

# Verbesserung der akustischen Eigenschaften von Sporthallenböden

(AZ 081401/16-17)

*Philip Leistner (Projektleitung)*

Universität Stuttgart, Institut für Akustik und Bauphysik

## 1 Problem

Die Nutzung der deutschlandweit mehr als 30000 Sporthallen reicht vom Spitzensport über den Vereins-, Breiten- und Gesundheitssport und Schulunterricht bis hin zu nicht sportbezogenen Veranstaltungen. Viele Menschen betreiben in den Hallen viele unterschiedliche Sportarten, sodass bei der Gestaltung der Hallen hohe und vor allem nutzungsspezifische Anforderungen zu berücksichtigen sind. Die Qualität der Umsetzung beeinflusst direkt die Qualität der Sportentwicklung. Ein spürbarer Aspekt dieser Qualität betrifft die akustischen Eigenschaften in den Hallen.

Leider ergeben Berichte von Sportlehrkräften aber auch von Besuchern von Sportveranstaltungen, dass der als ohrenbetäubend beschriebene Lärm in Hallen oft das erträgliche Maß übersteigt. Die Studie „Lauter Sport in leisen Hallen“, durchgeführt vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP), belegt mit Messergebnissen erhebliche schalltechnische Defizite bei der Ausführung von Sporthallen im Bestand. Dass dabei oftmals nicht einmal der normgerechte Mindestschallschutz eingehalten wird, begründet die vielerorts große Unzufriedenheit mit den akustischen Bedingungen in Sport- und Mehrzweckhallen. Dabei gibt es neben organisatorischen und pädagogischen Maßnahmen eine Reihe von technischen und baulichen Ansatzpunkten zur Reduzierung der Schallpegel und zur Erhöhung der Sprachverständlichkeit. Gute Beispiele zeigen, dass Nutzer diese positiven Auswirkungen spüren und honorieren. Allerdings setzen diese Maßnahmen eine sorgfältige Planung voraus. Nachbesserungen kommen oft einer kompletten Sanierung gleich und sind in der Regel unwirtschaftlich. Angesichts der Nutzungsdauer von durchschnittlich ca. 50 Jahren

müssen Generationen von Sportlern und Lehrkräften eine schlechte Akustik ertragen.

Eine Komponente der akustischen Planung entzieht sich bislang einer zielgerichteten Umsetzung: Die Sporthallenböden. Die Gründe liegen im fehlenden Wissen um deren akustisches Verhalten der auch sportfunktional komplexen Systeme. Nach DIN V 18032-2 wird eine „geringe Entwicklung und Ausbreitung des Schalls“ durch den Sporthallenboden gefordert. Ohne weitere Spezifizierung bleibt diese Forderung jedoch bislang unbetrachtet und unerforscht.

Aus der Differenz von Wissensbedarf und bereits vorhandenen Kenntnissen resultieren die Forschungsziele. An erster Stelle steht die messtechnische akustische Charakterisierung (Methodik aus Anregung, Messumgebung, Aus- und Bewertung) einer praktisch repräsentativen Auswahl von Sporthallenböden einschließlich Belägen. Sie muss sinnvollen Ansprüchen an Präzision, Wiederholbarkeit und Vergleichbarkeit genügen. Eng damit verbunden ist die Analyse der akustisch relevanten konstruktiven Einflussparameter und Gestaltungsmöglichkeiten unter Berücksichtigung der sonstigen normativen sport- und schutzfunktionalen Anforderungen an die Sporthallenböden. Schließlich sind praktikable Mess- und Anforderungsgrößen für die Anwendung im Labor (Forschung und Entwicklung, Qualitätssicherung und Zertifizierung) und vor Ort (Planung, bauliche Umsetzung und Überwachung) erforderlich.

## 2 Methode

Im Gesamtsystem Sporthallen sind die Böden akustisch auf mehrfache Weise wirksam. Im Vordergrund steht sicher der erhebliche Anteil an der Geräuschenstehung sowohl beim Sprin-

gen und Laufen als auch bei Ballsportarten. Der Hallenboden wird meist impulsartig zu Schwingungen angeregt und die aus sport-physiologischen Gründen beabsichtigte Elastizität bzw. Schwingfähigkeit der Sportböden macht sie akustisch zu einer Art Resonanzboden, der sich besonders leicht zur Schallabstrahlung anregen lässt. Die hohen und breitbandigen Pegel erreichen Werte im Bereich von 80 dB(A), wobei die Spitzenwerte noch deutlich darüber liegen.

Zur messtechnischen Untersuchung der Geräusche, die bei Verwendung von Bällen entstehen, wurde bereits in der Studie des Fraunhofer-Instituts untersucht, wie ein stabiles und reproduzierbares Verfahren konzipiert werden könnte. Dazu gehört eine entsprechende, möglichst genormte Quelle, eine Prozedur zu deren Verwendung sowie die eigentliche Messgröße. Natürlich soll das Verfahren auch vor Ort praktikabel sein. Aus diesen Erwägungen heraus fiel die Wahl auf den so genannten „Japanischen Gummiball“ bekannt aus DIN 10140-5 [9] Anhang F.2 als schwere/weiche Trittschallquelle. Im Vergleich zu sportlich genutzten Bäl-

len (Basketball, Fußball, u. a.) zeichnet er sich durch ein besonders geringes Eigengeräusch aus. Beim Anregungsvorgang trifft der Ball aus einer Fallhöhe von 100 cm auf den Boden, um so (ursprünglich für Wohngebäude gedacht) die Erzeugung von Gehgeräuschen oder Trittschall zu simulieren. In Sporthallen ermöglicht diese Methode hingegen die genormte Simulation von Lauf-, Spring- und insbesondere von Prallgeräuschen, so dass die akustische Reaktion von Böden oder Wänden beschrieben bzw. verglichen werden kann. Bild 2.1 zeigt skizzenhaft den Aufbau der Messung, wobei der Boden mit dem Ball bei einer (Prell-) Frequenz von ca. 1 bis 2 Hz angeregt wird.

Die Auswahl der Böden und Bodenbeläge orientierte sich an der Aufgabenstellung sowie an der Abstimmung mit dem Auftraggeber. Die Beschreibung, den schematischen Aufbau und fotografische Aufnahmen während der Untersuchungen enthält Tabelle 2.1. Die Böden wurden für die Versuche in den Messräumen durch eine Fachfirma montiert.

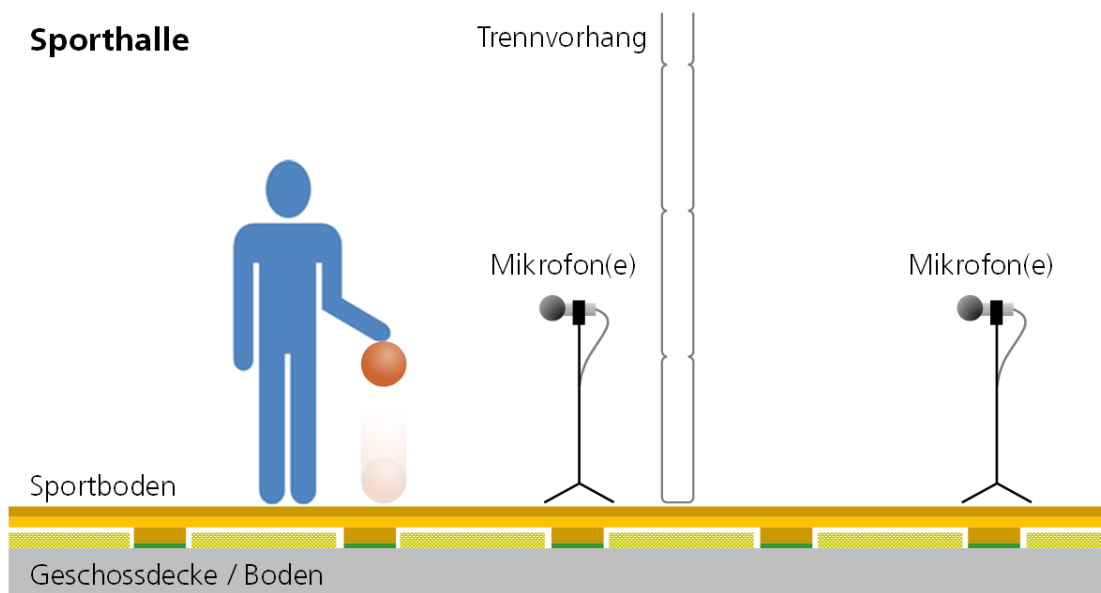

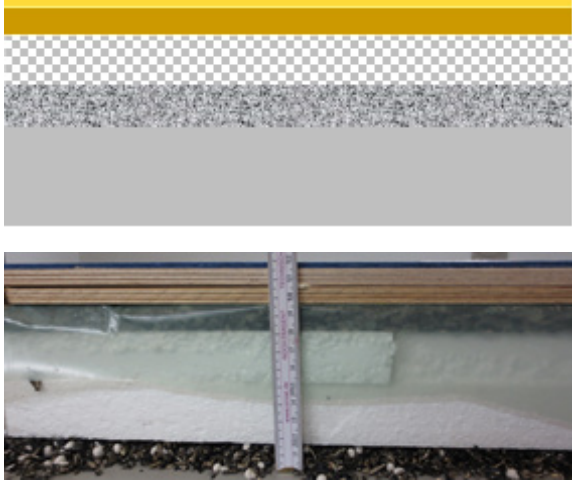

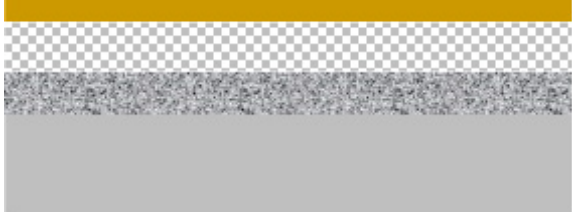
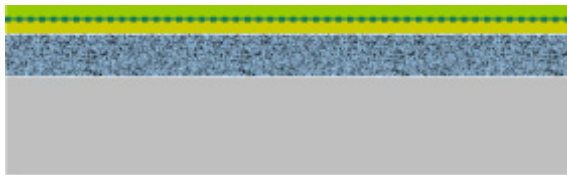


Bild 2.1: Situation in Sporthallen bei Anregung des Sportbodens z. B. mittels Ballprellen

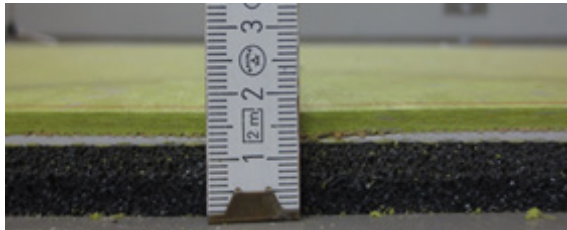
Tab. 2.1: Aufbau und Beschreibung der untersuchten Sportböden

Nr.	Aufbau und Beschreibung
1	<p data-bbox="300 304 906 338"><b>Flächenelastischer Boden auf elastischer Konstruktion</b></p>  <ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="906 353 1225 383">■ Oberbelag 4 mm Linoleum</li> <li data-bbox="906 383 1362 439">■ Lastverteilende Platte 12 mm Sperrholz Folie (0,1 mm PE-Folie)</li> <li data-bbox="906 439 1498 528">■ Elastische Konstruktion aus 3 Federbrettlagen (je 18,5 mm dick und 70 mm breit), Abstand in Längsrichtung 50 mm und in Querrichtung ca. 430 mm</li> <li data-bbox="906 528 1498 584">■ Punktlager (L x B x H) 100 x 100 x 60 mm, Massivholz</li> <li data-bbox="906 584 1498 640">■ Elastische Unterlagen (L x B x H) 100 x 100 x 10 mm, Verbundschaum</li> <li data-bbox="906 640 1498 696">■ Die Hohlräume der Bodenkonstruktion sind mit Mineralwolle ausgefüllt</li> <li data-bbox="906 696 1123 725">■ Stahlbetonboden</li> </ul>
2	<p data-bbox="300 864 842 898"><b>Flächenelastischer Boden auf elastischer Schicht</b></p>  <ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="906 913 1225 943">■ Oberbelag 4 mm Linoleum</li> <li data-bbox="906 943 1498 999">■ Lastverteilende Platte 2 x 9 mm Sperrholz verklebt Folie (0,1 mm PE-Folie)</li> <li data-bbox="906 999 1498 1055">■ Elastische Schicht 20 mm PU-Verbundschaum (profiliert)</li> <li data-bbox="906 1055 1498 1144">■ Wärmedämmung 2 Lagen expandierter Polystyrolschaum (EPS), verschiedene Dicken und Druckfestigkeiten</li> <li data-bbox="906 1144 1498 1200">■ Ausgleichsschüttung 10 - 20 mm (Hanfspäne, Schaumglasgranulat, bitumengebunden)</li> <li data-bbox="906 1200 1123 1229">■ Stahlbetonboden</li> </ul>
3	<p data-bbox="300 1424 906 1458"><b>Kombielastischer Boden auf elastischer Konstruktion</b></p>  <p data-bbox="906 1473 1498 1529">Oberbelag 2 mm PU-Beschichtung auf 3 mm Verbundschaum (elastische Schicht)</p> <p data-bbox="906 1552 1107 1581">sonst wie <b>Boden 1</b></p>
4	<p data-bbox="300 1738 842 1771"><b>Kombielastischer Boden auf elastischer Schicht</b></p>  <p data-bbox="906 1787 1498 1843">Oberbelag 2 mm PU-Beschichtung auf 3 mm Verbundschaum (elastische Schicht)</p> <p data-bbox="906 1865 1107 1895">sonst wie <b>Boden 2</b></p>

## 5 Mischelastischer Boden



- Oberbelag 4 mm Linoleum
- PUR-Ausgleichsschicht 1 bis 2 mm Vlieskaschierung
- (Gitter-) Schaumstoffschicht 12 mm
- Stahlbetonboden



Bei der Auswahl der Anregungsquellen wurden mehrere Aspekte berücksichtigt. So ist das Prellen von Basketbällen als eine in der Praxis recht lautstarke Geräuschquelle bekannt und nachvollziehbar. Der verwendete Basketball der Größe 7 entspricht den FIBA Richtlinien und wird auch zur Bestimmung der Ballreflexionseigenschaften von Sportböden nach DIN EN 12235 verwendet. Der nach DIN EN ISO 10140-5 genormte und daher in ihren akustischen Merkmalen sehr stabile „Japanische Gummiball“ besteht aus einer Hohlkugel mit einem Durchmesser von 180 mm und einem Gewicht von 2,5 kg. Er hat also etwa den Umfang eines Handballs und ist noch deutlich schwerer als ein Basketball. Beide Bälle sind in Bild 2.2 abgebildet.

Nach diversen Vorbetrachtungen und Voruntersuchungen wurden die Messungen geplant und strukturiert. Für die Realisierung des Auftreffens der Bälle auf den und des Zurückspringens vom Sporthallenboden wurden sie aus einer bestimmten Höhe fallen gelassen und nach dem ersten Auftreffen auf dem Sportboden wieder aufgefangen. Es handelte sich also um Einzelereignisse, die jedoch mehrfach wiederholt wurden. Dabei wurde von jedem der Bodensysteme aus Tabelle 2.1 jeweils die Schallabsorption sowie die Luft-Schallabstrahlung im Hallraum und die Körper-Schallausbreitung entlang der Bodenstruktur im reflexionsarmen Halbraum gemessen.



Bild 2.2: Zur Anregung verwendete Bälle: Basketball und „Japanischer Gummiball“.

## 3 Messergebnisse

### 3.1 Schallabsorption

Die beruhigende Wirkung von Schallabsorbern im Raum bedeutet eine kurze Nachhallzeit eine erhöhte Sprachverständlichkeit. Es werden also Gespräche, Anweisungen sowie Ansagen von Sprechern über Lautsprecher besser verstanden. Von Sportböden sind sicher keine hohen Werte des Schallabsorptionsgrades  $\alpha$  zu erwarten. Angesichts der Geräuschkulisse in Sporthallen und der Möglichkeit, mit schallabsorbierenden Flächen zu einer gewissen Verringerung der Geräuschausbreitung im Raum beizutragen, ist aber buchstäblich jeder Quadratmeter willkommen, der zur Reduktion der Nachhallzeit beiträgt.

Auffällig ist Boden 5, der bei 800 und 1.000 Hz erhöhte Werte aufweist. Diese sind für die raumakustische Praxis sicher nicht gewinnbringend, deuten aber auf ein besonderes (Resonanz-) Verhalten der Konstruktion hin.

### 3.2 Schallabstrahlung

In Bild 3.2 ist der gemessene maximale Schalldruckpegel der fünf untersuchten Böden im Hallraum beim Aufprall des Japanischen Gummiballs dargestellt. Zu den frequenzabhängigen Kurven im Diagramm werden jeweils die Summenpegel rechts neben der Legende angegeben. Bei der Interpretation fällt zunächst der vergleichbare Verlauf der Böden 1 und 3 sowie der Böden 2 und 4 auf. In gewissen Grenzen zeigt sich dies auch anhand der Summenpegel,

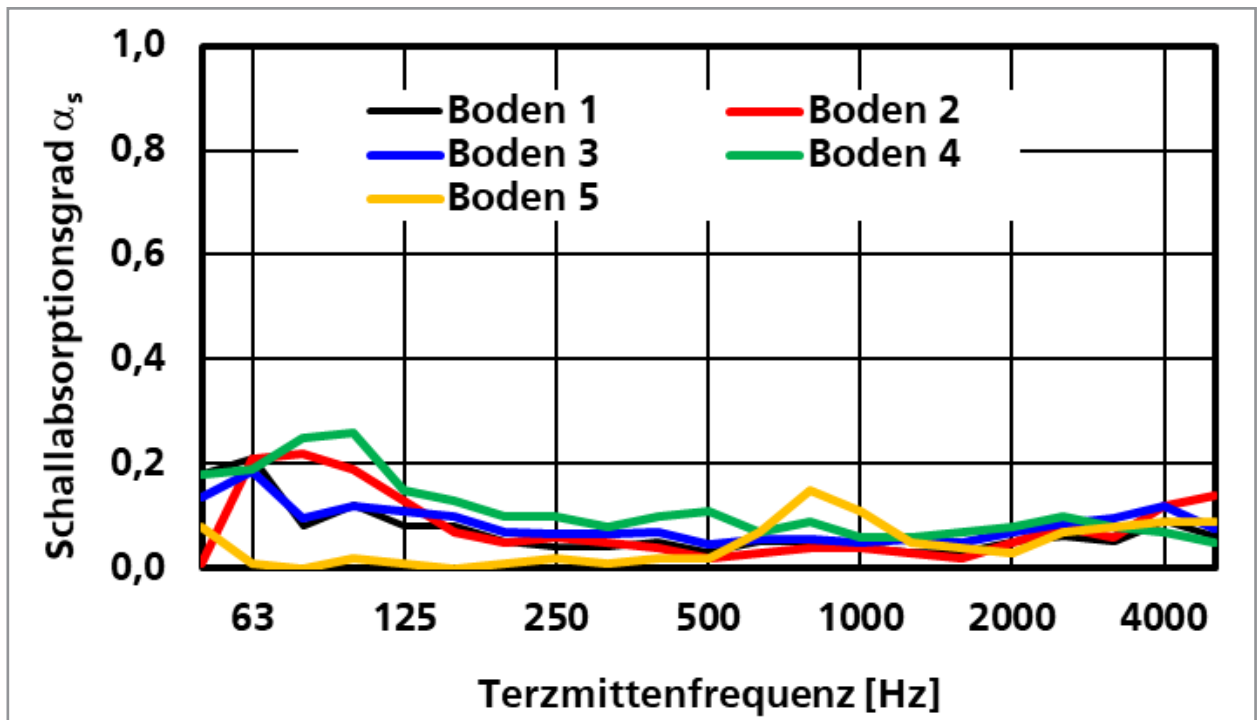


Bild 3.1: Messergebnisse des Schallabsorptionsgrades bei diffusem Schalleinfall mit den Sportböden nach Tab. 5.1.

Die Böden 2 und 4 erreichen im Frequenzbereich zwischen 63 und 125 Hz Werte von ca. 0,2 und damit eine Größenordnung, die jedenfalls bei der raumakustischen Planung und Behandlung relevant sind. Andere Böden bleiben darunter und überschreiten bei höheren Frequenzen kaum Werte von 0,1.

die zwischen ca. 75 und 80 dB(A) liegen, sich also immerhin um 5 dB unterscheiden. Diese Unterschiede sind hörbar und im Allgemeinen unter dem Aspekt einer Geräuschminimierung als relevant einzustufen. Boden 5 weicht insbesondere bei tiefen Frequenzen bis etwa 125 Hz und im mittleren Frequenzverlauf um ca. 1000 Hz deutlich von den übrigen Böden ab.

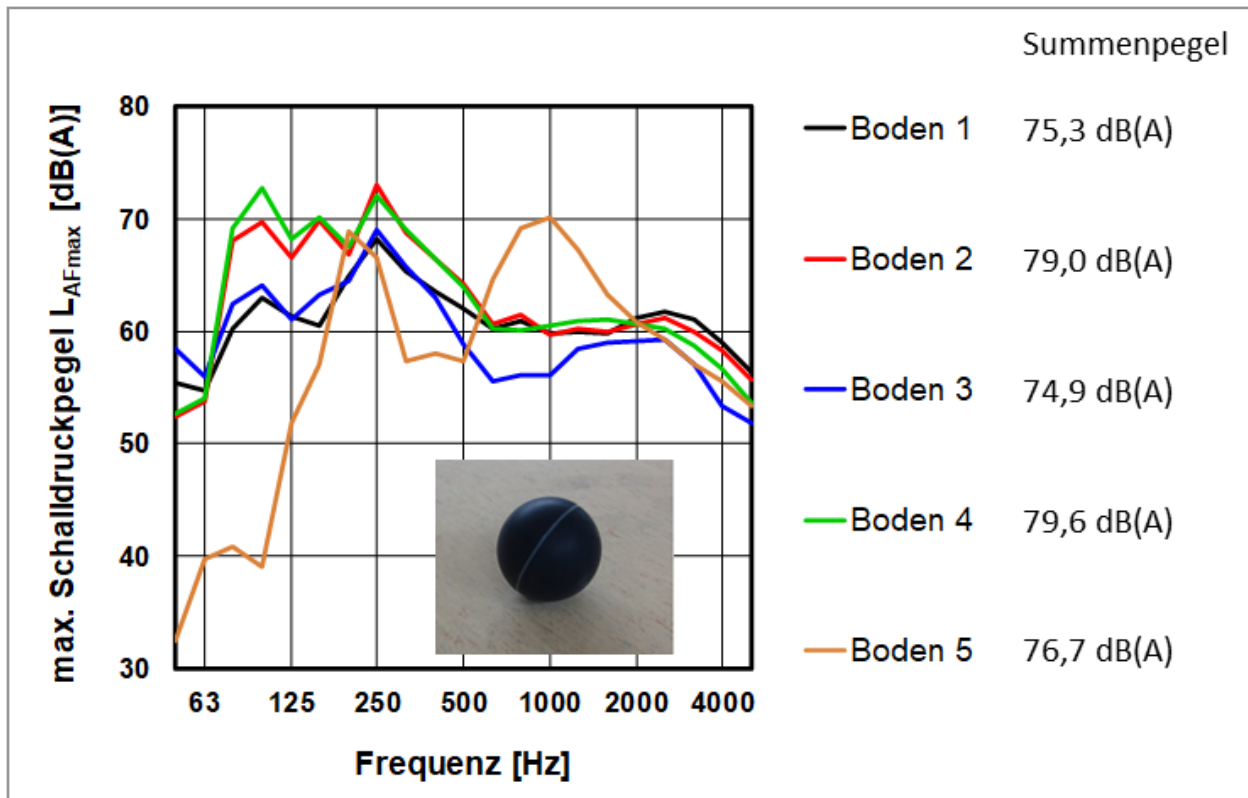


Bild 3.2: Messergebnisse der Schallabstrahlung der 5 untersuchten Böden bei Anregung mit dem Japanischen Gummiball.

### 3.3 Körperschallübertragung

Im Folgenden geht es um die Übertragung von Körperschall im Sportboden, angeregt unter anderem von einem aufprallenden Ball. Dieser Körperschall kann sich im Boden unter einem Trennvorhang in benachbarte Hallenteile ausbreiten und dort wieder abgestrahlt werden. Dies schränkt das Schallschutzpotential der Trennvorhänge ein. Zur Messung wird die Schallschnelle bzw. die Schwinggeschwindigkeit der Oberfläche des Sportbodens erfasst. Sie zeigt, wie sich Schwingungen ausbreiten und an entfernteren Stellen wieder vom Boden als (Luft-)Schall abgestrahlt werden. Die Relation von Schallschnelle einer Oberfläche mit dem von ihr abgestrahlten Schalldruck stellt der so genannte Abstrahlgrad her. Er hängt – allgemein ausgedrückt – von der Beschaffenheit der Oberfläche bzw. der Struktur ab.

Die Körperschallmessungen wurden auf einem 10 m langen und 1 m breiten Sportbodenabschnitt im ungestörten Schallfeld eines reflexionsarmen Halbraumes durchgeführt. Angeregt wurde wie bei der Luftschallmessung jeweils mit dem aufprallenden Basketball und Japanischen Gummiball. Gemessen wurde das Körperschallschnelle-Maximum in 1 m Schritten von der Anregestelle. In Bild 3.3 ist für die beiden Anregungen jeweils der Verlauf des Summenpegels entlang der Messstrecke für drei spezifische Bodentypen dargestellt. Wie bei den Luftschallmessungen liefern die Bodentypen 1 und 3 sowie 2 und 4 vergleichbare Ergebnisse.

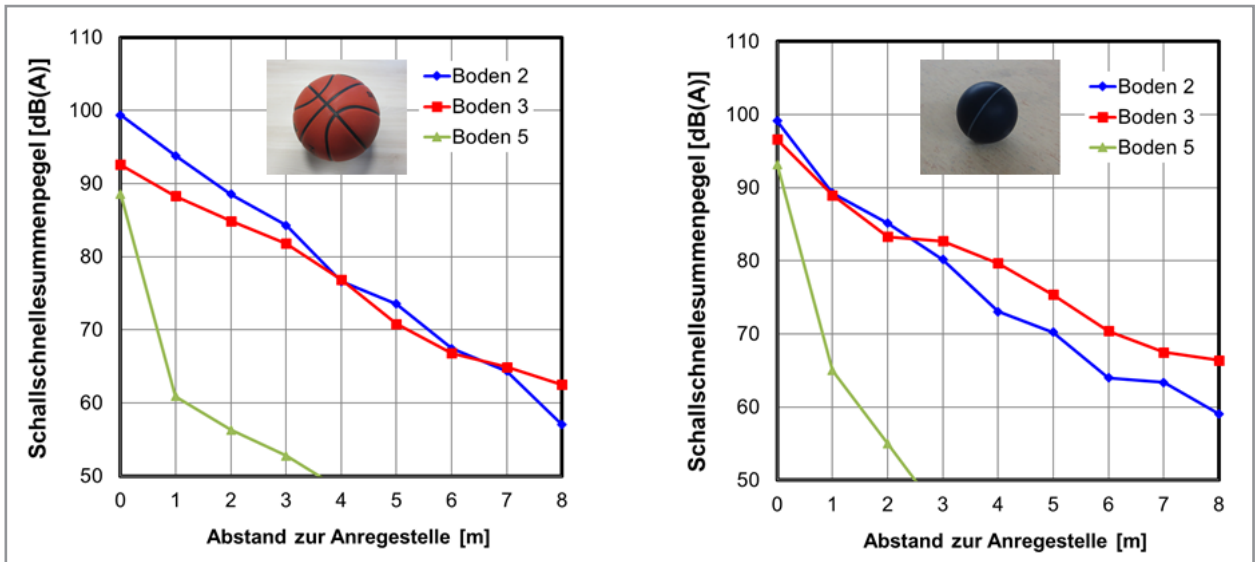


Bild 3.3 Messergebnisse zur entfernungsabhängigen (Körperschall-) Summenpegel mit den Böden 2, 3 und 5 angeregt mit Basketball (links) und Japanischen Gummiball (rechts).

Zunächst fällt in Bild 3.3 auf, dass Bodentyp 5 nur hohe Körperschallpegel im Bereich der Anregerposition hat. Bereits in 1 m Abstand fällt der Schnellepegel um ca. 30 dB ab und trägt damit nicht mehr wesentlich zur Schallabstrahlung bei. Bei den Böden 2 und 3 ist die Pegelabnahme über der Entfernung wesentlich geringer. Die konstruktiven Unterschiede führen also auch hier zu einem spezifischen akustischen Verhalten.

### 3.4 Akustische Gestaltungsansätze

Mit Hilfe der entwickelten Messverfahrens und der Ergebnisse an typischen Böden können sowohl Vergleiche angestellt als auch gezielt Maßnahmen zur Geräuschkürzung entwickelt werden. In Bild 3.4 sind Messdaten für einige Gestaltungsansätze zusammengefasst. Es ist jeweils die Differenz der Schallschnelle

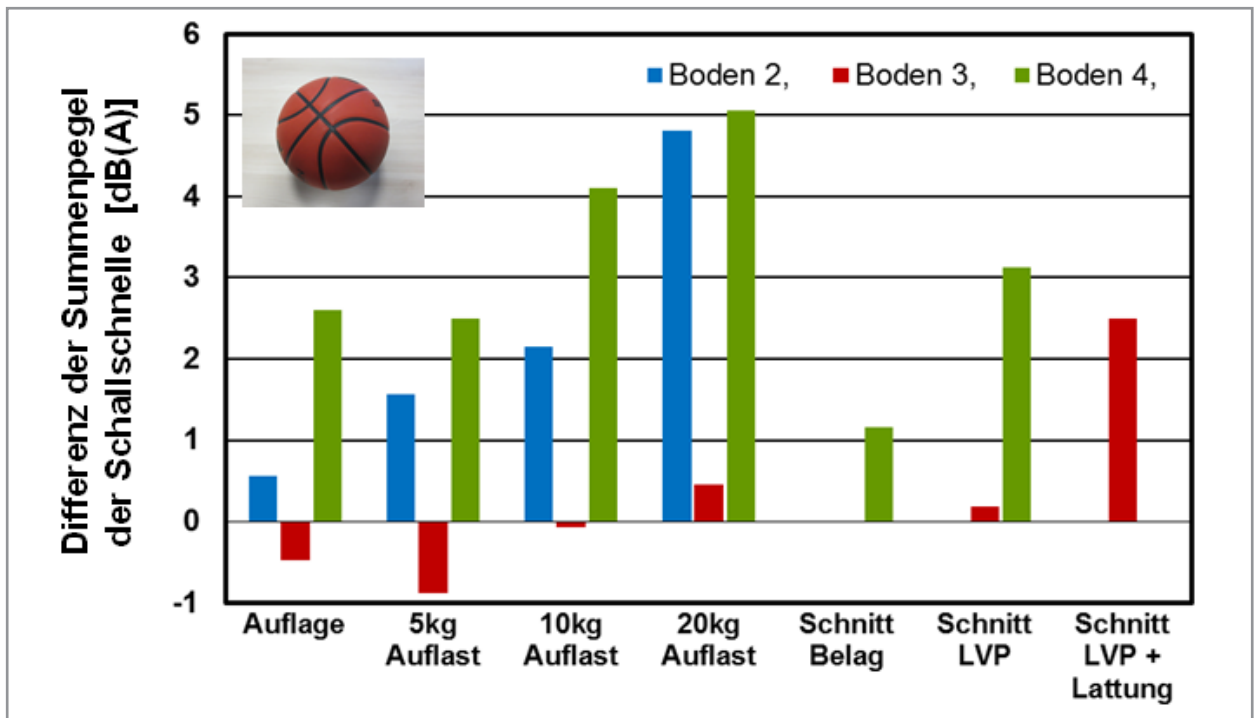


Bild 3.4 Differenz der Summenpegel der Körperschallschnelle bei verschiedenen Maßnahmen zur Beeinflussung der Körperschallausbreitung, gemessen an verschiedenen Böden bei Anregung mit dem Basketball.

beim Aufprall eines Basketballs zwischen dem Sportboden im Ausgangszustand und nach Durchführung der Verbesserungsmaßnahme dargestellt. Als Maßnahmen wurden z. B. ein besonders beschwerter Trennvorhang sowie die Trennung der lastverteilenden Sperrholzplatte unterhalb des Bodenbelags untersucht.

## 4 Zusammenfassung und Ausblick

Mit dem Forschungsvorhaben wurden erstmalig und in umfassender Form die akustische Charakterisierung und Gestaltung von Sporthallenböden behandelt. Im Zuge der zunächst durchgeführten Voruntersuchungen und Modellbetrachtungen erwies sich für die experimentelle Bestimmung der Schallabstrahlung von Sportböden die Messung der Schalldruckpegel im Hallraum bei Anregung mit normativ definierten Bällen als geeignete Prozedur. In der Folge lassen sich daraus Schallleistungspegel berechnen, um die rechnerische Verknüpfung mit beliebigen Raumeigenschaften herzustellen. Diese Vorgehensweise bietet auch den Vorteil der Messung des Schallabsorptionsgrades mit der gleichen Konfiguration. Die Messung der Körperschallübertragung entlang des Bodens lässt sich weitgehend raumunabhängig durchführen. Als breitbandige Anregungsquelle haben sich ebenfalls normativ definierte Bälle bewährt. Die vereinfachte numerische Modellierung von Ball und Boden zeigte auch, dass Eigenschwingungen bzw. Schallabstrahlung der Bälle auftreten. Sie überlagern die je nach stofflicher und konstruktiver Gestaltung den vom Sportboden erzeugten Schallanteile. Die Entwicklung einer detaillierten Schall- und Schwingungssimulation ist aussichtsreich, auch für die Anwendung bei der akustischen und zugleich sportfunktionalen Optimierung.

Die Messergebnisse umfassen neben Materialeigenschaften der untersuchten 5 Bodensysteme Daten zur Schallabsorption, Schallabstrahlung und Körperschallübertragung. Das Schallabsorptionsvermögen einiger Böden erreicht bei tiefen Frequenzen Werte bis zu 0,2. Mit Blick auf den beachtlichen Flächenanteil der Böden ist selbst dieser geringe Schallabsorptionsgrad

willkommen, zumal bei tiefen Frequenzen mit anderen Schallabsorbern wenig zu erreichen ist. Das abgestrahlte Gesamtgeräusch der durch ein Einzelereignis mit Ball angeregten Böden ist breitbandig und mit maximalen Summenpegeln bis zu 83 dB(A) verbunden. Wie erwartet tragen die Bälle bzw. Anregungsquellen aufgrund ihres eigenen Schwingungsverhaltens mess- und hörbar zur Schallabstrahlung des Gesamtsystems aus Boden und Ball bei. Die Böden auf elastischer Konstruktion erzeugen systematisch geringere Pegel als die Böden auf elastischer Schicht. Dies zeigt sich besonders bei tiefen Frequenzen und anhand der Summenpegel. Unterschiede aufgrund der Oberbeläge sind kaum feststellbar. Der mischelastische Boden unterscheidet sich in mehrfacher Hinsicht von den übrigen Bodensystemen. Bei tiefen Frequenzen strahlt er deutlich weniger Schall ab als die anderen Bodentypen. Bei höheren Frequenzen strahlt er hingegen höhere Pegel ab. Diese Tatsache unterstreicht die Bedeutung einer frequenzabhängigen Bewertung der Schallabstrahlung von Sportböden. Neben den Einzelereignissen mit Bällen wurden auch andere Anregungsarten vergleichend im Labor untersucht. Diese Vergleichsmessungen haben zwar den Charakter von „Schnappschüssen“, ermöglichen jedoch eine gewisse Einordnung der für aussagekräftige Messungen gewählten Anregungsarten.

Bei Maßnahmen zur Beeinflussung der akustischen Bodeneigenschaften ist zu beachten, dass sich die Bodensysteme in puncto Schallabstrahlung (Summenschallpegel) um 3 bis 4 dB unterscheiden. Davon trägt der Oberbelag eine Varianz von ca. 0,5 bis 1 dB bei. Eine schalldämpfende Hohlraumfüllung bewirkt ca. 1 dB Pegelreduktion und mit der Bedämpfung samt Masseerhöhung der lastverteilenden Platte lassen sich mindestens ca. 2 dB Schallpegelminderung erreichen. Grundsätzlich sind Maßnahmen zur Reduzierung der Schallabstrahlung auch für die Beeinflussung der Körperschallausbreitung relevant. Anregung, Ausbreitung und Abstrahlung von Schall sind letztlich ein zusammenhängender Wirkmechanismus. Für die Reduzierung der Schallübertragung des Bodens im Bereich von Trennvorhängen wurden u. a. linienförmige Auflagen/Auflasten und Trennschnitte unter-



sucht. Letztere bewirken bei Böden sowohl mit elastischer Konstruktion als auch mit elastischer Schicht eine Minderung der Körperschallausbreitung. Die Wirkung steigt, je mehr Teilschichten getrennt werden.

Der stichprobenartige Abgleich der Laborergebnisse mit jeweils vergleichbaren Böden in realen Sporthallen bestätigte die Tauglichkeit der gewählten Messverfahren auch für die Anwendung vor Ort. Die Messergebnisse sind vom Labor in die Praxis übertragbar und umgekehrt. Damit können auch Entwicklungen zu (vibro-) akustischen Optimierungsmaßnahmen an Sportböden im Labor erfolgen und deren akustische Wirkung für den praktischen Fall vorhergesagt werden.

Es sei hier betont, dass mit den nun vorliegenden Ergebnissen keine akustisch begründete (Vor-) Auswahl oder gar Rangliste bestimmter Bodensysteme vorgenommen werden kann. Diese Auswahl bleibt nach wie vor den sport- und sicherheitsfunktionalen Zielvorgaben vorbehalten. Das heißt, die Priorität muss auf Nutzung und Nutzer, auf Betrieb und Betreiber zurückgehen. Die Akustik ist eine, wenn auch wesentliche, Dimension der Nutzung und mit dem Forschungsvorhaben wurde versucht, akustische Verbesserungen an Sportböden im Kontext der ganzheitlichen Gestaltung anzubieten. Der ganzheitliche Blick sollte dabei auch die kombinierte Betrachtung mit der typischen Geräuschentwicklung und der Raumakustik in Sporthallen einschließen. Dafür bieten die vorgestellten Ergebnisse Anhaltspunkte. Im Rahmen der Messungen wurden aber auch Audioaufnahmen erstellt, mit denen eine so genannte Auralisation (Hörbarmachung, „virtuelle Realität“) der zu erwartenden Gesamtsituation aus Geräuschkulisse und Raumakustik sowie deren Bewertung Kraft eigenen Gehörs ermöglicht wird. Diese Hörproben sind verfügbar und können zur praxisnahen Plausibilisierung der akustischen Belastungen in Sporthallen und der wertvollen Wirkung akustischer Gestaltung herangezogen werden.

## 5 Quellenverzeichnis

- Lauter Sport in leisen Hallen – Akustische Gestaltung von Sport- und Schwimmhallen* (2. Auflage 3/2015). Fraunhofer-Institut für Bauphysik. Stuttgart: Fraunhofer Verlag.
- DIN V 18032-2:2001 Hallen für Turnen, Spiele und Mehrzwecknutzung – Teil 2 Sportböden, Anforderungen, Prüfungen (Vornorm).
- FIBA Official Basketball Rules 2014 – Basketball Equipment.
- DIN EN 12235:2013: Sportböden – Bestimmung der Ballreflexion.
- DIN EN ISO 10140-5:2014 Akustik – Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand – Teil 5: Anforderungen an Prüfstände und Prüfeinrichtungen.
- DIN EN ISO 10140-2:2010 Akustik – Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand – Teil 2: Messung der Luftschalldämmung.