Der physikalische Mechanismus der Gehschallabstrahlung von Laminat-Fußböden mit und ohne Unterschicht

Rudi Volz[1], André Jakob[1,2], Michael Möser[2]

[1] *advacoustics, Leibnizstr. 21, 10625 Berlin, Email: kontakt@advacoustics.de*

[2] *Institut für Technische Akustik, Technische Universität Berlin, Einsteinufer 25, 10587 Berlin, Email: andre.jakob@tu-berlin.de*

Einleitung

Laminat-Fußbodenbeläge sind heute sehr beliebte Alternativen zu Parkett oder Teppichbodenbelägen. Die Akustik von Laminat-Böden ist jedoch verbesserungswürdig. Im Rahmen einer Auftragsuntersuchung wurde das Schwingungs- und Abstrahlverhalten von Laminatfußbodenbelägen ausgiebig untersucht. Ein primäres Ziel bestand darin den Hauptmechanismus der Gehschallabstrahlung zu klären und wesentliche Paramter zu erfassen. Hierzu wurden umfangreiche Luft- und Körperschallmessungen durchgeführt. Die Messungen deuten auf einen einzigen und sehr einfachen Hauptmechanismus der Abstrahlung hin.

Materialeigenschaften

Zunächst wurden einige Materialparameter verschiedener Laminatpaneele mit unterschiedlichen Unterschichten ermittelt. Von besonderem Interesse waren die Biegesteifen und daraus resultierende Koinzidenzgrenzfrequenzen. Die Messung erfolgte an einem an dünnen Seilen aufgehängten Paneel, dass als frei schwingender Biegestab angenommen wurde. Die Anregung erfolgte berührungslos (magn. Anregung) an einem Ende. Am anderen Ende war ein Beschleunigungsaufnehmer angebracht. Die Modenformen sind bekannt [1]. Der Zusammenhang zwischen der Biegesteife B und den Resonanzfrequenzen der Moden f_n ergibt sich aus Gleichung 1:

$$f_n = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{B}{m'}}\left(\frac{\beta_n}{l}\right)^2 \qquad (1)$$

(m': Masse pro Länge des Paneels [kg/m], l Länge des Paneels [m], $\beta_n = 1,506 \cdot \pi$ für $n = 1$, $(n + 1/2) \cdot \pi$ für $n > 1$). Die Koinzidenzgrenzfrequenz f_g ergibt sich aus:

$$f_g = \frac{1}{2\pi}c^2\sqrt{\frac{m'}{B}} \qquad (2)$$

($c = 344\,\mathrm{m/s}$). Die Zuordnung der Resonanzfrequenzen wurde in einem Vorversuch duch Anregung mit reinen Tönnen und Abtasten der Modenformen sichergestellt. Spektren zweier unterschiedlicher Laminate sind in Abbildung 1 dargestellt. Für 8 mm dicke Laminate erhält man Koinzidenzgrenzfrequenzen von ca. 3 kHz (bei 12 mm dickem Laminat ca. 1,8 kHz), die praktisch unabhängig von der Beschichtung sind. Aus den Frequenzgängen lässt sich der Verlustfaktor η ermitteln („3 dB-Abfall“). Für unbeschichtetes Laminat liegt er bei ca. 1 % (Abbildung 1 (links)). Je nach Unterschicht kann er auch über 10 % ansteigen (Abbildung 1 (rechts)). Der Vergleich der beiden Grafiken zeigt den Einfluss der Dämpfung vor allem bei höheren Frequenzen (d.h. ab ca. 500 Hz), Resonanzen oberhalb dieser Frequenz verschwinden im Spektrum fast völlig.

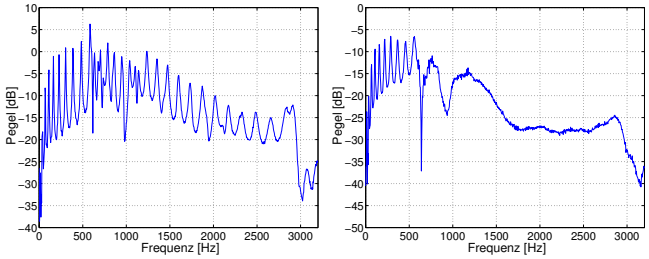

Abbildung 1: Spektren Biegestabversuch. Laminat ohne Unterschicht (links), Laminat mit Unterschicht (rechts).

Kugelfallversuche

In Anlehnung an [2] wurde im Gegensatz zur EPLF-Norm [3] zur Anregung des Laminates mit „Gehschall“ ein selbst entwickeltes Kugelfallgerät verwendet. Das aus der Bauakustik bekannte Normhammerwerk, das zum Teil für Gehschall-Untersuchungen an Laminaten herangezogen wird [4] führt unseres Erachtens nicht zu einer repräsentativen Anregung (vgl. [5],[6]). Als Kugel diente ein Hartgummiball (Gewicht: 45 g). Die Anregung erfolgte mehrmals an mehreren Punkten. Das Laminat lag auf einer Betondecke mit kleinen Unebenheiten (< 3 mm pro m), wie sie auch in der Praxis auftreten. Luft- und Körperschall wurde an mehreren Punkten gemessen. Gemittelte Spektren der Mikrofone in Abhängigkeit von den Anregepunkten eines 8 mm dicken unbeschichteten (links) und eines mit einer porösen Unterschicht (5 mm dick, rechts) versehenen Laminates (Fläche: 7 m^2) sind in Abbildung 2 dargestellt (Mittelwerte: schwarze Kurven).

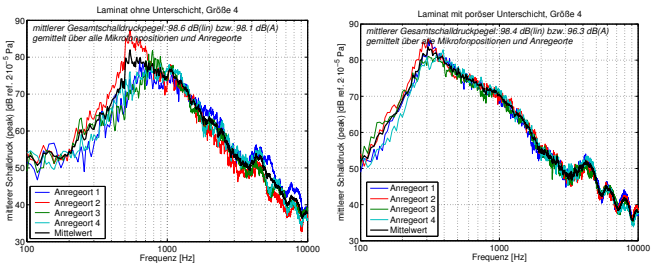

Abbildung 2: Luftschallspektrum. Laminat ohne Unterschicht (links), Laminat mit Unterschicht (rechts).

Auffällig und charakteristisch für beide Laminate ist ein Anstieg der Spektren über der Frequenz mit anschließendem Abfall unter Ausbildung eines Maximums, das beim unbeschichteten Laminat beim gemittelten Pegel bei ca. 550 Hz, beim beschichteten bei ca. 300 Hz liegt. Der Verlauf dieser Spektren deckt sich mit Angaben in der Literatur [2],[6]. Beim unbeschichteten Laminat liegen die Pegelmaxima je nach Anregestelle zwischen 500 und 800 Hz, beim beschichteten Laminat ist diese Streuung geringer (300 bis 400 Hz). Wie kommen diese Spektren zustande? Da die Koinzidenzgrenzfrequenz bei ca. 3 kHz liegt ist die Abstrahlung von Biegewellen kaum möglich. Sollte es sich um ein lokales Phänomen handeln? Abbildung 3 (links) zeigt die Ergebnisse einer Intensitätsmessung in der 1 kHz Terz (eine Einheit entspricht 30 cm, Anregestelle bei (0,0)). Die Abstrahlung erfolgt offensichtlich direkt aus der Nähe der Anregung. Die Biegewellenlänge λ_B im Hauptmaximum ($f = f_m$) lässt sich aus Gleichung 3 bestimmen (b: Breite des Paneels):

$$\lambda_B = 2\pi \sqrt[4]{\frac{B'}{m''(2\pi f_m)^2}}, B' = \frac{B}{b}. \qquad (3)$$

Die Flächenmasse des Laminates m'' liegt bei 7 kg/m^2, B' ist etwa 320 kgm^{2}s^{-2}. Damit ergibt sich λ_B zu ca. 30 cm, d.h. der Radius des Bereiches des abstrahlenden Nahfeldes wäre mit der üblichen Annahme ($\lambda_B/6$) ca. 5 cm groß. Dies lässt sich in Abbildung 3 (rechts), welche die Körperschallschnellen des beschichteten Laminates mit einer kleineren Prüffläche (0,4 m^2) zeigt, gut erkennen.

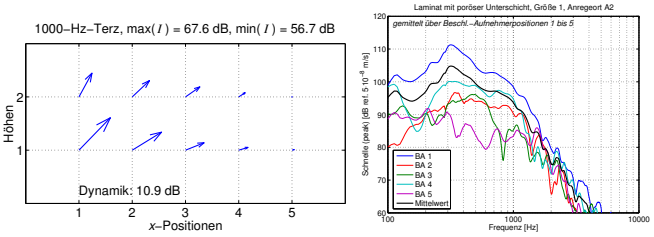

Abbildung 3: Intensitätsmessung (1 kHz-Terz) (links), Körperschallschnellen: Laminat mit Unterschicht (rechts).

Der Messpunkt BA 1 (blaue Kurve) liegt der Anregestelle am nächsten (ca. 5 cm). Nur in diesem Spektrum ist ein Resonanzgipfel zu erkennen, der sich mit der Schallabstrahlung deckt. Bei den anderen weiter entfernten Messpunkten (ca. 16 bis 33 cm) verschwindet diese Resonanz, die Körperschallausbreitung ist stark gedämpft. Die poröse (weiche) Unterschicht führt beim Laminat, wie erwähnt, zu einer Verschiebung des Pegelmaximums zu tieferen Frequenzen. Der linear bewertete Gesamtpegel bleibt dabei fast gleich (98,6 zu 98,4 dB), siehe Abbildung 2), der A-bewertete Pegel sinkt um etwa 2 dB (98,1 zu 96,3 dB). Gibt es eine Erklärung für die Frequenzverschiebung des Pegelmaximums? Das einfache Modell des „Ein-Massen-Schwingers“ kann dieses Verhalten leicht erklären:

$$f_{res} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{s''}{m''}}, s'' = \frac{\rho_0 c^2}{h}. \qquad (4)$$

Die Flächenmasse m'' ist 7 kg/m^2 (s.o.). Nimmt man für die poröse Unterschicht stark vereinfachenend ein Luftvolumen an, so ergibt sich f_{res} zu etwa 320 Hz (ρ_0 =1,21 kg/m^3, h =0,005 m). Versuche mit anderen Unterschichten (5 cm dicke poröse Schaumstoffschicht, künstlicher Lufthohlraum durch untergelegte kleine Schrauben, etc.) bestätigten diese These. Die „Federn“ beim unbeschichteten Laminat kommen durch Lufthohlräume durch die vorhandenen Bodenunebenheiten des Betonbodens zustande. Da diese Hohlräume verschieden hoch sind ist die daraus resultierende f_{res} verschieden hoch und erklärt so die Streuungen des Hauptmaximums in der Frequenz (vgl. Abbildung 2 (links)).

Zusammenfassung

Die systematischen Untersuchungen zum Verständnis der Abstrahlung von Laminatfußbodenbelägen führten zu einem einfachen physikalischen Modell, dass die auftretenden Phänomene hinreichend beschreiben kann. An der Abstrahlung wesentlich beteiligt ist lediglich das sich nahe der Anregestelle befindliche Laminat (Biegewellennahfeld), da sich der Hauptanteil der abgestrahlten Leistung unterhalb der Koinzidenzgrenzfrequenz befindet. Das dynamische Verhalten des Biegewellennahfeldes und damit der Schallabstrahlung lässt sich durch einen einfachen „Ein-Massen-Schwinger“ beschreiben, bei dem die Masse durch die eigentliche Laminatschicht und die Feder durch die darunterliegende (weiche) Unterschicht gegeben ist. Vorhandene Bodenunebenheiten führen zu Lufthohlräumen, die mit unterschiedlich steifen Federn erklärt werden können und so (je nach Anregestelle) zu unterschiedlichen Resoanzfrequenzen führen.

Literatur

[1] Taschenbuch der Technischen Akustik. M. Heckl, H.A. Müller, Springer-Verlag, 1994

[2] Optimierung des akustischen Verhaltens von Laminatfußböden. B. Plinke, Verein für Technische Holzfragen e. V. Braunschweig, AiF-Vorhaben, Förderkennzeichen 12207 N, 2002

[3] Laminate floor coverings - determination of drum sound generated by means of a tapping machine. Association of European Producers of Laminate Flooring, EPLF Norm 021029-1, 2002

[4] Improving the acoustics of laminate floor coverings by means of damping materials. C. Patsouras, K. Pfaffelhuber, D. Patsouras, E. Hotz, CFA/DAGA '04, Strasbourg, France, 2004

[5] Impact sound insulation: the standard tapping machine shall learn to walk. W. Scholl, Journal of Building Acoustics, **8**(4), 2001, 245-256

[6] Walking noise and its characterization. E. Sarradj, 7th International Congress on Acoustics - ICA, Rome, Italy, 2001