

Messung und Bewertung von elastischen Bodenbelägen auf tief abgestimmten schwimmenden Estrichen in Fitnessstudios

Christoph Höller¹, Adrian Blödt²

¹ Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg, Email: christoph.hoeller@oth-regensburg.de

² Blödt Ingenieurbüro, Email: ba@ingbp.bayern

Einleitung

Die Schalldämmung von tieffrequentem Trittschall in Fitnessstudios in gemischt genutzten Gebäuden stellt Planer vor große Herausforderungen. Das Fallenlassen von schweren Gewichten (Hanteln usw.) aus großer Höhe führt zu impulsartigen, tieffrequenten Signalen mit hoher Amplitude. Die Messung, Bewertung und Prognose dieser Signale ist derzeit normativ nicht eindeutig geregelt. Eine adäquate Auslegung des Fußbodens basiert neben einer möglichst tiefen Abstimmung der Masse-Feder-Resonanzfrequenz auf zusätzlichen elastischen Bodenbelägen. In dieser Studie wurde diese Problematik im Zuge der Errichtung eines Funktionsgebäudes einer professionellen Sportmannschaft untersucht.

Deckenaufbauten

Die geprüften Deckenaufbauten befinden sich im Neubau eines Funktionsgebäudes des SSV Jahn Regensburg. Die Decken trennen einen großen Fitnessraum der Profimannschaft im 2. OG von den Besprechungsräumen des Trainerstabs im 1. OG. Bei der Auslegung des Bodens war eine Randbedingung, dass die Aufbauhöhe des Bodens auf 150 mm begrenzt war. Ein schwimmender, schwerer Estrich auf einer sehr weichen Unterlage wurde mit einer Resonanzfrequenz von etwa 20 Hz ausgelegt.

Die Decke besteht aus folgenden Schichten (von oben nach unten):

- Elastische Bodenbeläge, siehe Tabelle 1
- 100 mm Estrich bewehrt, $m' \approx 200 \text{ kg/m}^2$
- $2 \times 17 \text{ mm}$ Regupol Vibration 200, $f_0 \leq 20 \text{ Hz}$
- 300 mm Stahlbetondecke, $m' \approx 720 \text{ kg/m}^2$
- Abgehängte Decke als AMF Rasterdecke (zum Zeitpunkt der Messung nicht verschlossen, 30% Platten eingelegt, ansonsten freier Blick auf die Decke)

Gemäß DIN 4109 [1, 2] sind die folgenden akustischen Kennwerte zu erwarten (ohne Unterdecke):

$$\begin{aligned} R_{w,Roh} &= 65,1 \text{ dB} & L_{n,eq,0,w} &= 64,0 \text{ dB} \\ \Delta R_w &= 12,3 \text{ dB} & \Delta L_w &= 45,6 \text{ dB} \end{aligned}$$

In einem anderen Teil des Gebäudes ist ein Vergleichsboden installiert. Bei diesem besteht der schwimmende Estrich aus einer 50 mm dicken EPS-Ausgleichsdämmung, einer 30 mm dicken EPS-Trittschallplatte ($s' \leq 15 \text{ MN/m}^3$) und einem 65 mm dicken Estrich mit $m' \approx 130 \text{ kg/m}^2$. Die berechnete Resonanzfrequenz liegt bei diesem Boden bei $f_0 = 59 \text{ Hz}$. Außerdem ist auf dem Vergleichsboden ein Fliesenbelag installiert.

In Tabelle 1 sind die elastischen Bodenbeläge aufgelistet, die in dieser Studie vermessen wurden. Dazu wurde jeweils ein Bodenbelag mit einer Größe von $1,00 \text{ m} \times 1,00 \text{ m}$ auf den Estrich gelegt. Bodenbelag B1 dient als Referenz.

Weitere Informationen zu den geprüften Aufbauten inkl. der flankierenden Bauteile sind in [3] enthalten.

| Belag | Produkt |
|-------|--------------------------------------|
| B1 | REGUPOL everroll |
| B2 | REGUPOL everroll impact |
| B3 | REGUPOL sonusfit m-series 517 |
| B4 | REGUPOL sonusfit m-series 519 |
| B5 | REGUPOL sonusfit t-series 110, 45 mm |
| B6 | REGUPOL sonusfit t-series 110, 70 mm |

Tabelle 1: Bezeichnungen der elastischen Bodenbeläge

Messtechnik und Messmethode

Der Norm-Trittschallpegel wurde gemäß DIN EN ISO 16283-2:2018 [4] gemessen. Die Messung wurde ohne die elastischen Bodenbeläge direkt auf dem Estrich durchgeführt. Zu Testzwecken wurde außerdem versucht, eine Trittschallmessung mit einem elastischen Bodenbelag durchzuführen. Dabei ließ sich aber wegen der hohen Schalldämmung des Bodens mit Bodenbelag kein für eine sinnvolle Auswertung der Daten ausreichend hoher Schalldruckpegel im Empfangsraum herbeiführen.

Die Trittschalldämmung in Bezug auf harte, schwere Quellen wurde mit Hilfe einer Stahlkugel überprüft. Eine Stahlkugel mit einer Masse von 30 kg wurde aus 30 cm Höhe (gemessen zwischen der Unterkante der Stahlkugel und der Oberkante des Bodens inkl. Bodenbelag) fallen gelassen. Der A-bewertete, FAST-bewertete, maximale Schalldruckpegel $L'_{AF,max}$ wurde im darunterliegenden Empfangsraum gemessen. Die Fallversuche wurden mit 6 verschiedenen Bodenbelägen und an zwei verschiedenen Fallpositionen durchgeführt. Jede Messung wurde dreimal wiederholt. Der $L'_{AF,max}$ wurde in einem Abstand von 1 m unterhalb der Decke gemessen, jeweils unmittelbar unterhalb der Fallposition. Für Bodenbelag B4 wurde neben der Fallhöhe von 30 cm auch eine Fallhöhe von 50 cm verwendet. Außerdem wurde der Referenzbodenbelag B1 auch auf dem Vergleichsboden vermessen.

Weitere Informationen zu den Anrege- und Mikrofonpositionen usw. sind in [3] enthalten.

Ergebnisse der Trittschallmessungen

In Abbildung 1 ist der Norm-Trittschallpegel dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass der optimierte Boden aufgrund seiner größeren Masse und niedrigeren Resonanzfrequenz im Vergleich zum Standardboden mit EPS als Trittschalldämmung zu einer erheblichen Reduktion der Trittschallübertragung führt.

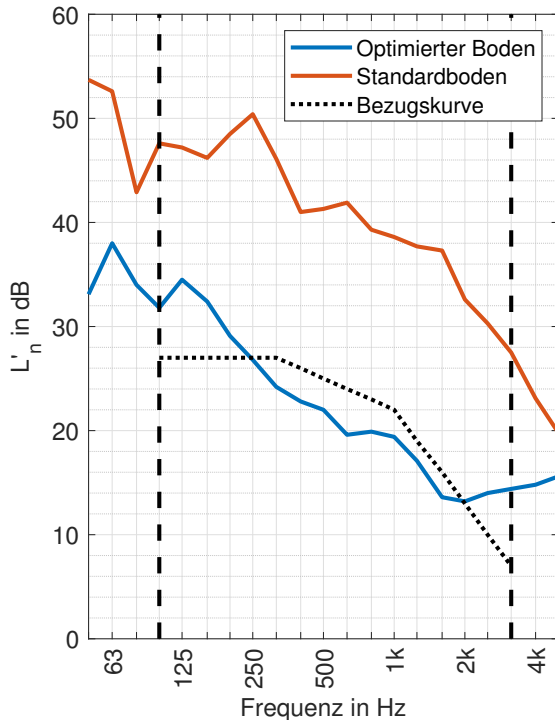


Abbildung 1: Norm-Trittschallpegel

Besonders bemerkenswert ist der Einfluss auf das Übertragungsverhalten bei tiefen Frequenzen. Im Terzband um 50 Hz ist der Norm-Trittschallpegel bei der optimierten Decke um ca. 20 dB geringer als dies bei der Vergleichsdecke mit EPS-Trittschalldämmung der Fall ist. Dies zeigt den sehr positiven Effekt der tieffrequenten Abstimmung des Estrichsystems. Dies wird auch deutlich, wenn die nachfolgend dargestellten Einzahlwerte miteinander verglichen werden.

| Boden | $L'_{n,w}$ | $C_{I,50-2500}$ | $L'_{n,w} + C_{I,50-2500}$ |
|-----------|------------|-----------------|----------------------------|
| Optimiert | 25 dB | 3 dB | 28 dB |
| Standard | 43 dB | 2 dB | 45 dB |

Auch bei den Einzahlwerten zeigt sich das große Verbesserungspotential, das im Estrichsystem steckt. Ausdrücklich hervorzuheben ist, dass auch im erweiterten Frequenzbereich bis 50 Hz sehr gute Werte erreicht werden. Die Einzahlwerte für den optimierten Boden liegen in einem Bereich, bei dem normale Gehgeräusche nicht mehr hörbar sind. Für Anwendungen im Fitnessbereich ist dieser Wert in Verbindung mit den elastischen Bodenbelägen sicherlich ebenfalls angemessen.

Ergebnisse der Stahlkugelmessungen

In Abbildung 2 ist der gemessene A-bewertete, FAST-bewertete, maximale Schalldruckpegel $L'_{AF,max}$ im Empfangsraum für den Referenzbodenbelag B1 bei einer Fallhöhe von 30 cm dargestellt.

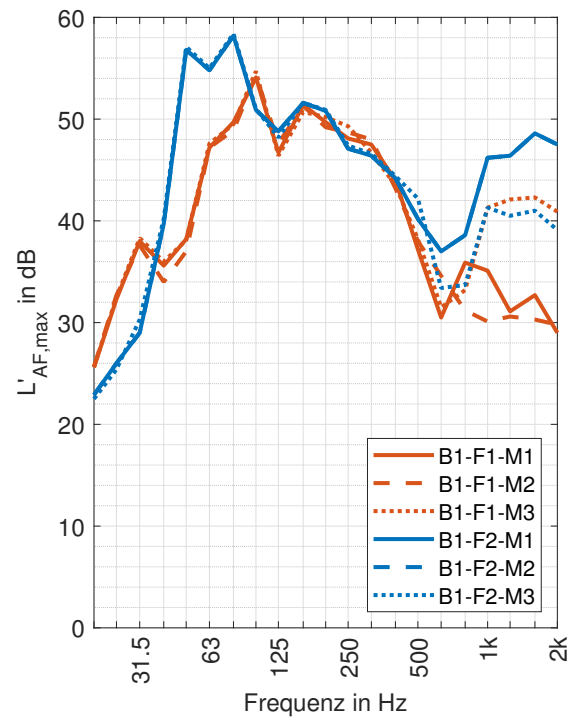


Abbildung 2: $L'_{AF,max}$ für den Referenzbelag B1. F_i bezeichnet die i -te Fallposition und M_j die j -te Messung.

Die Wiederholbarkeit an einer Fallposition ist sehr gut. Die Abweichungen zwischen den drei verschiedenen Messungen an einer Position sind bis etwa 500 Hz minimal, die Standardabweichung beträgt in diesem Bereich maximal 1 dB. Oberhalb von 500 Hz lassen sich dagegen größere Abweichungen feststellen. Diese gehen vermutlich auf Störgeräusche im Empfangsraum zurück.

Während die Unterschiede zwischen den drei Messungen pro Fallposition minimal sind, weichen die (gemittelten) Ergebnisse für die zwei verschiedenen Fallpositionen deutlich voneinander ab, insbesondere für Frequenzen bis 100 Hz. Die Pegelunterschiede betragen bis zu 19 dB (bei 50 Hz). Zwischen 100 Hz und 500 Hz liegen die Ergebnisse der beiden Fallpositionen wieder sehr nah beieinander. Die Ergebnisse oberhalb von 500 Hz sind wegen der Störgeräusche nicht verwertbar. Die großen Unterschiede bei tiefen Frequenzen sind vermutlich auf das modale Verhalten des Bodens und des Empfangsraumes zurückzuführen. Überschlägige Berechnungen der Biegewellenlängen im Boden und der Raummoden unterstützen diese Annahme.

Die höchsten Pegel liegen zwischen 50 Hz und 80 Hz (für Fallposition 2) bzw. bei 100 Hz (für Fallposition 1). Dies entspricht der Erwartung, da die Stahlkugel vorwiegend bei tiefen Frequenzen Energie in den Boden einleitet. Die Bewertungskurve für die A-Bewertung nimmt mit sinkender Frequenz bei tiefen Frequenzen sehr steil

ab, deshalb sind die dargestellten Pegel in Abbildung 2 bei sehr tiefen Frequenzen nur gering. Darüber hinaus wird bei sehr tiefen Frequenzen auch nur ein kleiner Teil der Körperschalleistung als Luftschall abgestrahlt (d. h. der Abstrahlgrad ist gering). Die berechnete Ko-zinzidengrenzfrequenz für den Stahlbetonboden liegt bei etwa 60 Hz, unterhalb dieser Frequenz nimmt der Abstrahlgrad rapide ab.

In Abbildung 3 sind die Ergebnisse für den Bodenbelag B4 dargestellt. Auch hier ist wieder zu erkennen, dass die Wiederholbarkeit an einer Fallposition sehr gut ist (bis etwa 160 Hz), dass die Ergebnisse zwischen den Fallpositionen aber stark voneinander abweichen. Im Vergleich zum Referenzbodenbelag B1 in Abbildung 2 sind die Pegel deutlich reduziert, sie liegen jetzt bei maximal 35 dB im relevanten Frequenzbereich. Die höheren Pegel oberhalb von 500 Hz sind auf transiente Störgeräusche im Empfangsraum zurückzuführen.

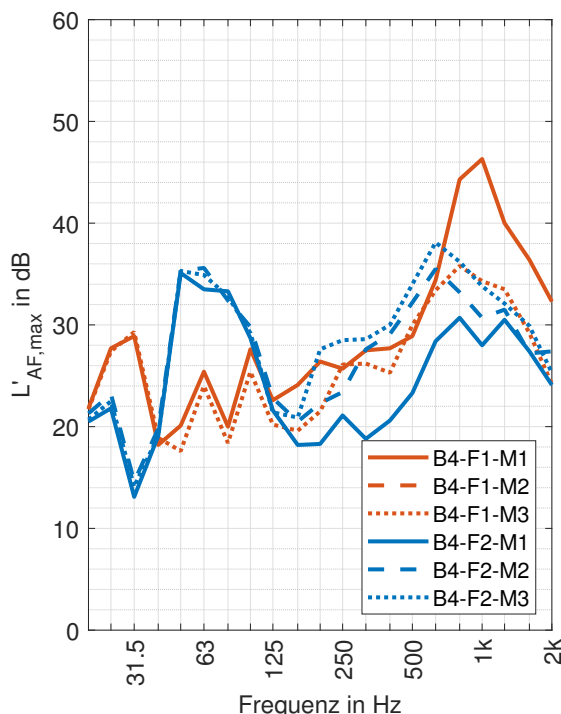


Abbildung 3: $L'_{AF,max}$ für den Bodenbelag B4. F_i bezeichnet die i -te Fallposition und M_j die j -te Messung.

Angesichts der großen Unterschiede zwischen den Fallpositionen stellt sich die Frage, wie die Ergebnisse für die verschiedenen Bodenbeläge am besten miteinander verglichen werden können. Eine Mittelung der Fallposition erscheint wenig sinnvoll, da bei einer Pegeldifferenz von mehr als 10 dB nur eine einzige Position dominieren würde. Stattdessen wird im Folgenden der Fokus auf die Veränderung (das Delta) der Schalldruckpegel pro Fallposition gelegt. Dazu werden die Ergebnisse der drei wiederholten Messungen energetisch gemittelt und dann die arithmetische Differenz zwischen den Pegeln für den Referenzbodenbelag und den Pegeln für den interessierenden Bodenbelag berechnet.

In Abbildung 4 sind die Deltas für alle 6 Bodenbeläge für

Fallposition 1 dargestellt, in Abbildung 5 für Fallposition 2. Positive Werte bedeuten, dass die Schalldämmung im Vergleich zum Referenzbodenbelag B1 verbessert wird. Die Deltas für beide Positionen sind sehr ähnlich.

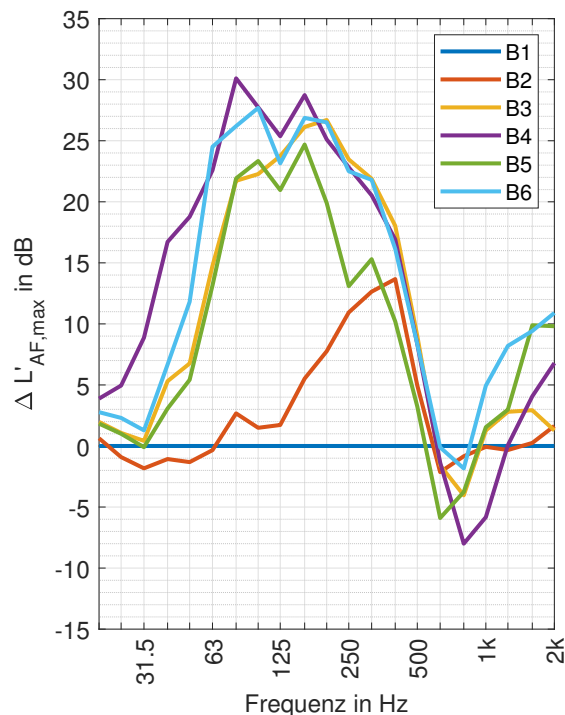


Abbildung 4: Deltas für Fallposition 1

Mit zunehmender Wirksamkeit der Böden steigt die Reduktion des Pegels nicht nur, sondern wird gleichzeitig auch breitbandiger. Bodenbelag B4 sollte nach Herstellerangaben die größte Wirkung zeigen. Dies ist auch in beiden Fallpositionen so zu beobachten. Ergänzend ist aber auffällig, dass die wirksame Pegelreduktion sich über einen Frequenzbereich von 50 Hz bis 250 Hz erstreckt, während sie beim Bodenbelag B2 vergleichsweise schmalbandig auf den Frequenzbereich von 125 Hz bis 250 Hz begrenzt ist.

Diskussion

Die in den vorigen Abschnitten vorgestellten Ergebnisse zeigen, dass die elastischen Bodenbeläge in Verbindung mit dem Boden (Stahlbeton mit schwimmendem Estrich) die Lärmbelastung durch fallende Stahlkugeln sehr effektiv reduzieren können. Die Geräusche sind auch mit dem besten Bodenbelag nach wie vor hörbar, liegen jedoch mit etwa 35 dB A-bewertetem Maximalpegel nur knapp über dem Hintergrundgeräuschpegel. Ob diese Geräusche in der Praxis als störend empfunden werden, hängt maßgeblich von ihrer Häufigkeit und dem Hintergrundgeräuschpegel in den fertig eingerichteten Büros ab.

Die Bodenbeläge erzielen im Frequenzbereich zwischen 50 Hz und 500 Hz bis zu 30 dB Verbesserung der Trittschalldämmung im Vergleich zum Referenzbodenbelag. Bei höheren Frequenzen erlauben Störgeräusche im Empfangsraum keine sinnvolle Auswertung. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die Trittschalldämmung in diesem Frequenzbereich sehr hoch ist. Bei sehr tiefen Frequenzen

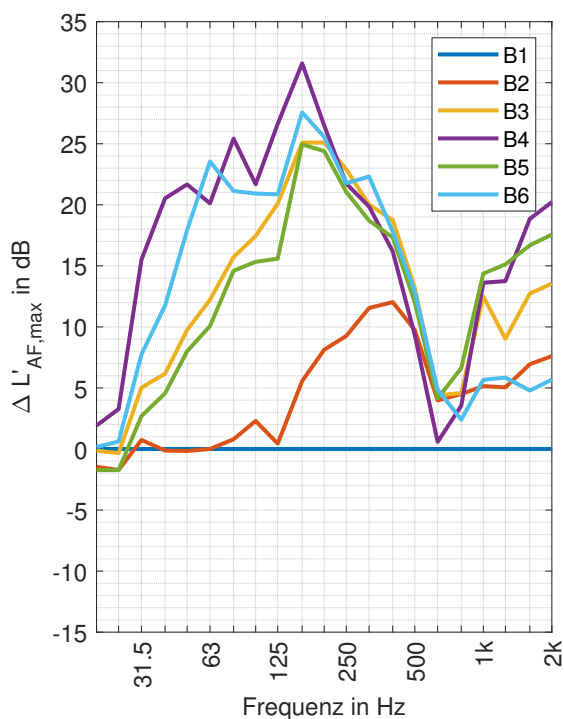


Abbildung 5: Deltas für Fallposition 2

unterhalb von 25 Hz haben die Bodenbeläge im Vergleich zum Referenzbodenbelag keinen Einfluss. In diesem Frequenzbereich ist vermutlich die tiefe Abstimmung des schwimmenden Estrichs von entscheidender Bedeutung.

Die Fallposition hat einen gravierenden Einfluss auf die Messergebnisse in dieser Studie. Dies liegt vermutlich am modalen Verhalten der Decke und des Empfangsraums und muss auch bei zukünftigen Messungen berücksichtigt werden. Wegen der großen Unterschiede ist ein Vergleich von Messungen an verschiedenen Fallpositionen oder gar von verschiedenen Räumen oder Baustellen nur mit größter Vorsicht durchzuführen. Es wurde jedoch gezeigt, dass die Deltas (d. h. die Veränderungen aufgrund verschiedener Bodenbeläge) an festen Fallpositionen konsistent und miteinander vergleichbar sind, auch wenn die absoluten Pegel deutlich voneinander abweichen.

Der Einfluss der Fallhöhe auf den Pegel konnte in dieser Studie nicht eindeutig beantwortet werden. Die Reproduzierbarkeit der Messungen bei gleicher bzw. ungefähr gleicher Fallhöhe war grundsätzlich sehr gut, mit Standardabweichungen um ca. 1 dB. Bei einer Vergrößerung der Fallhöhe von 30 cm auf 50 cm ließen sich dagegen keine systematischen Unterschiede feststellen. Für eine genauere Betrachtung ist eine größere Datenbasis vonnöten.

Eine Empfehlung für zukünftige Messungen ist, in erster Linie die Deltas im Vergleich zu einem Referenzbodenbelag zu betrachten. Als Referenzbodenbelag eignet sich der in dieser Studie verwendete Bodenbelag B1 recht gut. Die Verwendung des Rohbodens ohne Bodenbelag würde zwar die genaueren Ergebnisse liefern, hat aber wegen der schweren Masse und der harten Oberfläche der Stahlkugel das Potential, den Rohboden zu zerstören, und ist daher praktisch nicht möglich. Die dargestellte Vorge-

hensweise eignet sich vor allem für Messungen im Labor, da hier eine immer wieder gleiche Fallhöhe und Fallposition sichergestellt werden kann und die Eigenschaften des Bodens bzw. der Unterkonstruktion besser bekannt sind als auf der Baustelle. Für Messungen auf der Baustelle sollten die Fallpositionen bei den Positionen liegen, wo später auch tatsächlich die Hantelbereich o. ä. installiert werden (soweit bekannt).

Die Messung des Schalldruckpegels im Empfangsraum erfolgte in dieser Studie im Abstand von 1 m unter der Decke, jeweils genau unterhalb der Fallposition. In diesem Bereich ist davon auszugehen, dass das Schallfeld vom direkt abgestrahlten Schall der Decke dominiert wird. Die Nutzung von anderen, im Empfangsraum verteilten Mikrofonpositionen ist grundsätzlich ebenfalls zulässig, erhöht aber unter Umständen den Messaufwand bzw. die Anforderungen an das Messequipment, da die Messungen an den verschiedenen Mikrofonpositionen vorzugsweise simultan stattfinden sollten. Außerdem wird der Schalldruckpegel bei den zusätzlichen Mikrofonpositionen deutlicher vom Diffusschallfeld beeinflusst. Daher sollten in diesem Fall die gemessenen $L'_{AF,max}$ -Pegel in Bezug auf die Dämpfung des Empfangsraums normiert werden.

Durch die Abstimmung des Estrichs auf eine Resonanzfrequenz unter 20 Hz lassen sich in Verbindung mit elastischen Bodenbelägen sehr gute Ergebnisse für gemischt genutzte Gebäude erzielen. Dies kann auch mit geringen Aufbauhöhen (im vorliegenden Fall 150 mm) umgesetzt werden. Aus akustischer Sicht muss aber klargestellt werden, dass mit Standardkonstruktion keine zufriedenstellenden Ergebnisse erreicht werden können. Nur bei optimaler Abstimmung aller Komponenten aufeinander lassen sich für Arbeitsbereiche unter Fitnessstudios mit geringen Aufbauhöhen zufriedenstellende Ergebnisse erreichen. Eine Aufbauhöhe um 150 mm stellt allerdings einen Sonderfall dar, der nicht zur Regel für Fitnessböden werden sollte. Die elastischen Bodenbeläge sind für jede ausgeübte Sportart gesondert zu bewerten und auszuwählen.

Danksagung

Die Autoren danken der REGUPOL BSW GmbH (insb. Herrn Maximilian Schroeder) für die Unterstützung bei den Messungen, das Zurverfügungstellen der Stahlkugel und die Finanzierung dieser Studie.

Literatur

- [1] DIN 4109-2:2018: Schallschutz im Hochbau – Teil 2: Rechnerische Nachweise der Erfüllung der Anforderungen.
- [2] DIN 4109-32:2016: Schallschutz im Hochbau – Teil 32: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Massivbau.
- [3] C. Höller und A. Blödt. *Akustisches Verhalten von Fitnessböden in der Praxis*. Forschungsbericht AK_101_2020, 2020.
- [4] DIN EN ISO 16283-2:2018: Akustik – Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen am Bau – Teil 2: Trittschalldämmung.