

534.845.1

Zusammenfassung. *In der vorliegenden Arbeit wird über eine Anzahl akustischer Absorptionsmessungen in Rohr und Hallraum berichtet, ausgeführt an einigen häufig angewendeten porösen Absorbern. Zweck der Arbeit war, festzustellen, inwieweit das Cosinusgesetz für die Winkelabhängigkeit des Schluckgrades bei diesen Stoffen Gültigkeit hat, inwieweit man also aus den mit geringem Aufwand ausführbaren Rohrmessungen auf das Verhalten der Absorber bei statistischem Schalleinfall schliessen kann. Es zeigt sich eine grosse Diskrepanz zwischen den im Hallraum gemessenen und den aus Rohrmessungen berechneten Schluckgraden für statistischen Schalleinfall, die wahrscheinlich auf das Auftreten wandparalleler Schnellekomponenten zurückzuführen ist, die bei der Rechnung nicht berücksichtigt werden.*

Résumé. *L'auteur décrit une série de mesures de l'absorption acoustique dans un tube et dans une chambre réverbérante, exécutées sur quelques absorbants poreux fréquemment utilisés. Il s'agissait de déterminer jusqu'à quel point la loi du cosinus de l'angle d'incidence d'absorption peut s'appliquer à l'absorption acoustique de ces matières, jusqu'à quel point donc on peut considérer comme valables les résultats des mesures, réalisables à peu de frais, effectuées en tube sur le comportement des absorbants en cas d'incidence statistique du son. On a constaté une grande disparité entre les degrés d'absorption en cas d'incidence statistique du son, selon qu'ils sont mesurés dans la chambre réverbérante ou en tube. Elle est due probablement à la présence de composantes de la vitesse parallèle à la paroi et dont le calcul n'a pas tenu compte.*

Zur Messung des Absorptionskoeffizienten von Wänden bzw. von Materialien, die aus akustischen Gründen zur Auskleidung von Räumen benutzt werden, sind heute zwei Verfahren allgemein üblich, die Hallraummethode und die Messung der Eingangsimpedanzen im *Kundt*schen Rohr. Durch Hallraummessungen erhält man den meist allein interessierenden Absorptionskoeffizienten bei allseitigem Schalleinfall. Eine verlässliche Hallraummessung erfordert jedoch, ausser einem grossen und geeignet dimensionierten Hallraum, eine grosse Menge des zu prüfenden Materials und wird demzufolge kostspielig und zeitraubend, besonders dann, wenn nicht nur vorhandenes Material gemessen, sondern ein gegebenen Forderungen genügendes Material entwickelt werden soll. Auf der anderen Seite ist die Rohrmessung leicht und schnell auszuführen, liefert genaue und sicher reproduzierbare Resultate, ergibt dafür aber nur den Absorptionskoeffizienten für senkrechten Schalleinfall.

Unter der Annahme, dass das Verhältnis des Schalldruckes zur Normalkomponente der Schnelle an der Schluckstoffoberfläche vom Einfallswinkel unabhängig sei, lässt sich aus den im Rohr gemessenen Impedanzen für senkrechte Inzidenz der Schluckgrad für allseitigen Schalleinfall berechnen bzw. aus einem von *Morse* und *Bolt*[1]) gegebenen Diagramm ablesen. Wenn die erwähnte Voraussetzung für in der Praxis verwendete Schluckstoffe auch nur annähernd gilt, könnte auf diese Weise viel Zeit und Arbeit gespart werden. Inwieweit das der Fall ist, zeigt aber am besten ein Vergleich der mit den beiden Verfahren ermittelten Messwerte. Einige typische Beispiele von porösen Schluckstoffen wurden zu diesem Zwecke sowohl im Hallraum als auch im Rohr gemessen, wobei streng darauf geachtet wurde, dass genau gleiche Bedingungen vorlagen.

Beschreibung der Messeinrichtungen

Der benutzte Hallraum ist mit 132 m³ Volumen hinreichend gross. Seine Masse 5,74 × 5,32 × 4,33 m³ sind nicht extrem günstig, aber auch nicht als schlecht anzusprechen. Die Proben von insgesamt 17 m² Fläche wurden in drei gleichen Stücken auf zwei senkrecht zueinander stehenden Wänden und dem Fussboden jeweils in der Mitte montiert. Bei den Messungen befand sich der Lautsprecher fest in einer Ecke, das

[1]) *P. M. Morse, R. H. Bolt.* So und waves in rooms. Rev. Mod. Physics **16** (1944), 69...150.

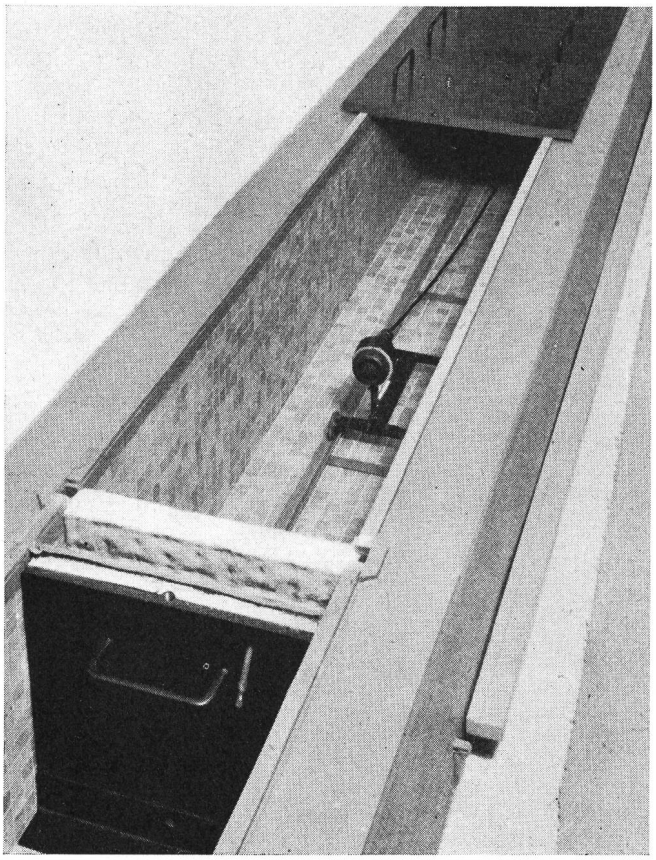

Fig. 1. *Kundt*sches Rohr zur Messung der akustischen Eingangsimpedanz bei senkrechtem Schalleinfall im Frequenzbereich 30 Hz bis 500 Hz

Mikrophon jeweils nacheinander in sechs reproduzierbaren Positionen, die statistisch über die untere Raumhälfte verteilt waren. Angeregt wurde der Raum mit Wobbeltönen mit einer Wobbelfrequenz von etwa 10 Hz und einem Frequenzhub von 25 Hz. Aus den je 6 × 3 gemessenen Nachhallzeiten wurde das arithmetische Mittel gebildet. Die Auswertung geschah unter Verwendung der *Millington*schen Nachhallformel.

Für die Rohrmessungen wurden zwei im Frequenzbereich aneinander anschliessende *Kundt*sche Rohre benutzt (s. Figuren 1 und 2). Das grosse Rohr (40...500 Hz) hat einen Querschnitt von 30 × 30 cm², ist aus ¼ Stein starken Ziegelwänden gemauert, mit Glasmosaik ausgekleidet und mit 2 cm starken Stahlplatten abgedeckt. Das Messmikrophon ist ein dynamisches Tauchspulmikrophon, das auf einem kleinen Wagen im Rohr bewegt werden kann. Als harter Abschluss dient eine 4 cm starke Stahlplatte, die mit einem aufblasbaren Gummischlauch gegen das Rohr abgedichtet ist. – Das kleine Rohr (400...3000 Hz) ist ein Messingrohr von 5,5 × 5,5 cm² lichter Weite und 0,5 cm Wandstärke. Die Abtastung der stehenden Wellen erfolgt hier mit einem ausserhalb des Rohres befindlichen Sondenmikrophon, dessen Sonde durch den am Lautsprecherende des Rohres befindlichen Absorptionskeil hindurch in das Rohr hineinragt. Als harter Abschluss dient ein 2 cm starker, mit Filz abgedichteter Messingkolben, dessen Stellung von aussen messbar verändert werden kann. Beide Rohre werden durch einen seitlich angebrachten Lautsprecher angeregt, der zur Vermeidung von Körperschallübertragung mit Gummi gegen das Rohr isoliert ist. Diese unsymmetrische Lautsprecherankopplung kann sich nicht nachteilig auswirken, da ja unterhalb der durch den Rohrquerschnitt gegebenen Grenzfrequenz im Rohr nur ebene Wellen möglich sind. Oberhalb dieser Grenze sind Messungen auch mit symmetrischer Anregung nicht möglich.

Um in Rohr und Hallraum möglichst gleiche Verhältnisse zu haben, wurden die Hohlräume hinter dem Schluckstoff – soweit vorhanden – mit einer dem Querschnitt des grossen Rohres (30 × 30 cm²) entsprechenden Kassettierung versehen, die aus 2 cm starken Holzlatten gefertigt wurde.

Messergebnisse

I. 23 mm starke Glasfaserplatte vor 43 mm Luftpolster

Der im Rohr gemessene Schluckgrad für senkrechte Inzidenz ist in Figur 3a wiedergegeben. Die Kurve zeigt ein ausgeprägtes Maximum bei 1200 Hz. Glaswatte wirkt absorbierend auf Grund des Strömungswiderstandes, den sie der Teilchenbewegung entgegensetzt. Optimale Wirksamkeit ist also bei hinreichend kleinem Reflexionsfaktor der Oberfläche (grosse Porosität) zu erwarten, wenn sich das Material an einem Ort maximaler Schnelle befindet, bei senkrechter Inzidenz also in einem Abstand von $\lambda/4$, $3\,\lambda/4$, ... vor der Wand. Bei einem Mittenabstand von 6 cm im vorliegenden Falle ist also ein Absorptionsmaximum bei 1400 Hz zu erwarten und ein Minimum ($\lambda/2$) bei 2800 Hz in guter Übereinstimmung mit der Messung.

Der Realteil der Eingangsimpedanz liegt im Absorptionsmaximum mit $0{,}3\ \varrho_0\ c$ noch wesentlich unter dem Anpassungswert. Da bei schrägem Schalleinfall unter dem Winkel φ die Anpassungsbedingung

$$|W| = \varrho_0\, c/\cos\varphi$$

lautet, ist zu erwarten, dass die berechnete Kurve für allseitigen Schalleinfall eine wesentlich geringere Absorption ergibt.

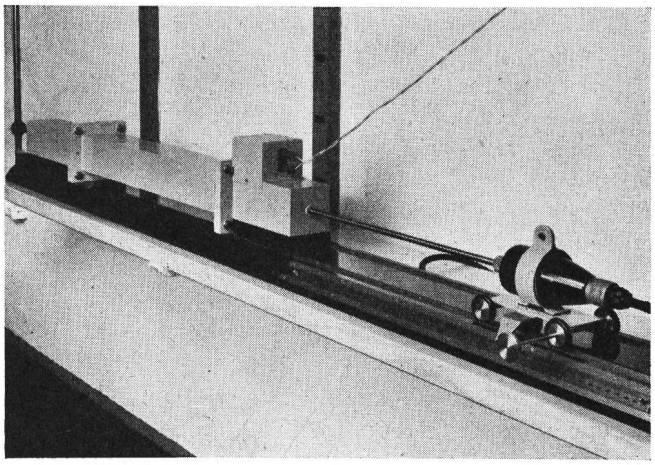

Fig. 2. *Kundt*sches Rohr für den Frequenzbereich 400 bis 3000 Hz

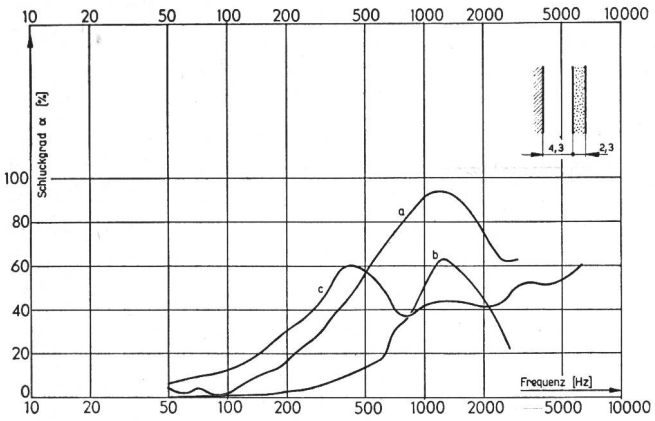

Fig. 3. Schluckgrad einer 23 mm starken Glasfaserplatte (Vetroflex) vor einem 43 mm tiefen Luftpolster in Abhängigkeit von der Frequenz
a) für senkrechten Schalleinfall (Rohr)
b) für statistischen Schalleinfall, berechnet aus a)
c) für statistischen Schalleinfall (Hallraummessung)

Die ebenfalls in Figur 3 wiedergegebene Frequenzkurve des aus der Hallraummessung ermittelten Absorptionskoeffizienten für statistischen Schalleinfall zeigt keinerlei Ähnlichkeit mit der aus der Rohrmessung berechneten Kurve für α_{stat}. Zunächst ist das Maximum bei 1200 Hz hier nicht vorhanden. Das ist allerdings zu erwarten, denn die Bedingung für die maximale Absorption bei dieser Frequenz war, dass der Abstand der Platte von der Wand mit dem Abstand des ersten Schnellemaximums übereinstimmte. Letzterer ist aber vom Einfallswinkel abhängig, so dass das Maximum bei der Hallraummessung «verschmiert» werden muss, da die einzelnen «Kassetten» bei diesen Frequenzen nicht mehr klein gegen die Wellenlänge sind.

Die Kurve weist ferner ein in der berechneten Kurve nicht vorhandenes Maximum bei 400 Hz auf. Diese Frequenz stimmt numerisch überein mit der Frequenz der tiefsten (zweidimensionalen) Eigenschwingung der 30 × 30 cm² messenden Hohlräume der Kassettierung. Mit einer senkrecht einfallenden ebenen Welle kann diese Eigenschwingung nicht angeregt werden, und sie tritt daher bei der Rohrmessung nicht in Erscheinung.

Schliesslich besteht eine grosse Diskrepanz zwischen den beiden Kurven unterhalb 400 Hz, die zeigt, dass auch in diesem Bereich, wo die Querdimensionen der Hohlräume klein gegen die Wellenlänge sind, eine Winkelabhängigkeit der Absorption besteht, die nicht dem Cosinus-Gesetz folgt.

II. 23 mm starke Glasfaserplatte, abgedeckt mit einer 3,5 mm starken gelochten Hartfaserplatte (1 Loch von 4 mm ⌀ je cm²) vor 43 mm Luftraum

Die Anordnung stellt einen gedämpften Helmholtz-Resonator dar, mit einer (ohne Berücksichtigung der Dämpfung) berechneten Eigenfrequenz von 920 Hz. Die im Rohr gemessene Schluckgradkurve (Figur 4) zeigt das entsprechende Maximum bei 800 Hz. Die berechnete Kurve für α_{stat} zeigt natürlich das gleiche Maximum, doch ist auch hier zu erwarten, dass es in der Hallraummessung nicht auftritt, da, wenn die Kassettierung nicht klein gegen die Wellenlänge ist, die Steife des Luftpolsters und damit die Eigenfrequenz des Resonators mit steigendem Einfallswinkel zunimmt [2]).

Die Kurve für den Absorptionskoeffizienten bei statistischer Schalleinfallsrichtung (Hallraummessung) stimmt hier genau so wenig mit der aus der Rohrmessung berechneten Kurve überein wie im ersten Fall. Die Resonanz bei 800 Hz ist «verschmiert». Es tritt dagegen wieder das durch die Querresonanz des Luftpolsters bedingte Maximum bei 400 Hz auf. Klar zeigt sich wiederum auch die grosse Diskrepanz zwischen beiden Kurven bei tiefen Frequenzen.

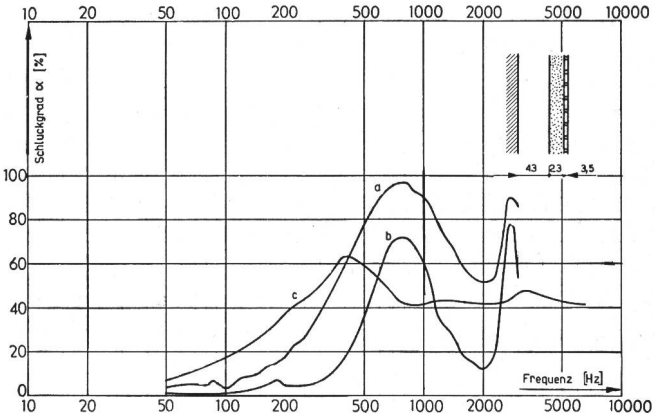

Fig. 4. Schluckgrad einer 23 mm starken Glasfaserplatte, abgedeckt mit einer 3,5 mm starken Lochplatte aus Hartfasermaterial (Pavatex) vor 43 mm Luftpolstertiefe
a) α_{senkr} (Rohr)
b) α_{stat} (berechnet)
c) α_{stat} (Hallraum)

III. 23 mm starke Glasfaserplatte unmittelbar vor der harten Wand (Figur 5)

Die Messung bei senkrechtem Schalleinfall ergibt den zu erwartenden stetigen Anstieg mit steigender Frequenz. Das erste, bei $\lambda/4$ Schluckstoffdicke auftretende Maximum liegt hier oberhalb des Frequenzbereiches der Messungen.

Die im Hallraum gemessenen Absorptionswerte sind wesentlich grösser als die berechneten Werte für α_{stat} und stimmen erst bei hohen Frequenzen mit diesen einigermassen überein.

IV. 24 mm starke Weichfaserplatte (Pavatex) mit gelochter Oberfläche in 43 mm Wandabstand (Figur 6)

Es handelt sich hier um eine «Akustikplatte» üblicher Ausführung mit hohem Strömungswiderstand, deren Eingangsimpedanz durchweg gross gegen ϱc ist. Die Rohrmessung zeigt deutlich die scharfe Resonanzkurve eines schwingungsfähigen Absorbers, den die Platte als Masse vor dem Luftpolster darstellt, und den durch poröse Absorption bedingten Anstieg des

[2]) Vgl. z. B. *Lothar Cremer*. Die wissenschaftlichen Grundlagen der Raumakustik. Zürich 1950. Bd. III, § 43.

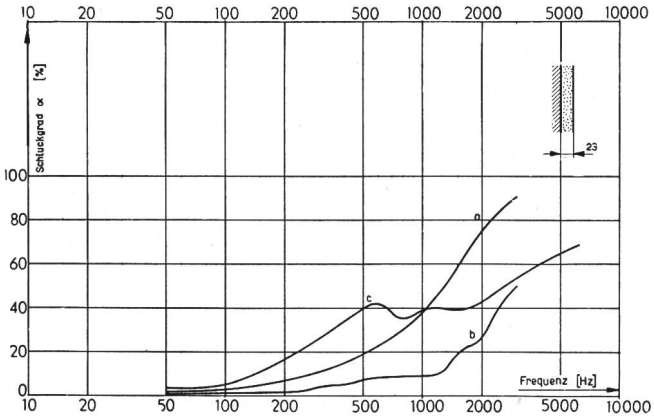

Fig. 5. Schluckgrad einer 23 mm starken Glasfaserplatte unmittelbar vor der harten Wand
a) α_{senkr} (Rohr)
b) α_{stat} (berechnet)
c) α_{stat} (Hallraum)

Absorptionskoeffizienten nach hohen Frequenzen zu. Die Resonanzfrequenz auch dieses Resonators ist vom Einfallswinkel des erregenden Schalles abhängig, kann also nicht mit gleicher Schärfe bei der Hallraummessung auftreten. Unabhängig davon liefert die Hallraummessung aber wesentlich höhere Absorptionswerte, als sie die berechnete Kurve aufweist. Nur bei hohen Frequenzen besteht eine gewisse Übereinstimmung.

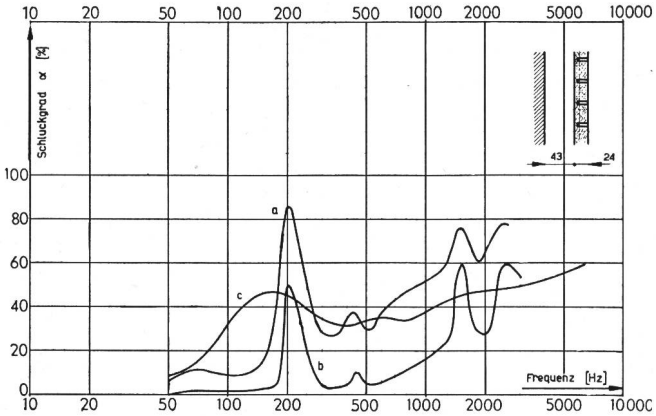

Fig. 6. Schluckgrad einer 24 mm starken Weichfaserplatte mit gelochter Oberfläche (Pavatex-Akustikplatte) vor 43 mm Luftpolster
a) α_{senkr} (Rohr)
b) α_{stat} (berechnet)
c) α_{stat} (Hallraum)

V. 24 mm starke Weichfaserplatte (Pavatex) mit gelochter Oberfläche unmittelbar vor der harten Wand (Figur 7)

Das in den Messkurven bei etwa 400 Hz sichtbare flache Absorptionsmaximum ist wahrscheinlich auf ein Schwingen der Platten zurückzuführen, die nicht mit ihrer ganzen Fläche auf die Wand aufgeklebt waren. Im übrigen zeigt sich hier das gleiche Resultat wie in den vorstehenden Fällen: Eine grosse Diskrepanz zwischen der berechneten und der im Hallraum gemessenen Kurve des Absorptionskoeffizienten bei statistischem Schalleinfall bei tiefen Frequenzen und eine in diesem Fall recht gute Übereinstimmung oberhalb 1000 Hz.

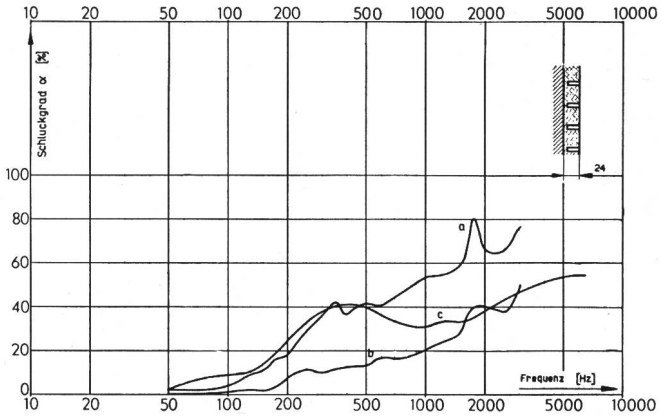

Fig. 7. Schluckgrad einer 24 mm starken Weichfaserplatte mit gelochter Oberfläche (Pavatex-Akustikplatte) unmittelbar vor der harten Wand
a) α_{senkr} (Rohr)
b) α_{stat} (berechnet)
c) α_{stat} (Hallraum)

Diskussion der Ergebnisse

Der Vergleich der nach beiden Methoden gewonnenen Ergebnisse zeigt deutlich, dass grosse Vorsicht am Platze ist, wenn man aus Rohrmessungen auf das Verhalten von Schallschluckstoffen bei allseitigem Schalleinfall schliessen will. So wertvoll die Rohrmessungen für die Untersuchung und insbesondere für die Entwicklung von Schluckstoffen sind, sie können in keinem Fall die Hallraummessung oder andere Verfahren zur Ermittlung der Absorption bei schräger Inzidenz ersetzen. Einmal treten im Hallraum ganz neue, vom Rohr nicht erfasste Effekte auf, wie zum Beispiel der Einfluss der Querresonanzen oder das Verschwinden der Resonanzmaxima bei den erwähnten Messungen, andererseits ist es aber auch bei «einwandfreier» Kassettierung nicht ohne weiteres möglich, aus Rohrmessungen auf das Verhalten im Raum zu schliessen.

Die Ursache für den letzten Punkt, die oben gezeigte Diskrepanz zwischen dem berechneten und dem im Hallraum gemessenen Schluckgrad bei tiefen Frequenzen also, dürfte folgende sein: In einer unmittelbar auf die Wand gebrachten porösen Schicht, deren Dicke klein gegen $\lambda/4$ ist, tritt bei senkrechter Inzidenz nur eine wandnormale Teilchenbewegung auf, die relativ klein ist und zur Wand hin auf Null abnimmt. Demzufolge ist die Absorption sehr klein. Bei schrägem Einfall sieht die Sache insofern anders aus, als zwar die wandnormale Komponente der Teilchenbewegung zur Wand hin auf Null abnimmt, zusätzlich jedoch eine tangentiale Komponente auftritt, die zur Wand hin zunimmt. Diese Tangentialkomponente muss notwendigerweise zu einer zusätzlichen Absorption führen, jedoch wird ihr Einfluss von dem erwähnten Umrechnungs-Diagramm nach Morse und

Bolt nicht erfasst. Das Auftreten dieser Tangentialkomponente, die durch den Druckgradienten parallel zur Wand erzeugt wird, kann natürlich weder durch Abdecken des Schluckstoffes mit einer Lochplatte noch durch Kassettierung des Schluckstoffes verhindert werden, es sei denn, dass die Querdimensionen der Kassettierung von der Grössenordnung der Teilchenamplituden sind, der Schluckstoff also genau dem *Rayleigh*-Modell entspricht.

Für einen homogenen Schluckstoff ohne Vorzugsrichtung, wie zum Beispiel die handelsübliche Glasfaserplatte, dürfte die Berechnung des Einflusses der Tangentialschnelle noch relativ leicht möglich sein. Da aber diese Platten zur Erzielung einer grösseren Wirksamkeit meist in einem gewissen Abstand vor der Wand montiert werden, was zu unübersichtlicheren Verhältnissen führt, wäre auch damit noch nicht viel gewonnen.

Theoretische Feldstärken und Einfallswinkel der WWV-Frequenzen für den Empfang in Châtonnaye

Von *C. Glinz*, Genf

621.396.722.029.58(494)

Zusammenfassung. *Für die Frequenzen 2,5...35 MHz der amerikanischen Station WWV in Beltsville werden die Einfallswinkel für den Empfang in Châtonnaye berechnet, wie sie nach den theoretischen Formeln der Radiowellenausbreitung zu erwarten sind. In Abweichung von der Methode CRPL erfolgt die Zerlegung der Raumwellen in die einzelnen Übertragungsarten von 2, 3,... Sprüngen zwischen der Erde und der ionosphärischen F_2-Schicht. Als Muster werden die Monate Dezember 1948 und Juni 1949, sowie die Greenwicher Zeiten 0300 und 1500 ausgewählt. Man beachtet den Einfluss verschiedener Höhen der F_2-Schicht und bespricht die Frage der höchsten brauchbaren Frequenz ausführlich. Der Rechengang enthält Korrekturterme für die Richtdiagramme der Sendeantennen und die Empfangsrhombusantennen, wie sie aus Messungen von J. Dufour entnommen werden konnten. Im weiteren werden die Leistungsunterschiede für die verschiedenen Frequenzen eingerechnet. Durch Kombination aller dieser Zahlen lassen sich die voraussichtlichen Feldstärkebeträge für Wahrscheinlichkeiten von 90%, 50% und 10% bestimmen. Die Übereinstimmung dieser Vorhersage mit den Beobachtungen von W. Ebert ist, in Anbetracht der in den theoretischen Rechengang eingeführten Vereinfachungen, befriedigend.*

1. Einleitung

In einer sehr ausführlichen Arbeit von *W. Ebert* [1] wurden die Empfangsbeobachtungen der WWV-Normalfrequenzen in Châtonnaye für die Zeit von Februar 1946 bis Juli 1949 besprochen. Im gleichen Zusammenhang führte die Forschungs- und Versuchsanstalt ausgedehnte Messungen der Richtdiagramme von Rhombus- und Rideau-Antennen dieser Empfangsstation durch, und zwar mit Hilfe der Besatzung eines Flugzeuges des Schweizerischen Luftamtes. Die Auswertungen und Ergebnisse wurden von *J. Dufour* [2] in einem Bericht zusammengefasst, der auszugsweise in den Technischen Mitteilungen [3] erschienen ist.

Diese Versuche, die recht gut mit den errechneten Richtdiagrammen übereinstimmen, zeigen die günstigsten Einfallswinkel für die verschiedenen Antennenanlagen an, um am Empfängereingang eine hohe HF - Spannung zu erzeugen. Rhombusantennen haben bekanntlich für bestimmte Einfallswinkel sehr ausgeprägte Empfangslappen, während sie für andere Winkel sehr unempfindlich sind. Als Ergänzung zu diesen beiden Berichten erschien es uns reizvoll, in einer rechnerisch-theoretischen Wellenausbreitungs-Studie zu untersuchen, was für Einfallswinkel für den Empfang der WWV-Frequenzen in Châtonnaye eigentlich zu erwarten sind.

Es muss zum voraus betont werden, dass man gezwungen ist, eine grosse Zahl von einschränkenden Vereinfachungen und Annahmen zu treffen. Beim heutigen Stand der Wissenschaft ist es noch nicht möglich, *sämtliche* wirksamen Faktoren bei der Abstrahlung, der Übertragung durch die Ionosphäre und der Aufnahme am Empfangsort genau zu bestimmen und in die Rechnung einzubauen. Aus diesem Grunde wäre es nicht erstaunlich, wenn eine allfällige praktische Messung der Einfallswinkel zu abweichenden Resultaten käme. Die anschliessend beschriebenen Verhältnisse auf der Strecke Beltsville-Châtonnaye dürften als *Muster des Übertragungsmechanismus* dennoch ihren Wert behalten.

2. Übertragungsstrecke

Die beiden Endpunkte der Übertragungsstrecke haben die folgenden geographischen Koordinaten:

Beltsville	38° 59′ 33″ N	76° 50′ 52″ W
Châtonnaye	46° 45′ 40″ N	6° 57′ 20″ E

Nach den Formeln der sphärischen Trigonometrie findet man daraus für den Grosskreisabstand D der beiden Stationen:

$$D = 6550 \text{ km}$$

Das Azimut von Beltsville aus beträgt 52° 40′ 18″, jenes von Châtonnaye aus 293° 35′ 10″. Nach der Berechnungsmethode des amerikanischen Central Radio Propagation Laboratory (CRPL) hat man ausserdem zwei Kontrollpunkte, je 2000 km vor dem Ende der Übertragungsstrecke, zu bestimmen. Deren Koordinaten sind:

P_1:	47° 58′ N	P_2: 51° 39′ N
	55° 19′ W	19° 44′ W

Der Grosskreis verläuft von Beltsville aus genau über Boston (700 km), über Neu-Fundland (2000 km, Kontrollpunkt P_1), über die Südwestspitze Englands, südlich von Cherbourg und Paris, über Dijon nach Châtonnaye. Der Kontrollpunkt P_2 liegt über Meer, rund 1000 km westlich der Südwestspitze Englands.