

Trittschallminderung von Hantelbereichen

Mark Koehler¹, Nico Schreiner¹

¹ Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, 70569 Stuttgart, E-Mail: mark.koehler@ibp.fraunhofer.de

Einleitung

Die zunehmende Verbreitung von Fitnessstudios und der Trend regelmäßiges Intensivtraining in den Tagesablauf zu integrieren führt vor allem in Großstädten, in denen im Übrigen auch die höchste Dichte an Studios pro Einwohnerzahl herrscht, immer häufiger auch zu Lärmproblemen. Besonders kritisch sind dabei Fitnessstudios, die sich in unmittelbarer Nachbarschaft bzw. im selben Gebäude wie Wohn-, Büro-, oder Hotelbereiche befinden

Die Anforderungen die beim Training mit Gewichten an die Böden entstehen sind äußerst kompliziert. Zunächst müssen die Trainierenden einen sicheren Stand haben und die Gewichte dürfen beim Aufprall nicht zurückfedern. Sie sollen möglichst elastisch sein, um sowohl Lärm als auch Schäden am Gebäude langfristig zu vermeiden und auch schwere kompakte Gewichte dürfen die elastischen Schichten nicht einfach durchschlagen. In der Praxis werden zurzeit aufgrund fehlender Messwerte und Prognosehilfen noch allzu oft pauschale Maßnahmen auf Basis von Erfahrungen umgesetzt, die leider selten die optimale Lösung darstellen. Am Fraunhofer IBP wurde zusammen mit den Berleburger Schaumstoffwerken GmbH Messungen durchgeführt, mit dem Ziel ein verlässliches Messverfahren für den Trittschall von Hantelbereichen zu entwickeln.

Stand der Technik

Da die Wirkung der Böden in starkem Maße von der Beanspruchung durch das fallende Gewicht abhängig ist, ist die Verwendung des Norm-Hammerwerks und der schweren weichen Trittschallquelle nach DIN EN ISO 10140 voraussichtlich nicht zielführend. Zum Beginn der Untersuchungen im Frühjahr 2019 waren bereits erste „Messergebnisse“ auf Webseiten der Hersteller entsprechender Bodensysteme zu finden. Die Informationen zu den Messmethoden beschränkten sich dabei meist auf die Angabe der alternativen Körperschallquelle in Form eines Gewichts.

Vorversuche

Eben weil die Wirkung der Böden besonders von der Beanspruchung abhängig ist, sollten die Versuche nicht mit irgendeiner Schallquelle durchgeführt werden, sondern nach Möglichkeit mit einer Schallquelle, die einerseits die Belastung durch den regulären Betrieb im Fitnessstudio repräsentiert, andererseits allerdings der Reproduzierbarkeit und Zuverlässigkeit der genormten Quellen in nichts nachsteht. In Bezug auf die Gewichtstoleranzen scheinen Sport- und Fitnessgewichte, vor allem solche mit olympischem Standard, keine schlechte Wahl zu sein. Ihre Toleranzen betragen wenige Gramm bezogen auf 10 kg. Zudem sind sie gut handhabbar, im Vergleich zu sonstiger akustischer Messtechnik relativ günstig und gut verfügbar. Schwieriger wird es allerdings bei der Oberfläche.

Während Hantelscheiben eine gleichmäßige Rundung aufweisen, sind Kugelhanteln unten abgeflacht, damit sie, einmal abgestellt, nicht umfallen. Hierdurch ergibt sich am Übergang vom flachen Boden zur Rundung eine Kante.

Im Außendurchmesser unterscheiden sich zertifizierte Hantelscheiben nur minimal, während Kugelhanteln mit dem Gewicht auch an Umfang zunehmen. Darüber hinaus besitzen die meisten Sportgewichte, insbesondere Hantelscheiben, noch eine (undefinierte) elastische Beschichtung der Oberfläche, die, sowohl Böden, als auch Lackierungen vor Beschädigungen schützen soll. Das größte Problem bei Langhanteln ist allerdings die Handhabbarkeit sowie das gleichzeitige Auftreffen der beiden Gewichtspakete.

Für die Versuche wurden Vorrichtungen zum Anheben und Abwerfen der Gewichte gebaut. Abbildung 1 zeigt die Hebevorrichtung mit einer angehobenen Langhantel kurz vor dem Abwurf. Abbildung 2 zeigt eine Kugelhantel, die gerade angehoben wird.



Abbildung 1: Hebe- und abwurfvorrichtung für Langhanteln.



Abbildung 2: An Rundschlinge aufgehängte Kugelhantel als Trittschallquelle für Fitnessböden.

Um die Rohdecke vor irreparablen Schäden durch die Einschläge zu schützen, wurde als Referenz nicht direkt auf der Decke, sondern auf einem 8 mm dicken Elastomer mit bekannten Eigenschaften angeregt.

Aus diesen Überlegungen ergeben sich für die im Fraunhofer IBP in Stuttgart durchgeführten Vorversuche folgende zentrale Fragestellungen:

1. Sind Sportgewichte aus der Praxis wie Kugelhanteln oder Langhanteln in Bezug auf Messgenauigkeit bzw. Reproduzierbarkeit mit genormten Schallquellen vergleichbar?
2. Ist der gemessene Schalldruckpegel im Empfangsraum proportional zum Impuls (Produkt aus Masse und Geschwindigkeit) sodass ein kleines Gewicht mit großer Fallhöhe dieselbe Wirkung hat wie ein großes mit niedriger Fallhöhe?
3. Ist die Summe der Verbesserungen des Referenzbodens zur Rohdecke und des Fitnessbodens zum Referenzboden gleich der Verbesserung des Fitnessbodens zur Rohdecke?

Alle Messungen wurden im Estrichprüfstand des IBP auf der 140 mm dicken massiven Bezugsdecke analog zum Verfahren nach DIN EN ISO 10140 mit schwerer weicher Trittschallquelle durchgeführt.

Anregung mit Hantelgewichten

Zunächst wurden verschiedene Böden mit Langhanteln mit 60 und 100 kg aus verschiedenen Fallhöhen von 30 bis 150 cm angeregt. Gemessen wurde jeweils der Schalldruckpegel im Empfangsraum $L_{AF,max}$ von 20 bis 5000 Hz. Ziel war es die Verbesserung durch die Böden gegenüber dem Referenzboden sowie die Anwendbarkeit des Messverfahrens und dessen Wiederholpräzision zu untersuchen. In Abbildung 3 sind Messergebnisse des frequenzabhängigen Pegels $L_{i,AF,max}$ von fünf direkt aufeinanderfolgenden Messungen auf dem Referenzboden dargestellt.

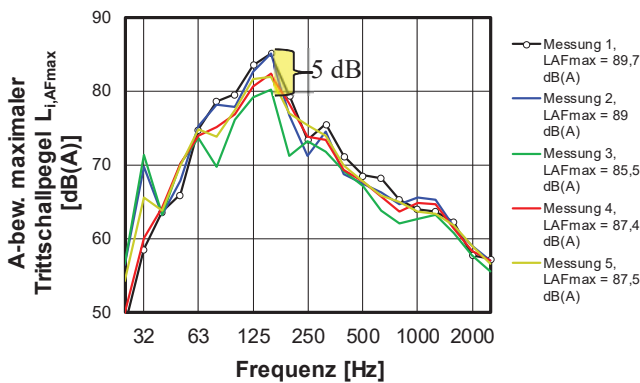


Abbildung 3: Schalldruckpegel $L_{i,AF,max}$ im Empfangsraum bei Anregung mit Langhantel 60 kg Fallhöhe 150 cm – fünf Wiederholungen

Das Maximum des A-bewerteten Spektrums liegt bei 160 Hz, was ungefähr der Koinzidenzfrequenz der Rohdecke entspricht. Während die maximale Abweichung in diesem, den Summenpegel bestimmenden Bereich ca. 5 dB beträgt, sind es bei 32 Hz ca. 12 dB. Das führt zu einer Standardabweichung von 1,6 dB (Summe) und 5,7 dB (32 Hz).

Diese Messungen wurden für verschiedene Bodenaufbauten durchgeführt und anschließend mit Kugelhanteln mit 12, 24 und 32 kg wiederholt. Zudem wurde die Verbesserung der

Böden zum Referenzboden ermittelt, indem die Differenz der jeweiligen Trittschallpegel gemäß DIN EN ISO 10140 berechnet wurde. Im Folgenden werden die Ergebnisse von der Langhantel mit 60 kg dargestellt. Da sich die 60 kg auf zwei Anregepositionen verteilen, wird an jeder einzelnen Position von einer annähernd vergleichbaren Stauchung wie bei der 32 kg schweren Kugelhantel ausgegangen. In Abbildung 4 sind die Messergebnisse des frequenzabhängigen Pegels $L_{Ai,F,max}$ bei verschiedenen Fallhöhen der 60 kg schweren Langhantel auf einem 100 mm dicken, elastischen Fitnessboden aus Gummigranulat dargestellt.

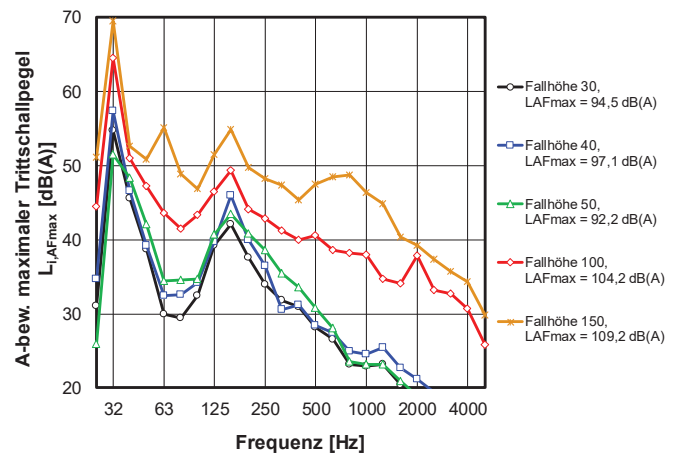


Abbildung 4: Schalldruckpegel $L_{Ai,F,max}$ im Empfangsraum bei Anregung mit Langhantel 60 kg verschiedene Fallhöhen, Mittelwerte aus 5 Messungen

Im Vergleich zum Referenzboden sieht man eine deutliche Pegelreduktion bei 160 Hz, im Gegensatz zur 32 Hz Terz, was dazu führt, dass letztere nun den A-bewerteten Summenpegel bestimmt. Diese Eigenschaft des Frequenzverlaufs führt dazu, dass die in den folgenden Diagrammen ermittelten Einzahlwerte der Verbesserung so unterschiedlich ausfallen, obwohl die Kurvenverläufe relativ ähnlich sind.

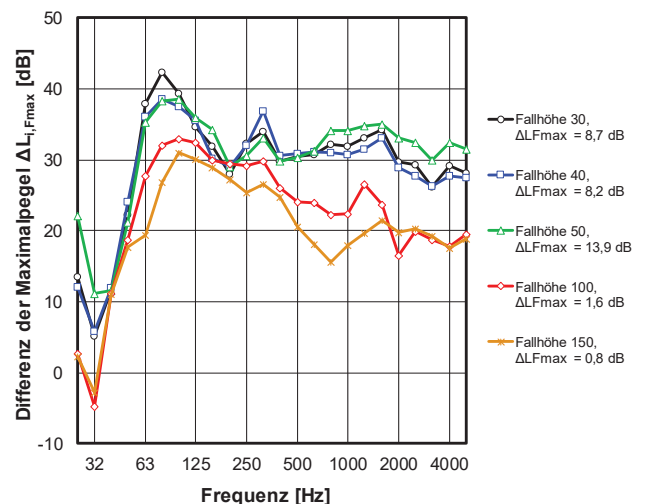


Abbildung 5: Verbesserung der Schalldruckpegel $\Delta L_{i,F,max}$ im Empfangsraum bei Anregung mit Langhantel 60 kg.

In Abbildung 5 ist die ermittelte Verbesserung durch den Fitnessboden aus Abbildung 4 im Vergleich zur Referenz aus Abbildung 3 bei verschiedenen Fallhöhen der Langhantel mit 60 kg dargestellt. Während die Kurvenverläufe im

bauakustischen Frequenzbereich zwischen 20 und 40 dB Verbesserung zeigen, liegen die Einzahlwerte aufgrund der 32 Hz Terz nur bei rund 0 bis 10 dB. Bei den Abwurfhöhen 100 und 150 cm kommt es sogar zu negativen Werten bei 32 Hz.

Um den Einfluss durch die Körperschallquelle zu untersuchen wurden die gleichen Messungen wie eingangs erwähnt mit verschiedenen Gewichten durchgeführt und jeweils die Verbesserung des Luftschallpegels im Empfangsraum berechnet. Abbildung 6 zeigt die Verbesserungen durch den gleichen Boden bei Anregung mit Kugelhanteln mit 12, 24 und 32 kg sowie Langhanteln mit 60 und 100 kg.

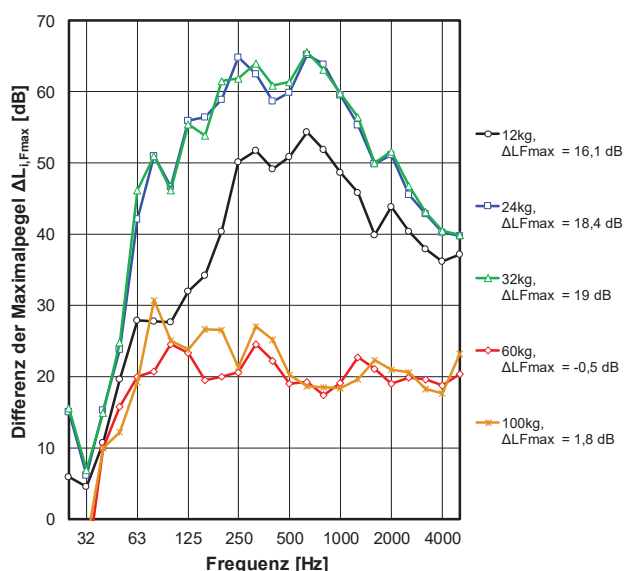


Abbildung 6: Verbesserung der Schalldruckpegel $\Delta L_{i,F,max}$ im Empfangsraum bei Anregung eines elastischen, 100 mm dicken Fitnessbodens mit verschiedenen Gewichten aus 1 m Fallhöhe.

Es ist zu erkennen, dass die ermittelte Verbesserung mit Langhanteln (rote und gelbe Kurve) einen gänzlich anderen Kurvenverlauf aufweist, wie mit den Kugelhanteln (schwarze, blaue und grüne Kurve). Das Ergebnis lässt sich darauf zurückführen, dass bei Anregung auf dem Referenzboden mit den Kugelhanteln weniger hochfrequente Anteile gemessen wurden als mit den Langhanteln. Bei Anregung der Fitnessböden war es umgekehrt.

Warum dies so ist, lässt sich im Nachhinein nicht mehr mit Sicherheit ermitteln. Es ist jedoch aufgefallen, dass einerseits die Abwurfvorrichtung (Abbildung 1) bei den schwereren Gewichten zu wackeln beginnt. Außerdem treffen natürlich bei den Langhanteln nie beide Gewichte gleichzeitig auf, was neben unterschiedlichen Einleitungspegeln auch zu einem Stoß zwischen Hantelgewicht und Stange führt.

Im Gegenzug ist bei den Kugelhanteln aufgefallen, dass Sie wenn sie auf die Kante zwischen flachem Boden und Rundung treffen, den 8 mm dicken Referenzboden quasi durchschlagen, während es aufgrund des geringen Gewichtes bei den 100 mm dicken Fitnessböden kaum einen Einfluss zu geben scheint. Wenn man allerdings versucht sie auf eine Runde Stelle fallen zu lassen, schlägt der Griff unmittelbar nach dem Auftreffen ebenfalls auf und gibt einen zusätzlichen unerwünschten Impuls in den Boden.

Anregung mit Stahlkugeln

Aufgrund der gravierenden Unterschiede scheint es nicht zielführend zu sein, mit den Messergebnissen den oben gestellten Fragen 2 bis 3 nachzugehen oder gar auf das Verbesserungspotential der Böden in der Praxis zu schließen. Aus diesem Grund wurde Entschieden weitere Untersuchungen mit einer optimierten Anregung durchzuführen, bei der gleichzeitig auch die in die Rohdecke eingeleiteten Körperschallpegel an verschiedenen Positionen, analog zum Verfahren nach DIN EN 15657, gemessen wurden. Als Quelle zur Anregung der Böden wurden verzinkte Stahlkugeln mit 30 kg und 75 kg verwendet, deren Fall über einen Magneten mit elektronischer Deaktivierungsfunktion ausgelöst wird (vgl. Abbildung 7). Mit den beiden Kugeln kann ein relativ breiter Gewichtsbereich abgedeckt werden. Die durchgehende Kugelform führt zu einem reproduzierbaren Impuls. Die unterschiedlichen Radien der Kugeln sind im Vergleich zu den Unsicherheiten bei realen Hantelgewichten gering.

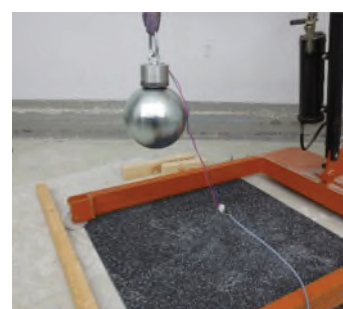


Abbildung 7: Abwurfvorrichtung mit 30 kg Stahlkugel auf den Referenzboden

Mit den Kugeln wurden nun die Messungen wiederholt und zusätzlich der Körperschallpegel an verschiedenen Stellen der Rohdecke gemessen. In Abbildung 8 ist zu erkennen, dass die Wiederholpräzision deutlich besser ist, die Einzahlwerte weichen vom Mittelwert um weniger als ein dB ab.

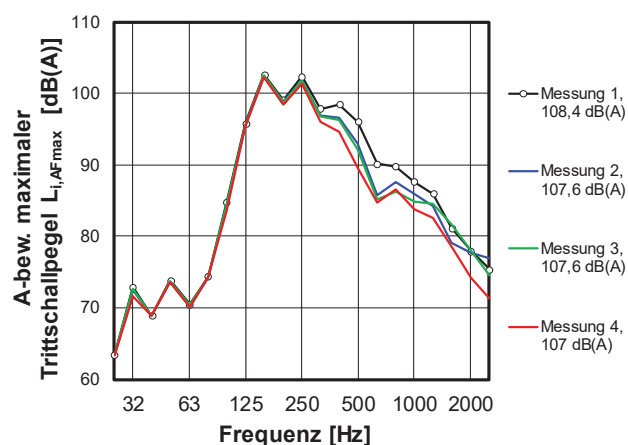


Abbildung 8: Schalldruckpegel $L_{i,AF,max}$ im Empfangsraum bei Anregung mit 75 kg Stahlkugel auf dem Referenzboden

Die Abweichungen bei hohen Frequenzen sind auch hier vermutlich auf Bewegungen (Rückschlag) der Abwurfvorrichtung zurückzuführen. Eine elastische Lagerung des fahrbaren Krangestells auf der Rohdecke könnte Abhilfe schaffen.

Mit der erhöhten Wiederholgenauigkeit der Anregung kann nun die Verbesserung der Böden reproduzierbar untersucht werden. Zur Schonung der Rohdecke wurden die Messungen mit möglichst niedrigen Fallhöhen durchgeführt. Als nächstes wurde untersucht, ob die gemessenen Schallpegel proportional zum Impuls der Anregung sind. In dem Fall könnte man - in gewissen Grenzen- mit leichteren Gewichten messen und anschließend auf die Pegel mit größeren Gewichten hochrechnen. Zur besseren Vergleichbarkeit wurden die Impulse mit einer Referenz von 1 Ns in dB umgerechnet.

Tabelle 1: Berechnete Impulse und gemessene, maximale Körper ($L_{a,AFmax}$) und Luft (L_{AFmax}) -schallpegel

Referenzboden	Impuls	$L_{a,AFmax}$	L_{AFmax}
	[dB](ref = 1Ns)	[dB(A)]	[dB(A)]
30kg/30cm	37,3	135,9	103,4
30kg/100cm	42,5	141,0	107,0
75kg/30cm	45,2	139,0	107,2
75kg/100cm	50,4	144,6	111,1
SAV9	Impuls	$L_{a,AFmax}$	L_{AFmax}
30kg/30cm	37,3	87,3	61,2
30kg/100cm	42,5	96,3	70,6
75kg/30cm	45,2	93,9	67,2
75kg/100cm	50,4	107,7	80,4

Betrachtet man zunächst den Referenzboden und die Gewichte für sich, dann scheint eine 5 dB Zunahme beim Impuls direkt zu 5 dB Zunahme im Beschleunigungspegel zu führen. Leider passen die Ergebnisse nicht mehr so gut, wenn man 30 kg und 75 kg Kugel miteinander vergleicht oder gar den Fitnessboden betrachtet. Um hier wie geplant verlässliche Hochrechnungen durchführen zu können, sind eine detailliertere Analyse und eventuell weitere Untersuchungen notwendig.

Ebenfalls zur Schonung der Rohdecke wurden die Verbesserungen auf einem elastischen Referenzboden bezogen. Natürlich sind Ergebnisse nur vergleichbar, wenn sie immer mit einem vergleichbaren Referenzboden ermittelt werden.

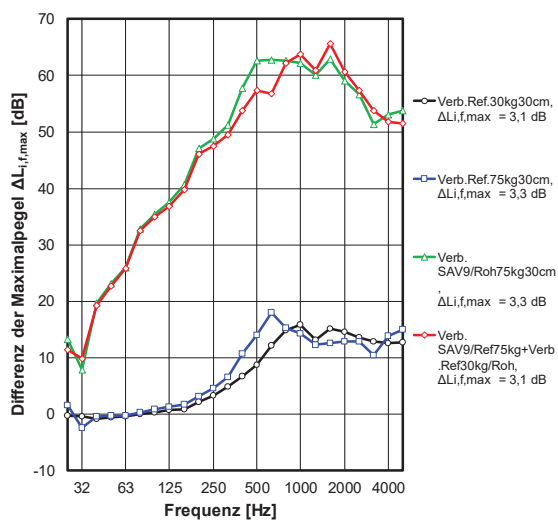


Abbildung 10: Verbesserung der Schalldruckpegel $\Delta L_{Ai,F,max}$ im Empfangsraum bei Anregung eines elastischen, 100 mm dicken Fitnessbodens mit verschiedenen Gewichten aus 1 m Fallhöhe

Da dies in der Praxis zu Problemen führt, die u.a. vom modifizierten Hammerwerk bekannt sind, - Eigenschaften

von Elastomeren sind über längere Belastungszeiträume nicht konstant - soll untersucht werden, ob der Anteil der Verbesserung des Referenzbodens zur Rohdecke nicht durch eine weniger belastende Messung ermittelt und später zum Ergebnis dazu addiert werden kann. In Abbildung10 ist die Verbesserung des Referenzbodens einmal für die Kugel mit einer Masse von 30 kg und einer Fallhöhe von 30 cm dargestellt. Dieses Ergebnis wurde zur Verbesserung des Fitnessbodens (SAV9) zum Referenzboden gemessen mit 75 kg -Kugel bei 30 cm Fallhöhe addiert. Zusätzlich wurde die Verbesserung mit der 75 kg -Kugel und 30 cm Fallhöhe direkt auf der Rohdecke gemessen und die Ergebnisse verglichen (rote und grüne Kurve). Die Vergleichbarkeit der Kurven deutet darauf hin, dass man nicht unbedingt mit der größten Masse und Fallhöhe direkt auf der Rohdecke anregen muss, sondern diesen Anteil mit einem geringeren Impuls ermitteln kann um die Rohdecke zu „schonen“.

Zusammenfassung

In diesem Beitrag wird die Möglichkeit zur Messung der Trittschallminderung von Hantelbereichen untersucht. Ziel dabei war es, als Vorbereitung auf eine mögliche Aufnahme in eine Norm wie z.B. DIN EN ISO 10140, eine Quelle zu finden, die zwar so praxisgerecht wie möglich den Anwendungsfall beschreibt, aber trotzdem in Punkto Messgenauigkeit und Reproduzierbarkeit mit den bereits genormten Schallquellen wie dem Norm-Hammerwerk oder der schweren weichen Trittschallquelle vergleichbar ist.

Die Untersuchungen zeigen, dass die Verwendung von einfachen Sportgewichten zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen führen kann. Es mag eventuell möglich sein damit im Einzelfall vor Ort ein Ergebnis zu ermitteln, aber für Messungen unter Laborbedingungen, zum neutralen Vergleich verschiedener Bodenaufbauten, sind sie ohne weitere Festlegungen praktisch ungeeignet. Eine Lösung bietet die Verwendung eines Gewichts in Form einer definierten Stahlkugel, die mit Hilfe eines elektronisch gesteuerten Magneten, praktisch geräuschlos und reibungsfrei, ausgelöst werden kann.

Ebenso wichtig wie die Frage nach der Schallquelle ist die Frage nach dem Referenzboden, denn die Messungen würden auf Dauer eine Betonrohdecke zerstören. Auch die verwendeten elastischen Böden zeigten nach kurzer Zeit Abnutzungserscheinungen. Eine mögliche Lösung bietet sicherlich die Festlegung eines Referenzbodens von dem einmal mit einem relativ niedrigen Impuls die Verbesserung zur Rohdecke ermittelt wird. Anschließend können die Verbesserungen der Fitnessböden auf die Referenzmessung bezogen werden. Eine Untersuchung, ob aus den eingeleiteten Körperschallpegeln der abgestrahlte Luftschall berechnet werden kann, steht noch aus.

Literatur:

- [1] DIN EN ISO 10140-1 bis 5: Akustik - Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand
- [2] DIN EN ISO 717-2: Akustik - Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen - Teil 2: Trittschalldämmung