

Untersuchung von Gehgeräuschen

B. Richter, H. Schröder

Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Stuttgart, Institutsleiter: Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Dr. E.h. mult. Karl Gertis

1 Einleitung

Am Fraunhofer-Institut für Bauphysik wurden im Rahmen einer Diplomarbeit in Zusammenarbeit mit der Fachhochschule Rosenheim Gehgeräusche von Personen auf Holzbalkendecken sowie die einzelnen Einflußparameter auf die Schallspektren im darunter liegenden Empfangsraum genauer untersucht. Hintergrund ist u.a. eine Überprüfung des Norm-Hammerwerks, welches eine künstliche Trittschallquelle darstellt, über deren Modifizierung in letzter Zeit vermehrt nachgedacht wurde.

2 Durchführung

Untersucht wurden Geräusche gehender Personen auf verschiedenen Holzbalkendecken mit unterschiedlichen Estrich-Aufbauten. Es wurde der Schalldruckpegel im Empfangsraum unter der Decke bei Anregung derselben durch gehende Personen gemessen. Die Messungen wurden bei verschiedenen Gehgeschwindigkeiten durchgeführt. Es standen insgesamt fünf Versuchspersonen unterschiedlicher Größe, unterschiedlichen Gewichts und unterschiedlichen Geschlechts zur Verfügung. Der Einfluß des Schuhwerks wurde anhand von Gehmessungen in Schuhen mit harter Sohle, in Schuhen mit weicher Sohle und in Strümpfen überprüft.

Zusätzlich wurden Messungen mit dem Norm-Hammerwerk nach ISO 140-6 und dem modifizierten Hammerwerk nach ISO/CD 140-11 [1] durchgeführt.

3 Auswertung der Messungen

Die Auswertung der gemessenen Terzspektren konzentrierte sich auf deren spektralen Verlauf, während auf die Absolutwerte weniger eingegangen wurde. Wegen der großen Anzahl der durchgeführten Gehversuche wurden statistische Methoden zur Auswertung herangezogen. Zum einen wurden die Spektren vergleichbarer Messungen arithmetisch gemittelt und weitere Vergleiche mit gemittelten Terzspektren angestellt. Zum anderen wurden statistische Kennzahlen berechnet. Der Vergleich zweier Spektren ergibt zwar einen ersten Eindruck von deren Ähnlichkeit, er ist aber auf eine größere Anzahl von Spektren nicht anwendbar. Eine Möglichkeit, die Ähnlichkeit von Signalverläufen numerisch zu beschreiben, stellt das Korrelationsmaß dar. Das Korrelationsmaß Φ wurde für die vorliegenden Spektren für zwei verschiedene Frequenzbereiche über folgende Formel berechnet [2]:

$$(1) \quad \Phi = \frac{\sum_{m=1}^n y_i r_i}{\sqrt{(\sum_{m=1}^n y_i^2)(\sum_{m=1}^n r_i^2)}}$$

Dabei ist
 m die unterste betrachtete Terz
 n die oberste betrachtete Terz
 y_i der Meßwert der i-ten Terz
 r_i der Wert der i-ten Terz des Referenzspektrums

Die betrachteten Frequenzbereiche wurden von 50 bis 5000 Hz und von 100 bis 3150 Hz gewählt.

Mit dem Korrelationsmaß erfolgt der Vergleich eines beliebigen Meßspektrums zu einem geeigneten Referenzspektrum.

Da die Werte für Φ bei ähnlichen physikalischen Randbedingungen in einem engen Wertebereich nahe 1 liegen, wurde aus Gründen der Darstellung eine mathematische Transformation zur Spreizung der Werteskala angewandt. Das resultierende Vergleichsmaß ist folgendermaßen definiert:

$$(2) \quad \text{VGM} = -10 \lg(1-\Phi^2) \quad [\text{dB}]$$

Je ähnlicher die zu vergleichenden Spektren sind, desto größer wird der Wert des Vergleichsmaßes VGM. Für physikalisch unabhängige Spektren gilt $\text{VGM} = 0$. Zur Veranschaulichung dieser Kennzahl ist in Bild 1 das Vergleichsmaß der 5 zur Messung des Norm-Trittschallpegels benötigten Hammerwerkspositionen dargestellt.

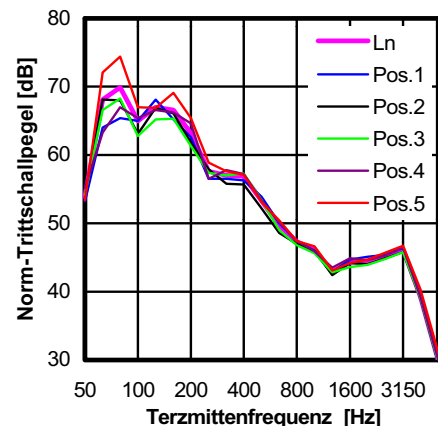


Bild 1 Trittschallpegel von 5 einzelnen Hammerwerkspositionen und des daraus ermittelten Norm-Trittschallpegels in Abhängigkeit von der Frequenz, gemessenen auf einer Holzbalkendecke mit Zementstrich.

Die Berechnung der Vergleichsmaße der einzelnen Hammerwerkspositionen zu deren arithmetischem Mittel (d.h. dem Norm-Trittschallpegel) ergab Werte von 32,1 dB bis 39,8 dB.

4 Einflußparameter auf das Trittschallspektrum

Versuchspersonen bzw. individuelle Gangarten:

Im folgenden Bild 2 werden die Terzspektren verschiedener Versuchspersonen mit subjektiv sehr unterschiedlichen Gangarten gezeigt.

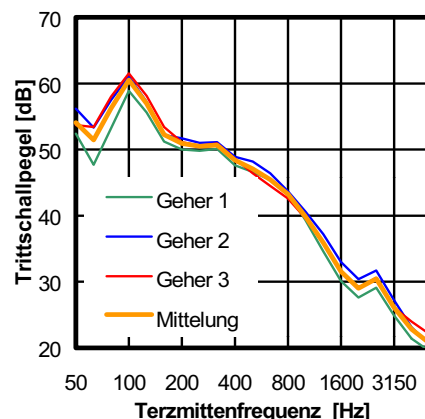


Bild 2 Trittschallpegel der Geher in Schuhen mit harter Sohle und deren Mittelung in Abhängigkeit von der Frequenz, gemessenen auf einer Holzbalken-Rohdecke.

Die Spektren der Gehgeräusche weisen einen sehr ähnlichen Verlauf auf. Die Vergleichsmaße der Einzelmessungen zu deren arithmetischem Mittel liegen zwischen 24,2 dB und 38,0 dB. Für Gehgeräusche in Schuhen mit weicher Sohle bzw. in Strümpfen lagen die entsprechenden Werte zwischen 23,1 dB und 40,1 dB. Gehgeräusche erweisen sich also auch bei indivi-

duell unterschiedlichen Gangarten als reproduzierbar. Bei Decken mit höherer Schalldämmung ist die Ähnlichkeit von Gehgeräuschen verschiedener Geher etwas geringer.

Gehgeschwindigkeit:

Der Einfluß der Gehgeschwindigkeit auf das Terzspektrum ist in Bild 3 dargestellt. Bei höheren Schrittfrequenzen ergeben sich erwartungsgemäß höhere Absolutpegel des Schalldrucks. Die Vergleichsmaße zwischen den Spektren mit unterschiedlicher Gehgeschwindigkeiten liegen je nach Schuhwerk zwischen 30,4 dB und 35,9 dB. Die Ähnlichkeit der Spektren verschiedener Gehgeschwindigkeiten ist annähernd so hoch wie bei verschiedenen Hammerwerkpositionen.

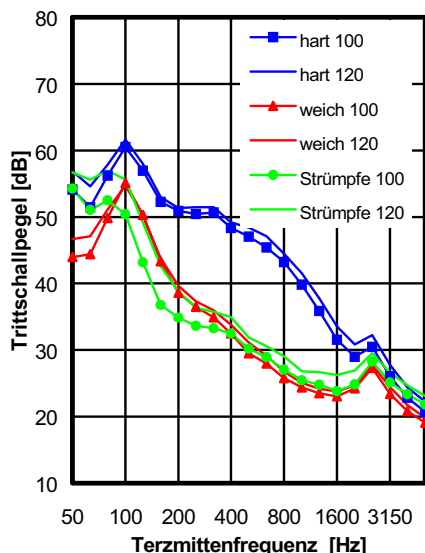


Bild 3 gemittelte Trittschallpegel der Geher in verschiedenen Fußbekleidungen in den Gehgeschwindigkeiten 100 und 120 Schritte pro Minute in Abhängigkeit von der Frequenz, gemessen auf einer Holzbalken-Rohdecke.

Fußbekleidung:

Bild 3 kann auch der Einfluß der Fußbekleidung auf das Spektrum entnommen werden. Bei der Anregung durch Schuhe mit harter Sohle entsteht ein relativ breitbandiges Terzspektrum. Die Spektren der Gehgeräusche von Schuhen mit weicher Sohle und von Strümpfen fallen dagegen zu hohen Frequenzen deutlich steiler ab. Die Vergleichsmaße zwischen Gehgeräuschen in unterschiedlichen Schuhen bzw. in Strümpfen liegen zwischen 16,7 dB und 22,2 dB, also signifikant niedriger als die Vergleichsmaße bei verschiedenen Gehgeschwindigkeiten oder verschiedenen Versuchspersonen. Die Beschaffenheit des Schuhwerks hat einen maßgeblichen Einfluß auf die entstehenden Gehgeräusche.

Deckenkonstruktion:

Erwartungsgemäß unterscheiden sich die Spektren der Geher in gleichem Schuhwerk auf verschiedenen Decken erheblich. Bei Decken besserer Schalldämmung fallen die Spektren allgemein zu hohen Frequenzen hin steiler ab als bei schlechter trittschalldämmenden Decken. Das Spektrum der Gehgeräusche von Personen in Schuhen mit harter Sohle bleibt aber breitbandiger als bei den anderen Fußbekleidungen. Die Untersuchung verschiedener Deckenkonstruktionen mit und ohne Estrich ergab außerdem, daß auch die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse von den akustischen Eigenschaften der Decke abhängt. Je besser die Trittschalldämmung, desto größer die Streuung die Vergleichsmaße.

5 Vergleich zum Norm-Hammerwerk

Bild 4 zeigt die Spektren bei Anregung durch das Hammerwerk im Vergleich zu den Spektren der Gehgeräusche. Die Unterschiede sind nicht nur bei Absolutpegeln beträchtlich.

Besonders ähnlich sind die Hammerwerksspektren im Vergleich zum Spektrum der Geher in Schuhen mit harter Sohle. Die Vergleichsmaße liegen hier bei $VGM_{50-5000} = 11,6$ dB bzw. $VGM_{100-3150} = 13,1$ dB. Für Schuhe mit weichen Sohlen oder Strümpfe liegen die Vergleichsmaße zwischen 4,4 dB und 6,4 dB. Diese Werte deuten auf sehr geringe Ähnlichkeit.

Außerdem wurde das Spektrum der in ISO/CD 140-11 vorgeschlagenen Modifikation des Hammerwerks untersucht. Die Vergleichsmaße zu den Gehgeräuschen liegen hier zwischen 6,4 dB und 16,9 dB. Diese Werte sind zwar etwas größer als beim Norm-Hammerwerk, die Ähnlichkeit zu den untersuchten Gehgeräuschen ist aber ebenfalls eher gering.

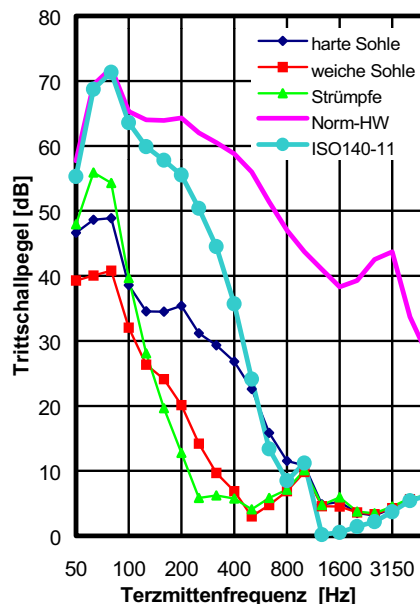


Bild 4 Trittschallpegel der Geher in verschiedenen Fußbekleidungen sowie Spektrum des Norm-Hammerwerks und des modifizierten Hammerwerks in Abhängigkeit von der Frequenz, gemessen auf einer Holzbalkendecke mit Zementestrich.

6 Schlußfolgerungen

Gehgeräusche sind in ihrem spektralen Verlauf durchaus reproduzierbare Größen. Die Spektren werden nur in geringem Maße von der Gehgeschwindigkeit und dem individuellem Einfluß verschiedener Versuchspersonen und deren Gangarten bestimmt. Maßgeblich wird das Geräuschspektrum von der Art der Fußbekleidung beeinflusst.

Um das Hammerwerk an reale Gehgeräusche anzupassen, sollte die eingeleitete Schallenergie in den tiefen Frequenzen gegenüber den Frequenzen über 100 Hz erhöht werden, um z.B. die für Gehgeräusche charakteristische tieffrequente Schallübertragung zu erfassen [2]. Für eine weitere Annäherung der Hammerwerksgeräusche an reale Gehgeräusche könnten gegebenenfalls verschiedene Modifikationen des Hammerwerks für unterschiedliche Klassen von Schuhwerk eingesetzt werden. Als weitere Alternative wäre beispielsweise auch eine Bewertungskurve denkbar, welche das Spektrum des Norm-Hammerwerks an Spektren von realen Gehgeräuschen anpaßt.

7 Literatur

- [1] Normentwurf ISO/CD 140-11: Trittschallminderung im Labor auf leichten Decken.
- [2] Richter, B.; Schröder, H.: Untersuchung von Gehgeräuschen auf Massiv- und Holzbalkendecken, IBP-Bericht B-BA 2/2002 (2002).