

G. Rosenhouse, H. Ertel, F. Mechel

## Modell zur Berechnung der Körperschallübertragung durch flankierende Bauteile

Im folgenden wird ein theoretisches Modell vorgestellt, das es erlaubt, bei Kenntnis der wesentlichsten Materialdaten wie Elastizitätsmodul und Verlustfaktor die Körperschallübertragung in unterschiedlichsten Balkenkon-

struktionen zu berechnen. Die Theorie wurde am Modell einer einfachen Verzweigung durch Messung der Körperschallausbreitung überprüft.

### 1. Modellbeschreibung:

Das ausgearbeitete Modell beruht auf der exakten Lösung des Gleichungssystems der miteinander verkoppelten Wellengleichungen für Longitudinal- und BiegeWellenausbreitung. Das zu berechnende Bau- oder Gebäudeteil wird dazu in einzelne gerade Elemente, wie z. B. ebene Wände oder gerade Balken unterteilt, welche an konstruktiven Verzweigungs- oder Knotenpunkten z. B. in Ecken oder Kanten miteinander verbunden sind. Es wird dabei vorausgesetzt, daß auf diesen Elementen zwischen den Knotenpunkten die Wellenausbreitung nur eindimensional erfolgt. Diese Voraussetzung gilt unmittelbar für Balkenkonstruktionen und stellt eine erste Näherung für Plattenkonstruktionen dar.

Die Berechnung erfolgt in folgenden Schritten:

- a) Aufstellung der Ausbreitungsgleichungen sowohl für die Longitudinal- als auch die BiegeWelle für jedes einzelne Element,
- b) Einführung der Gleichgewichtsbedingungen an den Stoßstellen der Elemente,
- c) Formulierung der Randbedingungen für die Befestigung oder Auflagerung des zu berechnenden Bau- oder Gebäudeteils,
- d) Festlegung der Anregungsart und des Anregungsortes.

Zur Verkopplung der Gleichungssysteme für die einzelnen Elemente wurde ein Matrizenschema ausgearbeitet, das aus einer Koeffizientenmatrix und einer Matrix für die auf

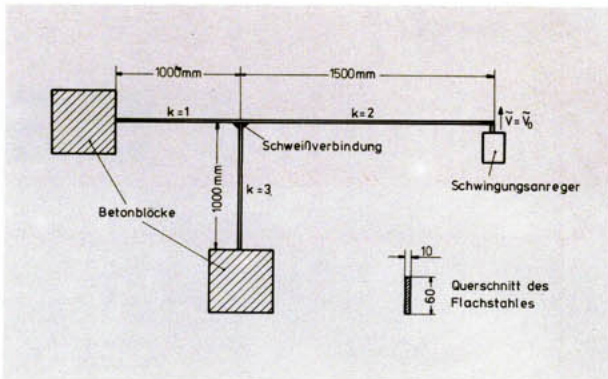
das Bauteil einwirkenden Bewegungen und Kräfte besteht [1, 2]. Die Koeffizientenmatrix ist aus einzelnen Übertragungsmatrizen für die auftretenden Stoßstellen der Elemente und Submatrizen, die die Randeinspannungen beschreiben, zusammengesetzt. Soll z. B. die Körperschallübertragung über eine Ecke berechnet werden, so besteht die Koeffizientenmatrix aus der Übertragungsmatrix der Ecke und den Matrizen, die die Einspannung der beiden Eckbauteile beschreiben.

Für die T-Verzweigung nach Bild 1 zeigt Bild 2 das Matrizenschema. Eine ausführliche Beschreibung der Submatrizen 1 bis 8 ist in [1, 2] enthalten. Die weiteren Matrizen im Schema sind:

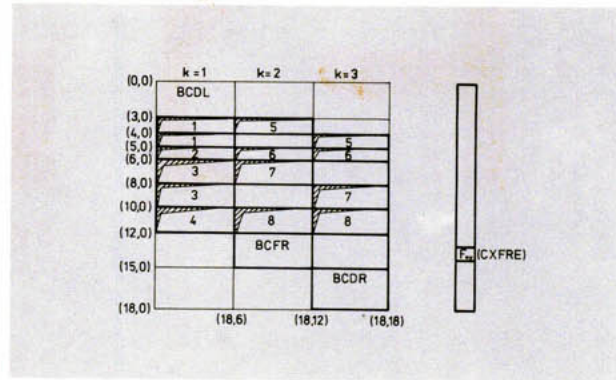
- [BCDL], [BCDR] – Submatrizen für die starren Einspannungen der Elemente  $k = 1$  und  $k = 3$  (Bewegungsgrößen = 0)
- [BCFR] – Submatrix für das freie Ende des Elementes  $k = 2$  (Kraftgrößen = 0)
- [CXFRE] – Matrix zur Beschreibung der auf das Element  $k = 2$  einwirkenden Kräfte und Bewegungen.

Der Verlustfaktor  $\eta$  für die einzelnen Elemente ist als Parameter in das Gleichungssystem einzugeben und führt im Falle  $\eta \neq 0$  zur Berechnung komplexer Koeffizienten. Die Lösung des Gleichungssystems liefert die komplexen Geschwindigkeitsamplituden der Longitudinal- und BiegeWelle entlang der Elemente.





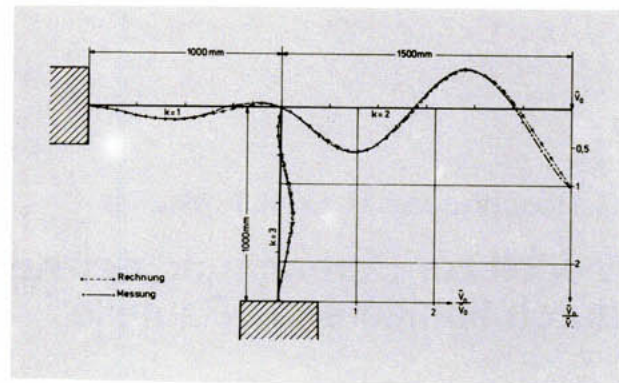
**Bild 1**  
Modell einer T-Verzweigung mit festen Randeinspannungen, Schweißverbindung am Knotenpunkt.  
Material: Baustahl



**Bild 2**  
Beispiel des Matrixschemas zur Berechnung der T-Verzweigung

## 2. Praktische Untersuchungen:

Für vergleichende praktische Untersuchungen wurde das Modell einer einfachen Verzweigung aufgebaut. Bild 1 gibt den Modellaufbau wieder. Zwei Flachstahlprofile wurden in T-Form starr miteinander verschweißt und an zwei Enden fest in Betonblöcke von je 300 kg Masse eingegossen. Die Betonmassen verhinderten Schwingbewegungen des Modells an diesen Enden, wodurch definierte Reflexionsbedingungen an diesen Einspannungen erreicht wurden. Die Schwingungsanregung des Modells erfolgte am freien Ende mit Hilfe eines dynamischen Schwingungsanregers. Bei konstant gehaltener Anregungsgeschwindigkeit wurde für mehrere Frequenzen die Schwinggeschwindigkeit der angeregten Biege wellen entlang der Flachstahlprofile gemessen. Als Beispiel für die erhaltenen Ergebnisse sind in Bild 3 die Meßwerte für die Anregung bei 70 Hz eingetragen. Die Messung bestätigt den rechnerisch ermittelten Verlauf



**Bild 3**  
Verlauf der Biege wellengeschwindigkeit über den Elementen des Modells  
Anregungsfrequenz: 70 Hz

der Schwinggeschwindigkeit entlang der Flachstahlprofile. Zum Vergleich ist das Rechenergebnis in Bild 3 eingetragen.

## 3. Schlußfolgerungen:

Die Meßergebnisse bestätigen die prinzipielle Eignung des theoretischen Modells zur Berechnung der Körperschalltransmission durch Verzweigungen. Es ergeben sich damit Möglichkeiten, den Einfluß konstruktiver Veränderungen an Balken- und Plattenkonstruktionen rechnerisch vorherzubestimmen.

Die Messungen und Rechnungen zeigen, daß es wichtig ist, die Longitudinalwellen neben den Biege wellen mit in die Rechnung einzubeziehen. Das Beispiel des verwendeten einfachen T-Modells zeigt bereits, daß ein Teil der Schwingungsenergie am Knotenpunkt aus den Biege wellen in die Longitudinalwellen übergeht.

### Literaturverzeichnis:

- [1] G. Rosenhouse: „Acoustic Wave Propagation in Bent Thin-Walled Wave-Guides“, J. Sound and Vibration, 67 (1979), 4, pp. 469-486
- [2] G. Rosenhouse: „Flanking Analysis of Wave Propagation in Double Skin Stiffened Panels and Other Building Elements“, IBP-Report, Research-No. 500 100, 1978 (not published)
- [3] K. G. Atkins, S. C. Hunter: „The Propagation of Longitudinal Elastic Waves Round Right-Angled Corners in Rods of Square Cross-Sections“, Quart. Jr. Appl. Math. XXVII, pt. 2, 1975, pp. 245-260
- [4] J. P. Lee, H. Kolsky: „The Generation of Stress Pulses at the Junctions of Two Noncollinear Rods“, Jr. Appl. Mech., 1972, pp. 809-813
- [5] L. Cremer: „Calculation of Sound Propagation in Structures“, Acustica, Vol. 3, 5, 1953, pp. 317-335
- [6] R. Josse: „Transmission Indirecte du Son dans les Doubles Cloisons Légères“, 5<sup>e</sup> Congrès International D'Acoustique, Liege, 7.-14. 9. 1965, F 17

Nachdruck nur mit schriftlicher Genehmigung des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik



FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR BAUPHYSIK  
7000 STUTTGART 70 DEGERLOCH, Königstraße 74, Tel. (0711) 7650 08/09  
Außenstelle: 8150 HOLZKIRCHEN (OBB.), Postfach 1180, Tel. (08024) 1572