

Untersuchungen zur Prognose der Trittschallübertragung leichter Montagetreppen

Thomas Alber, Harald Haubensak, Jochen Scheck, Heinz-Martin Fischer
 Fachhochschule Stuttgart – Hochschule für Technik; Email: alber.fbp@fht-stuttgart.de

Einleitung

Bislang gibt es noch kein Verfahren um den Trittschallschutz leichter Montagetreppen zu prognostizieren. Untersuchungen zum Schwingungsverhalten dieser Treppen lassen Folgerungen zu, welche für ein Prognoseverfahren benötigt werden. Im Folgenden wird ein Prognosemodell vorgeschlagen und erste Ergebnisse mit diesem Verfahren beurteilt.

Modalanalysen

Es handelt sich um eine geländertragende Stahlbolzentreppen, deren Stufen über jeweils zwei Bolzen direkt an der Treppenwand befestigt sind. Zur Entwicklung eines Prognosemodells war es zunächst erforderlich zu prüfen, ob die gesamte Treppe oder die jeweils angeregte Stufe für die Übertragung hauptverantwortlich ist. In einem ersten Schritt wurden hierzu Modalanalysen einzelner Stufen durchgeführt.¹ Im zweiten Schritt, über dessen Ergebnisse im Folgenden berichtet wird, wurde die gesamte Treppe als schwingfähiges System untersucht. Die Untersuchung ergab folgenden, gemittelten Admittanz-Pegel für die Treppe:

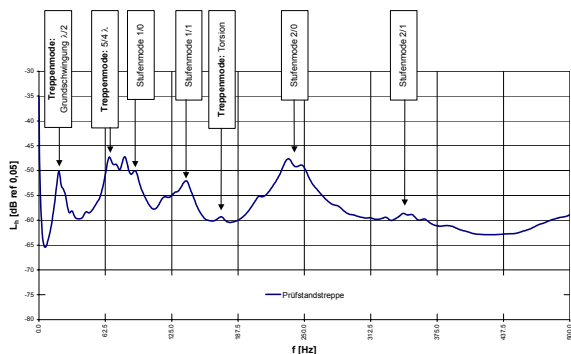


Abbildung 1: Gemittelter Admittanz-Pegel der Treppe

Um nun eine Aussage über die einzelnen Moden zu erlangen, wurden diese mit Hilfe von Animationen sichtbar gemacht. Die folgenden Bilder zeigen einige Schwingungsformen.

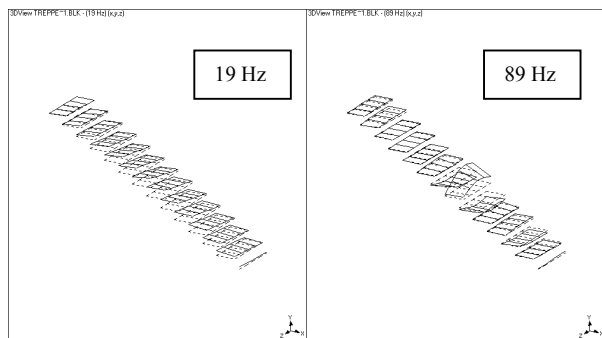


Abbildung 2: Schwingungsformen der Treppe

Bei 19 Hz (Bild links) findet sich die Grundschwingung der Treppe, welche mit der $\lambda/2$ -Grundschwingung des Geländers gleichzusetzen ist. An Anfang und Ende der Treppe bzw. des Geländers befindet sich ein Schwingungsknoten, in Geländermitte ist die Durchbiegung maximal. Bei 89 Hz tritt die Stufenmode 1/0 auf (Bild rechts), deutlich zu erkennen ist, dass, wie auch bei den übrigen

gen Stufenmoden, nur noch die direkt angeregte Stufe schwingt, während die benachbarten Stufen kaum mitschwingen.

Die Untersuchungen zeigten, dass im untersuchten Frequenzbereich bis 1 kHz, welcher für die Schallübertragung maßgeblich ist, das Schwingungsverhalten der Treppe von wenigen ausgeprägten Eigenfrequenzen der Stufen bestimmt wird, denen sich z.T. Treppen- bzw. Geländerschwingungen überlagern. Die Schwingungen der Einzelstufen werden auf die Treppenwand übertragen, die Anregung der Wand ist folglich umso stärker, je ausgeprägter die angeregte Stufe schwingt. Die direkt angeregte Stufe schwingt im Vergleich zu den benachbarten Stufen wesentlich stärker und bestimmt daher die Gesamtübertragung. Ferner zeigte sich, dass die Stufenmoden 1/0, 2/0 und 3/0 im Vgl. zu den Moden 1/1, 2/1 und 3/1 zu einer höheren Übertragung führen.

Weitere Untersuchungen zum Einfluss der Stufenmoden

In einer weiteren Untersuchung wurde gezeigt, dass der erzeugte Schalldruckpegel im Empfangsraum bei Anregung einer Stufe im Treppenverbund und einer Einzelstufe (alle übrigen Treppenstufen wurden ausgebaut) gut übereinstimmen und damit auch hier gefolgert werden kann, dass die Anregung durch die angeregte Einzelstufe bestimmt wird (siehe Abbildung 3).

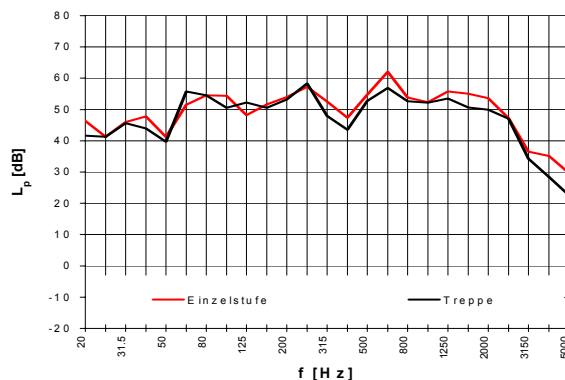


Abbildung 3: Vergleich Trittschallpegel Einzelstufe/gesamte Treppe

Ferner wurde die Schnellepegelverteilung auf der Treppe bei Anregung der mittleren Stufe mit dem Normhammerwerk untersucht. Dabei zeigte sich, dass im tieffrequenten Bereich bis ca. 80 Hz die Schwingungen der gesamten Treppenkonstruktion eine Rolle spielen, während sich eine kontinuierliche Abnahme des Schnellepegels im Frequenzbereich ab ca. 100 Hz von der direkt angeregten Stufe zu den benachbarten Stufen ergibt. Dies unterstützt die bisherige Vermutung, dass die direkt angeregte Stufe im Frequenzbereich ab ca. 100 Hz für die Anregung der Wand maßgeblich ist.

Prognosemodell

Der durch eine eingeleitete Kraft $F(f)$ erzeugte Schalldruckpegel $p(f)$ in einem Empfangsraum kann durch die Körperschallempfindlichkeit $\alpha_r(f)$, welche die Übertragung beschreibt, verknüpft werden. Für das vorliegende Prognosemodell wurde der Ansatz der DIN EN 12354-2 verwendet, der für die Prognose der Trittschall-

übertragung massiver Decken angewendet wird². Die Berechnung der Trittschallübertragung erfolgt mit Hilfe folgender Gleichung:

$$L_n = L_F + 10 \cdot \log \frac{\operatorname{Re}(Y)\sigma}{m'[1\text{sm}^2/\text{kg}^2]} + 10 \cdot \log \frac{T_s}{[1\text{s}]} + 10,6 \quad \text{eq. 1}$$

Entgegen der Trittschallanregung massiver Decken, erfolgt die Anregung des Trennbauteils bei Treppen, also der Treppenwand, nicht vertikal zur Strukturoberfläche wie bei Decken, sondern zunächst einmal parallel zur Wand bzw. vertikal in die Stufe. Daher ist es für die Anwendung des Rechenmodells notwendig eine zur Treppenwand vertikale Ersatzkraft (äquivalente Kraft) zu definieren.

Modellbildung

Das Ziel der Modellbildung ist es, den Übertragungsmechanismus so aufzuspalten, dass es möglich ist, spezifische Kenngrößen für Treppen und Wände zu ermitteln, die es ermöglichen, den Schalldruckpegel in einem beliebigen Empfangsraum für beliebige Kombinationen prognostizieren zu können. Dazu wurde der Übertragungsweg aufgespalten in das Teilsystem „Treppe“ und „Wand“.

Äquivalente Kraft

Der in die Treppe eingeleitete Kraftpegel $L_{F,Treppe}$ ist die Eingangsgröße für das Teilsystem Treppe. Voraussetzung für die Beschreibung der Körperschallquellen mittels Kraftspektren ist, dass diese als Kraftquellen betrachtet werden können.

Die Transferadmittanz $L_{h,Treppe \rightarrow Wand}$ kennzeichnet die Körperschallübertragung von der angeregten Stufe auf die Wand. Sie stellt die Verbindung zwischen der in die Stufe eingeleiteten Vertikal- und einer in Wand eingeleiteten horizontalen (in Wandnormalenrichtung) Ersatz-Kraft bzw. äquivalenten Kraft $L_{F,eq,Wand}$ her. Die Bestimmung der äquivalenten Kraft erfolgt über nachfolgende Gleichung

$$L_{F,eq,Wand} = L_{F,Stufe} + L_{h,Treppe \rightarrow Wand} - L_{h,Wand} \quad [dB] \quad \text{eq. 2}$$

Unter der Voraussetzung, dass die Anregung der Wand maßgeblich über die direkt angeregte Stufe erfolgt, kann diese als Körperschallquelle für die Anregung der Wand betrachtet werden.

Die Berechnung der Trittschallübertragung von Decken in Gebäuden (einschließlich der Flankenübertragung) erfolgt nach². Als Eingangsgröße wird das Kraftspektrum der anregenden Quelle benötigt. Für die Anregung der Wand über eine „vorgeschaltete“ Treppe bzw. Treppenstufe ist diese Größe die äquivalente Kraft. Diese muss invariant bezüglich der in Frage kommenden Treppenraumwände sein und darf nur von der die Treppenstufe anregenden Quelle abhängen. Die Gültigkeit der Voraussetzung wurde durch Vergleiche mehrerer Transferadmittanz-Messungen an Wänden unterschiedlicher Rohdichte gezeigt.

Prognose des Schnellepegels auf der Treppenwand

Anfänglich wurde versucht mit oben beschriebenem Modell zunächst die Schnellepegel auf der Treppenwand zu prognostizieren. Die Prognose soll zukünftig auf die Bestimmung des eigentlichen Trittschallpegels im Empfangsraum erweitert werden. Durch Umformung von Gleichung 2 ergibt sich:

$$\bar{L}_{v,Wand} = L_{F,Stufe} + L_{h,Stufe \rightarrow Wand} \quad \text{eq. 3}$$

Die Prognose wurde in drei Schritten durchgeführt, um die jeweils erreichbare Genauigkeit aufzuzeigen. Eingangsgröße in allen Fällen ist das berechnete Kraftspektrum des Normhammerwerks $L_{F,Stufe}$.

Im ersten Schritt 1 erfolgte die Prognose mit der gemessenen Transferimpedanz (in situ – Wert), für Schritt 2 wurde die Transferimpedanz über das Verhältnis der im Prüfstand bestimmten Transfer- und Punktimpedanz sowie der am Bau gemessenen Punktimpedanz berechnet:

$$L_{h,Stufe \rightarrow Wand} = L_{h,Stufe \rightarrow Wand,Prüfstand} - L_{h,Wand,Prüfstand} + L_{h,Wand,in-situ} \quad \text{eq. 4}$$

In diesem Schritt war so lediglich noch die Bestimmung der Punktimpedanz in-situ notwendig. Im Schritt 3 wurde auch auf diese, für eine Prognose hinderliche Messung verzichtet, und die Eingangsadmittanz der unendlichen Platte nach Cremer/Heckl³ für die Treppenwand berechnet. Abbildung 4 zeigt das Ergebnis:

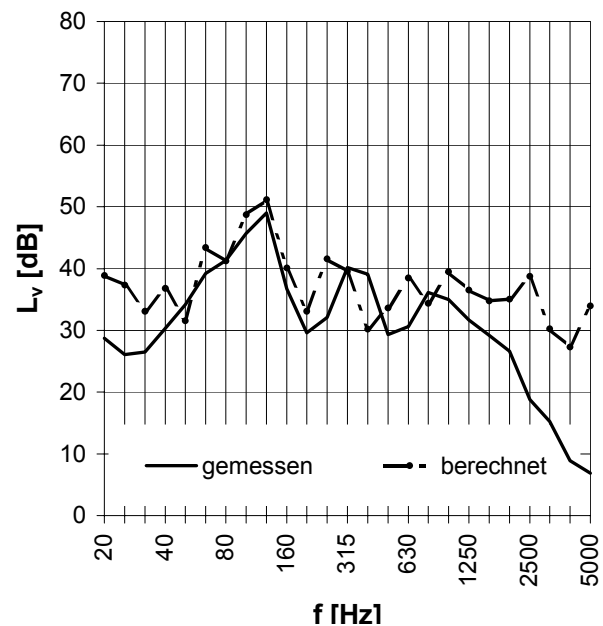


Abbildung 4: Prognose des Schnellepegels (Schritt 3)

Im höheren Frequenzbereich sind die Abweichungen erwartungsgemäß groß, da die für die Berechnung des Kraftspektrums grundlegende Annahme eines ideal starren Stoßes nicht mehr zutrifft. Bei den Schritten 2 und 3 war eine Verschiebung der Spitzen durch unterschiedliche Stufenlängen zu beobachten. Im tiefen Frequenzbereich ergeben sich Abweichungen für den Schritt 3, da die Eingangsadmittanz der Wand hier von einzelnen Moden bestimmt wird und demzufolge vom berechneten Wert abweicht.

Zusammenfassung und Ausblick

Die Wandanregung durch leichte Stahlbolzentreppen erfolgt im wesentlichen von der direkt angeregten Stufe. Die Prognose des Trittschallpegels erscheint mit der vorgestellten Methode möglich. Zur Verbesserung der Prognose ist vorgesehen, die Eigenschaften unterschiedlicher Stufen in einem Stufenkatalog zusammenzustellen. Die Anwendbarkeit des Verfahrens muss durch weitere messtechnische Untersuchungen verifiziert werden.

¹ Scheck, Jochen Analyse des Schwingungsverhaltens von Montagetreppen mit Hilfe der Modalanalyse - DAGA 2002, Bochum

² DIN EN 12354-2: Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften - Trittschalldämmung zwischen Räumen

³ Cremer, Heckl: Körperschall, Springer-Verlag