

F. P. Mechel und I. Veit

Akustische Kennwerte von luftdurchströmten Faserabsorbern

1. Aufgabenstellung

Für eine rechnerische Dimensionierung von Schallschutzmaßnahmen, bei denen poröse Faserabsorber zum Einsatz kommen, müssen die maßgebenden akustischen Kenndaten des verwendeten Absorbermaterials bekannt sein. Das sind vor allem die komplexe Ausbreitungskonstante $\Gamma_a = \Gamma'_a + j\Gamma''_a$ und die komplexe spezifische Schallimpedanz $Z_a = Z'_a + jZ''_a$ mit ihren Frequenzabhängigkeiten. Über die Messung dieser Kenndaten mit Hilfe eines eigens dafür entwickelten Meß- und Auswerteverfahrens sehr hoher Präzision wurde bereits in der IBP Mitteilung Nr. 63 (1981) berichtet. Die dort beschriebenen und diskutierten Meßergebnisse wurden an Absorberproben ohne zusätzliche Durchströmung des Materials gewonnen. Nun gibt es für derartige Materialien aber auch Anwendungsgebiete, z. B. bei Schalldämpfern und Strömungsmaschinen, wo mit einer stationären Durchströmung der darin verwendeten Faserabsorber gerechnet werden muß. Da über den Einfluß einer stationären Gleichströmung auf die akustischen Kenndaten von durchströmten Faserabsorbern in der Fachliteratur bislang nur unsichere Angaben bekannt sind, wurde dieser Frage im Rahmen eines vom BMFT geförderten Forschungsauftrages nachgegangen. Die bei diesen Untersuchungen verwendeten Strömungsgeschwindigkeiten (v_{str}) lagen zwischen 0 und 0,75 m/s. Bei Absorbermaterialien mit sehr niedrigem Raumgewicht beginnt die Gewinnung von reproduzierbaren Meßwerten schon ab etwa 0,3 m/s zunehmend schwieriger zu werden, da das Dämmaterial durch die Strömung gestaucht wird. Eine weitere Steigerung der Strömungsgeschwindigkeit führt schließlich zu bleibenden Materialverformungen.

2. Theorie

Ausgehend von einer Machzahl $M = v_{str}/c$, die im Höchsfalle nur etwa $2,2 \cdot 10^{-3}$ beträgt und damit als sehr klein gegenüber 1 angesehen werden kann, vereinfachen sich

die analytischen Beziehungen für die Ausbreitungskonstante Γ_a^* und die spezifische Schallimpedanz Z_a^* unter Einbeziehung der Machzahl M ($\ll 1$) wie folgt [1, 2, 3]:

$$\Gamma_a^* = \Gamma'_a + j\Gamma''_a = \frac{\Gamma'_a}{(1-M^2)} + j \frac{\Gamma''_a}{(1-M^2)} \quad (1)$$

und

$$Z_a^* = Z'_a + jZ''_a = \frac{1 + r \cdot e^{j\varphi}}{1 - r \cdot e^{j\varphi}} \cdot \coth(\Gamma_a^* \cdot d) \quad (2)$$

wobei

$$\varphi^* = \pi \left(\frac{4 \cdot x_{min}}{\lambda \cdot (1-M^2)} - 1 \right) = \pi \left(\frac{4 \cdot x_{min}}{\lambda_0 \cdot (1-M^2)^2} - 1 \right) \quad (3)$$

ist. (r = Betrag des Reflexionsfaktors; d = Absorberdicke; x_{min} = Abstand des 1. Schalldruckminimums von der Absorberoberfläche; λ^* = Rohrwellenlänge bei strömender Luft; λ_0 = Rohrwellenlänge bei ruhender Luft.)

Der Theorie zufolge dürfte eine Durchströmung des Absorbermaterials mit derartig niedrigen Geschwindigkeiten noch keinen Einfluß auf die akustischen Kennwerte haben, wenn sich der Verlustmechanismus selbst im Faserabsorber durch die Strömungsüberlagerung nicht ändert. Dies sollte experimentell untersucht werden.

3. Meßergebnisse

Für die Durchführung der Untersuchung wurde die in der o.g. IBP Mitteilung Nr. 63 beschriebene Meßanordnung benutzt und um die Möglichkeit einer definierten Durchströmung der Meßprobe erweitert. Gemessen wurden Faserabsorberproben aus Glaswolle mit einem Raumgewicht von 50 bis 150 kg/m³. Die Messungen wurden terzweise im Frequenzbereich von 100 bis 3150 Hz durchgeführt. Alle Meßwerte wurden einer Fehlerausgleichsrechnung unterworfen. Bei der grafischen Darstellung der ermittelten Kennwerte in Abhängigkeit von der Frequenz wurde aus Gründen der Zweckmäßigkeit eine Normierung vorgenommen: Die beiden Komponenten der Ausbrei-

tungskonstante wurden auf die Freifeld-Wellenzahl $k_0 = \omega/c_0$ normiert, während die Normierung der beiden Impedanzkomponenten auf die Freifeld-Schallkennimpedanz $Z_0 = \rho c_0$ erfolgte.

Die Bilder 1 bis 4 zeigen als Beispiel die Untersuchungsergebnisse von einer Glaswolleprobe mit einem mittleren Raumgewicht von $55,6 \text{ kg/m}^3$. Die Durchströmung erfolgte mit zwei verschiedenen Strömungsgeschwindigkeiten: $0,125 \text{ m/s}$ und $0,25 \text{ m/s}$. Wie die Diagramme deutlich

Die Untersuchungen wurden durch das Bundesministerium für Forschung und Technologie im Programm „Humanisierung des Arbeitslebens“ gefördert.

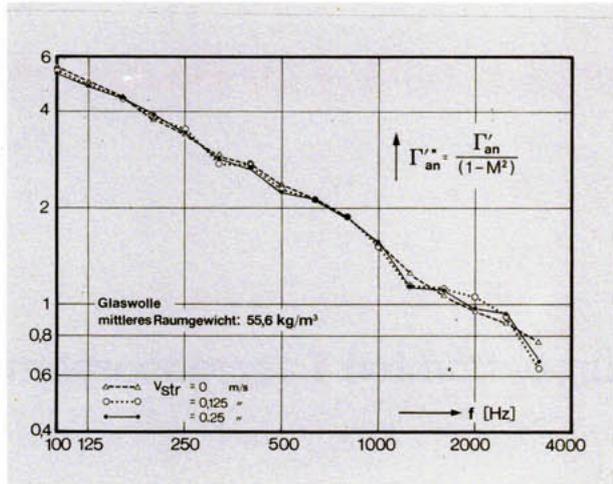


Bild 1
Frequenzabhängigkeit des Realteils Γ''_{an} der auf die Freifeld-Wellenzahl k_0 normierten komplexen Ausbreitungskonstante von Glaswolle (mittl. Raumgewicht $55,6 \text{ kg/m}^3$) bei verschiedenen Durchströmungsgeschwindigkeiten v_{str} .

zeigen, sind in dem hier untersuchten Machzahlbereich erwartungsgemäß noch keine Unterschiede zwischen den akustischen Kennwerten im „durchströmten“ und im „nicht durchströmten“ Zustand des Materials festzustellen. Diese Tatsache ließen auch schon die noch nicht durch den Fehlerausgleich korrigierten Meßwerte sehr deutlich erkennen. – Die „ohne“ Strömung ermittelten Kenndaten zeigen eine sehr gute Übereinstimmung mit den entsprechenden Werten aus einer früheren Untersuchung.

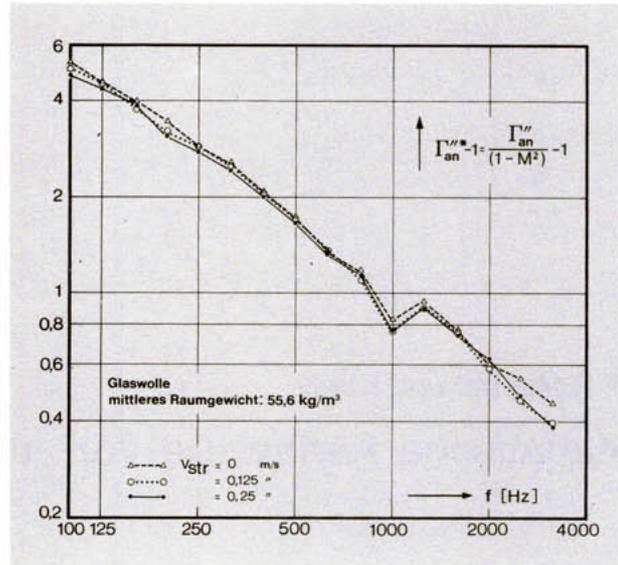


Bild 2
Frequenzabhängigkeit des um 1,0 verminderten Imaginärteils Γ''_{an} der auf die Freifeld-Wellenzahl k_0 normierten komplexen Ausbreitungskonstante des gleichen Materials wie in Bild 1 bei verschiedenen Durchströmungsgeschwindigkeiten v_{str} .

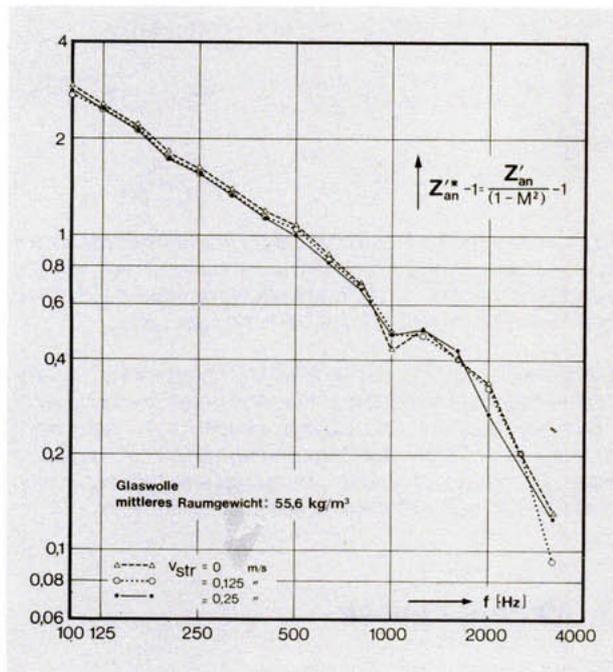


Bild 3
Frequenzabhängigkeit des um 1,0 verminderten Realteils Z''_{an} der auf die Freifeld-Kennimpedanz Z_0 normierten komplexen Schallimpedanz des gleichen Materials wie in Bild 1 bei verschiedenen Durchströmungsgeschwindigkeiten v_{str} .

Literaturhinweise

- [1] Powell, A.: „Theory of Sound Propagation through Ducts Carrying High-Speed Flows“, J. A. S. A. 32 (1960), p. 1640–1646
- [2] Mechel, F.; Schilz, W.; Dietz, J.: „Akustische Impedanz einer luftdurchströmten Öffnung“, Acustica 15 (1965), S. 199 – 206
- [3] Ronneberger, D.; Schilz, W.: „Schallausbreitung in luftdurchströmten Röhren mit Querschnittsveränderungen und Strömungsverlusten“, Acustica 17 (1966), S. 168 – 175.

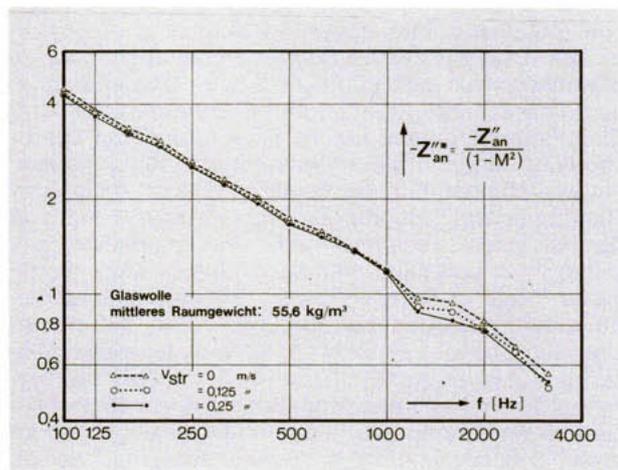


Bild 4
Frequenzabhängigkeit des negativen Imaginärteils $-Z''_{an}$ der auf die Freifeld-Kennimpedanz Z_0 normierten komplexen Schallimpedanz des gleichen Materials wie in Bild 1 bei verschiedenen Durchströmungsgeschwindigkeiten v_{str} .