

25 (1998) Neue Forschungsergebnisse, kurz gefaßt

W. Maysenhölder

HYPERAKUS - ein Werkzeug zur Untersuchung der Schalldämmung von periodisch strukturierten Wänden

Einleitung

Bei den Bemühungen um eine weitere Optimierung der bauphysikalischen Eigenschaften gemauerter Wände spielt die Möglichkeit einer zuverlässigen Berechnung ihrer Schalldämmung eine wichtige Rolle. Dies trifft in besonderem Maße auf Wände aus Lochsteinen zu, die oft ein wesentlich geringeres bewertetes Schalldämm-Maß aufweisen, als nach DIN 4109 aufgrund ihrer flächenbezogenen Masse zu erwarten wäre. Aber auch bei Mauerwerk aus Vollsteinen wüßte man gerne genauer, wie sich Unterschiede in den Materialeigenschaften von Stein und Mörtel auf die Schalldämmung auswirken. Aus akustischer Sicht handelt es sich dabei um das Problem der Schalldämmung von Platten mit periodischer Struktur, das verschiedentlich Gegenstand theoretischer Untersuchungen war (siehe den historischen Überblick in [1]). Fast alle diese Arbeiten beschränken sich auf ausgewählte Beispiele mit Periodizität in nur einer Raumrichtung im Grenzfall tiefer Frequenzen. Die inhomogene Platte kann dabei durch eine homogene Platte mit geeigneten "effektiven" Werten für Massendichte und Elastizität ersetzt werden. Ein formal exaktes Verfahren für diese "Homogenisierung", das

bezüglich Symmetrie der Periodizität und elastischer Anisotropie keiner Einschränkung unterliegt, ist in [1] beschrieben worden. Auf dem Weg zu einer allgemeinen Methode für beliebige Frequenzen wurde nun der Fall dünner Platten behandelt. Die Vorgehensweise entspricht der von Cremers berühmter Arbeit [2] aus dem Jahre 1942, die in dreifacher Hinsicht verallgemeinert wurde: auf periodisch inhomogene Platten, anisotrope Biegesteife sowie verschiedene fluide Medien beiderseits der Platte [3].

Die im folgenden dargestellten Ergebnisse wurden mit einer Pascal-XSC-Implementation namens HYPERAKUS berechnet. Zur Veranschaulichung einiger wichtiger, durch die periodische Inhomogenität verursachter Phänomene dienen zwei einfache, fiktive Beispiele, bei denen sich der E-Modul in einer Richtung periodisch ändert, während die Dichte der Platte überall gleich bleibt. Ein weiteres Beispiel mit zweidimensionaler Periodizität (schachbrettartige Anordnung zweier homogener Materialien) wird in [3] untersucht. Wie bei Cremer werden die Platten als unendlich ausgedehnt angenommen.

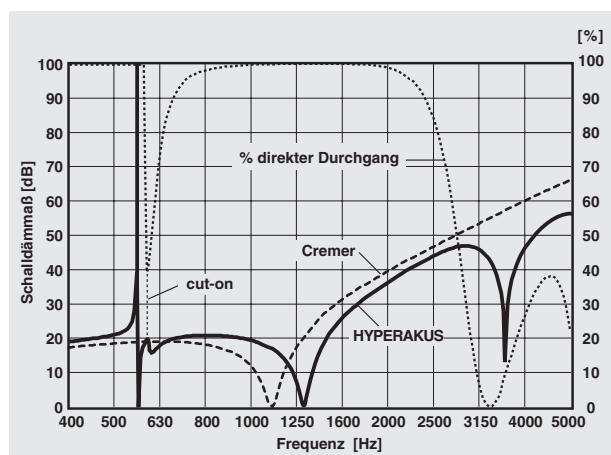


Bild 1: Schalldämmmaß für eine verlustlose Platte mit sinusförmiger E-Modul-Variation bei schrägem Einfall einer ebenen Welle; von der direkt durchgelassenen Welle transportierte Energie (punktiert, in %); Cremers Ergebnis für eine homogene Platte (gestrichelt).

Gebeugte Wellen und Nahfelder

Ähnlich wie in der Optik können periodische Strukturen auch in der Akustik Beugungseffekte verursachen. Unterhalb charakteristischer Frequenzen sind die gebeugten Wellen nicht ausbreitungsfähig und tragen zum Schalldurchgang nichts bei. Sie sorgen dann als Nahfelder für die Erfüllung der Randbedingungen an den Plattenoberflächen. Dies kann zu überraschenden Phänomenen führen, nämlich zu einer Totalreflexion und einem Totaldurchgang weit unterhalb der Cremerschen Koinkidenz (Bild 1). Letztere ist bei der periodischen Platte zu höheren Frequenzen verschoben. Oberhalb 3 kHz tritt ein weiterer Einbruch in der Schalldämmung auf, der vorwiegend durch sich ausbreitende gebeugte Wellen verursacht wird. Die direkt durchgelassene Welle ("nullte Beugungsordnung") transportiert hier nur einen geringen Anteil (ca. 10%) der insgesamt transmittierten Energie.

Dämpfung

Wie bei der Cremerschen Theorie kann die interne Dämpfung des Plattenmaterials durch komplexe elastische Kon-

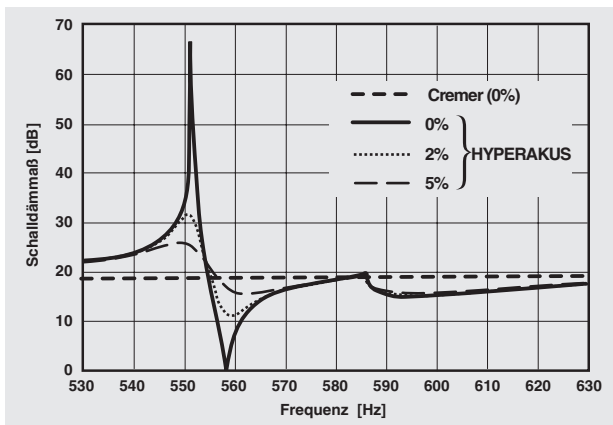


Bild 2: Wie in Bild 1, jedoch eingeschränkter Frequenzbereich und zusätzlich Ergebnisse für Verlustfaktoren von 2 % und 5 %.

stanten (oder eine komplexe Massendichte) beschrieben werden. Die Materialdämpfung wirkt sich besonders stark auf die "Zacke" zwischen 500 Hz und 600 Hz (Bild 1) aus. Sie wird bereits durch Verlustfaktoren von wenigen Prozent deutlich geglättet (Bild 2).

Integration

Für den Vergleich mit üblichen Messungen müssen die Transmissionsgrade für ebene Wellen über die Einfallswinkel gemittelt werden. Im Gegensatz zur homogenen und isotropen Platte, bei der eine Integration über den Einfallswinkel Θ relativ zur Plattenormalen genügt, muß zusätzlich über den Winkel Φ relativ zur periodischen Struktur in der Plattenebene integriert werden (Bild 3). Dies bedingt einen hohen Re-

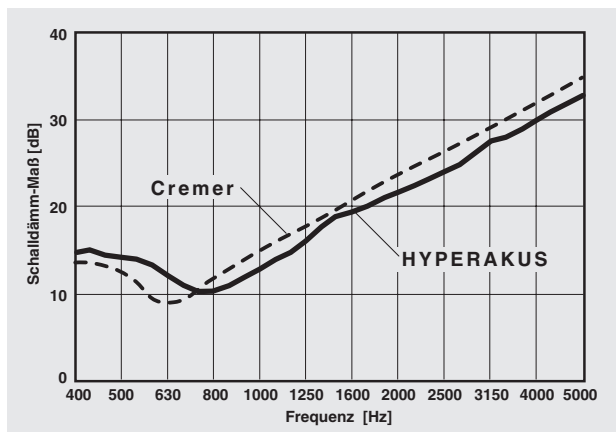


Bild 3: Schalldämm-Maß für eine Platte mit rechteckiger E-Modul-Variation und 2 % Verlustfaktor bei diffusum Schalleinfall; Cremers Ergebnis für eine homogene Platte (gestrichelt).

chenaufwand, zumal die Rechnung für eine ebene Welle schon wesentlich länger dauert als im homogenen Falle. Zwar läßt sich die Rechenzeit durch ein adaptives Integrationsverfahren reduzieren, ein konvergiertes Ergebnis zu erzielen ist aber immer noch mühsam, insbesondere bei geringen Materialdämpfungen. Bild 3 zu berechnen dauerte eine knappe Woche auf einer HP-Workstation. Selbst wenn das Ergebnis noch nicht auf Strichstärke konvergiert wäre, so zeigt es doch deutlich, daß Zacken und Einbrüche durch die Materialdämpfung und vor allem durch die Winkelintegrationen weitgehend geglättet werden. Übrig bleibt im wesentlichen eine Verschiebung und eine Verbreiterung des Minimums verglichen mit dem Cremerschen Ergebnis für die geometrisch gemittelten Materialdaten.

Anwendungen

Der Einsatz von HYPERAKUS setzt voraus, daß sich die Materialeigenschaften der Platte längs der Plattenormalen nicht ändern. Dies schließt insbesondere mehrschichtige Platten aus. Untersuchungen zu unverputzten Wänden aus vermörtelten Vollsteinen sind derzeit im Gange. Der Einfluß von Putzschichten kann gegebenenfalls mit dem Programm LAYERS (für Platten aus mehreren homogenen Schichten, siehe z.B. [1]) bestimmt werden.

Visualisierung

HYPERAKUS erlaubt auch die Generierung von Animationsdaten, mit denen die Schwingungen der Platte und der angrenzenden Fluide veranschaulicht werden können. Ein Videofilm, der in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für Graphische Datenverarbeitung unter Benutzung von IS-VAS produziert wurde, zeigt einige instruktive Situationen (erhältlich beim Fraunhofer IRB Verlag: 15 Animationen, ca. 8 Minuten Dauer, Sonderdruck von [3]).

Literatur

- [1] Maysenhölder, W.: Low-frequency sound transmission through periodically inhomogeneous plates with arbitrary local anisotropy and arbitrary global symmetry. ACUSTICA/acta acustica 82 (1996), H.4, S. 628 - 635.
- [2] Cremer, L.: Theorie der Schalldämmung dünner Wände bei schrägem Einfall. Akust. Z. 7 (1942), H. 3, S. 81 - 104.
- [3] Maysenhölder, W.: Sound transmission through periodically inhomogeneous anisotropic thin plates: generalizations of Cremer's thin plate theory. ACUSTICA/acta acustica 84 (1998), H. 4, S. 668 - 680.

Ergänzende Software zur Visualisierung wurde von Dipl.-Phys. B. Horvatic' (Videofilm) und Dipl.-Phys. K. Naßhan erstellt.

Die Untersuchungen wurden gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (Schwerpunktprogramm "Bauphysik der Außenwände", Az. Ge 368/8).