

Wie kann die Trittschallübertragung leichter Treppen prognostiziert werden?

A. Drechsler, J. Scheck, H.-M. Fischer

Hochschule für Technik Stuttgart, Schellingstr. 24, D-70174 Stuttgart, Email: andreas.drechsler@hft-stuttgart.de

Einleitung

Im letzten Jahr wurde ein Kooperationsprojekt zur schalltechnischen Simulation und Optimierung leichter Treppen an der Hochschule für Technik (HfT) Stuttgart abgeschlossen. Neben der akustischen Optimierung war die Erarbeitung eines praktikablen Modells zur Berechnung und Prognose der schalltechnischen Eigenschaften leichter Treppen wesentliche Aufgabenstellung des Projektes. Zunächst wurden Methoden zur Charakterisierung von Treppen als Körperschallquellen entwickelt [1], welche Eingangsdaten für eine Prognose der Übertragung in Bausituationen liefern. Für die Prognose der Körperschallübertragung im Gebäude wird auf das Rechenverfahren der DIN EN 12354-2 zurückgegriffen. Im Folgenden werden die Entwicklung und die Anwendung des Prognosemodells erläutert und es wird auf die erreichbare Genauigkeit eingegangen.

Charakterisierung von leichten Treppen durch freie Schnelle und Admittanz

Das Rechenverfahren der DIN EN 12354-2 wurde für die Trittschallübertragung von Decken entwickelt. Durch eine Charakterisierung von Treppen als Körperschallquellen, unter Berücksichtigung einer externen Anregung, kann das Verfahren auch zur Prognose der Trittschallübertragung von Treppen in Gebäuden herangezogen werden. Die Charakterisierung ermöglicht zudem die Vergleichbarkeit und Beurteilung unterschiedlicher Treppenkonstruktionen unabhängig vom Baukörper. Die Betrachtung von Treppe und externer Quelle (zum Beispiel Norm-Hammerwerk oder gehende Person) als ein System hat dabei enorme Vorteile bei der praktischen Anwendung der Methoden zur Charakterisierung und liefert optimale Eingangsdaten für das genannte Prognoseverfahren. Grundsätzlich wird die Körperschallleistung als Basisgröße für die Charakterisierung betrachtet. Im Zuge des Forschungsvorhabens an der HfT Stuttgart wurde zunächst eine vollständige Charakterisierung durch freie Schnelle und Admittanz an einer Holzwagentreppe mit lediglich einem Kontaktpunkt durchgeführt [2]. Diese Methode ist jedoch bei gleichzeitiger Anregung mehrerer Ankopplungspunkte und Komponenten nicht praktikabel. Als Verfahren zu einer vereinfachten Charakterisierung wurde deshalb die Empfangsplattenmethode [3] herangezogen. Mit dieser Methode kann nach Gleichung (1) die von einer Körperschallquelle abgegebene Gesamtleistung bestimmt werden.

$$P = \tilde{v}^2 \cdot \omega \cdot m \cdot \eta \quad [\text{W}] \quad (1)$$

Zur Bestimmung der Körperschallleistung P muss dabei, bei bekanntem Gesamtverlustfaktor η und bekannter Masse m der Empfangsstruktur, lediglich die mittlere Schnelle \tilde{v}^2 auf der Empfangsplatte bestimmt werden. Als Empfangsplatte für eine Treppe diente dabei die Treppenwand im Treppenprüfstand (Abbildung 1).

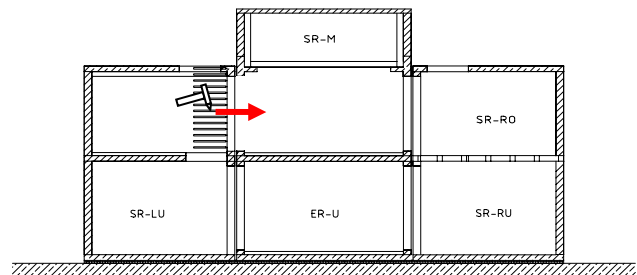


Abbildung 1: Schalltechnischer Treppenprüfstand und untersuchte Übertragungssituation.

Charakterisierung durch eine äquivalente Kraft

Für die Berechnung der Trittschallübertragung in Gebäuden nach DIN EN 12354-2 wird die „in-situ“ eingeleitete Kraft als Eingangsgröße benötigt. Diese kann nach Gleichung (2) aus der Basisgröße Leistung P und dem Realteil der Admittanz Y_E am Kontaktpunkt berechnet werden, sofern die Kraftkomponente maßgeblich für die Körperschallübertragung ist.

$$\tilde{F}_{eq}^2 = \frac{\tilde{v}^2 \cdot \omega \cdot m \cdot \eta}{\text{Re}\{Y_E\}} = \frac{P}{\text{Re}\{Y_E\}} \quad [\text{N}] \quad (2)$$

Dies trifft für die in [2] untersuchte Treppe eindeutig zu und gilt vermutlich für den Großteil der am Markt erhältlichen Montagetreppen-Systeme. Unter der weiteren Voraussetzung, dass die Admittanz der Quelle wesentlich größer ist als die Admittanz des Empfängers (Kraftquellensituation) ist das Kraftspektrum invariant und charakterisiert die Quelle eindeutig und vollständig. Für Montagetreppen in Massivbauten ist diese Voraussetzung im Allgemeinen gegeben. Die so berechnete Größe wird als „äquivalente“ Kraft F_{eq} bezeichnet. Damit wird zum Ausdruck gebracht, dass es sich bei der tatsächlichen Anregung nicht um eine einzelne Punktkraft handelt. Vielmehr wird die gleichzeitige Anregung an mehreren Punkten und durch mehrere Komponenten durch eine einzelne Punktkraft „ersetzt“, welche die gleiche Leistung überträgt.

Prognosemodell

Anhand des detaillierten Berechnungsmodells nach DIN EN 12354-2 erfolgt eine frequenzabhängige Prognose der Trittschallübertragung von Decken. Eingangsgröße für die Prognose ist das Kraftspektrum L_F der die Decke anregenden Körperschallquelle. Die Direktübertragung einer massiven Rohdecke in einen darunter liegenden Raum wird nach Gleichung B.1 der Norm berechnet. Für das Norm-Hammerwerk als anregende Quelle und dessen Kraftspektrum ergibt die Prognose den Norm-Trittschallpegel der Decke. Betrachtet man nun eine Treppe als Körperschallquelle und charakterisiert diese durch eine äquivalente Kraft, so kann mit der modifizierten Gleichung B.1 (3) die Trittschallübertragung der Treppe prognostiziert werden. Als Eingangsgröße wird

das Kraftspektrum der eingebauten Treppe benötigt. Dieses wird im Prüfstand aus der Empfangsplattenleistung nach dem oben beschriebenen Verfahren als äquivalentes Kraftspektrum $L_{F_{eq}}$ messtechnisch bestimmt.

$$L_n = L_{F_{eq}} + 10 \lg \frac{\text{Re}(Y)\sigma}{m'} + 10 \lg T_s + 10.6 \text{ dB} \quad [\text{dB}] \quad (3)$$

Prognose für eine Treppe am Bau

Eine geradläufige Holzterrappe, bei der jede Stufe über zwei Bolzen direkt in der Treppenwand gelagert ist, wurde im Treppenprüfstand charakterisiert. Es wurde die äquivalente Kraft $L_{F_{eq}}$ nach der oben dargestellten Methode als Mittelwert aus vier mit dem Norm-Hammerwerk angeregten Stufen bestimmt. Sie diene als Eingangsgröße für die folgende Prognose. Das gleiche Treppensystem wurde in einer Reihenanlage eingebaut. Der Treppenquerschnitt war allerdings zweimal viertelgewandelt, so dass sich die Stufengeometrien unterschieden. Die Haustrennwände waren einschalig aus 24 cm Stahlbeton ausgeführt. Die weiteren Größen der Gleichung (3) wurden entsprechend dieser Einbausituation nach DIN EN 12354-2 berechnet. Zusätzlich wurde die Übertragung über flankierende Bauteile berücksichtigt. Der Vergleich von prognostizierten und gemessenen Norm-Trittschallpegeln für diese Situation ist in Abbildung 2 dargestellt.

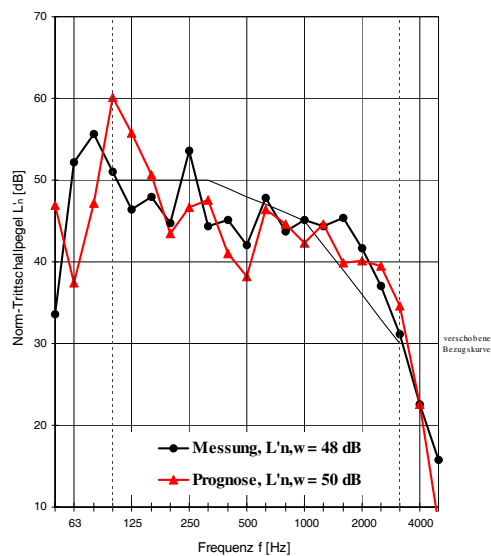


Abbildung 2: Vergleich der in einer Bausituation gemessenen Norm-Trittschallpegel mit den prognostizierten Werten.

Im Frequenzbereich ab etwa 200 Hz ist die Übereinstimmung sehr gut, darunter ergeben sich größere Abweichungen, die vor allem auf den im Vergleich mit der Prüfstandstreppe völlig anderen Treppenquerschnitt und das demzufolge geänderte Schwingungsverhalten zurückzuführen sind. In der Bausituation wurden auch Körperschallmessungen auf allen Bauteilen durchgeführt, um den Einfluss der Treppenwand und der flankierenden Wände und Decken auf die Übertragung festzustellen. Abbildung 3 zeigt die (Flanken-) Norm-Trittschallpegel der einzelnen Bauteile. Die Schallabstrahlung der Trennwand bestimmt im überwiegenden Frequenzbereich die Gesamtübertragung, die Abstrahlung der Treppenraumwände trägt aber ebenfalls bei. Die Schallab-

strahlung der Decke ist vernachlässigbar. In der Prognoserechnung ist dagegen die Übertragung der flankierenden Bauteile deutlich geringer, während die Abstrahlung des Trennteils höher ausfällt und überbewertet wird. Dies führt letztlich zu einer „Kompensierung“, so dass sich eine gute Übereinstimmung für die resultierende Schalldämmung aus Rechnung und Messung ergibt.

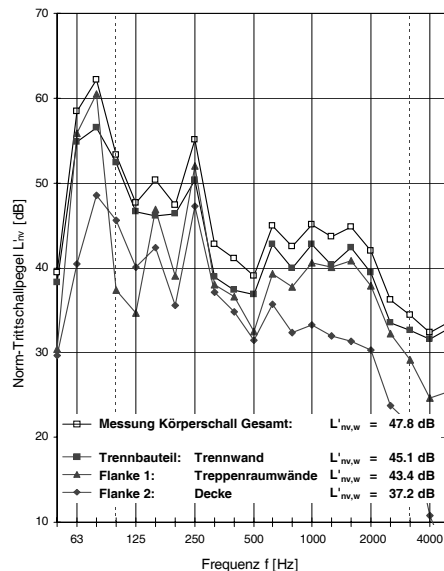


Abbildung 3: (Flanken-) Norm-Trittschallpegel für Trennteil und flankierende Bauteile aus Körperschallmessung.

Für weitere drei Bausituationen mit einschaligen Trennwänden und identischem Treppensystem wurden die Norm-Trittschallpegel prognostiziert und mit Messungen verglichen. Die prognostizierten Einzahlwerte wichen maximal 2 dB vom Messwert ab, die mittlere Abweichung in den einzelnen Terzen betrug ± 5.2 dB. Die Genauigkeit des Prognosemodells für leichte Treppen entspricht damit den Genauigkeitsangaben für das Rechenverfahren der DIN EN 12354-2.

Zusammenfassung und Ausblick

Das vorgestellte Prognosemodell funktioniert sehr gut. Für die weitere Anwendung werden nun Eingangsdaten am Markt verfügbarer Treppensysteme benötigt. Die optimale Basis hierfür wäre die Erstellung eines Bauteilkataloges für Montagetreppen. Das Prognosemodell ist derzeit nur für leichte Treppen an einschaligen Massivwänden anwendbar. In Reihen- und Doppelhäusern sind jedoch zweischalige Haustrennwände die Regelkonstruktion. Eine Erweiterung der vorhandenen Rechenmodelle auf zweischalige Massivwände ist daher dringend erforderlich.

Literatur

- [1] Scheck, J. et al.: Approach for the characterization of a Wooden Staircase as Structure-borne Sound Source, Fortschritte der Akustik, DAGA 2005, München.
- [2] Scheck, J. et al.: Characterization of a Wooden Stair as Structure-borne Sound Source, Fortschritte der Akustik, DAGA 2007, Stuttgart.
- [3] Mayr, A.: Consideration of Vibration Sources in buildings on a Power basis, ICSV 13, Wien.