

K. Naßhan, W. Maysenhölder

Effiziente Lokalisierung von Schallbrücken mittels Körperschallintensitätsmessung

Einleitung

Eine mangelhafte Bauausführung führt häufig zu Schallbrücken, deren Beseitigung mit erheblichen Kosten verbunden sein kann oder wegen dieser Kosten erst gar nicht in Angriff genommen wird. Voraussetzung für eine kostengünstige Reparatur ist die effiziente Lokalisierung der Schallbrücken. Ein bereits 1987 entwickeltes Lokalisierungsverfahren [1 bis 4] basiert auf der Messung von Körperschallintensitäten [5] und deren Auswertung. Mittlerweile werden zur Suche der Schallbrücken, die Quellen oder Senken der Körperschallenergie sind, kostengünstige portable Geräte eingesetzt.

Messung der Körperschallintensität mittels portablen Personalcomputer

Moderne Messwerterfassungskarten gestatten die Messung der Körperschallintensität mittels Personal Computer. In dem realisierten Messsystem wurde in einen portablen PC eine 16-kanalige, 16-Bit-Messwerterfassungskarte eingebaut, die mit einer Summenabtastrate von bis zu 250 kHz abtastet. Die vier Beschleunigungsaufnehmer werden mittels einer Halterung fixiert. Ein Programm namens 'Locate It!' steuert die Messwerterfassung, wertet die Messsignale aus und errechnet daraus die Intensitäten und deren Standardabweichungen.

Suchverfahren zur Bestimmung der Lage von Schallbrücken

Zur Bestimmung der Lage von Schallbrücken werden zunächst die an verschiedenen Punkten gemessenen und über ausgewählte Frequenzbänder gemittelten Intensitätsvektoren zu Geraden verlängert und deren Schnittpunkte ermittelt. Da die Richtungen der Vektoren mit Unsicherheiten behaftet sind, erhält man um jeden Schnittpunkt ein Rechteck, das die Unsicherheit des Schnittpunkts angibt. Sodann wird klassifiziert, ob es sich bei dem Schnittpunkt um eine Quelle, eine Senke oder keins von beiden handelt. Zeigen beide Intensitätspfeile auf den Schnittpunkt, ist er eine Senke, weisen beide vom Schnittpunkt weg, liegt eine Quelle vor. Sollten zwei Intensitätsvektoren nahezu parallel sein oder zum gleichen Punkt gehören, wird kein Schnittpunkt

berechnet. Nun werden die Schnittpunkte nach der Klassifikation sortiert und Quellen und Senken angezeigt. Der Benutzer kann dann entscheiden, welche Quellen und Senken er für die weitere Auswertung verwenden will. Dies kann sowohl durch An- und Abwählen einzelner Schnittpunkte geschehen oder durch logische Operationen (z.B. $0,5 \text{ m} < x\text{-Koordinate} < 2 \text{ m}$) erfolgen. Aus den ausgewählten Quellen oder Senken wird dann ein mittlerer Schnittpunkt errechnet. Dafür wird das mit der reziproken Standardabweichung gewichtete arithmetische Mittel der einzelnen Schnittpunkte gebildet und die Standardabweichung dieses mittleren Schnittpunktes bestimmt. Als Ergebnis liegt dann ein Rechteck vor, in dem eine Schallbrücke vermutet wird.

Verifikationsexperimente

Spanplatte mit bis zu drei Schallbrücken

Eine Spanplatte (2,5 m x 1,25 m x 2,5 cm) wurde auf einer 3 cm dicken Mineralwollschicht auf dem Betonboden eines Prüfstandes gelagert. Als Schallbrücken dienten Schraubverbindungen mit dem Prüfstandsboden. Messung und Auswertung erfolgten durch verschiedene Personen; der auswertenden Person waren zum Zeitpunkt der Auswertung die Positionen der Schallquellen unbekannt. Bild 1 zeigt eine Darstellung während der Lokalisierung. Das weiße Rechteck stellt die Spanplatte dar. Die Quellen-Schnittpunkte sind durch Kreise markiert, ihre Unsicherheit durch schraffierte Rechtecke. Die gewichtete Mittelung der kreisförmigen Quellen resultiert im karierten Rechteck, in dem eine Schallbrücke vermutet wird. Die Ergebnisse der Lokalisierung sind in Tabelle 1 zusammengefasst (Frequenzbänder: 200 bis 400 Hz beziehungsweise 400 bis 800 Hz). In keinem Fall weicht das Lokalisierungsergebnis von der tatsächlichen Schallbrückenposition um mehr als 15 cm ab. Bis auf eine Koordinate im Fall mit allen drei Schallbrücken liegen die tatsächlichen Positionen innerhalb der Fehlergrenzen.

Estrich im Prüfstand

In einem weiteren Versuch wurde eine Schallbrücke in einen Zement-Estrich eingebaut. Die Estrichplatte war 4,75 m x

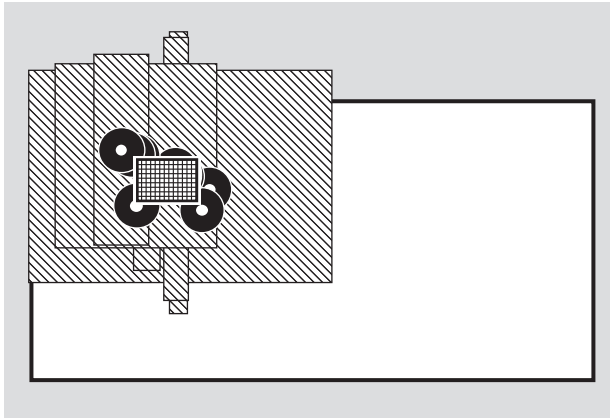


Bild 1: Grafische Darstellung der Lokalisierung einer Schallbrücke. (Bedeutung der Symbole siehe Text)

3,75 m x 5 cm groß und auf einem Schaumstoff schwimmend gelagert. Zur Herstellung der Schallbrücke wurde ein Loch in den Estrich gebohrt, eine Metallplatte auf den Estrich angedübelt und mit einer Gewindestange eine Verbindung zum Prüfstandsboden hergestellt. Die Schallbrücke befand sich bei $X = 3,50$ m und $Y = 1,50$ m. Zur Suche der Schallbrücke wurden die Estrichplatte bei $X = 2,50$ m und $Y = 1,50$ m und in der Türöffnung des Prüfstands der Boden mit Hammerschlägen angeregt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Es zeigte sich, dass die Lokalisierung bei Anregung auf dem Prüfstandsboden einfacher und mit ge-

Tabelle 1: Positionsbestimmung der Schallbrücken einer mit dem Boden verschraubten Spanplatte

| Anzahl der Schallbrücken | Tatsächliche Position der Schallbrücken | Lokalisierungsergebnis |
|--------------------------|---|--|
| 1 | $X = 1,85$ m $Y = 0,43$ m | $X = 1,98 \pm 0,20$ m $Y = 0,41 \pm 0,23$ m |
| 2 | $X = 1,85$ m $Y = 0,43$ m | $X = 1,86 \pm 0,04$ m $Y = 0,56 \pm 0,19$ m |
| | $X = 0,65$ m $Y = 0,83$ m | $X = 0,63 \pm 0,12$ m $Y = 0,76 \pm 0,25$ m |
| 3 | $X = 1,85$ m $Y = 0,43$ m | $X = 1,90 \pm 0,14$ m $Y = 0,39 \pm 0,12$ m |
| | $X = 0,65$ m $Y = 0,83$ m | $X = 0,59 \pm 0,14$ m $Y = 0,89 \pm 0,09$ m |
| | $X = 1,45$ m $Y = 1,03$ m | $X = 1,55 \pm 0,07$ m $Y = 0,91 \pm 0,06$ m |

ringeren Messfehlern behaftet ist. Die Nähe der Schallquelle wirkt sich im Falle der Anregung auf der Estrichplatte negativ auf die Genauigkeit der Ergebnisse aus. In einer Kontrollauswertung wurde auch die Lage der Schallquelle ermittelt.

Zusammenfassung

Es wurde ein PC-gestütztes Messverfahren für Körperschallintensitäten und zur Lokalisierung von Schallbrücken implementiert und an Modellen und realen Bauteilen erprobt. Trotz messtechnisch ungünstiger, jedoch realitätsnaher Situatio-

Tabelle 2: Positionsbestimmung der Schallbrücke eines schwimmenden Estrichs

| Anregung | Auswertebereich | Gemessene Position der Schallbrücke |
|---------------------|-----------------|--|
| Auf Estrich | 200 - 400 Hz | $X = 4,00 \pm 0,38$ m $Y = 1,52 \pm 0,22$ m |
| | 400 - 800 Hz | $X = 3,68 \pm 0,33$ m $Y = 1,73 \pm 0,85$ m |
| Auf Prüfstandsboden | 200 - 400 Hz | $X = 3,44 \pm 0,05$ m $Y = 1,23 \pm 0,24$ m |
| | 400 - 800 Hz | $X = 3,46 \pm 0,04$ m $Y = 1,26 \pm 0,17$ m |

nen (wenig bedämpfte Platten) konnten mittels der Intensitätsmethode die Schallbrücken mit einer Genauigkeit von 15 cm bis 30 cm lokalisiert werden. Wenn das Bauteil nicht direkt, sondern über die Schallbrücke angeregt wurde, war die Lokalisierung einer Schallbrücke einfacher und genauer. Die Anwendung der Methode, insbesondere die Auswertung der Daten, erfordert eine gewisse Sachkenntnis. Das Programm 'Locate It!' sollte deshalb nicht nur als 'Blackbox' benutzt werden. Messungen an Modellen und Bauteilen in den Prüfständen des Instituts für Bauphysik haben gezeigt, dass das Verfahren reif ist, in Feldversuchen seine Leistungsfähigkeit zu beweisen. Ergänzend dazu werden weitere Laborversuche an anderen Typen von Bauteilen folgen.

Dank

Herrn Dipl.-Ing. T. Kenner sei für die Durchführung der Messungen gedankt. Das Projekt, das in [6] ausführlich dokumentiert ist, wurde teilweise aus Mitteln des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung (Aktenzeichen: Z 6 - 5.4.00-09 / II 13 - 80 01 00-09) gefördert.

Literatur

- [1] Maysenhölder, W.; Schneider, W.: Entwicklung eines Messverfahrens zur Lokalisierung von Körperschallbrücken in mehrschaligen Wänden. Bericht des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik, BS 166/87, 1987.
- [2] Maysenhölder, W.; Schneider, W.: Sound bridge localization in buildings by structure-borne sound intensity measurements. *Acustica* 68 (1989), H. 4, S. 258-262.
- [3] Maysenhölder, W.; Schneider, W.: Lokalisierung von Schallbrücken mit Hilfe von Körperschallintensitätsmessungen. IBP-Mitteilung 14 (1987) Nr. 143 des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik.
- [4] Mohr, J.; Maysenhölder, W.: Schallbrückenlokalisierung bei schwimmenden Estrichen. IBP-Mitteilung 15 (1988) Nr. 167 des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik.
- [5] Pavic, G.: Measurement of structure-borne wave intensity, Part I: Formulation of the methods, *J. Sound Vib* 49 (1976), H. 2, S. 221-230.
- [6] Naßhan, K.; Maysenhölder, W.: Effiziente Lokalisierung von Körperschallbrücken und Identifizierung von Körperschallwegen in Gebäuden. Bericht des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik, B-BA 11/2002, 2002.



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