

Schalltechnische Optimierung einer Bolzentreppe

Andreas R. Mayr¹, Andreas Drechsler¹, Jochen Scheck¹, Heinz-Martin Fischer¹

¹ Hochschule für Technik Stuttgart, Schellingstr. 24, 70174 Stuttgart; Email: andreas.mayr@hft-stuttgart.de

Einleitung

Die von leichten Treppen ausgehende Trittschallübertragung in Doppel- und Reihenhäusern führt häufig zu Beschwerden der Bewohner. In den letzten Jahren wurden an der Hochschule für Technik Stuttgart in Kooperation mit der STEP GmbH und der Treppenmeister GmbH umfangreiche Untersuchungen zu Anregung, Übertragung und Beurteilung von Trittschall an leichten Treppen durchgeführt. Im vergangenen Jahr wurde auf der DAGA über die erfolgreiche Optimierung einer an der Treppenwand befestigten Holz-wangentreppe berichtet [1].

Inhalt dieses Beitrags ist nun die akustische Optimierung einer Bolzentreppe, bei der jede Stufe in der Wand befestigt ist. Um den Körperschall-Übertragungsmechanismus dieses speziellen Treppentyps zu untersuchen, ist es in einem ersten Schritt ausreichend, eine einzelne Treppenstufe als Körperschallquelle zu charakterisieren. Dies konnte mit Hilfe der Empfangsplattenmethode und des dafür an der Hochschule für Technik Stuttgart entwickelten Empfangsplattenprüfstands [2] realisiert werden [3]. Der Beitrag stellt diese Charakterisierung vor und zeigt weiters, dass Versuchsergebnisse von der Einzelstufe auf das Gesamtsystem „Treppe“ übertragen werden können. Dadurch lassen sich hinsichtlich der Produktoptimierung Aussagen über die Wirksamkeit von Verbesserungsmaßnahmen zur Trittschall-dämmung treffen.

Beschreibung der Treppenstufe

In Abbildung 1 (links) ist die am Empfangsplattenprüfstand installierte Treppenstufe dargestellt. Dabei handelt es sich um eine Stufe aus Buchenholz mit den Abmessungen $l = 91,5$ cm, $b = 31$ cm und $h = 4,5$ cm. Diese Stufe wurde einer handwerklichen Holztreppen System „Bucher“ entnommen. Bei der Buchertreppe werden die Stufen auf der Wandseite mit gummiummantelten Stahlbolzen direkt in der Wand befestigt (Abbildung 1 - rechts) und auf der Geländerseite durch den Handlauf gehalten.

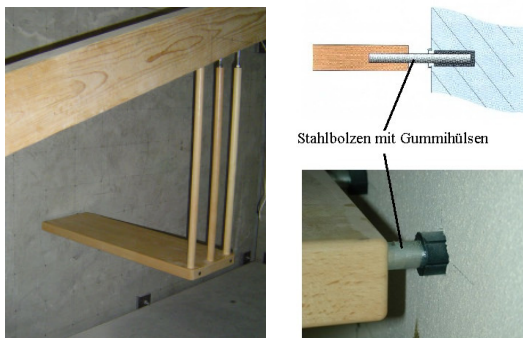


Abbildung 1: Darstellung der am Empfangsplattenprüfstand untersuchten Treppenstufe mit wandseitigem Befestigungsdetail

Charakterisierung der Treppenstufe

Grundlage für die Untersuchung einer einzelnen Treppenstufe sind an der HfT durchgeführte Studien, die zeigen, dass die maßgebliche Anregung einer Struktur über die direkt angeregte Stufe einer Bolzentreppe stattfindet [4]. Dies ermöglicht die Übertragbarkeit der Ergebnisse der Einzelstufe auf das Gesamtsystem „Treppe“. Zur Charakterisierung der durch eine externe Quelle (z.B. Normhammerwerk) angeregten Treppenstufe wird mittels der Empfangsplattenmethode die Körperschallleistung P über folgenden Zusammenhang ermittelt:

$$P = \bar{v}^2 m \omega \eta \quad (1)$$

Dabei entspricht v der flächengemittelten Schnelle, m der Masse, η dem Gesamtverlustfaktor der Empfangsplatte und ω der Kreisfrequenz. In [3] konnte gezeigt werden, dass es sich bei der am Empfangsplattenprüfstand untersuchten Treppenstufe um eine Kraftquelle handelt. Dadurch kann die am Prüfstand gemessene Leistung der Einzelstufe über Prognoseberechnungen auf eine gesamte Treppe und reale Bausituationen umgerechnet werden. Abbildung 2 zeigt den Vergleich der aus der Empfangsplattenleistung prognostizierten Schallleistung der Treppenstufe für eine eingebaute Treppe mit der insitu im Treppenprüfstand gemessenen Schallleistung dieser Stufe.

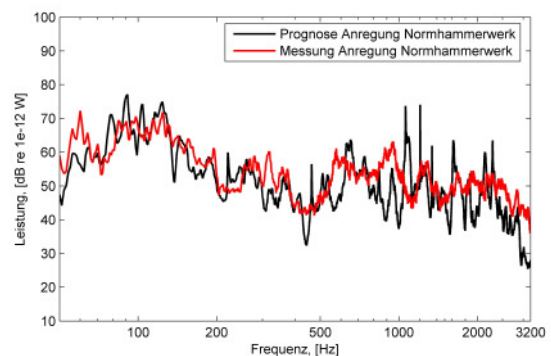


Abbildung 2: Vergleich der prognostizierten mit der im Treppenprüfstand gemessenen Leistung der Treppenstufe

Es ist zu erkennen, dass der mittels der Empfangsplattenmethode und Berechnungen prognostizierte Frequenzverlauf des Schallleistungspegels der Stufe durch Vergleichsmessungen im Prüfstand für den Großteil des betrachteten Frequenzbereichs bestätigt werden konnte. Gerade in den für die Trittschallübertragung interessierenden tiefen und mittleren Frequenzen konnten trotz einiger Unsicherheitsfaktoren, die das gewählte, pragmatische Verfahren zur Validierung der Empfangsplattenmethode für leichte Treppenstufen mit sich brachte, gute Übereinstimmungen erzielt werden. Der in Abbildung 2 gezeigte, sowie weitere im

Folgenden aufgeführte Vergleiche deuten auf die Anwendbarkeit der Empfangsplattenmethode für die Charakterisierung leichter Treppenstufen einer Bolzentreppe hin. Damit steht mit dem Empfangsplattenprüfstand der Hochschule für Technik Stuttgart eine Laboreinrichtung zur Verfügung, die es ermöglicht, Stufen dieses Treppentyps hinsichtlich ihrer Geräuschübertragung in angrenzende Strukturen relativ einfach und ohne großen Zeitaufwand zu untersuchen.

Schalltechnische Optimierung einer Stufe

Ausgehend von der erfolgreichen Validierung der Empfangsplattenmethode für die betrachtete Stufenart wurden Untersuchungen zur schalltechnischen Optimierung dieser Stufen durchgeführt. Wie bereits in [1] dargestellt bestehen hierfür unterschiedliche Möglichkeiten. Zum Beispiel das Verändern des Schwingungsverhaltens der Stufe durch Veränderung der Steifigkeit, der Masse oder der Dämpfung, oder der Einbau von elastischen Zwischenschichten an den Befestigungspunkten. Abbildung 3 zeigt im Empfangsplattenprüfstand an der Einzelstufe gemessene Schallleistungen für unterschiedliche Optimierungsmaßnahmen.

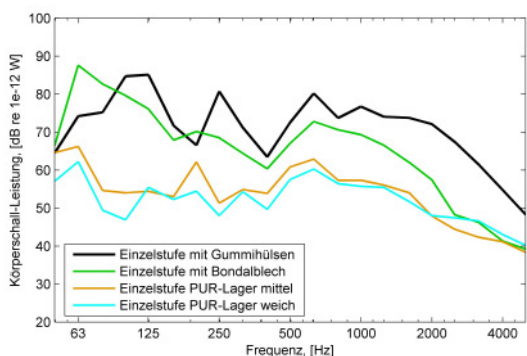


Abbildung 3: Gemessene Leistungen für unterschiedliche Optimierungsmaßnahmen

Es ist erkennbar, dass durch den Einsatz weicherer, elastischer Materialien die besten Ergebnisse erzielt werden.

Schalltechnische Optimierung einer Treppe

Aus der gemessenen Schallleistung P und dem Realteil der Admittanz $\text{Re}\{A\}$ an den Kontaktpunkten im Empfangsplattenprüfstand wird eine äquivalente Kraft F_{eq} (Gleichungen 2 und 3) berechnet. Diese äquivalente Kraft kann als Eingangsgröße $L_{F_{eq}}$ zur Prognose des Norm-Trittschallpegels L_n für die gesamte Treppe (Gleichung 4 – nach DIN EN ISO 12354 Teil 2) verwendet werden.

$$P = |\tilde{F}_{eq}|^2 \text{Re}\{A\} \quad (2)$$

$$|\tilde{F}_{eq}|^2 = \bar{v}^2 m \omega \eta \frac{1}{\text{Re}\{A\}} \quad (3)$$

$$L_n = L_{F_{eq}} + 10 \log \frac{\text{Re}\{A\} \sigma}{m' [1 \text{sm}^2 / \text{kg}]} + 10 \log \frac{T_s}{[1\text{s}]} + 10,6 \text{dB} \quad (4)$$

Die auf den gezeigten Gleichungen basierende Prognosemethode wurde auf dem Forum Acusticum 2005 vorgestellt und erläutert [5].

Auf der Grundlage der Ergebnisse aus der Optimierung der Einzelstufe im Empfangsplattenprüfstand wurde nun ein geeignetes, nicht zu weiches Lager ausgewählt. Eine vollständige Treppe wurde mit diesen Lagern versehen und im Treppenprüfstand in Jettingen an einer einschaligen Kalksandsteinwand ($d = 240 \text{ mm}$, $\rho = 2000 \text{ kg/m}^3$, $R_w = 58 \text{ dB}$) eingebaut. Abbildung 4 zeigt den Vergleich der mittels obenstehender Gleichungen prognostizierten Norm-Trittschallpegel mit den gemessenen Werten.

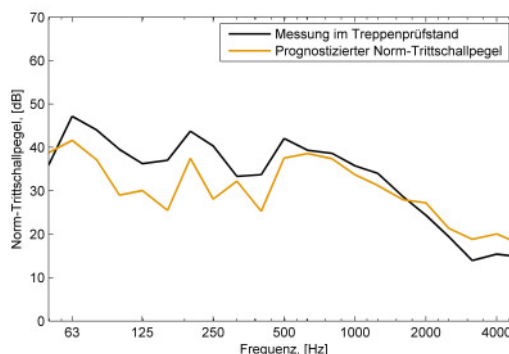


Abbildung 4: Vergleich des prognostizierten mit dem im Treppenprüfstand gemessenen Norm-Trittschallpegel.

Erreicht wurde im Treppenprüfstand mit optimierten Lagern ein bewerteter Norm-Trittschallpegel von $L_{n,w} = 37 \text{ dB}$, $C_{I, 50-2500} = 0 \text{ dB}$. Prognostiziert wurde ein Einzahlwert von $L_{n,w} = 35 \text{ dB}$, $C_{I, 50-2500} = -2 \text{ dB}$. Die ursprüngliche Konstruktion mit Gummihülsen erreichte im Treppenprüfstand einen bewerteten Norm-Trittschallpegel von $L_{n,w} = 55 \text{ dB}$, $C_{I, 50-2500} = -3 \text{ dB}$.

Inzwischen wurde die optimierte Treppenkonstruktion auch in einer realen Bausituation, eingebaut an einer einschaligen Betonwand ($d = 240 \text{ mm}$, $\rho = 2300 \text{ kg/m}^3$, $R'_w = 58 \text{ dB}$) in einem Mehrfamilienhaus, gemessen. Der gemessene bewertete Norm-Trittschallpegel betrug $L'_{n,w} = 37 \text{ dB}$, $C_{I, 50-2500} = 2 \text{ dB}$.

Literatur

- [1] Drechsler, A. et al.: Untersuchungen zur Verbesserung der Trittschalldämmung leichter Treppen am Beispiel einer Holzwangentreppe, DAGA 2005, München.
- [2] Späh, M. et al.: New Laboratory for the Measurement of Structure-Borne Sound Power of Sanitary Installations, Conference Proceedings Forum Acusticum 2005, Budapest.
- [3] Mayr, A. R.: Charakterisierung einer Treppenstufe als Körperschallquelle mittels der Empfangsplattenmethode, Diplomarbeit an der Hochschule für Technik Stuttgart, 2005.
- [4] Alber, Th. et al.: Untersuchungen zur Prognose der Trittschallübertragung leichter Montagetreppen, DAGA 2003, Aachen
- [5] Drechsler, A. et al.: Impact sound of lightweight stairs – actual results of a research program, Conference Proceedings Forum Acusticum 2005, Budapest.