

31 (2004) Neue Forschungsergebnisse, kurz gefasst

X. Zhou, X. Zha

Bestimmung des Absorptionsgrades bei schrägem Schalleinfall*

Für die Auslegung von Freifeld-Räumen ist der Absorptionsgrad ihrer reflexionsarmen Auskleidungen für Kugelwellen, die schräg auf Wände, Decke und Boden auftreffen, von Bedeutung. Um unterschiedlich aufgebaute Absorber in ihrer Wirksamkeit vergleichen und beurteilen zu können, wurde ein einfaches Messverfahren entwickelt und an neuartigen Absorbern erprobt. Es wertet die Form des Interferenz-Spektrums aus, das sich durch die Überlagerung des direkten und von einer Prüffläche reflektierten Kugelwellenfeldes in einem im übrigen allseitig reflexionsarmen Raum entsteht. Es ergänzt die für senkrechten Schalleinfall genormte Messung in Kundt'schen Rohren oder Impedanz-Kanälen.

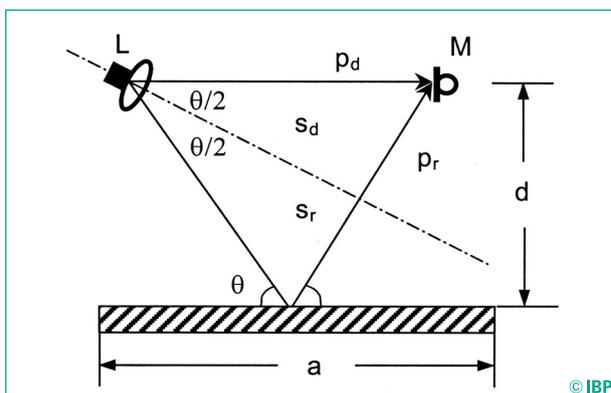


Bild 1: Schematischer Messaufbau des Verfahrens.

Grundlagen des Verfahrens

Im Messaufbau nach Bild 1 wird der Prüfling mit dem Reflexionsfaktor r in einem hinreichend reflexionsarmen Raum von einem symmetrisch hinsichtlich des Winkels $\theta/2$ abstrahlenden Lautsprecher L unter dem Winkel θ mit variabler Frequenz f tonal beschallt. Am Mikrofon M überlagern sich

dann die Schalldrücke p_d der direkten und p_r der reflektierten Wellen zu

$$p = p_d + p_r = \frac{p_0}{s_d} \exp\left(-j \frac{2\pi f s_d}{c_0}\right) + \frac{p_0}{s_r} r \exp\left(-j \frac{2\pi f s_r}{c_0}\right) \quad (1)$$

Der Betrag des Schalldruckes am Mikrofon wird so mit dem Laufweg-Unterschied $\Delta s = s_r - s_d$ und dem Laufweg-Verhältnis $x = s_d / s_r$ eine eindeutige Funktion des Betrages des Reflexionsfaktors r :

$$p^2 = p_d^2 \left(1 + 2|r| x \cos \frac{2\pi f \Delta s}{c_0} + x^2 |r|^2 \right) \quad (2)$$

Für den Sonderfall einer vollständig absorbierenden Probenfläche, zeigt sich am Mikrofon mit $p^2 = p_d^2$ das unverfälschte Spektrum des Lautsprechers. Wenn die reflektierte Welle entsprechend Δs phasengleich mit der direkten bei M ankommt, führt dies bei den Frequenzen

$$f_{\max} = (n-1) \frac{c_0}{\Delta s}; \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (3)$$

mit der Schallgeschwindigkeit c_0 zu Schalldruck-Maxima

$$|p|_{\max} = |p_d| (1 + x |r|) \quad (4)$$

also zu einer Pegel-Erhöhung bis maximal 6 dB, wenn der Abstand d in Bild 1 klein ist und r gegen 1 geht. In der Konfiguration von Bild 2 beträgt die Erhöhung

$$\Delta L_{\max} = 20 \lg \frac{|p|_{\max}}{|p_d|} = 20 \lg (1 + x |r|) \quad (5)$$

etwa 5 dB. Wenn dagegen die reflektierte Welle um 180° phasenverschoben mit der direkten bei M ankommt, führt dies zu Pegel-Minima (relativ zum Direktfeld)

$$\Delta L_{\min} = 20 \lg (1 - x |r|) \quad (6)$$

in Bild 2 z.B. bei ca. 2350 Hz zu etwa -26 dB, wenn die Fläche stark reflektierend, z.B. eine 30 mm dicke Holzspanplatte ist.

* Vortrag „A simple method of determining the sound absorption coefficient at oblique incidence“, In: CFA/DAGA 04, Strasbourg, März 2004, Abstr. p. 96

Der Reflexionsfaktor und auch der Absorptionsgrad lassen sich also bei bestimmten Frequenzen sowohl aus den Minima als auch aus den Maxima bestimmen:

$$\alpha = 1 - \left(\frac{1 - 10^{\frac{\Delta L_{\min}}{20 \text{ dB}}}}{x} \right)^2 ; \alpha = 1 - \left(\frac{10^{\frac{\Delta L_{\max}}{20 \text{ dB}}} - 1}{x} \right)^2 . \quad (7)$$

Messaufbau und -durchführung

Die Messungen werden mit einer Lautsprecher-Box 1,5 m über dem „Gehrost“ des großen Freifeldraumes des IBP durchgeführt. Ihre Abstrahlcharakteristik ist im Frequenzbereich zwischen 200 und 2000 Hz für Winkel $\pm 45^\circ$ zur Mitlenachse ausreichend symmetrisch, um die Amplituden p_0 der direkten und reflektierten Wellen im Rahmen der Messgenauigkeit tatsächlich gleichsetzen zu können. Die Messungen konzentrieren sich auf Winkel $34^\circ \leq \theta \leq 81^\circ$.

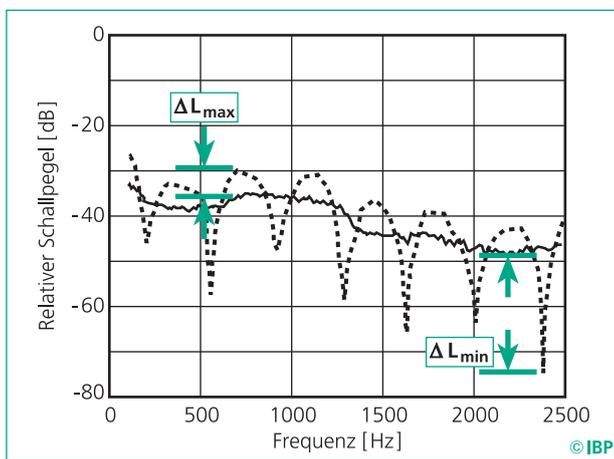


Bild 2: Schalldruck-Spektren gemessen in der Konfiguration nach Bild 1 für $\theta = 34^\circ$ im Freifeld (—) ohne Prüfling (---) mit einer 30 mm dicken Holzspanplatte als reflektierender Fläche.

Messergebnisse für 2 Schallabsorber

Die Ergebnisse für 2 hochwertige reflexionsarme Raumauskleidungen (BKA und ASA nach [1]) liegen für alle Winkel und Frequenzen zwischen ca. 200 und 3 000 Hz bei $\alpha > 0,9$. Bild 3 zeigt für $34^\circ \leq \theta \leq 40^\circ$ bei mit dem Einfallswinkel von 0,91 auf 0,94 steigenden Absorptionsgraden keinen wesentlichen Unterschied zwischen den beiden Absorbieren. Für $\theta \geq 45^\circ$ bleibt der BKA allerdings erwartungsgemäß etwas hinter der Wirksamkeit des ASA zurück, der für $45^\circ \leq \theta \leq 81^\circ$ der Anforderung der Norm [2] nach $\alpha \geq 0,99$ sehr gut entspricht.

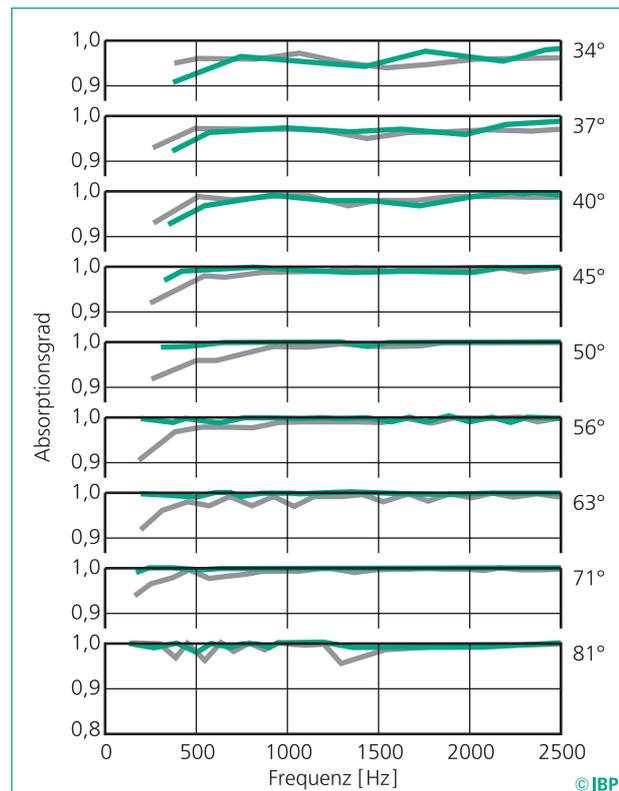


Bild 3: Absorptionsgrad von ASA (—) und BKA (---) als Funktion der Frequenz für verschiedene Einfallswinkel.

Generell fällt aber auf, dass der Absorptionsgrad von den sehr hohen Werten nahe 1 bei fast senkrechtem Schalleinfall zu schrägen Winkeln hin kontinuierlich abfällt. Dies ist ein wichtiges Ergebnis dieser Untersuchung. Wenn man nämlich nur von den üblichen Messungen im Kundt'schen Rohr ausgeht, sollte man vorsichtig sein bei der Abschätzung der Raumrückwirkung, wenn andere Winkel für eine Messaufgabe in einem Freifeld-Raum wichtig werden, z.B. in einer Vorbeifahrt-Messhalle für PKW [3].

Literatur

- [1] Fuchs, H.V. et al.: Schallabsorber und Schalldämpfer. Innovatorium für Maßnahmen zur Lärmbekämpfung und Raumakustik. Teil 6: Hochintegrierte Absorber. Bauphysik 25 (2003), H. 5, S. 1-10.
- [2] DIN 45 635: Geräuschmessung an Maschinen. Teil 1: Luftschallemission, Hüllflächen-Verfahren. Rahmenverfahren für 3 Genauigkeitsklassen.
- [3] Babuke, G. et al.: The new Volkswagen Acoustics Centre in Wolfsburg. In: CFA/DAGA 04, p. 417.



Fraunhofer
Institut
Bauphysik

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR BAUPHYSIK IBP

Institutsleitung: Prof. Dr. Gerd Hauser

Prof. Dr. Klaus Sedlbauer

D-70569 Stuttgart, Nobelstr. 12 (Postfach 80 04 69, 70504 Stuttgart), Tel. 07 11/9 70-00

D-83626 Valley, Fraunhoferstr. 10 (Postfach 11 52, 83601 Holzkirchen), Tel. 0 80 24/6 43-0

Herstellung und Druck: Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB, Satz- und Druckzentrum
Nachdruck nur mit schriftlicher Genehmigung des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik