

24 (1997) Neue Forschungsergebnisse, kurz gefaßt

W. Maysenhölder, B. Horvatić

Bestimmung elastodynamischer Eigenschaften von Baustoffen

Ausgangssituation

Da die Schalldämmung eines Bauteils in vielen Fällen maßgeblich von seiner flächenbezogenen Masse bestimmt wird, ist den elastodynamischen Eigenschaften von Baumaterialien aus akustischer Sicht bisher wenig Aufmerksamkeit geschenkt worden. In Tabellen (siehe z. B. [1, S. 226]) findet man neben der Dichte noch einen E-Modul und einen Verlustfaktor als voneinander unabhängige Materialeigenschaften. In der Tat lassen sich mit diesen Angaben die gängigen Formeln zur Abschätzung der Schalldämmung oder der Frequenzen für Koinzidenz und Dickenschwingung auswerten, wobei das in der Regel unbekanntes Poisson-Verhältnis bei der Berechnung der Biegesteife ungefähr gleich 0.3 oder auch null gesetzt wird.

Ziele

Angesichts der neuen Möglichkeiten zur genaueren Berechnung der Schalldämmung ist diese Situation in zweierlei Hinsicht unbefriedigend: Erstens, weil die genannten Eigenschaften oft nur ungenau oder gar nicht bekannt sind - vielfach gibt es nur Anhaltswerte für ganze Stoffgruppen -, und zweitens, weil so gut wie keine Informationen über das Poisson-Verhältnis oder über anisotropes Verhalten vorliegen (von genaueren Angaben zur Dämpfung ganz zu schweigen). Der Anspruch der neuen Berechnungsmethoden auf höhere Genauigkeit kann deshalb mangels verlässlicher Eingabedaten nicht eingelöst werden. Dies trifft in besonderem Maße auf inhomogene Bauteile zu, bei denen es entscheidend auf die Unterschiede in den Eigenschaften der beteiligten Materialien ankommt. Wenn die benötigten Daten fehlen, wird es nicht gelingen, Kombinationen üblicher Materialien zu optimieren oder gezielt nach neuen Materialien mit bestimmten elastodynamischen Eigenschaften zu suchen. Diese zu bestimmen ist folglich eine unabdingbare Notwendigkeit, um die immer wieder verschärften Anforderungen an Bauteile auf wirtschaftliche Weise erfüllen zu können.

Verschiedene Meßmethoden

Die elastodynamischen Eigenschaften eines homogenen Festkörpers können auf verschiedene Arten ermittelt werden. Beispielsweise werden aus den Eigenschwingungen eines Stabes (Longitudinal-, Torsions- oder Biegeschwingungen)

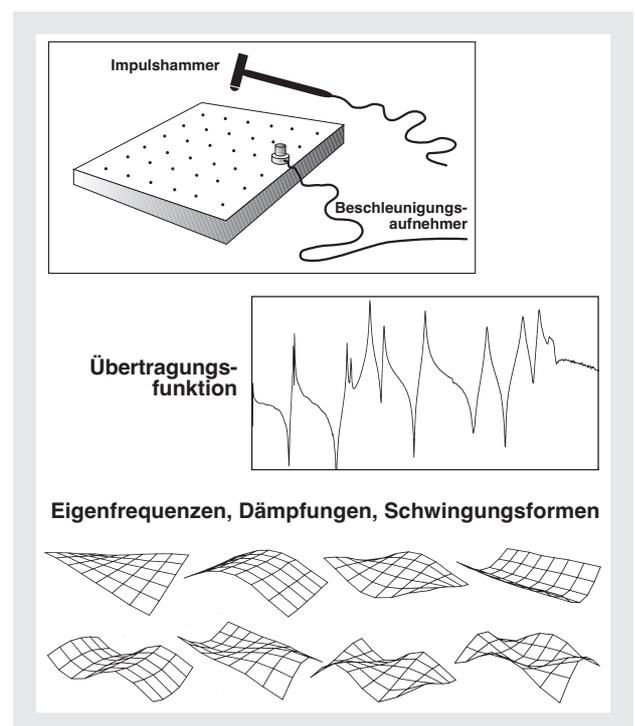


Bild 1: Ermittlung von Eigenschwingungen durch Modalanalyse

mit Hilfe der Theorie für dünne Stäbe die entsprechenden Moduln abgeleitet (siehe z. B. [1, Ziffer 3.4]). Diese Methode ist jedoch auf isotrope Materialien und zu hohen Frequenzen hin beschränkt und liefert pro Meßapparatur auch nur jeweils einen Modul (und Verlustfaktor). Im Ultraschallbereich wird gerne die Laufzeit von Pulsen benutzt. Aus gemessenen Schallgeschwindigkeiten verschiedener Wellenarten in verschiedenen Richtungen lassen sich dann sämtliche elastischen Konstanten berechnen. Inwieweit sich diese Methode für Baumaterialien eignet, ist noch nicht endgültig geklärt [2]. Eine weitere Möglichkeit, die ebenfalls im Ultraschallbereich Anwendung findet, stellt eine Verallgemeinerung der zuerst genannten Methode dar: nämlich aus den Eigenschwingungen eines einfach geformten Probekörpers auf die elasti-

schen Konstanten zu schließen ("Resonant Ultrasound Spectroscopy"). Dieses Meßprinzip kann, wie im Folgenden beschrieben, auch im bauakustischen Frequenz- und Materialbereich erfolgreich eingesetzt werden.

Grundzüge des Verfahrens

Wenn die Massendichte und die elastischen Konstanten einer homogenen Materialprobe bekannt sind, lassen sich die Eigenschwingungen der Probe eindeutig berechnen. Unter der weiteren Voraussetzung, daß der Probekörper eine einfache geometrische Form besitzt, geht dies ohne Finite Elemente und daher sehr schnell, so daß die Eigenschwingungsberechnung in vertretbarer Zeit oft wiederholt werden kann. Dies ermöglicht die iterative Lösung des inversen Problems, nämlich aus gemessenen Eigenfrequenzen die elastischen Konstanten zu bestimmen. Als Probenformen bieten sich Quader und Zylinder an. Bausteine können deshalb oft unmittelbar als Proben verwendet werden. Auch die Herstellung von gegossenen Gips- und Mörtelproben ist einfach. Der entscheidende Vorteil des Verfahrens besteht jedoch darin, daß nicht nur der E-Modul, sondern auch die Poisson-Zahl und darüber hinaus, falls das Material elastisch anisotrop ist, weitere elastische Konstanten bestimmt werden können.

Die Schritte im einzelnen:

- Herstellung und Präparation eines Probekörpers in der Form eines Quaders, eines Vollzylinders oder eines Hohlzylinders: Die geometrische Form soll möglichst perfekt sein. Es wird angenommen, daß die Probe als homogen betrachtet werden darf und orthotrope Symmetrie besitzt. Letzteres bedeutet unter anderem, daß die orthotropen Achsen in den Symmetrieebenen des Quaders oder Zylinders liegen müssen. Unter Umständen muß die Oberfläche geeignet präpariert werden, damit sie bei der Schwingungsanregung nicht zerbröseln.
- Modalanalyse am Probekörper mit kommerzieller Modalanalyse-Software (Bild 1): Dieser soll so gelagert sein, daß er möglichst frei schwingen kann. Zur Bestimmung der neun elastischen Konstanten bei orthotroper Anisotropie sind im Prinzip mindestens neun Moden erforderlich; wünschenswert sind wesentlich mehr. Im Falle isotroper Materialien benötigt man mindestens zwei Moden. Die interne Dämpfung des Materials wird aus den Dämpfungen der Moden abgeschätzt, wobei der Einfluß einer zusätzlichen Dämpfung durch die Lagerung zu berücksichtigen ist.
- Auswertung der Modalanalyse mit Pascal-XSC-Programm MODULI (Bild 2): Aus Schätzwerten für die elastischen Konstanten werden Eigenfrequenzen und Schwingungsformen des Probekörpers berechnet und mit den gemessenen verglichen. In einem Iterationsprozeß wird versucht, durch Änderung der Schätzwerte die Rechenergebnisse mit den Meßergebnissen in Übereinstimmung zu bringen. Gelingt dies, erhält man die elastischen Konstanten des Probekörpers: zwei für isotrope Materialien und neun für orthotrope. Im orthotropen Fall wird noch geprüft, ob eventuell eine höhere Symmetrie vorliegt. Eine Fehlerabschätzung,

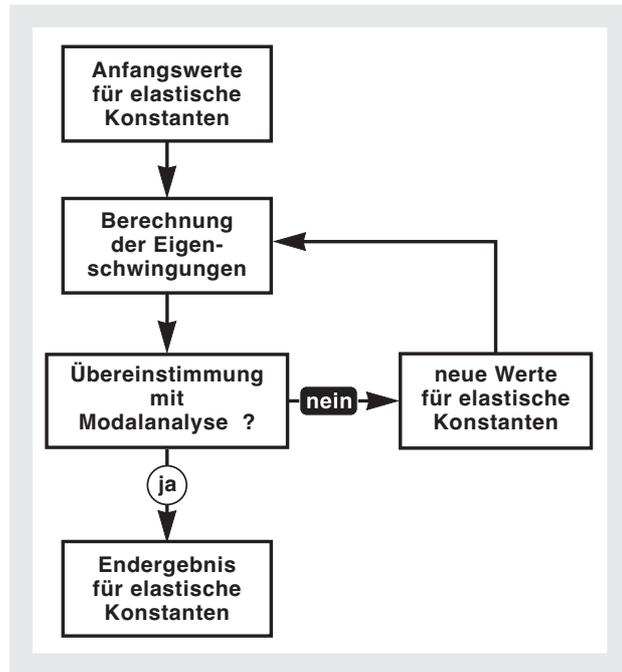


Bild 2: Iterative Bestimmung der elastischen Konstanten

zung, in die sowohl Meßfehler als auch die Differenzen zwischen gemessenen und berechneten Frequenzen eingehen, gibt ein Gefühl für die Genauigkeit der Resultate.

Ergebnisse

Für verschiedene Proben aus Kalksandstein, Porenbeton, Gipsputz und Mörtel ergaben sich E-Moduln zwischen 1.6 und 6.1 GPa; Literaturwerte liegen, soweit bekannt, in der gleichen Größenordnung [2]. Dagegen sind die bislang unbekannteren Poisson-Zahlen deutlich kleiner als die üblicherweise angenommenen 0.3, nämlich zwischen 0.14 und 0.2! Es ist beabsichtigt, die elastodynamischen Eigenschaften von möglichst vielen Baustoffen zu bestimmen, um auf diese Weise eine umfassende und zuverlässige Datenbasis für Schalldämmungsberechnungen zu erhalten.

Literatur

[1] Cremer, L.; Heckl, M.: Körperschall. Springer-Verlag, Berlin 1996.
 [2] Maysenhölder, W.; Horvatić, B.: Verfahren zur Bestimmung elastodynamischer Eigenschaften von Baumaterialien. Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP (Hrsg.). Stuttgart, 1996. (IBP-Bericht B-BA 5/1995).

Die Entwicklung des Meßverfahrens wurde gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (Schwerpunktprogramm "Bauphysik der Außenwände"), die Gips-Schüle-Stiftung und die Forschungsvereinigung Porenbetonindustrie e. V.



Fraunhofer Institut
Bauphysik

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR BAUPHYSIK (IBP)

Leiter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. mult. Dr. E.h. mult. Karl Gertis
 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