

Analyse des Schwingungsverhaltens von Montagetreppen mit Hilfe der Modalanalyse

Jochen Scheck, Fachhochschule Stuttgart – Hochschule für Technik
 Heinz-Martin Fischer, Fachhochschule Stuttgart – Hochschule für Technik
 Evi Petzold, Fachhochschule Stuttgart – Hochschule für Technik
 Thomas Möck, STEP GmbH, Winnenden

1 Einleitung

Der Übertragungsmechanismus von Leichtbautreppen von der Körperschalleinleitung bis zur Luftschallabstrahlung ist bisher noch weitgehend unerforscht. Eine maßgebliche Rolle spielt hierbei das Schwingungsverhalten der Treppenkonstruktion. Um dieses besser zu verstehen und darauf aufbauend Minderungsmaßnahmen ergreifen zu können und um eine Grundlage für Vergleiche von Konstruktionen zu bekommen, wurden im Treppenprüfstand [1] Modalanalysen mehrerer Stufen des nachfolgend beschriebenen Treppensystems durchgeführt und mit einer Messung am Bau verglichen.

2 Beschreibung des Systems

Es wurde eine geradläufige, geländertragende Holztreppe untersucht, deren insgesamt 14 Stufen jeweils über zwei Stahlbolzen mit elastischer Gummi-Ummantelung an einer 24 cm dicken, einschaligen KSV-Wand mit einer Rohdichte von 2000 kg/m^3 befestigt sind (Abbildung 1).

- Treppe:**
- geradläufig
 - geländertragend
 - 14 Massivholzstufen ($90,5 \times 31 \times 4,5 \text{ cm}$)
- Wand:**
- einschalig KSV, $d = 24 \text{ cm}$, $\rho = 2000 \text{ kg/m}^3$

Wandbefestigung



Abbildung 1: Übertragungssystem

3 Modalanalyse

Bei dem hier angewandten Verfahren des wandernden Anregepunktes und festen Antwortpunktes (Körperschallaufnehmer: KSA) wurde ein Raster, bestehend aus 45 Anregepositionen über die Stufe 8 gelegt (Abbildung 2).

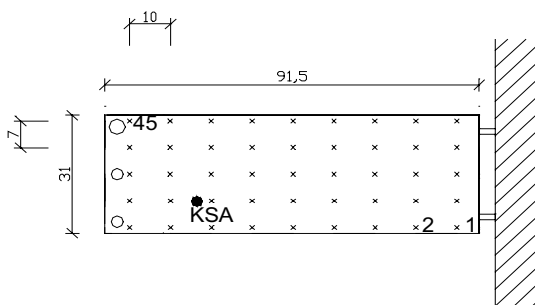


Abbildung 2: Stufenraster

Die Anregung erfolgte mit dem Impulshammer, der Messbereich umfasste den Frequenzbereich von 0 bis 1 kHz bei einer Frequenzauflösung von 0,625 Hz. Aus dem Verhältnis von eingeleiteter Kraft zu erzeugter Auslenkung ergeben sich die Bewegungsgleichungen für jeden Anregepunkt und die Eigenfrequenzen, deren Schwingungsformen in einer Computer-Animation dargestellt werden können.

4 Messergebnisse und Beurteilung

Zur Ermittlung der Eigenfrequenzen wurde aus den 45 gemessenen Übertragungsfunktionen eine mittlere Übertragungsfunktion berechnet (Abbildung 3), deren Spitzen die Eigenmoden der Stufe 8 darstellen.

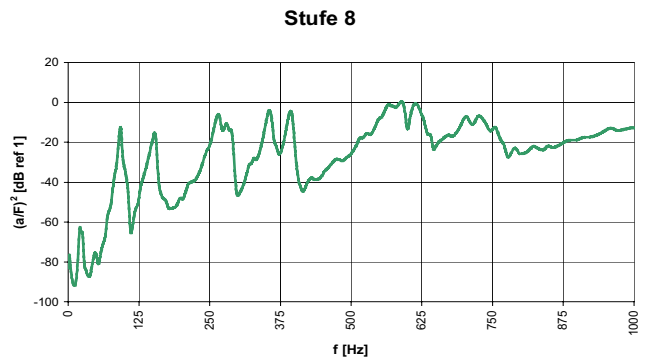
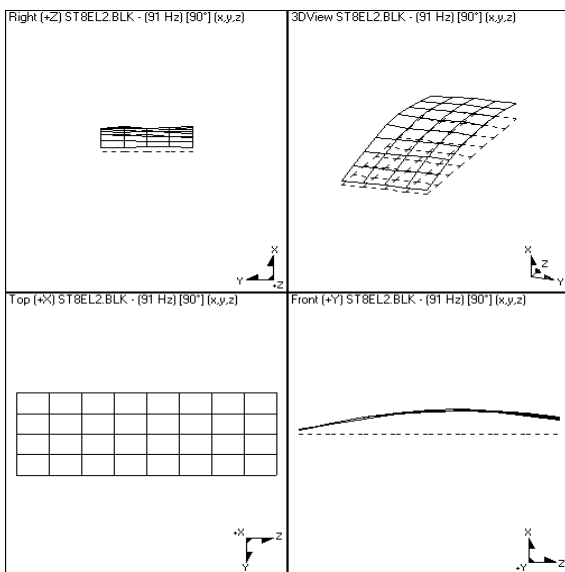
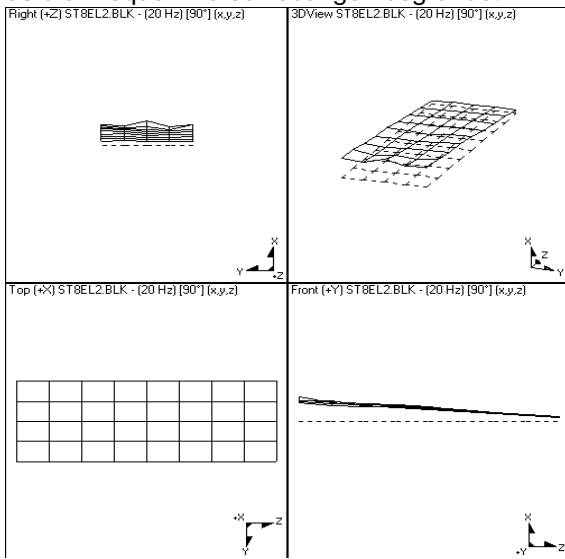
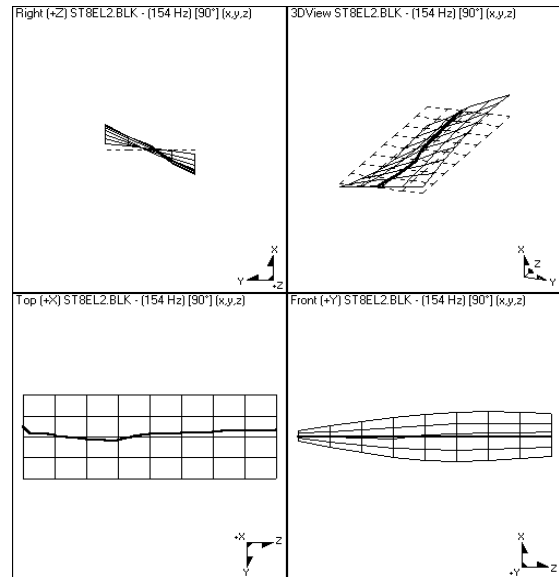


Abbildung 3: Gemittelte Übertragungsfunktion

Die erste eindeutig identifizierbare Mode liegt bei 20 Hz. Die Betrachtung der Schwingungsform (Abbildung 4) zeigt, dass es sich hierbei um eine Eigenfrequenz der gesamten Treppenkonstruktion handelt, da die Auslenkung geländerseitig maximal und wandseitig (am Bolzenende) Null ist und keine Biegung in Stufen-Längsachse stattfindet. Bei 91 Hz findet sich die erste „Plattenmode“ ($n_x=1 / n_y=0$) (Abbildung 5). Auf den ersten Blick sehr erstaunlich ist, dass – im Gegensatz zur Schwingungsform bei 20 Hz – wandseitig eine deutliche Auslenkung zu erkennen ist und die Stufe geländerseitig festgehalten wird. Der geländerseitige Schwingungsknoten resultiert aus dem geländertragenden Konstruktionsprinzip, die wandseitige Auslenkung muss so verstanden werden, dass das Plattenende dem Ende der Bolzen in der Wand entspricht und sich dort ein Schwingungsknoten befindet. Durch die Gummi-hülsen wird eine näherungsweise gelenkige Lagerung erreicht, was zur Folge hat, dass die Steigung am Ende des Bolzens nicht Null ist, wie das bei einer starren Lagerung der Fall wäre. Bei 154 Hz überlagert sich der Schwingung in Längsrichtung die erste Querschwingung (Abbildung 6). Die beiden nicht unterstützten Stufenränder stellen näherungsweise eine freie Lagerung dar. Die weiteren identifizierten Moden im untersuchten Frequenzbereich befinden sich bei 267 Hz ($2/0$), 355/395 Hz ($2/1$), 595 Hz, 610 Hz ($3/0$) und

736 Hz (3/1). In der Übertragungsfunktion ist gut zu erkennen, dass die Resonanzspitzen zu hohen Frequenzen wesentlich schwächer ausgeprägt sind als im tieffrequenten Bereich.

Um die Übertragbarkeit dieser Ergebnisse zu überprüfen wurden zunächst Modalanalysen der benachbarten Stufen 7 und 9 durchgeführt, welche dieselben Schwingungsformen mit z.T. geringfügigen Frequenzverschiebungen – vermutlich als Folge nicht exakt gleichartiger Einspannbedingungen im Wandbereich - ergaben. Des weiteren wurde die Stufe 4 einer Treppe mit demselben Konstruktionsprinzip und derselben Treppenwand in einem Wohnhaus untersucht. Es ergaben sich hier ebenfalls dieselben Schwingungsformen, jedoch deutliche Frequenzverschiebungen zu hohen Frequenzen. Eine nähere Betrachtung der Stufen ergab, dass diese um 3,5 cm kürzer waren als die der Prüfstandstreppe, was die Frequenzverschiebungen begründet.



5 Zusammenfassung

Mit Hilfe der Modalanalyse konnte festgestellt werden, dass das Schwingungsverhalten der untersuchten Treppenkonstruktion bzw. der Stufen im Frequenzbereich unter 1 kHz sehr stark durch einzelne Moden geprägt ist. Diese Erkenntnis ist im Hinblick auf Minderungsmaßnahmen von Bedeutung. Die Untersuchung mehrerer Stufen der Prüfstandstreppe ergab identische Schwingungsformen und Lagen der Eigenfrequenzen. Die Ergebnisse aus der Untersuchung der Wohnhaustreppe deuten darauf hin, dass eine Übertragbarkeit der Prüfstandsergebnisse auf Bausituationen prinzipiell möglich ist.

Aufbauend auf diesen Ergebnissen müssen, um den gesamten Übertragungsmechanismus besser verstehen zu können, weitere Untersuchungen an der Treppenkonstruktion (Einfluss der Wand auf das Schwingungsverhalten, Einfluss sonstiger Parameter wie z.B. der Stufenabmessungen, andere Treppenkonstruktionen etc.), sowie der restlichen Übertragungskette (Übertragung der Schwingungen auf die Treppenwand, Einfluss der Treppenwand und des Empfangsraumes etc.) durchgeführt werden. Diese Untersuchung steht in inhaltlichem Zusammenhang mit [2] und [3].

6 Literatur

- [1] Möck, Thomas: "Schalltechnisches Verhalten von Montagetreppen - Ein neuer Treppenprüfstand für Prüfung, Forschung und Entwicklung", DAGA 2001, Hamburg
- [2] Möck, Thomas: "Wie können Messungen im Treppenprüfstand auf konkrete Bausituationen übertragen werden?", DAGA 2002, Bochum
- [3] Petzold, Evi: "Charakterisierung von Körperschallquellen im Zusammenhang mit der Anregung von leichten Treppenkonstruktionen", DAGA 2002, Bochum