
Erste Ergebnisse aus einem neuen Treppenprüfstand für Montagetreppen

Dipl.-Ing. (FH) Thomas Möck *
Schalltechnisches Treppen-, Entwicklungs- und Prüfinstitut (STEP) GmbH
Prof. Dr.-Ing. Heinz-Martin Fischer
Dipl.-Ing. (FH) Jochen Scheck
Fachhochschule Stuttgart – Hochschule für Technik

1. Einleitung

Montagetreppen, also leichte Treppensysteme z.B. in Holz- oder Stahlbauweise, werden häufig im Einfamilien-, Doppel- oder -Reihenhaus eingebaut. Oftmals sind diese Konstruktionen der Anlass für Beschwerden der Bewohner dieser Gebäude, die sich über die Geräuschübertragungen, die beim Begehen der Treppe entstehen, beklagen. Bauakustische Messungen ergeben jedoch in den meisten Fällen, dass die Anforderungen nach DIN 4109 (erf. $L'_{n,w} = 53$ dB) und zum Teil auch die Vorschläge für den erhöhten Schallschutz nach Beiblatt 2 zu DIN 4109 (erf. $L'_{n,w} \leq 46$ dB) eingehalten werden.

Bereits in früheren Untersuchungen [1] wurde festgestellt, dass es sich vor allem um eine Problematik im tiefen Frequenzbereich handelt. Verantwortlich sind hier zum einen die relativ geringe Schalldämmung der Haustrennwände bei diesen Frequenzen und zum anderen die Tatsache, dass durch den Gehvorgang hauptsächlich tieffrequent Energie in die Konstruktion eingeleitet wird.

In Zusammenarbeit mit der Fachhochschule Stuttgart – Hochschule für Technik wurde ein Forschungsprojekt mit dem Titel "Schalltechnische Grundlagenuntersuchungen zur Entwicklung von Verfahren und Technologien zu Entwurf, Produktion, Montage und Prüfung schalltechnisch optimierter Holztreppen" durchgeführt. Der vorliegende Text berichtet über einige der in diesem Forschungsvorhaben gewonnenen Ergebnisse.

* Dipl.-Ing. (FH) Thomas Möck, Jahrgang 1970; Studium der Bauphysik an der Fachhochschule Stuttgart – Hochschule für Technik, Diplom 1997 zum Thema "Zur Schallängsleitung von Hohlraumböden". Nach dem Studium Projekt-Ingenieur bei der ITA Ingenieurgesellschaft für Technische Akustik mbH in Wiesbaden. Seit 2001 Mitarbeiter und seit Juli 2002 Geschäftsführer des Schalltechnischen Treppen-, Entwicklungs- und Prüfinstituts (STEP) GmbH in Winnenden. Mitglied in der Deutschen Gesellschaft für Akustik (DEGA) e.V.

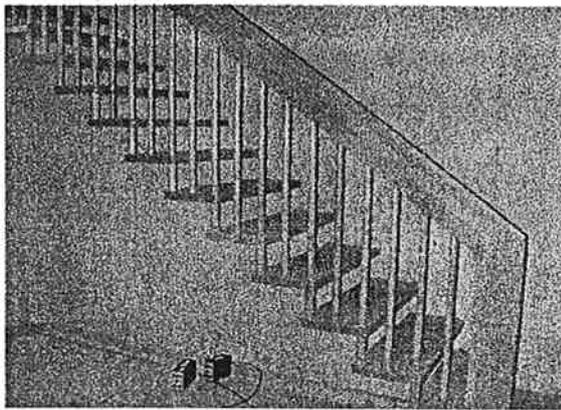
2. Körperschallanregung leichter Treppensysteme

Die oben bereits angesprochene Problematik ist bei leichten Deckensystemen schon seit längerer Zeit bekannt. Untersuchungen in diesem Bereich, z.B. in [2], haben gezeigt, dass das für die Bestimmung des Norm-Trittschallpegels verwendete Normhammerwerk nicht dafür geeignet ist, den Gehvorgang auf solchen Konstruktionen in geeigneter Weise nachzubilden. Aus diesem Grund wurde im Entwurf ISO/CD 140-11 [3] eine modifizierte Ausführung des Normhammerwerks und ein neu entwickelter Gummiball als Schallquelle vorgeschlagen, um eine dem Gehvorgang entsprechende Anregung bei leichten Decken zu erreichen.

Ob diese bereits bekannten Tatsachen auch auf leichte Treppen übertragbar sind, wurde zwar vermutet, bislang gab es jedoch keine Untersuchungen auf diesem Gebiet.

Als eine der wichtigsten Aufgaben erschien es, eine realistische Beschreibung der Anrege- und Übertragungsprozesse zu erhalten, die typisch für leichte Treppenkonstruktionen sind. Aus diesem Grund wurden verschiedene Schallquellen für unterschiedliche Untersuchungen verwendet. Mit einem Impulshammer wurden die Transferfunktionen der Übertragungswege bestimmt. Die Kraftspektren sowie die Spektren der erzeugten Schalldruckpegel wurden für die Anregung der Treppe mit dem Normhammerwerk, dem modifizierten Normhammerwerk, dem Gummiball nach [3] und dem Begehen ermittelt. Analog zu leichten Deckensystemen ist auch im Fall der leichten Treppensysteme festzustellen, dass das Normhammerwerk keine dem Gehvorgang entsprechende Anregung darstellt. Eine gehende Person erzeugt ein Kraftspektrum mit hauptsächlich tieffrequenten Anteilen während das Normhammerwerk – wie bereits bekannt – ein Spektrum erzeugt, welches zu hohen Frequenzen hin ansteigt. Im Gegensatz dazu erreicht man durch das modifizierte Normhammerwerk nach [3] eine sehr gute Übereinstimmung mit dem realen Gehvorgang. Zusätzlich konnte gezeigt werden, dass der Gummiball ein Kraftspektrum liefert, welches sehr gut mit dem Kraftspektrum übereinstimmt, das einzelne Schritte von Personen auf leichten Treppensystemen erzeugen.

Zur Charakterisierung der durch Gehvorgänge verschiedener Personen erzeugten Geräuschanregung wurden Gehversuche an einer im Treppenprüfstand [4] eingebauten Treppe durchgeführt [5]. Dabei handelte es sich um eine geländertragende Treppenkonstruktion mit 14 Stufen, bei der jede Einzelstufe mit jeweils zwei Metallbolzen in einer Hartgummihülse in der Treppenraumwand aus 240 mm Kalksandsteinen ($\rho = 2000 \text{ kg/m}^3$) gelagert ist. Abbildung 1 zeigt den Versuchsaufbau.

Befestigung
der Stufen**Abbildung 1:** Untersuchte Treppenkonstruktion

Für diese Gehversuche wurden die Gehvorgänge verschiedener männlicher und weiblicher Personen unterschiedlicher Gewichtsklassen mit unterschiedlichem Schuhwerk und individueller Gehgeschwindigkeit und -intensität aufgezeichnet. Dabei wurde auch zwischen dem Gehen aufwärts und abwärts unterschieden. Zusammenfassend kann die Anregung einer Leichtbautreppe durch eine gehende Person als reproduzierbarer Vorgang beschrieben werden. Während unterschiedliches Schuhwerk sehr großen Einfluss auf das erzeugte Spektrum hat, ist dieses vom Gewicht des Gehers nur sehr wenig abhängig. Im tiefen Frequenzbereich sind auch die Unterschiede zwischen den Gehvorgängen aufwärts und abwärts als nicht signifikant zu bezeichnen.

Abbildung 2 zeigt den Vergleich der erzeugten Schalldruckpegel beim Gehen abwärts sowie bei Anregung mit dem Normhammerwerk bzw. mit dem modifizierten Normhammerwerk. Auch hier ist festzustellen, dass nur das modifizierte Normhammerwerk eine realistische Nachbildung des tatsächlichen Gehvorganges liefert. Zusätzlich wurde durch weitere Versuche festgestellt werden, dass mit dem Gummiball eine gute Nachbildung eines einzelnen Schrittes einer Person oder eines auf eine Treppenstufe springenden Kindes erreicht werden kann.

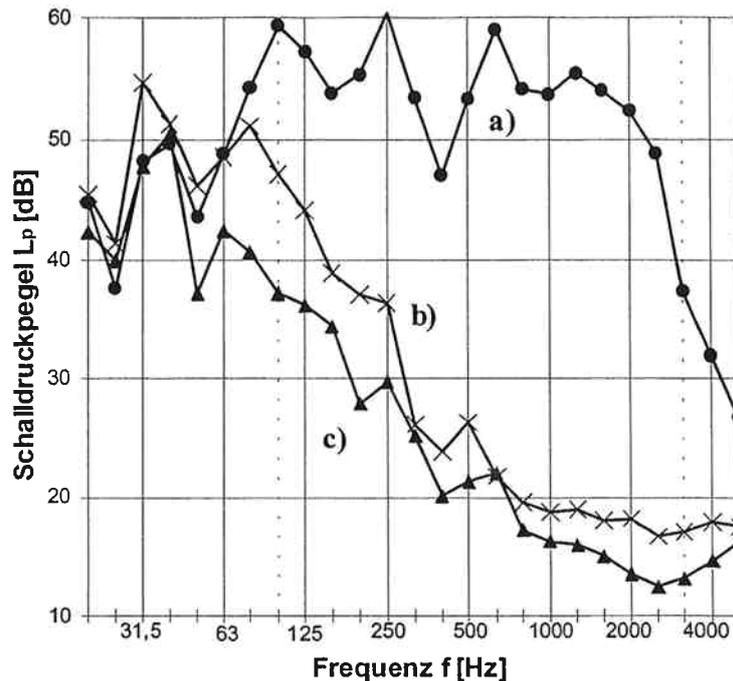


Abbildung 2: Vergleich der im Empfangsraum gemessenen Schalldruckpegel bei Anregung mit:

- a) Normhammerwerk
- b) modifiziertem Normhammerwerk
- c) Gehvorgang abwärts

3. Analyse des Schwingungsverhaltens mit Hilfe der Modalanalyse

Das Schwingungsverhalten der in Abbildung 1 gezeigten Treppe wurde mit Hilfe der Modalanalyse untersucht [6]. Abbildung 3 gibt die gemittelte Übertragungsfunktion, die für eine mittlere Stufe der Treppe aus 45 gemessenen Übertragungsfunktionen berechnet wurde, an. Das für die Messungen verwendete Stufenraster ist in Abbildung 4 dargestellt.

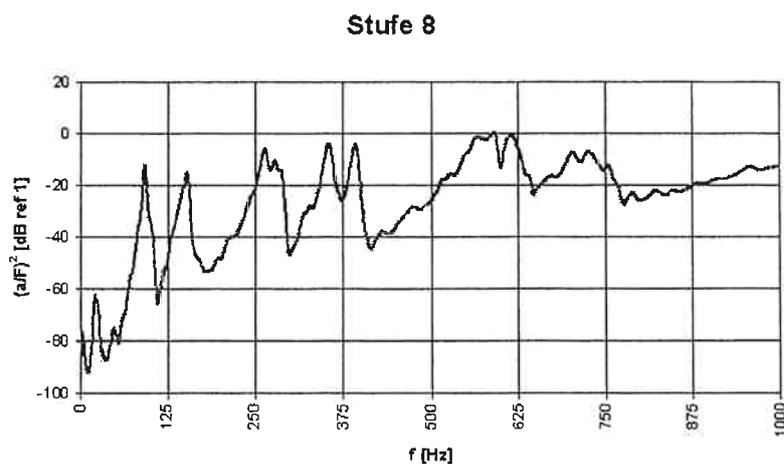


Abbildung 3: Gemittelte Übertragungsfunktion der Stufe 8

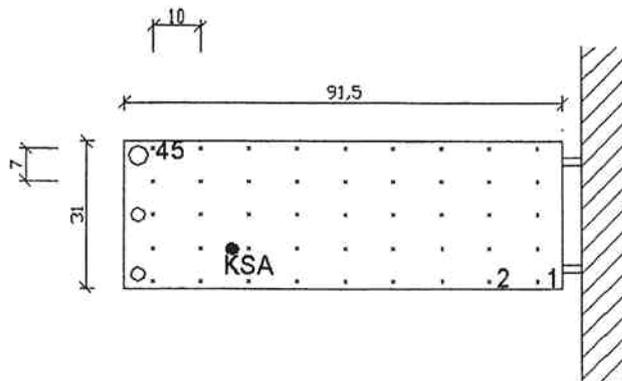


Abbildung 4: Stufenraster für die Modalanalyse

Im interessierenden tiefen Frequenzbereich bis etwa 800 Hz ist das Schwingungsverhalten der Stufe durch deutlich ausgeprägte Eigenmoden gekennzeichnet, die auch bei den anderen untersuchten Stufen festzustellen sind. Das ermittelte Schwingungsverhalten kann also für die Einzelstufen der Treppe als charakteristisch bezeichnet werden. Zusätzliche Untersuchungen an einer Treppe mit ähnlichen Randbedingungen am Bau brachten vergleichbare Ergebnisse. Es kann also davon ausgegangen werden, dass das Schwingungsverhalten einer im Treppenprüfstand eingebauten Treppe der tatsächlichen Einbausituation sehr gut entspricht. In den Abbildungen 5 bis 7 sind Beispiele des Schwingungsverhaltens der Stufen bei den ersten gefundenen Eigenmoden dargestellt.

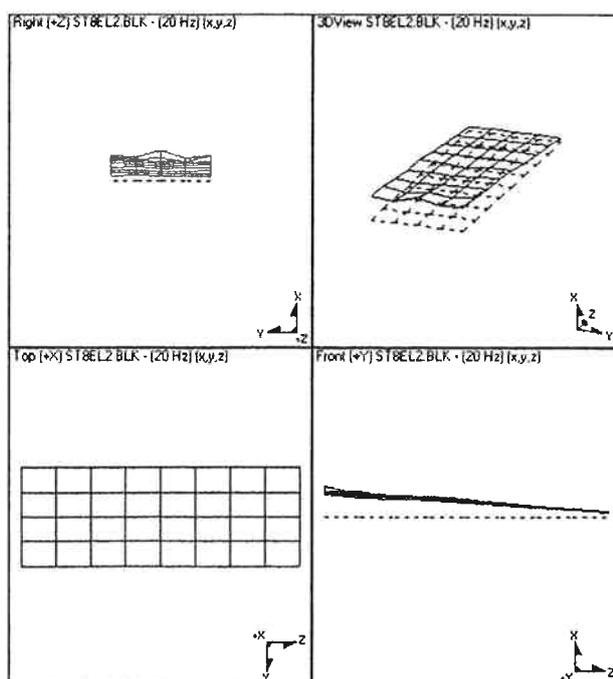


Abbildung 5:
Schwingung der Stufe bei 20 Hz

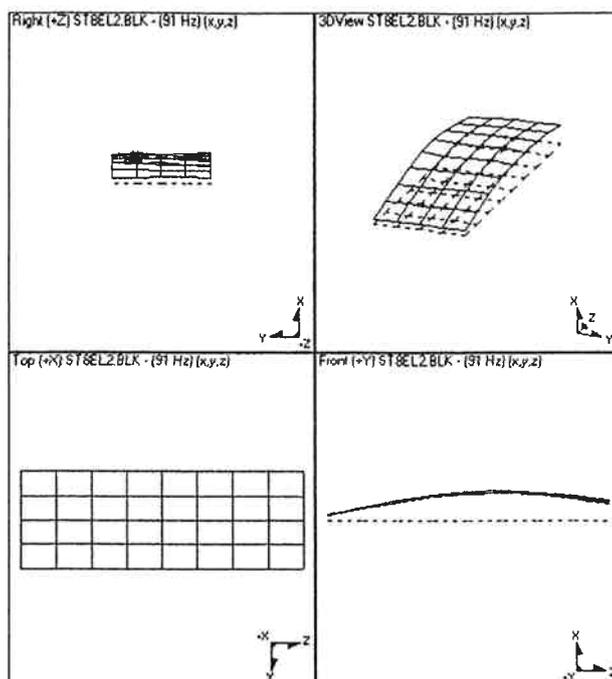


Abbildung 6: Schwingung der Stufe bei 91 Hz

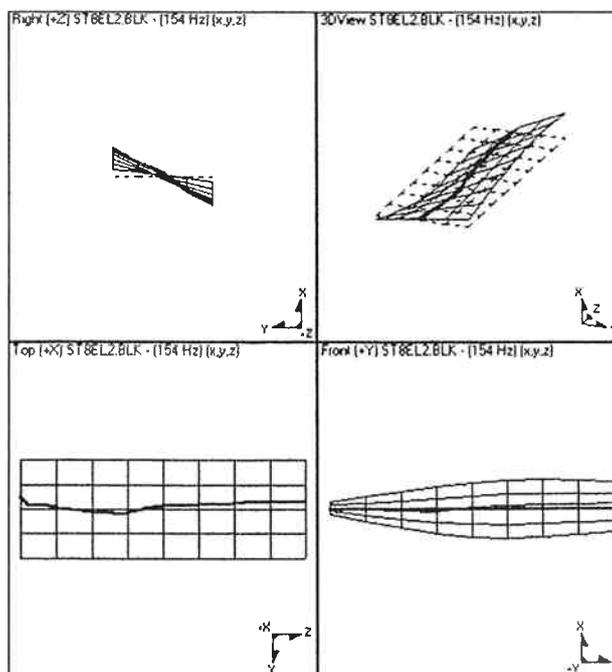


Abbildung 7: Schwingung der Stufe bei 154 Hz

5. Weitere Untersuchungen

Als erster Ansatz für ein Prognosemodell des zu erwartenden Norm-Trittschallpegels einer Treppe wurde das in [7] und [8] vorgestellte Verfahren zur Prognose von Schallpegeln bei Abwassersystemen auf leichte Treppen übertragen. In diesem Fall werden die im Labor gemessenen Norm-Trittschallpegel mit Hilfe der in einem bestimmten Gebäude gemessenen Übertragungsfunktionen korrigiert. Trotz einiger Einschränkungen für die Anwendung dieses Modells sind die vorläufigen Ergebnisse sehr vielversprechend.

Die nächsten geplanten Untersuchungsschritte befassen sich mit akustischen Verbesserungen an leichten Treppensystemen. Dabei sollen zusätzlich zu der oben bereits vorgestellten Vorgehensweise auch psychoakustische Studien durchgeführt werden, um die Wirkung des über eine Leichtbautreppe eingeleiteten Trittschalls zu untersuchen

6. Literatur

- [1] Kurz, R.; Schnelle, F.: "Schallschutz von Montagetreppen", Fortschritte der Akustik, DAGA 2000, Oldenburg
- [2] Scholl, W.; Maysenhölder, W.: "Wird das Trittschallverhalten von Gebäudedecken derzeit richtig und ausreichend beschrieben?", wksb 43/1999
- [3] ISO/CD 140-11: "Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 11: Laboratory Measurements of the reduction of transmitted impact noise by floor coverings on lightweight framed standard floors.", Entwurf April 2001
- [4] Möck, T., et al: "Schalltechnisches Verhalten von Montagetreppen; Ein neuer Treppenprüfstand für Prüfung, Forschung und Entwicklung", Fortschritte der Akustik, DAGA 2001, Hamburg
- [5] Petzold, E., et al: "Charakterisierung von Körperschallquellen im Zusammenhang mit der Anregung von leichten Treppen", Fortschritte der Akustik, DAGA 2002, Bochum
- [6] Scheck, J. et al: "Analyse des Schwingungsverhaltens von Montagetreppen mit Hilfe der Modalanalyse", Fortschritte der Akustik, DAGA 2002, Bochum

- [7] prEN 14366: "Laboratory measurement of noise from waste water installations", Februar 2002

- [8] Fischer, H.-M.: "Determination and Use of Transfer Functions to Describe Structure-borne Sound Transmission Caused by Equipment and Installations", 17th International Congress on Acoustics 2001, Rom