

Vibroakustische Eigenschaften von technischen Ersatzschallquellen im Vergleich zu Gehern

Heinrich Bietz, Volker Wittstock

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, 38116 Braunschweig heinrich.bietz@ptb.de

Einleitung

Die vibroakustischen Eigenschaften von Schallquellen sind in der Bauakustik bei der Formulierung von Mess- und Prognoseverfahren von großer Bedeutung. Auch in der PTB wurden in der Vergangenheit diesbezügliche Untersuchungen durchgeführt, wobei sich das 2-Platten-Verfahren als praktikable Methode zur Quellcharakterisierung bewährt hat. Unter anderem wurden menschliche Geher und das nach DIN EN ISO 10140-5¹ modifizierte Normhammerwerk untersucht, und es wurde festgestellt, dass dieses die Mobilität eines Gehers realistisch abbildet². Beim modifizierten Hammerwerk trat aber auch eine erhebliche (unerwünschte) Einleitung von Körperschall über die Füße auf. Darüber hinaus definiert DIN EN ISO 10140-5 eine weitere Ersatzschallquelle, die sogenannte schwere/weiche Trittschallquelle („Gummiball“), deren Quelleigenschaften bisher nicht hinreichend bekannt sind. Über die Untersuchung dieser beiden Fragestellungen wird im Folgenden berichtet.

Untersuchte Quellen

Zunächst wurden zwei modifizierte Hammerwerke untersucht, Typ A (elektrodynamisch) und Typ B (mechanisch). Die Modifizierung erfolgte in beiden Fällen durch Unterlage eines 12,5 mm starken Streifens aus PU-Schaum mit einem dynamischen Elastizitätsmodul von ca. 0,9 GPa. Der Höhenausgleich erfolgte durch Unterlegung der Hammerwerkfüße. Hier wurde als „harter“ Werkstoff PVC(hart) und als „weicher“ Werkstoff PU-Schaum mit einem dynamischen Elastizitätsmodul von ca. 5 GPa bei beiden Hammerwerken verwendet. Weiterhin wurden zwei schwere/weiche Trittschallquellen untersucht, zum einen ein handelsübliches Modell entsprechend DIN EN ISO 10140-5, zum anderen ein ca. 20 Jahre alter Prototyp mit gleichen Abmessungen und gleichem Gewicht, aber mit deutlich geringerer Elastizität. Die verwendete Fallhöhe betrug jeweils 1m.

Durchführung der Messungen

Für die jetzigen Untersuchungen kam erneut das 2-Platten-Verfahren zum Einsatz. Hierbei wird die zu untersuchende Schallquelle auf zwei verschiedenen Empfangsplatten betrieben, deren Mobilität in einem Fall deutlich höher und im anderen Fall deutlich niedriger als die der Quelle sein sollte. Die Messung der mittleren Schnelle und der daraus resultierenden Körperschalleistung liefert im ersten Fall die freie Schnelle, und im zweiten Fall die Kurzschlusskraft der untersuchten Quelle, woraus sich letztlich auch die Quellmobilität ermitteln lässt. In der Praxis ist die Auswahl der Platte hoher Mobilität oft problematisch. Diese muss leicht, biegsam und weichfedernd gelagert sein. Andererseits muss sie z.B. im vorliegenden Fall dem Aufprall des Gummiballs standhalten und so reagieren, dass eine Messung der Schnelle möglich ist. Für die hier beschriebenen Untersuchungen wurden eine Stahlplatte und eine Sperrholzplatte verwendet. Beide Platten waren vollflächig elastisch gelagert, wobei für

die Stahlplatte Schaumstoff und für die Sperrholzplatte eine Luftblasenfolie verwendet wurden. Die Materialparameter der Empfangsplatten sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Materialparameter der Empfangsplatten

Material	Stahl	Sperrholz
S (m ²)	2,04	2,13
d (mm)	10	5
m (kg)	160	4,7
E (GPa)	210	12
Y_{inf} (m/(Ns))	9287	141

Bild 1 zeigt die gemessenen Gesamtverlustfaktoren für die beiden Empfangsplatten. Während der Verlustfaktor der Stahlplatte mit steigender Frequenz stark abfällt, ist dieses Verhalten bei der Sperrholzplatte deutlich weniger ausgeprägt. Grundsätzlich ist ein Verhalten, wie es die Stahlplatte zeigt, wünschenswerter. Dies zeigt sich auch in Bild 2. Hier ist die sog. „Leistungskorrektur“ der Empfangsplatten dargestellt. Dabei wird die mittels eines Shakers eingespeiste Körperschalleistung am Einleitungspunkt und im Hallfeld gemessen, wobei eine ideale Empfangsplatte in beiden Fällen den gleichen Wert liefern würde. In der Praxis wird die Differenz beider Leistungen als Korrekturgröße eingerechnet. Während die Stahlplatte zumindest im mittleren Frequenzbereich Werte nahe 0 dB liefert, sind die Abweichungen bei der Sperrholzplatte deutlich höher, was u.A. dem hohen Verlustfaktor geschuldet ist. Die Abweichungen liegen hier in derselben Größenordnung wie bei der leichten Empfangsplatte aus Aluminium, die für die Geher benutzt wurde. Geringere Abweichungen wären natürlich wünschenswert, sind aber praktisch schwer realisierbar.

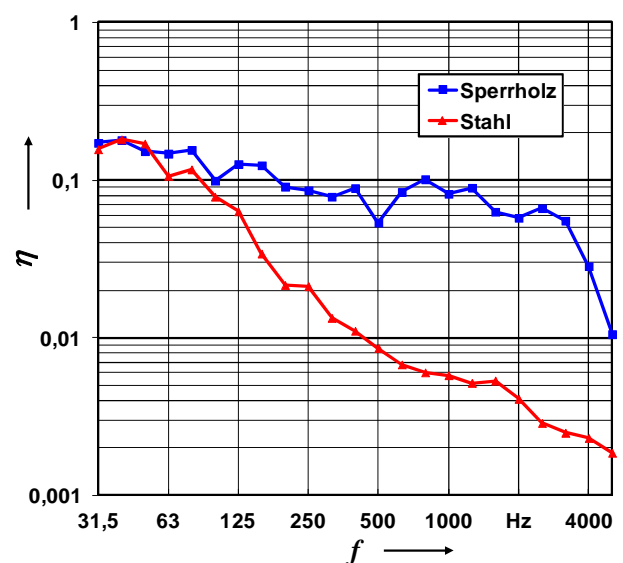


Bild 1: Verlustfaktoren der verwendeten Empfangsplatten

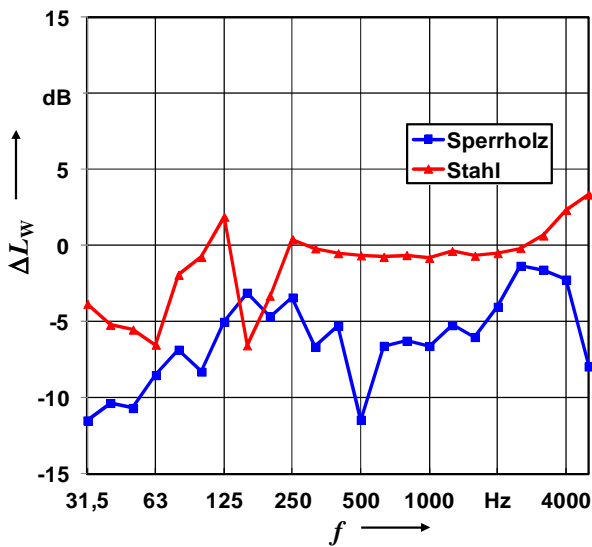


Bild 2: Differenz zwischen der Diffusfeld-Schalleistung und der eingeleiteten Schalleistung auf den Empfangsplatten in dB

Messergebnisse

Modifizierte Hammerwerke

Die Messergebnisse für die modifizierten Hammerwerke sind in Bild 3 und Bild 4 dargestellt. Zunächst sollen die gemessenen Kurzschlusskräfte diskutiert werden. Das Hammerwerk Typ A (elektrodynamisch) liefert unabhängig von der Art des Höhenausgleichs weitestgehend identische Kurzschlusskräfte. Dagegen macht sich die Art der Lagerung beim mechanischen Hammerwerk (Typ B) deutlich bemerkbar. Wird ein harter Höhenausgleich verwendet, leitet das Hammerwerk in einem weiten Frequenzbereich eine deutlich höhere Kurzschlusskraft ein als Typ A. Hier macht sich die Energieeinleitung über die Hammerwerkfüße, deren Ursprung u.A. im Auffangmechanismus der Hämmer liegt, deutlich bemerkbar. Durch Verwendung eines weichen Höhenausgleichs wird die Krafteinleitung über die Füße weitestgehend unterdrückt, nur im Bereich um 2 kHz zeigt sich eine deutliche Abweichung. Bei der Bestimmung der freien Schnelle zeigt sich ein anderer Sachverhalt. Während das elektrodynamische Hammerwerk wiederum in beiden Fällen nahezu identische Werte liefert, erweist sich die weiche Lagerung bei Hammerwerk B als weitgehend wirkungslos, da es, bedingt durch die geringe Masse der Empfangsplatte, nicht zur gewünschten Entkopplung der Hammerwerkfüße kommt. Da die Verwendung einer noch weicheren Lagerung zu nicht mehr beherrschbaren Problemen führt (insbesondere starke seitliche Bewegungen des Hammerwerkes), kann in diesem Fall kaum Abhilfe geschaffen werden.

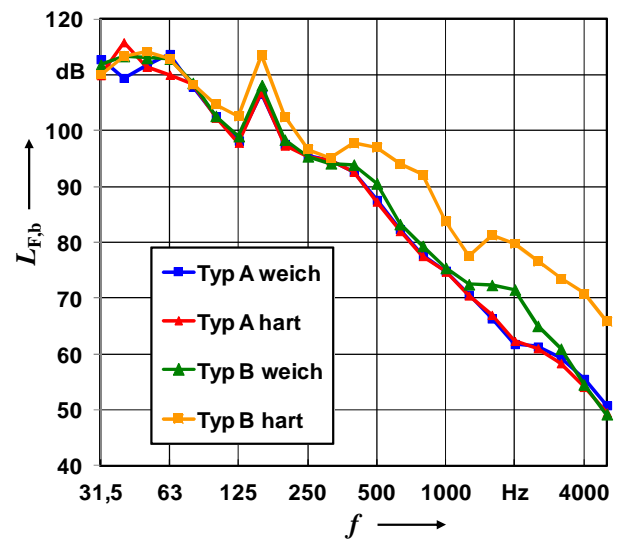


Bild 3: Kurzschlusskraft in dB re $2e-5$ N, modifizierte Hammerwerke Typ A und Typ B hart und weich gelagert an den Füßen

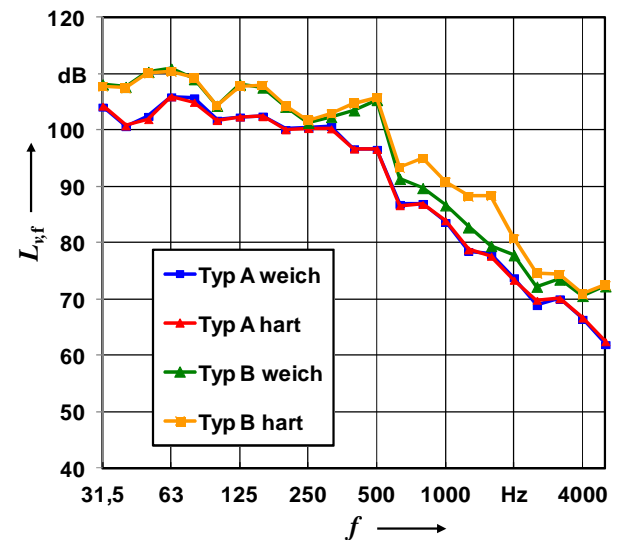


Bild 4: Freie Schnelle in dB re $5e-8$ m/s, modifizierte Hammerwerke Typ A und Typ B hart und weich gelagert an den Füßen

Abschließend werden in Bild 5 die Mobilitäten der Hammerwerke betrachtet. Erwartungsgemäß ändert sich die Mobilität des elektrodynamischen Hammerwerks (Typ A) abhängig von der Art des Höhenausgleiches nicht. Das mechanische Hammerwerk zeigt trotz einiger dB Abweichungen generell einen ähnlichen Verlauf, lediglich bei Verwendung eines harten Höhenausgleichs gibt es im Frequenzbereich oberhalb 2 kHz größere Abweichungen. Zum Vergleich ist die mittlere Mobilität der in der PTB charakterisierten Geher eingezeichnet. Es zeigt sich wiederum, dass das modifizierte Hammerwerk die Mobilität des menschlichen Gehers realistisch abbildet.

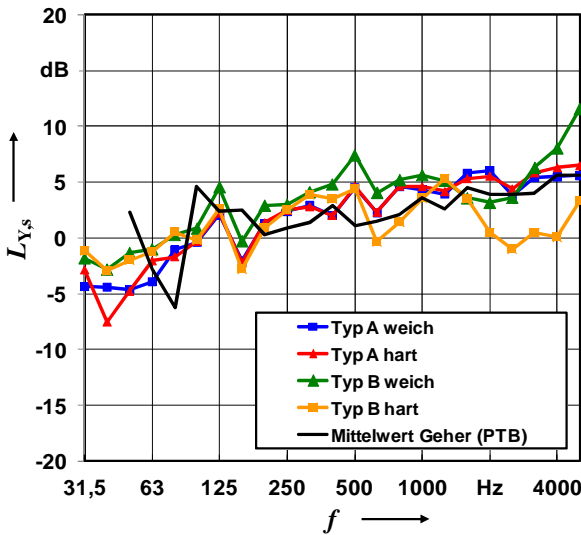


Bild 5: Mobilitäten der modifizierten Hammerwerke in dB re $2,5 \cdot 10^{-3}$ m/N/s im Vergleich zum Mittelwert der in der PTB charakterisierten Geher

Weiche/schwere Trittschallquellen

Bei den Gummibällen zeigt sich sowohl bei der Kurzschlusskraft als auch bei der freien Schnelle der unterschiedliche Charakter der beiden Versuchsobjekte, wie in Bild 6 und Bild 7 deutlich zu sehen ist. Der alte, härtere Ball liefert in beiden Fällen signifikant höhere Werte. Interessanterweise ist die in Bild 8 dargestellte Mobilität im mittleren Frequenzbereich durchaus ähnlich, wobei der neue Ball den menschlichen Geher insgesamt besser abbildet.

In DIN EN ISO 10140-5 ist die schwere/weiche Trittschallquelle durch den Verlauf eines „Schlagkraftpegels“ charakterisiert, der von der Definition her mit der Kurzschlusskraft vergleichbar ist, wobei in diesem Fall der Ball direkt auf einen Kraftsensor einwirkte³. Die vorgegebenen Kraftpegel und der zugehörige Toleranzbereich werden in Bild 9 mit der gemessenen Kurzschlusskraft des neuen Gummiballs verglichen. Wenn es auch, insbesondere bei 31 Hz, Abweichungen außerhalb des Toleranzbereiches gibt, so ist doch insgesamt eine gute Übereinstimmung erkennbar. Dies gilt insbesondere vor dem Hintergrund, dass die Kraftpegel mit völlig unterschiedlichen Messverfahren ermittelt wurden.

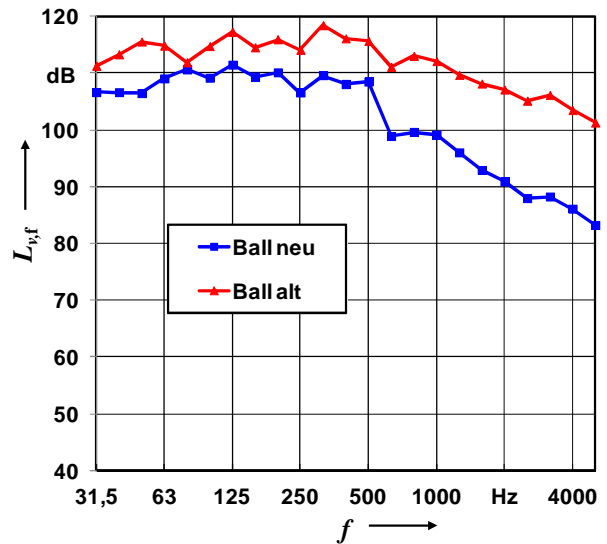


Bild 7: Freie Schnellen der Gummibälle in dB re $5 \cdot 10^{-8}$ m/s

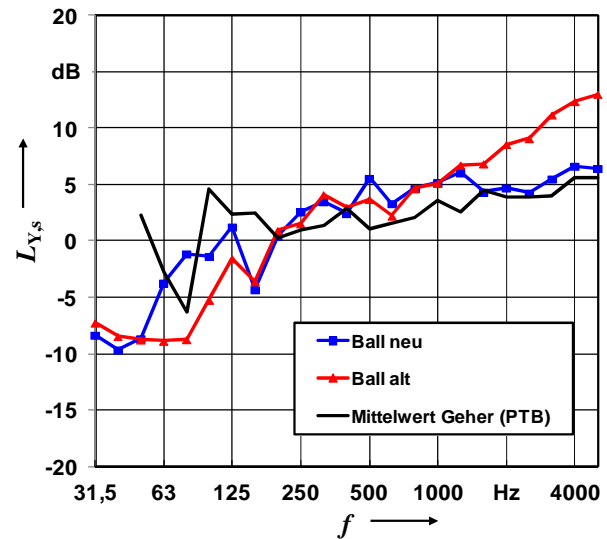


Bild 8: Mobilitäten der Gummibälle in dB re $2,5 \cdot 10^{-3}$ m/N/s im Vergleich zum Mittelwert der Geher

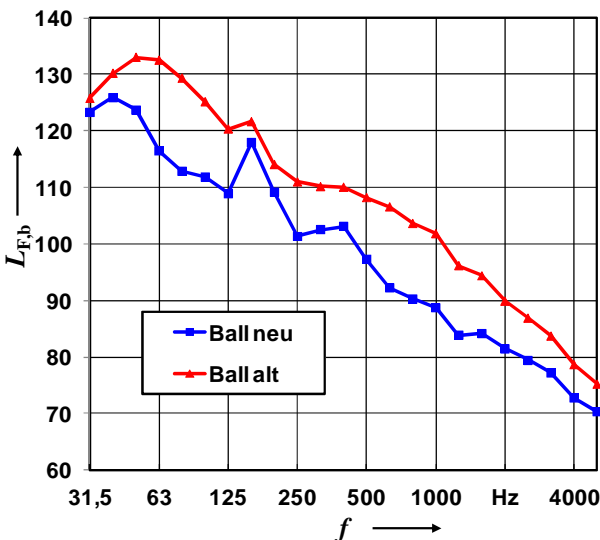


Bild 6: Kurzschlusskräfte der Gummibälle in dB re $2 \cdot 10^{-5}$ N/s

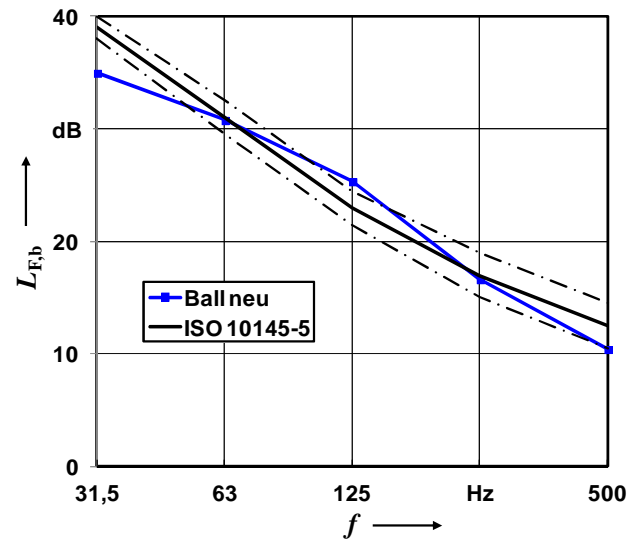


Bild 9: Vergleich der gemessenen Kurzschlusskraft mit dem „Schlagkraftpegel“ aus DIN EN ISO 10140-5 in dB re $1 \text{ N} \sqrt{\text{s}}$, neuer Gummiball

Vergleich Hammerwerk vs. Gummiball

Abschließend sind in Bild 10 noch einmal ausgewählte Messergebnisse für das Normhammerwerk und den Gummiball zusammengefasst, die auch mit den Mobilitäten der Empfangsplatten verglichen werden. Es wird noch einmal deutlich, dass sowohl das modifizierte Hammerwerk als auch der Gummiball den menschlichen Geher gut abbilden. Die gewählten Empfangsplatten sind für die untersuchten Messobjekte geeignet, wenngleich eine leichte Empfangsplatte mit noch höherer Mobilität wünschenswert wäre.

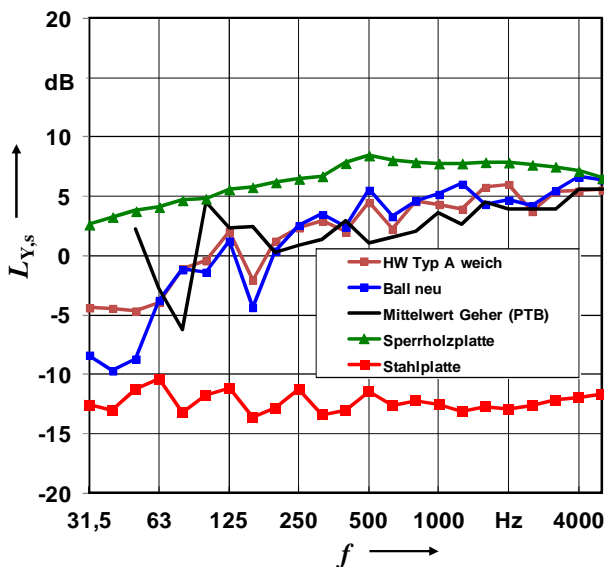


Bild 10: Mobilität von Hammerwerk, Ball, Geher und Empfangsplatten in dB re 2,5e-3 m/N/s im Vergleich

Direkte Messung der Mobilität des Balles

In der Vergangenheit wurden auch Versuche unternommen, die Mobilität des Gummiballes direkt mit Hilfe eines Impedanzkopfes zu messen⁴. Diese Methode beinhaltet wesentlich weniger Vereinfachungen und Unwägbarkeiten als die 2-Platten-Methode, bildet aber die Betriebsart der Quelle (Freier Fall aus 1 m Höhe) nicht realistisch ab. Im Rahmen der jetzt vorgestellten Untersuchungen wurde ebenfalls auch die direkte Messung der Mobilität mittels Shakeranregung und Impedanzmesskopf vorgenommen, wobei die angekoppelte Fläche ca. 20 mm² betrug. Bild 11 zeigt die gewonnenen Ergebnisse im Vergleich zum 2-Platten-Verfahren. Ein Ergebnis einer direkten Messung aus anderer Quelle (NRC Kanada⁴) ist ebenfalls eingezeichnet. Die Messgrenze ergibt sich aus den technischen Daten des in der PTB verwendeten Impedanzmesskopfes.

Bei direkter Messung ergeben sich für die Mobilität deutlich höhere Werte, insbesondere für den neuen Ball. Dies ist insofern plausibel, als dass der Ball kaum verformt wird und somit die anregende Kraft auf eine deutlich kleinere Fläche wirkt. Der ältere Ball ist zwar steifer, erzeugt deshalb aber beim Aufprall aus 1 m Höhe auch nur ca. ein Drittel der Abdruckfläche des neuen Balles, weshalb sich die Mobilität beim 2-Platten-Verfahren in beiden Fällen ähnlich darstellt. Bei den Messungen im NRC wurde eine größere Ankopplungsfläche als in der PTB benutzt (ca. 400 mm²), was auch die im Ergebnis niedrigere Mobilität gut erklärt.

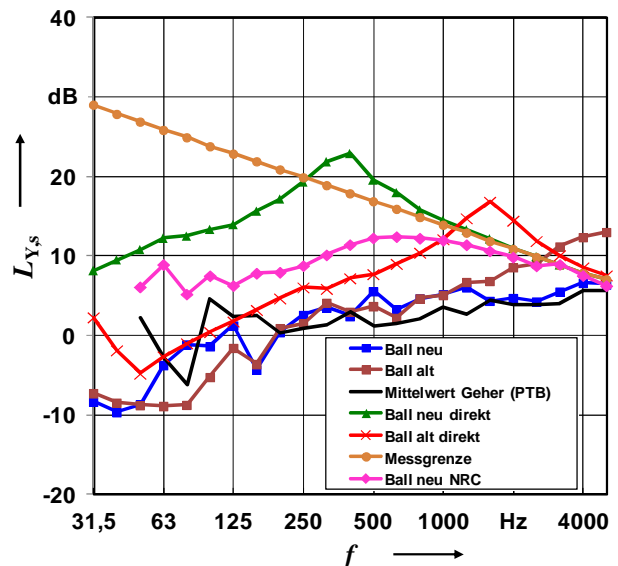


Bild 11: Vergleich der Mobilität der Gummibälle in dB re 2,5e-3 m/N/s, direkte Messung und 2-Platten-Verfahren

Zusammenfassung und Ausblick

Das modifizierte Hammerwerk und die schwere/weiche Trittschallquelle wurden mit Hilfe des 2-Platten-Verfahrens charakterisiert. Der neue Gummiball und die Hammerwerke bilden den menschlichen Geher gut ab, wobei mechanische Hammerwerke entkoppelt gelagert werden sollten. Eine direkte Bestimmung der Mobilität des Gummiballes liefert weniger praxistaugliche Ergebnisse. Die ermittelten Quellparameter sollten noch durch eine Prognose und Messung auf einer Empfangsplatte mittlerer Mobilität verifiziert werden, und bei der leichten Empfangsplatte besteht noch Verbesserungsbedarf.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei Berndt Zeitler, NRC Kanada, für die Bereitstellung seiner Messergebnisse.

¹ DIN EN ISO 10140-5 „Akustik -Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand- Teil 5: Anforderungen an Prüfstände und Prüfeinrichtungen“, September 2014

² Bietz, H., Wittstock, V., In-Situ-Charakterisierung menschlicher Geher als Körperschallquelle mit dem Zwei-Platten-Verfahren, DAGA 2010 Berlin, CD-ROM

³ Inoue, K., Yasuoka, M., Tachibana, H., New heavy impact source for the measurement of floor impact sound insulation of buildings, InterNoise 2000, Nizza 2000, CD-ROM

⁴ Zeitler, B., Nightingale, T., Impedance of standard impact sources and their effect on impact sound pressure level of floors, Acoustics'08, Paris 2008, CD-ROM