

29 (2002) Neue Forschungsergebnisse, kurz gefaßt

R. Haberkern, P. Teller

Zur Berechnung der Schalldämmung von Folien und Membranen

Folien und Membranen zählen längst zu gängigen Baustoffen und stellen für zahlreiche bauphysikalische Fragen sogar gute Lösungen dar. Auch der Schallschutz einer Reihe von Bauteilen profitiert von deren spezifischen Eigenschaften. Momentan gilt dies hauptsächlich für Folien als Bestandteil von Verbundplatten oder Sandwich-Elementen, wie z.B. Verbundglas-scheiben, Bodenbeläge oder einige Trennwandsysteme. Mittlerweile gibt es auch Ansätze für Folien und Membranen als selbständige Schallschutzbauteile. Bei mehrschaliger Ausführung besteht z.B. die Möglichkeit, aufblasbare Konstruktionen als mobile, ultraleichte Schallschirme [1,2] für temporäre Schutzmaßnahmen etwa gegen Baulärm zu verwenden. Darüber hinaus sind bereits heute ganze Gebäudehüllen aus Folien und Membranen Realität, so daß deren schalldämmende Wirkung von großem Interesse ist.

Berechnung der Schalldämmung

Die Berechnung der Schalldämmung von Folien bei diffusem Schalleinfall greift auf das für (unendlich ausgedehnte) dünne Platten gültige Instrumentarium zurück. Die Besonderheit liegt in der Berücksichtigung von Vorspannung, Anisotropie und verschiedenen Dämpfungen. Analog zu der klassischen Cremerformel [3] wurde nach [4,5] die entsprechende For-

mel für eine vorgespannte Platte oder Folie mit eventueller Orthotropie berechnet. Ebenso sind verschiedene Außenmedien auf Sende- und Empfangsseite und innere Dämpfung berücksichtigt. Die folgende Formel beschreibt den Fall der isotropen Platte bei isotroper Vorspannung und gleichen Außenmedien

$$T = \left\{ 1 + \frac{1}{2} \left[c^{-4} (1 - u^2)^2 \omega^2 B_{iso} + c^{-2} (1 - u^2) S_{iso} - m' \right] \frac{i\omega u}{c\rho} \right\}^{-1} \quad (1)$$

mit $u = \cos \Theta$. Darin ist c die Schallgeschwindigkeit des Außenmediums (i.d.R. Luft) und ρ dessen Dichte. Sowohl die Biegesteife B_{iso} der Platte, als auch deren flächenbezogene Masse m' und die Vorspannung S_{iso} werden als komplexe Zahlen behandelt, so daß ihnen mittels der Imaginärteile eine Dämpfung zugeordnet werden kann. Durch energetische Mittelung über den Einfallswinkel - im orthotropen Fall zusätzlich über den Orientierungswinkel - erhält man den Transmissionsgrad τ bei diffusem Schalleinfall. Hierfür ist die winkelabhängige Gewichtung der einfallenden Energie von Bedeutung. Klassisch wird mit dem Kosinus des Einfallswinkels gewichtet [3], es werden teilweise aber auch Gaußkurven [6] verwendet.

$$\tau = \frac{\int_{\varphi} \int_{\theta} |T|^2 \alpha W_{\beta}(u) du d\theta}{\int_{\varphi} \int_{\theta} \alpha W_{\beta}(u) du d\theta} \quad (2)$$

Hier wurde eine Gewichtsfunktion αW_{β} mit zwei Einstellparametern α, β gewählt.

$$\alpha W_{\beta}(u) = \left[\alpha u^{\beta} + (1 - \alpha) \exp(-\beta(\arccos u)^2) \right] \quad (3)$$

Sie kann mit dem Parameter α vom Kosinus ($\alpha=1$) zur Gaußkurve ($\alpha=0$) „umgeschaltet“ werden. Als Entsprechung zum Abklingexponenten (hier β) der Gaußkurve wurde auch die Möglichkeit zur Potenzierung des Kosinus integriert. Mit dieser Funktion sind daher zwei Modelle zur Beschreibung der Energieverteilung der einfallenden Welle für diffusen Schalleinfall realisiert. Zum Vergleich mit gemessenen Werten wird anstelle von τ das Schalldämm-Maß $R = -10 \lg \tau$ ermittelt. Aus dem Transmissionsgrad bei diffusem Schalleinfall lassen sich die vertrauten Bandspektren (z.B. Terzen, Oktaven) generieren, indem über Frequenzbänder gemittelt wird.

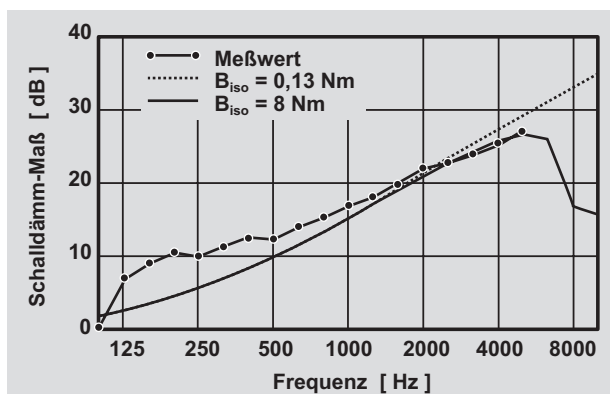


Bild 1: Schalldämm-Maß einer Plane in Abhängigkeit von der Frequenz. Dargestellt sind im Prüfstand ermittelte Meßwerte und die sich nach der Berechnungsformel für die dünne isotrope Platte ergebenden Werte. Angegeben ist der der Berechnung zugrundegelegte Wert der Biegesteifigkeit.

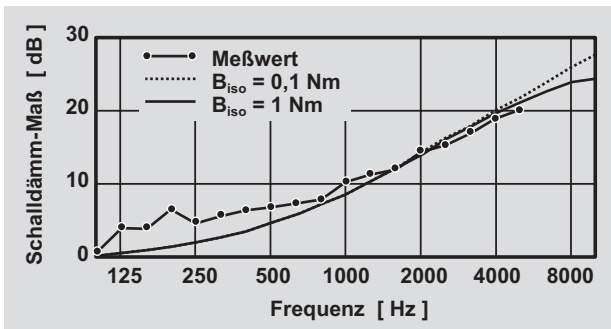


Bild 2: Schalldämm-Maß einer Folie in Abhängigkeit von der Frequenz. Darstellung der Meß- und Rechenwerte analog Bild 1.

Schließlich ergibt sich aus den Terzbandwerten auch das bewertete Schalldämm-Maß.

Vergleich mit Meßergebnissen

Das erste Beispiel aus zahlreichen Untersuchungen mit unterschiedlichen Materialien und Dicken behandelt eine Platte (PES-Trägergewebe mit PVC-Beschichtung) mit einer Dicke von 1,2 mm und einer Dichte von 1150 kg/m^3 , für welche aus Meßdaten [8] eine Biegesteife von 0,13 Nm bestimmt wurde. In Bild 1 sind die ermittelten Meßwerte der Schalldämmung dargestellt, verglichen mit den nach der Cremer-Formel erhaltenen Werten. Bei tiefen Frequenzen treten Abweichungen auf, die u.a. experimentell bedingt sind. Bei mittleren und hohen Frequenzen ist dagegen weitgehende Übereinstimmung festzustellen, wobei sich die im wesentlichen dem Massegesetz folgende zweite Kurve systematisch vom Meßergebnis entfernt. Diese Abweichung ist vermutlich durch die einsetzende Koinzidenz der Platte bedingt. Als Anpassung wurde hierzu eine erhöhte Biegesteife von ca 8 Nm bestimmt (dritte Kurve). Die Darstellung mit einem erweiterten Frequenzbereich bis 10 kHz veranschaulicht diesem Umstand. Der Unterschied zwischen der Biegesteife aus Meßdaten und nach der Anpassung deutet möglicherweise auf eine Anisotropie der Platte hin. Inwieweit die gewählten Materialkennwerte der Realität entsprechen, muß noch in weiteren Untersuchungen erörtert werden. Ein ähnliche Interpretation gilt für das Beispiel in Bild 2, eine PVC-Folie mit einer Dicke von 0,5 mm und einer Dichte von 1180 kg/m^3 .

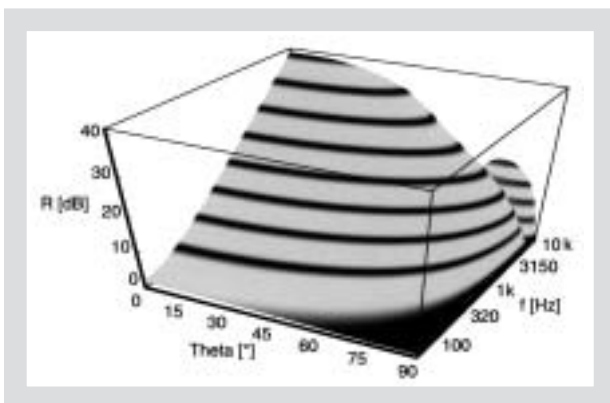


Bild 3: Dreidimensionale Darstellung des berechneten Schalldämm-Maßes einer dünnen isotropen Platte in Abhängigkeit von der Frequenz und vom Schalleinfallswinkel, ohne Vorspannung. Höhenlinien von 0 dB im Abstand von 5 dB, ca 1dB stark.

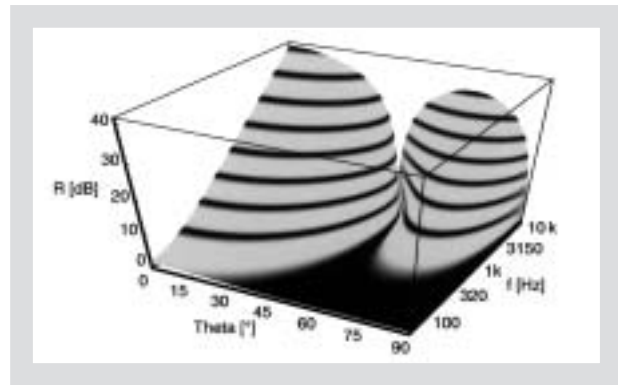


Bild 4: Wie Bild 3, jedoch mit (physikalisch unrealistischer) Vorspannung von 250 kN/m.

Bild 3 zeigt eine dreidimensionale Darstellung des berechneten Schalldämm-Maßes über Schalleinfallswinkel und Frequenz für die Platte. Bei der Berechnung wurden dieselben Eingangsdaten wie bei der dritten Kurve aus Bild 1 verwendet. Man sieht deutlich den winkelabhängigen Koinzidenzeinbruch bei hohen Frequenzen. Im Bereich kleiner Schalleinfallswinkel folgt die Kurve dem Massegesetz. Realistische Vorspannung der Folien bewirkt rechnerisch wie experimentell [7] nur geringe Änderungen der Schalldämmung. Rechnerisch deutlich sichtbare Effekte – verursacht durch den Übergang zur Membran – wurden für die hier untersuchten Materialien erst für physikalisch nicht mehr realisierbare Vorspannungen (jenseits der Reißgrenze) gefunden (Bild 4). Dies mag angesichts des Vorspannungseinflusses auf das Klangverhalten bespannter Hohlräume (Trommeln, Pauken etc.) überraschen, doch beschreibt das hier zugrundegelegte Modell den unendlich ausgedehnten Fall.

Insgesamt läßt sich jedoch zusammenfassen, daß selbst einlagige Folienkonstruktionen eine durchaus nennenswerte und auch kalkulierbare Schalldämmung aufweisen. Zukünftige Steigerungsmöglichkeiten liegen z.B. in der Erweiterung zu mehrlagigen Konstruktionen sowie in der Kombination von Schalldämmung und Schallabsorption.

Literatur

- [1] Weber, L.; Mehra, S.R.: Luftschalldämmung und akustische Materialeigenschaften von Folien und Membranen. Zeitschrift für Lärmbekämpfung 49 (2002), H. 4, S. 129-136.
- [2] Cremer, L.: Theorie der Schalldämmung dünner Wände bei schrägem Einfall. Akust. Z. 7 (1942), H. 3, S. 81-104.
- [3] Lekhnitskii, S.G.: Anisotropic Plates. Gordon and Breach Science Publ. New York, 1968.
- [4] Kang, Hyun-Ju; Ih, Jeong-Guon; Kim, Jae-Seung; Kim, Hyun-Sil: Prediction of sound transmission loss through multilayered panels by using Gaussian distribution of directional incident energy. J. Acoust. Soc. Am. 107 (2000), H. 3, p. 1413-1420.
- [5] Hashimoto, N., et al.: Experimental study on sound insulation of membranes with small additional weights for applications to membrane structures. Appl. Acoust. 48 (1996), H. 1, S. 71-84.
- [6] Müller, M.: Akustische Materialkennwerte und Luftschalldämmung von Folien und Membranen. Diplomarbeit, Lehrstuhl für Konstr. Bauphysik, Universität Stuttgart (1998).