

Akustische Gestaltung von Sport- und Schwimmhallen

Philip Leistner, Maria Kittel und Andreas Liebl, Stuttgart

Zusammenfassung In mehr als 30 000 Sport- und Schwimmhallen sind Sportlehrkräfte mit ihren Schülern tagtäglich auf gute akustische Lehr- und Lernbedingungen angewiesen. Eine erträgliche Lautstärke sowie störungsfreie Kommunikation und Konzentration sind unabdingbar, um Sicherheit und Gesundheit zu gewährleisten und pädagogische Konzepte zu ermöglichen. Die Praxis zeigt jedoch, dass dies bei Weitem noch nicht der Fall ist. Sowohl die Beurteilung durch die Sportlehrkräfte als auch die gemessene Situation vor Ort belegen erhebliche Defizite. Es ist zu laut, die akustischen Störungen sind lästig und mit erheblichen Beanspruchungen verbunden. Vielerorts besteht große Unzufriedenheit mit den akustischen Bedingungen. Dennoch werden die heute vorhandenen bau- und raumakustischen Forderungen oftmals nicht eingehalten, weder bei Neubauten noch bei Modernisierungsobjekten. Dabei geht es auch besser, wie viele gute Beispiele und Lösungen zeigen. Allerdings besteht auch noch Informations-, Entwicklungs- und Forschungsbedarf. In der Praxis hat sich vielfach eine wirtschaftlich und gestalterisch ausgewogene Balance von schalltechnischen und anderen baulichen bzw. bauphysikalischen Maßnahmen als vorteilhaft erwiesen.

Acoustic design of sports halls and indoor swimming pools

Summary In more than 30,000 sports halls and indoor swimming pools, teachers and their students are dependent on good acoustic teaching and learning conditions every day. A tolerable noise level as well as undisturbed communication and concentration are essential to ensure safety and health and to realize pedagogical concepts. In practice, however, this is still far from being the case. Both the assessments of PE teachers and the in-situ measurements indicate substantial deficits. It is too loud, acoustic disturbances are annoying and associated with significant strains. In many places there is a high level of dissatisfaction regarding the acoustic conditions. However, building and room acoustics often do not meet today's requirements, neither in new nor in refurbished buildings. And yet, there are many good examples and solutions to prove that the demands can be met properly. Nevertheless, there is still a substantial need for further information, development and research. In practice, a balanced combination of acoustic, construction, and physical building measures in terms of design and cost-efficiency has proven beneficial in many ways.

Die bewegungsfreundliche Schule ist zweifellos ein wesentliches Element moderner Bildung. Bewegung, körperliche Aktivität und Sport müssen daher auch bei der Schulgestaltung beachtet werden, um gerade bei dem mit Ganztagschulen verbundenen deutlich längeren Aufenthalt die gesundheitliche und soziale Entwicklung zu fördern. Dies gilt sowohl für sportpädagogisch geeignete Räumlichkeiten als auch für weitere Bewegungsareale innerhalb und außerhalb der Schulgebäude. Sport- und Schwimmhallen von Schulen sind aber nicht nur für den Unterricht zentrale Orte. Sie werden ebenso ausgiebig von Vereinen für sportliches Engagement genutzt und dienen als Wettkampf- und Veranstaltungsräume. Diese besonderen und vielfältigen Nutzungsarten sowie das breite Nutzerspektrum mit Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen münden zwangsläufig in komplexe Anforderungen an die bauliche Gestaltung und

funktionale Ausstattung von Sport- und Schwimmhallen. Die Beteiligung aller Akteure und Aspekte von Beginn an ist daher von größter Bedeutung, sowohl beim Neubau als auch bei der heute vorrangigen Gebäudesanierung. Erfahrungsgemäß lassen sich nur so die zum Teil kollidierenden Ansprüche in einem individuellen integralen Gestaltungsprozess abwägen.

Während beim Neubau die jeweils aktuelle Kapazität und der künftige Bedarf maßgeblich die Investitionsentscheidung beeinflussen, hat bei Sanierungsvorhaben die Beseitigung von Baumängeln und -schäden die höchste Priorität. Darüber hinaus sind manche Sport- und Schwimmhallen echte „Energieschleudern“ und auch deshalb reif für eine Modernisierung, um langfristig strapazierte kommunale Haushalte zu entlasten. In allen Fällen ist natürlich auch ein wertvolles Erscheinungsbild innen und außen unverzichtbar, insbesondere wenn die Sport- oder Schwimmhalle von der Kommune als politisches und architektonisches Prestigeobjekt auserkoren wurde.

In der Vergangenheit und bis heute gibt es jedoch eine Reihe von Anhaltspunkten, dass die Nutzung von Sport- und Schwimmhallen hörbare Einschränkungen aufweist. Die Akustik mit ihren unterschiedlichen Facetten wurde und wird offenbar nicht angemessen berücksichtigt. Entsprechend auffällig sind Berichte von Sportlehrkräften über den oftmals ohrenbetäubenden Lärm beim Unterricht. Aber auch für Besucher von Sportveranstaltungen der Schulen und Vereine übersteigt der Geräuschpegel in den Hallen mitunter das selbst für lautstarke Begeisterung erträgliche Maß und bei Kulturereignissen bleibt ein Raumeindruck von „Bahnhofsqualität“. Die Erfahrung ist keineswegs neu, dass gerade die akustische Qualität von Räumen und Gebäuden dem Kostendruck geopfert oder bei der Planung vernachlässigt wird. Die Gründe dafür sind unterschiedlich und reichen von fehlenden Argumenten zum Nutzen geeigneter akustischer Bedingungen bis zu unzureichendem Wissen um Planungs- und Gestaltungsspielräume.

Die Projektinitiative „Lauter Sport in leisen Hallen“ des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik IBP sollte daher die Argumente und Instrumente für gute Akustik in Sport- und Schwimmhallen aus heutiger Sicht zusammenfassend darstellen. Mit aktuellen Daten und Fakten sollte die Brisanz verdeutlicht, eine Bilanz gezogen und zur Verbreitung von akustisch geeigneten Gestaltungsmöglichkeiten beigetragen werden. Ausgehend vom vorhandenen Stand des Wissens ging es um Handlungs- und Planungsanregungen sowie nachahmenswerte Lösungsbeispiele, an denen sich künftige Neubau- und Modernisierungsvorhaben orientieren können. Einige akustische Fragestellungen sind aber auch bis heute noch nicht geklärt und es zeigt sich Nachholbedarf in mehrfacher Hinsicht: bei der Fortschreibung von Standards, der Weiterentwicklung von Gestaltungsansätzen und beim Praxistransfer von Erkenntnissen im Sinne guter akustischer Lehr- und Lernbedingungen in Sport- und Schwimmhallen.

Daten zu den Teilnehmern der Befragung.

	Mittelwert	Standardabweichung
Alter	44,6 Jahre	11,1
Geschlechterverteilung	63 % Frauen und 37 % Männer	
Lehrtätigkeit in der Schule	11 Jahre	9,6
Sportunterricht pro Woche	10,4 Stunden	5,2
Gruppenstärke	22 Schüler und Schülerinnen	

Beurteilung der Akustik durch Sportlehrkräfte

Aus schulischer Sicht sind Sport- und Schwimmhallen Unterrichtsraum und Arbeitsplatz zugleich. Die an sich vielfach untersuchten und grundsätzlich beschriebenen Wirkungen von Lärm und schlechten akustischen Umgebungsbedingungen müssen daher auf diese Nutzung übertragen werden. Lärmbedingte Ablenkung der Aufmerksamkeit und Beeinträchtigung der Kommunikation wiegen z. B. bei Gefahrensituationen besonders schwer, da sprachliche Informationen, wie Signale und Anweisungen verdeckt werden können. Darüber hinaus sind laute Störgeräusche in halligen Räumen durch erhöhte Sprech- und Höranstrengung zu kompensieren. Die Stimme kann eine mächtige Schallquelle sein, ihr dauerhafter Einsatz führt jedoch letztlich zu Erschöpfungs- und Überlastungserscheinungen der Betroffenen.

Mit all diesen Zusammenhängen von Schall und seiner Wirkung, von akustisch geeigneten und ungeeigneten Räumen sind einige Fachleute vertraut. Die Nutzer hingegen spüren die Auswirkungen schlechter Akustik und können sie auch zum Ausdruck bringen, wenn auch nicht in „dB“ oder anderen technischen Kategorien. Die Übersetzung der Nutzerberichte in technisch quantifizierbare Werte ist daher eine wesentliche Aufgabe, um für die bauliche Ausführung von Gebäuden konkrete Merkmale und Anforderungen zu formulieren, die letztlich zu guten Nutzungsbedingungen und einer hohen Zufriedenheit führen. Vor diesem Hintergrund wurde mit einer bundesweiten Befragung von Sportlehrkräften deren subjektives Empfinden der akustischen Bedingungen in Sport- und Schwimmhallen erfasst.

Ausgangspunkt der Befragung war die insgesamt spärliche Befundlage hinsichtlich des subjektiven Empfindens der allgemeinen Umgebungsbedingungen in Sport- und Schwimmhallen durch die Sportlehrkräfte. Zudem war anzunehmen, dass die existierenden Gestaltungsvorschriften nicht zwangsläufig zu einer positiven Bewertung führen, da sie auf wenige technische Parameter fokussieren. Ziel der Befragung war somit, sich einen umfassenden Überblick zur wahrgenommenen akustischen Qualität und der erlebten Lärmbelastung in Sport- und Schwimmhallen zu verschaffen.

Dazu wurden standardisierte Fragen zur subjektiven Beurteilung der Akustik [1] sowie etablierte Erkenntnisse aus der Fachliteratur und aus dem Fraunhofer IBP (z. B. zur Zufriedenheitsmessung) herangezogen. Darüber hinaus wurden neu entwickelte Fragen zur Beschreibung und Beurteilung der Hallen, der Erfassung von lärmmindernden Maßnahmen und Belastungsfolgen ergänzt. Im Vorfeld erhielten einige Sportlehrkräfte den Fragebogen zur kritischen Prüfung auf Verständlichkeit und Relevanz im Kontext des Sportunterrichts. Die Befragung erfolgte online im Herbst 2014, wobei die Sportlehrkräfte eine Einladung per E-Mail erhielten, die sie über Ziel und Inhalt, Ablauf und Datenschutz informierte. Die Verbreitung der Einladung erfolgte einmalig über den Deutschen Sportlehrerverband (DSLVB) an dessen Mitglieder. Der Fragebogen wurde trotz des beachtlichen Umfangs (durchschnittliche Bearbeitungsdauer 19 min)

von 253 Sportlehrkräften vollständig ausgefüllt, das entspricht einer Rücklaufquote von 18 %. Die Einordnung der Teilnehmer sind der **Tabelle** zu entnehmen.

Das mittlere Alter liegt etwas unter dem Mittel (48 Jahre) der Lehrkräfte insgesamt hierzulande, auch der Anteil weiblicher Lehrkräfte an den Beteiligten bewegt sich bundesweit in dieser Größenordnung. Die repräsentative Aussage dieser Befragung steht aber hier nicht im Vordergrund, da es vielmehr um eine belastbare Zahl qualifizierter Urteile ging. Die Darstellung der deskriptiven Ergebnisse erfolgt mit Häufigkeitsdiagrammen oder sog. „Boxplots“. Letztere enthalten den Median (Querstrich in der rechteckigen Box), unter bzw. über dem jeweils 50 % der Werte liegen, sowie den Mittelwert (Stern in der Box) der Urteile aller Befragten. Die Größe der Box steht für einen Wertebereich, in dem die mittleren 50 % aller Angaben liegen, die senkrechten Striche an jeder Box markieren den höchsten bzw. niedrigsten abgegebenen Wert. Punkte oberhalb und unterhalb dieser Werte stellen Ausreißer dar und weichen stark von den anderen Urteilen ab. Zu den verwendeten siebenstufigen Urteilsabfragen sei noch erwähnt, dass zwischen „sehr zufrieden“ und „sehr unzufrieden“ Urteilsstufen mit Werten zwischen -3 bis +3 lagen.

Beschreibung der Hallen und Nutzungssituation

Das Alter der Sporthallen beträgt nach Angaben der Befragten im Mittel 33,2 Jahre, wobei die Werte stark streuen und zwischen 1 und 84 Jahren liegen. Ein Großteil (64 %) der beurteilten Sporthallen sind Dreifeld-Hallen, ausgestattet mit zwei Trennvorhängen. Bei 16 % handelt es sich um Zweifeld-Hallen mit einem Trennvorhang, die restlichen Sporthallen sind Einfeld-Hallen. Die Mehrfeld-Sporthallen werden von den meisten Lehrkräften (97 bzw. 71 %) vorwiegend mit herabgelassenen Trennvorhängen und zeitgleich stattfindendem Parallelunterricht genutzt. Dabei verfügen die Unterrichtsgruppen in den Dreifeld-Hallen in der Regel über ein Hallendrittel, 84 % der dort unterrichtenden Lehrkräfte geben dies als häufigste Nutzungsart an. Mehr als die Hälfte (58 %) der in Zweifeld- oder Dreifeld-Hallen unterrichtenden Lehrkräfte beschreiben, dass die Trennvorhänge nicht lückenlos an den Wänden, der Decke und dem Boden abschließen. Die damit einhergehenden akustischen Konsequenzen werden weiter unten behandelt. Im Zuge einer Rangreihenbildung durch die Befragten zum akustischen Vergleich der Hallenteile (linkes, mittleres und rechtes Feld) landet das mittlere Feld am häufigsten auf dem letzten Platz. Die Akustik wird hier mit Abstand am schlechtesten bewertet.

Das durchschnittliche Alter der Schwimmhallen von 32 Jahren entspricht etwa dem der Sporthallen, wobei auch hier eine große Streuung festzustellen ist (von Neubau bis 64 Jahre alt). Schwimmhallen mit mehreren Becken werden von nahezu allen Lehrkräften (92 %) überwiegend gemeinschaftlich mit anderen Unterrichtsgruppen oder Schwimmern genutzt, aber auch in Hallen mit nur einem Becken muss sich über die Hälfte der Lehrkräfte (61 %) das Becken zumeist mit anderen Unterrichtsgruppen oder Schwimmern teilen.

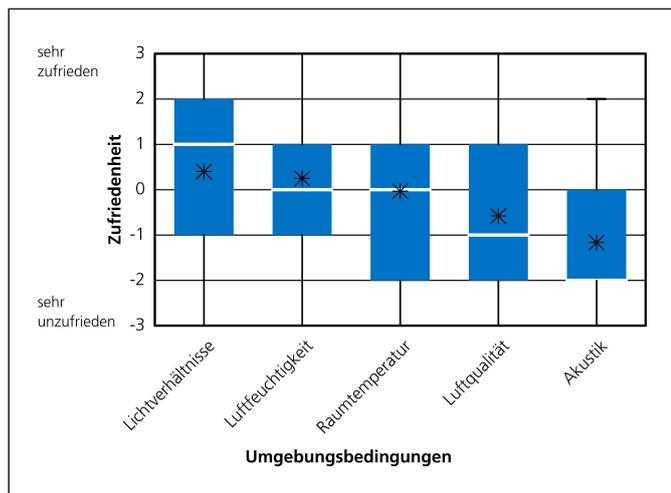


Bild 1 Zufriedenheit mit den physikalischen Umgebungsbedingungen in den beurteilten Sporthallen.

Physikalische Raumbedingungen

Nach den demographischen Angaben und der Beschreibung der Halle wurde zunächst nach einer Bewertung der Umgebungsbedingungen gefragt, die durch Gebäude und Technik bestimmt werden. Dazu zählen Lichtverhältnisse, Raumklima, Luftqualität und Akustik. Beim Vergleich in **Bild 1** wird die Akustik in Sporthallen am schlechtesten bewertet. 75 % der Personen sind tendenziell bis sehr unzufrieden mit den akustischen Bedingungen in „ihrer Sporthalle“. Diesem Urteil am nächsten kommt die empfundene Luftqualität, die damit als ein ebenfalls schlecht beurteiltes Raummerkmal auffällt. Aber auch darüber hinaus können, vielleicht abgesehen von den Lichtverhältnissen, keine allgemein zufriedenstellenden Raumbedingungen konstatiert werden.

In den Schwimmhallen ist die Unzufriedenheit mit der Akustik noch größer, die Bewertungen lassen sich kaum noch unterbieten (**Bild 2**). Auch die Beurteilungen der Luftfeuchtigkeit, der Luftqualität und der Raumtemperatur fallen mehrheitlich negativ aus. Angesichts der erneut vornehmlich positiv eingeschätzten Lichtverhältnisse stellt sich natürlich die Frage, ob diesem einzig sichtbaren und auch zweifellos wesentlichen architektonischen Merkmal seitens der Planer und Bauherren die größere Aufmerksamkeit gewidmet wird.

Mit Blick auf das Ziel der akustischen Gestaltung von Sport- und Schwimmhallen, eine hohe Gesamtzufriedenheit der Sportlehrkräfte mit den akustischen Umgebungsbedingungen zu erreichen, stellt sich eine andere Frage: Welche Beurteilungskriterien beeinflussen die akustische Gesamtzufriedenheit in besonderem Maße? Die genauere Auswertung der Befragung führt im Wesentlichen zu drei Merkmalen: Die Lautstärke und die Höranstrengung während des Unterrichts sowie die Lästigkeit der Geräusche von Sportgeräten erklären mehrheitlich das jeweilige Gesamturteil.

Lautstärke während des Unterrichts

Mehr als die Hälfte (53%) der Lehrkräfte beurteilt die Lautstärke in der Sporthalle während des Unterrichts als sehr oder gar extrem laut. Immerhin 30 % bewerten den Unterricht in der Sporthalle noch als laut. In den Schwimmhallen beurteilen sogar 81 % der Lehrkräfte die Lautstärke während des Unterrichts als extrem laut oder sehr laut (**Bild 3**). Die Lärmbelastung wird

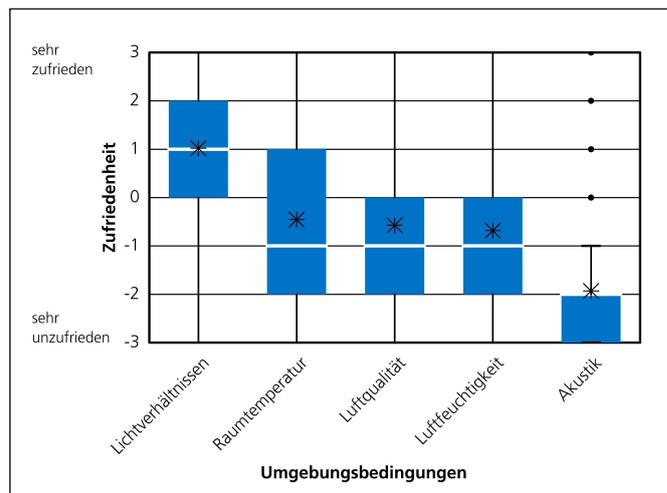


Bild 2 Zufriedenheit mit den physikalischen Umgebungsbedingungen in den beurteilten Schwimmhallen.

folglich als sehr hoch wahrgenommen. Natürlich wird kaum jemand einen „Flüster-Sport“ erwarten. Hier geht es vor allem um ein erträgliches Maß, um die Konsequenzen des allzu lauten Unterrichts zu begrenzen.

Sprech- und Höranstrengung während des Unterrichts

Nach den bisher dargestellten Ergebnissen mag es nicht mehr überraschen, dass 75 % der Lehrkräfte über eine hohe oder sehr hohe Sprechanstrengung während des Unterrichts in den Sport- und Schwimmhallen berichten. Auch das Zuhören ist in den Sporthallen bei 50% der Befragten mit einer mittleren oder sehr hohen Anstrengung und in den Schwimmhallen bei 75 % der Befragten mit einer hohen oder sehr hohen Anstrengung verbunden. Die übermäßige Sprechanstrengung erinnert an die bekannten Stimmprobleme vieler Lehrkräfte, das schwierige Hören hingegen lässt sich sowohl mit pädagogischem Erfolg als auch mit Sicherheitsaspekten in Verbindung bringen. Weder die Kommunikation zwischen den Beteiligten noch die akustische

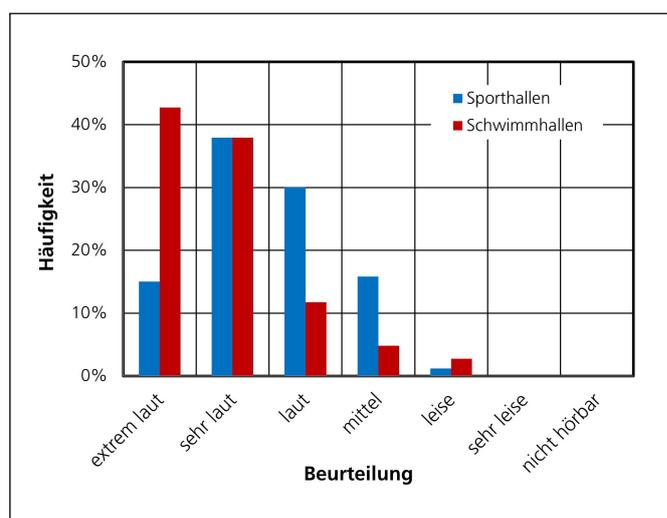


Bild 3 Subjektiv wahrgenommene Lautstärke während des Unterrichts in den Sporthallen.

Signalisierung oder Erkennung von Gefahrensituationen ist bei diesen Schilderungen ohne Probleme zu erwarten.

Lästigkeit während des Unterrichts

Über die bloße Lautstärke hinaus bezog die Befragung auch die Belästigung durch verschiedene Lärmquellen mit ein. Die Lästigkeit bzw. Belästigung stellt ein gut untersuchtes und etabliertes Merkmalsgefüge in der Lärmwirkungsforschung dar. Sie wurde anhand einer zehnstufigen standardisierten Skala von „überhaupt nicht lästig“ (0) bis „äußerst lästig“ (10) erfasst. Im Kontext des Sport- und Schwimmunterrichts zeigt sich, dass insbesondere Geräusche, die durch parallel stattfindenden Unterricht entstehen, als störend oder lästig beurteilt werden (Bild 4).

Dies gilt sowohl für Sportunterricht in anderen Teilen der Sporthalle als auch für zeitgleich stattfindenden Schwimmunterricht oder andere Schwimmer im selben und benachbarten Schwimmbecken. Lautes Schreien von Schülern während des Sport- und Schwimmunterrichts erzeugt mehrheitlich hohe Werte hinsichtlich der Lästigkeit. Und auch durch Sportgeräte verursachte Geräusche, wie z. B. infolge Ballprellen, führen häufig zu starken Belästigungsreaktionen.

Verbesserungsmöglichkeiten während des Unterrichts

Die Sportlehrkräfte wurden aber nicht nur nach den akustischen Merkmalen ihres Arbeitsplatzes gefragt, sondern auch nach Maßnahmen zur Beeinflussung der Situation. Es ging um die auf Erfahrungen und Erkenntnissen beruhenden gezielten Gegenmaßnahmen, die sie ergreifen, um die Lärmbelastung während des Unterrichts zu reduzieren und die Kommunikationssituation zu verbessern. Mit Bezug auf vorhandene Literatur und praktische Überlegungen wurden bei der Befragung Vorschläge angeboten, wie z. B.:

- Einsatz akustischer Hilfsmittel, z. B. Trillerpfeife,
- Berücksichtigung der Akustik bei der Auswahl der Sportgeräte, z. B. Verwendung leiser Matten und Bälle, wenn möglich,
- Einführung von Gesprächsregeln, Ritualen oder Disziplinierungsmaßnahmen,
- Verzicht auf lärmintensive Spiele und Übungen, wenn möglich,
- Anordnung der Personen im Raum, unter Berücksichtigung der akustischen Bedingungen, z. B. Gesprächsdistanzen verringern, Gruppen- oder Kreisbildung,
- mehr Demonstrieren bzw. Vorführen und weniger verbal erklären.

Unter der Rubrik „Sonstiges“ konnten nicht aufgeführte Maßnahmen beschrieben werden. Mehrfachnennungen waren möglich. Die Häufigkeiten in Bild 5 geben an, welcher Anteil der Befragten auf die jeweiligen Maßnahmen zurückgreift.

In Sporthallen setzen danach 96 % der Sportlehrkräfte Gesprächsregeln, Rituale oder Disziplinierungsmaßnahmen zur Beruhigung ein. Akustische Hilfsmittel werden sowohl in den Sporthallen (87 %) als auch in den Schwimmhallen (82 %) sehr häufig eingesetzt. Ein deutlicher Unterschied zeigt sich beim Umgang mit lärmintensiven Spielen, die in Sporthallen offenbar praktiziert, auf die jedoch in Schwimmhallen nahezu vollständig (82 %) verzichtet wird. Ein ähnliches Bild gilt für den Einsatz „lauter“ Sportgeräte (55 %), der in Schwimmhallen zugunsten einer Verbesserung der akustischen Situation häufig vermieden wird.

Wie bereits erwähnt, stecken hinter diesen Urteilen die Erfahrungen der Lehrkräfte, die sie zwar akustisch kaum quantifizieren können, die aber offenbar eine entlastende Wirkung erzie-

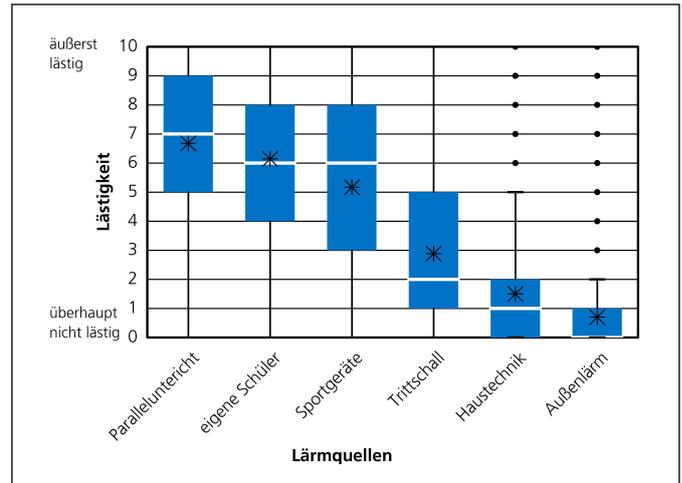


Bild 4 Lästigkeit verschiedener Lärmquellen während des Unterrichts in Sporthallen.

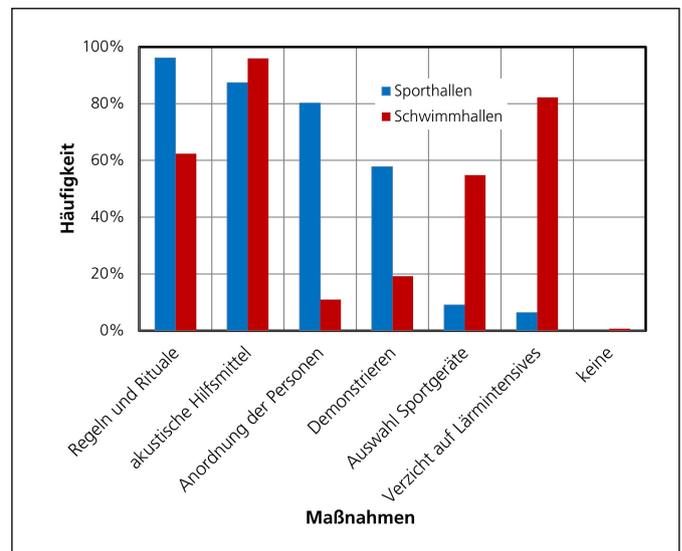


Bild 5 Maßnahmen der Lehrkräfte zur Reduzierung des Lärmpegels und zur Verbesserung der Kommunikationssituation in Sporthallen.

len. Die Art der Maßnahmen ist auch aus Expertensicht nachvollziehbar, da sie überwiegend die immer zu bevorzugende Reduzierung „an der Quelle“ betreffen, also den Lärm möglichst gar nicht erst entstehen zu lassen. Maßnahmen zur Beeinflussung der Schallausbreitung im Raum stehen den Sportlehrkräften allerdings kaum zur Verfügung, abgesehen von der Nutzung der vielfach vorhandenen Trennvorhänge in Sporthallen. Diese reichen nach Angaben der Lehrkräfte in 58% der Fälle aber nicht bis zu den Wänden, dem Boden und/oder der Decke, was sich auch in den Akustikbeurteilungen der Lehrkräfte niederschlägt: Sind die Hallenteile nicht vollständig voneinander abgetrennt, ist der Parallelunterricht störender, die empfundene Lautstärke höher und die Zufriedenheit mit der Akustik insgesamt geringer als in Hallen mit abschließenden Trennvorhängen. Maßnahmen beim Schallempfänger, also der persönliche Schallschutz, erscheinen wiederum nicht praktikabel, da ein wirksamer Gehörschützer sowohl den unerwünschten Lärm als auch die entscheidenden Sprach- und Warnsignale unterdrückt. Selbst

aktive Systeme vermögen diese (inhaltliche) Trennung nicht zu bewerkstelligen.

Als Resümee der bundesweiten Befragung der Sportlehrkräfte lässt sich demnach festhalten:

- Insbesondere die Lautstärke und Höranstrengung während des Unterrichts sowie die Lästigkeit der auftretenden Geräusche begründen die mehrheitliche Unzufriedenheit mit den akustischen Bedingungen in Sport- und Schwimmhallen.
- Die von den Sportlehrkräften selbst ergreifbaren und ergriffenen Verbesserungsmaßnahmen sind wirksam und eine Vertiefung bzw. Verbreitung der Erfahrungen ist sicher lohnenswert.
- Der Bedarf ist groß, mit allen zur Verfügung stehenden baulichen und technischen Gestaltungsmaßnahmen die Bemühungen der Sportlehrkräfte um akustisch bessere Lehr- und Lernbedingungen zu unterstützen.

An dieser Stelle sei erwähnt, dass natürlich noch einige weitere Befragungsergebnisse zu Detailfragen vorliegen, ihre Darstellung aber den Rahmen dieser Publikation überschreiten würde. Die künftige wissenschaftliche Auswertung wird jedoch folgen und deren Ergebnisse werden auch ausführlich publiziert.

Schallschutz und Raumakustik

Die Beantwortung der Frage nach der akustischen Eignung von Gebäuden und Räumen ist grundsätzlich auf deren Nutzung zu beziehen. Natürlich gilt dies auch für viele andere bauliche und technische Aspekte. Am Beginn jeder Planung sind daher die Nutzungsarten und die Ansprüche der Nutzer zu bewerten. Mit Blick auf die besonderen Wirkungen von Schall müssen darüber hinaus auch potenzielle Störungen für Unbeteiligte, z. B. in der Nachbarschaft, einbezogen werden. Bei Sport- und Schwimmhallen ist also einiges zu beachten, um für

- „klassischen“ Sport- und Schwimmunterricht, auch mit Blick auf Inklusion und besonderen Förderbedarf,
- außerunterrichtlichen Sport in Arbeitsgruppen oder in der Ganztagsbetreuung,
- Sport in Vereinen und anderen Gruppen,
- Sportwettkämpfe,
- schulische und kommunale Veranstaltungen, z. B. mit Sprach- und Musikdarbietung

gleichermaßen gute Bedingungen zu ermöglichen. Die Logik des baulichen und technischen Schallschutzes besteht in der Minimierung von fremden, d. h. nicht von den Nutzern selbst verursachten akustischen Störungen oder Beeinträchtigungen. Unter dem Begriff Raumakustik hingegen werden Maßnahmen in den Räumlichkeiten verstanden, die zur Beruhigung der dort entstehenden Geräusche dienen. Dabei geht es insbesondere um verständliche Sprachkommunikation, aber bei Bedarf auch um gute Hörsamkeit von Musik.

Die bau- und raumakustischen Eigenschaften beeinflussen sich gegenseitig in unterschiedlichem Maße. So hängt z. B. der resultierende Schallschutz zwischen benachbarten Räumen sowohl von der Schalldämmung der Trennwände als auch von der akustischen Dämpfung in den Räumen ab. Allerdings kann auch die beste Raumakustik einen schlechten Schallschutz nicht „retten“ oder laute Geräuschquellen im Raum verstummen lassen. Daher sind alle akustischen Belange von Anfang an und als angemessene Bestandteile einer integralen und detaillierten Planung und Gestaltung zu beachten. Aufgrund der Wechselwirkungen zu bautechnischen, bauphysikalischen, architektonischen und organisatorischen Anforderungen lässt sich die Akustik als Teil des Ganzen funktional und wirtschaftlich am besten integrieren.

Schallschutz der Außenbauteile

Da normalerweise die akustischen Verhältnisse im Inneren der Sport- und Schwimmhallen im Vordergrund stehen, wird mitunter deren städtebaulicher Kontext „übersehen“, aus dem sich akustische Anforderungen an die Außenbauteile ergeben. Befindet sich die Halle in einem lärmbelasteten Umfeld, muss die Schalldämmung der Außenbauteile hoch genug sein, dass der von außen eindringende Schall die vorgesehene Nutzung (Unterricht, Veranstaltung) nicht beeinträchtigt. Bei einer Halle in lärmempfindlichem Umfeld ist hingegen sicherzustellen, dass auch bei der lautesten Nutzung, z. B. bei Sportwettkämpfen, die außen hörbaren Geräusche keine Belästigung der Nachbarn hervorrufen. Da in beiden Fällen unterschiedliche Rechtsvorschriften und Regelwerke gelten, ist eine getrennte Betrachtung erforderlich, auch wenn letztlich eine Fassade dafür zuständig ist.

So ist zwischen Hallen mit reinem Sportbetrieb und solchen mit Mehrzwecknutzung zu unterscheiden und natürlich die Abhängigkeit vom Standort, der Tageszeit usw. zu berücksichtigen. Wird die Halle ausschließlich für Sport im öffentlichen Bereich (Schul- und Vereinssport) genutzt, sind die Forderungen der Sportanlagen-Lärmschutzverordnung [3] maßgebend. Befinden sich z. B. Krankenhäuser, Kur- und Pflegeeinrichtungen in der Nachbarschaft, sind niedrigere Schallpegel einzuhalten als in Gewerbegebieten. Genauso gilt eine Unterscheidung zwischen Tages- bzw. Nachtzeit. Schließlich sei noch erwähnt, dass auch Geräusche, die auf dem Gelände der Sporthalle entstehen, in die Bewertung einbezogen werden. Dazu zählen zugeordnete Parkflächen oder technische Anlagen, z. B. Wärme- und Energieerzeuger, die Anlass für Ärger und Beschwerden geben können. Es lohnt sich jedenfalls, die äußeren urbanen Gegebenheiten und auch langfristig ausgerichtete Bebauungskonzepte einzubeziehen.

Die eigentlichen Schallschutzanforderungen an die Außenhülle werden in der DIN 18032 [4] mit Verweis auf die DIN 4109 [5] genannt. Da Fassade und Dach zumeist aus Elementen mit unterschiedlicher Schalldämmung bestehen, z. B. Mauerwerk und Fenster, ist für die Planung das resultierende Schalldämmmaß der Wand heranzuziehen. Als Grundregel gilt dafür, dass das akustisch schwächste Element die Wirkung begrenzt. In der Praxis sind dies meist die vorhandenen Verglasungen und Fenster, die heutzutage sehr großzügig verwendet werden. Zugleich sei hier an die gewünschte bzw. erforderliche Fensterlüftung im Sommer und die vernachlässigbare Schalldämmung geöffneter Fenster erinnert. In diesen Situationen dringt der Außenlärm nahezu ungehindert in die Räume ein bzw. umgekehrt.

Schallschutz im Gebäude

Eine Geräuschübertragung zwischen Sport- und Schwimmhallen und z. B. angrenzenden Unterrichtsräumen im gleichen Gebäude kommt praktisch nur in wenigen Fällen vor, da die Hallen oft in eigenständigen Gebäuden untergebracht sind. Wenn diese Übertragung jedoch auftreten kann, ist auch hier ein ausreichender Schallschutz erforderlich. Einerseits geht es um Schall, andererseits aber auch um Schwingungen, die sich im Gebäude ausbreiten und als hörbarer Schall wieder abgestrahlt werden. Bezogen auf einzelne Bauteile, z. B. Wände und Decken, spricht man daher auch von Luft- bzw. Trittschalldämmung. Für diesen gebäudeinternen Teil des Schallschutzes sind die Anforderungen ebenfalls in der DIN 18032 [4] bzw. in der DIN 4109 [5] festgelegt. Die erforderlichen Schalldämm-Maße von Wänden zwischen „besonders lauten“ Räumen (Sport) und „schutz-

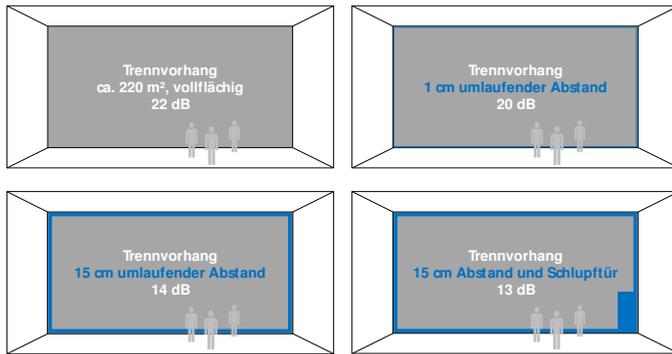


Bild 6 Einfluss offener Abstände zu Wänden, Decke und Boden sowie einer typischen Schlupföffnung auf die resultierende Schalldämmung eines Trennvorhangs mit ca. 220 m² Fläche.

bedürftigen“ Räumen (Unterricht) liegen zwischen 57 und 72 dB. Diese Werte sind vergleichsweise hoch, sodass bei direkt benachbarten Räumen gute und sichere Konstruktionen verwendet werden müssen. Die maximal zulässigen Trittschallpegel liegen zwischen 28 bis 43 dB, d. h. auch die Decken und Bodenaufbauten müssen eine besondere Qualität aufweisen, damit in Nachbarräumen zu Sporthallen ruhiger Unterricht möglich ist.

Technischer Schallschutz

Der technische Schallschutz gilt den Geräuschen, die mit dem Betrieb technischer Anlagen im Gebäude zusammenhängen. Grundsätzlich sind fast überall Anlagen zur Heizung, Lüftung, Kühlung sowie in Schwimmhallen zur Wasseraufbereitung vorhanden. Mitunter kommen eigenständige Energiesysteme, z. B. Blockheizkraftwerke, hinzu. Die Befragungsergebnisse haben aber bereits angedeutet, dass derartige technisch verursachte Geräusche in Sport- und Schwimmhallen kaum eine (störende) Rolle spielen. Dennoch sind, abhängig von der Nutzung, maximale Schalldruckpegel einzuhalten. Die DIN 18032 [4] enthält dazu die Regelung, dass bei reiner Sportnutzung die Geräusche nicht lauter als 45 dB(A) sein dürfen. Die gleiche Obergrenze findet sich in der KOK Bäderrichtlinie [6] für Schwimmbäder, allerdings mit Ausnahmen bei weniger oft betriebenen Anlagen, z. B. Spülluftgebläse.

Trennvorhänge und Böden in Sporthallen

In Mehrfeld-Sporthallen dienen Trennvorhänge u. a. auch dem Schallschutz zwischen den einzelnen Feldern innerhalb der Halle. Durch diese akustische Trennung sollen sich die Nutzer eines Hallenfeldes auch dann noch angemessen verständigen können, wenn z. B. im benachbarten Hallenfeld laute Geräusche auftreten. Zugleich wird der wechselseitigen Verstärkung der Lärmbelastung (Lombard-Effekt) bei mehreren anwesenden Nutzergruppen vorgebeugt. Aufgrund der leichten Membranen, aus denen die Trennvorhänge bestehen, kann die Schallschutzwirkung nicht allzu hoch sein. Aus praktischen Erwägungen werden die akustischen Anforderungen nach DIN 18032 [4] etwas differenziert. Das bewertete Schalldämm-Maß des Trennvorhangs an sich muss mindestens 22 dB betragen. Dieser Wert ist im Prüflabor festzustellen und entspricht daher dem Schallschutzpotenzial des Trennvorhangs. Da sich im eingebauten Zustand keine Prüfbedingungen realisieren lassen, müssen in der Sporthalle noch mindestens 18 dB übrig bleiben. Dieser „Praxisabschlag“ ist auch bei anderen Bauteilen von Gebäuden üblich

und nachvollziehbar. Zur Einordnung der tatsächlich zu erreichenden Lärminderung von 18 dB zwischen zwei Hallenfeldern sei an die Geräuschpegel alltäglicher Schall- und Lärmquellen erinnert. Diese Schalldämmung würde z. B. Straßenlärm oder laute Sprache auf normale Gesprächslautstärke reduzieren. Das ist spürbar und hilfreich, auch wenn mitunter mehr Schallschutz wünschenswert oder gar notwendig wäre.

Bei eingebauten Trennvorhängen sind Fugen nahezu unvermeidlich und zusätzlich werden Schlupftüren oder -öffnungen (Fluchtweg) vorgesehen. Jegliche Öffnungen weisen allerdings keinerlei Schalldämmung auf und sie mindern die resultierende Schallschutzwirkung. In **Bild 6** ist der Einfluss offener Abstände zu Wänden, Decke und Boden sowie einer typischen Schlupföffnung auf die resultierende Schalldämmung illustriert. Anhand dieser Rechnungen wird deutlich, dass akustisch kaum Spielraum für Fugen oder dergleichen besteht, ob beabsichtigt oder unbeabsichtigt. Aus diesen Gründen wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass Öffnungen zu vermeiden oder schalltechnisch zu behandeln sind, z. B. auch im Fall von Tribünen und Schlupföffnungen.

Trennvorhänge können jedoch noch mehr zur guten Akustik in Sporthallen beitragen. Einerseits wird in der DIN 18032 (Teil 4) [4] zu Recht gefordert, dass sie zur Verbesserung der Schallabsorption, d. h. zur Dämpfung der Geräusche in den getrennten Hallenteilen selbst beitragen müssen. Bei den großen Flächen der Trennvorhänge besteht hier ein beachtliches Potenzial, das leider noch nicht in Form konkreter Anforderungen quantifiziert ist. Andererseits sollten auch die Anprallgeräusche beachtet werden, wenn z. B. Bälle auf Trennvorhänge treffen.

Obleich sich der Teil 2 (Vornorm) der DIN 18032 [4] speziell den Sportböden widmet, werden die hörbaren Merkmale nur sehr kurz behandelt. Es wird eine geringe Entwicklung und Ausbreitung des Schalls gefordert, der bei ihrer Benutzung entsteht. Dass die Benutzung von Böden und Bodenbelägen zu Geräuschen führt, ist offenkundig und auch in anders genutzten Gebäuden ein Schallschutz-Dauerthema. In Sporthallen sind es z. B. Laufgeräusche von Personen und insbesondere der durch das Ballprellen hervorgerufene Schall. Der Hallenboden wird durch die meist impulsartigen Anregungen zu Schwingungen angeregt, die sich über den Boden ausbreiten und sowohl im eigenen Bereich, als auch im benachbarten Hallenfeld als Schall abgestrahlt werden. Das heißt, auf diesem Weg wird auch die Schalldämmung von Trennvorhängen beeinträchtigt. Die aus anderen Gründen beabsichtigte Elastizität bzw. Schwingfähigkeit der Sportböden macht sie akustisch zu einer Art Resonanzboden, der sich unter Umständen besonders leicht zur Schallabstrahlung anregen lässt.

Raumakustik

Die raumakustische Gestaltung konzentriert sich auf die maßgeblichen Schallquellen im Raum, also insbesondere auf Nutzergeräusche. Zwei fundamentale Ziele stehen dabei im Vordergrund: Die Dämpfung der Geräusche sowie die Verständlichkeit von Sprache. Im Vergleich dazu sollte eine optimale Hörqualität bei Musikkwiedergabe anlässlich von Veranstaltungen als zweitrangig betrachtet werden, falls sich nicht beide Wünsche gleichermaßen erfüllen lassen. Für die üblichen, nicht allzu komplex geformten Sport- und Schwimmhallen ist jedoch die Palette der raumakustischen Maßnahmen überschaubar. Beide Ziele lassen sich durch den Einbau von schallabsorbierenden Oberflächen erreichen, während Vorkehrungen zur Lenkung des Schalls vernachlässigt werden können. Diese sind manchmal

z. B. in Gestalt von Reflektoren in Konzertsälen sinnvoll, um alle Plätze gleichermaßen mit Schall zu versorgen.

Die etablierte und in den meisten Fällen maßgebliche Kenngröße zur Charakterisierung der Raumakustik ist die Nachhallzeit. Wie der Name schon andeutet, beschreibt sie den Zeitraum, den ein Schallereignis bis zu seinem Verstummen (Abklingen auf ein Millionstel seiner ursprünglichen Energie) im Raum messbar ist. Ihrer Definition und der Erfahrung gemäß, ist die Nachhallzeit in großen Räumen länger als in kleinen und sie lässt sich mit schallschluckenden Materialien im Raum verkürzen. Gemeinsam mit dem Störgeräuschpegel bestimmt die Nachhallzeit die Sprachverständlichkeit, wobei lange Nachhallzeiten und hohe Störpegel erwartungsgemäß die Verständlichkeit verringern. Zugleich gilt, dass eine (Stör-) Schallquelle bei langen Nachhallzeiten zu höheren Schalldruckpegeln im Raum führt und umgekehrt. Und noch eine dritte Größe sei erwähnt, die aus der Relation zwischen Nachhallzeit und Raumvolumen resultiert: der sog. Hallradius. Er beschreibt die Distanz zu einer Schallquelle, ab der die Lautstärke im Raum bei weiterer Entfernung nicht mehr abnimmt, da der Raum gleichsam diffus mit Schallenergie „gefüllt“ ist. Innerhalb dieser Distanz bzw. des Hallradius ist eine Pegelabnahme jedoch spürbar und je kleiner der Raum bzw. je kürzer die Nachhallzeit, desto weiter ist der Hallradius. Bei allen drei genannten Merkmalen, Sprachverständlichkeit, Pegelminderung und Hallradius, profitieren Sport- und Schwimmhallen von einer möglichst kurzen Nachhallzeit, praktisch erreichbar durch schallabsorbierenden Oberflächen.

Die Anforderungen an die Nachhallzeit sind daher auch in den entsprechenden Normen formuliert, konkret in der DIN 18032 [4] bzw. in der dort zitierten DIN 18041 [7]. Der erhebliche Bedarf an Schallabsorbieren in großen Räumen ist ein Grund, um die Nachhallzeitforderung nicht zu „übertreiben“, sondern eine auch wirtschaftliche Balance aus Aufwand und Nutzen anzustreben. Daher werden die Werte für Sport- und Schwimmhallen in Abhängigkeit vom Raumvolumen definiert. In **Bild 7** sind die Anforderungen an die Nachhallzeit in Sport- und Schwimmhallen dargestellt. Dabei stellt sich die Frage nach den Ursprüngen dieser Anforderungen, da sie in anderen Ländern und anderen Quellen durchaus anders formuliert werden. Bild 7 veranschaulicht dies anhand der Werte für Sport- und Schwimmhallen hierzulande und in den Niederlanden sowie im Vergleich mit Empfehlungen einer weiteren Literaturquelle [2]. Die Unterschiede sind deutlich, d. h. die erwähnte Balance zur wirtschaftlichen Umsetzung geeigneter Raumakustik hat offenbar auch Spielraum für Interpretation.

Die Nachhallzeiten in diesem Diagramm sind in Gestalt einer Zahl charakterisiert, die sich aus der Mittelung der frequenzabhängigen Werte ergibt. Diese Frequenzabhängigkeit ist insofern wichtig, da die Nachhallzeit an sich möglichst gleichmäßig bei tiefen und hohen Frequenzen eingestellt werden sollte. Ist dies nicht der Fall, können hörbare Störungen die Folge sein. Es wird jedoch als besonders schwierig angesehen, bei tieffrequentem Schall gute Raumakustik zu planen und zu realisieren, sodass die aktuelle Norm hier größere Toleranzen und damit auch längere Nachhallzeiten zulässt. Eine berechtigte Verringerung der Nachhallzeit sollte in jedem Fall für Personen mit Hörschädigungen oder vergleichbaren Beeinträchtigten erreicht werden, da sie auf bessere Kommunikationsbedingungen besonders angewiesen sind. Eine ähnliche Argumentation gilt auch bei sprachlichem Austausch in einer Fremdsprache.

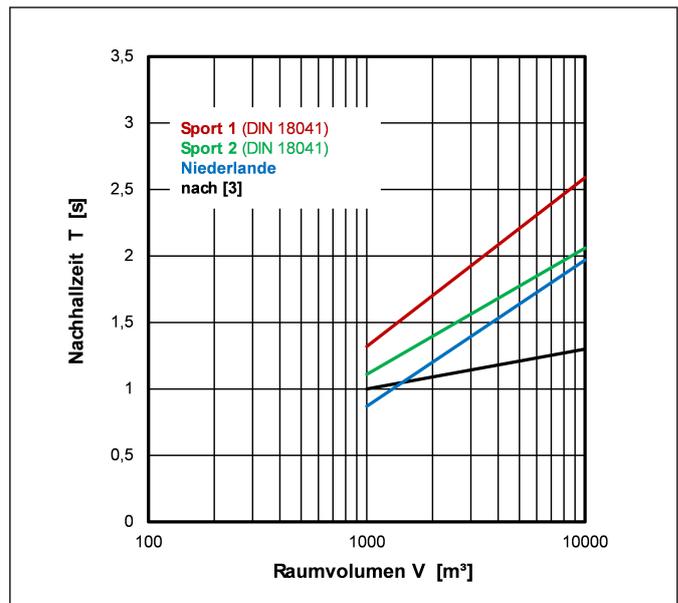


Bild 7 Volumenabhängige Anforderungen an die Nachhallzeit in Sport- und Schwimmhallen nach DIN 18041 [7] im Vergleich zu anderen Normen und Empfehlungen.

Eine Anmerkung sei noch der Unterscheidung nach DIN 18041 [7] zwischen ein- und mehrzügigem Unterrichtsbetrieb gewidmet, die bei Mehrfeld-Sporthallen zu bewerten ist. Dazu geht aus der Befragung der Sportlehrkräfte hervor, dass der einzügige Unterrichtsbetrieb eigentlich nur in Einfeld-Hallen vorkommt. Mehrfeld-Hallen werden beinahe ausschließlich im Parallelunterricht (70 % bei Zweifeld-Hallen und 84 % bei Dreifeld-Hallen) betrieben, sodass hier mit gutem Gewissen immer die Anforderung für mehrzügigen Unterrichtsbetrieb zu verfolgen ist. Dies gilt nach DIN 18032 [4] nicht nur für die gesamte Halle, sondern auch für jeden durch Trennvorhänge getrennten Hallenteil.

Messergebnisse im Bestand

Nach dem Urteil der Sportlehrkräfte und der Darstellung der bisherigen Anforderungen an die Akustik in Sport- und Schwimmhallen werden nachfolgend Messungen in bestehenden Hallen vorgestellt. Auch wenn die Auswahl der erfassten Hallen nach keiner besonderen Regel erfolgte, lässt sich daraus noch nicht der Status einer repräsentativen Feldstudie ableiten. Dennoch geben die ermittelten Daten einen Ausschnitt der Realität wieder und ermöglichen darüber hinaus, einige Hintergründe aufzudecken, methodische Alternativen vorzuschlagen und Anregungen für die künftige Gestaltung darzustellen und zu begründen.

Zu den untersuchten Hallen gehörten Einfeld-, Zweifeld- und Dreifeld-Sporthallen mit Raumvolumina zwischen 3 000 und 10 000 m³ sowie Schwimmhallen mit Raumvolumina zwischen 1 500 und 10 000 m³. Neben der Größe unterscheidet sie die Ausstattung und natürlich auch das Baujahr (Errichtung, Änderung). Das Repertoire an Messungen umfasste mittlere Geräuschpegel (ohne und mit agierenden Personen) und die Nachhallzeit in allen Hallen sowie in Sporthallen zusätzlich Geräusch- und Schwingungspegel (Boden) durch Ballprellen, Nachhallzeiten in getrennten Hallensegmenten und schließlich die Schalldämmung von Trennvorhängen. Die Messungen er-

folgten nach den entsprechenden Normen. Bei einigen in diesem Zusammenhang erstmalig untersuchten Werten wurden geeignete Verfahren bzw. Standards aus anderen Einsatzbereichen verwendet.

Geräuschpegel beim Unterricht ohne Geräte

Die empfundene Lautstärke wurde von den befragten Sportlehrkräften als überwiegend hoch beurteilt und sie hat offenbar einen sehr starken Einfluss auf die Gesamtzufriedenheit mit der Akustik. Daher war die Charakterisierung der für dieses Urteil verantwortlichen Geräuschpegel auch Gegenstand der Messungen im Bestand. Von den vorgefundenen Schallquellen durch Außenlärm und technische Anlagen sind kaum auffällige Geräuschpegel zu berichten. Mit wenigen Ausnahmen bestätigen sich also die als selten berichteten Auswirkungen derartiger Störungen. Dennoch sollte dieses Resümee weder dazu führen, dass diese Quellen lauter sein dürfen, noch sollten die zum Teil geräuschvollen Anlagen zur Lüftung oder Wasseraufbereitung unbehandelt bleiben.

Eine zweifellos wesentliche Schallquelle repräsentieren die Nutzer durch ihre sprachliche und nichtsprachliche Artikulation und Kommunikation während des Unterrichts. Unabhängig vom Inhalt und Informationsgehalt können Menschen ihre Sprache individuell sehr dynamisch einsetzen. Sprachpegel für normale und gehobene Sprechlautstärke reichen von 50 bis 90 dB(A) auf kurze Distanz. Flüstern ist zwar deutlich leiser, aber laute Sprache bis hin zum Schreien auch noch deutlich lauter. In der Nähe einer schreienden Person sind Schallpegel bis 110 dB(A) kurzzeitig erreichbar, sodass z. B. notwendige Anweisungen der Lehrkraft für alle Beteiligten eine hohe Beanspruchung bedeuten. Die Trillerpfeife als „Ersatzstimme“ kann diese Pegel ebenfalls erreichen, ohne die Stimme anzustrengen. Aber es bleibt die erhebliche und in vielen Fällen sogar kritische Hörbeanspruchung, die bei wiederholtem Auftreten trotz der meist kurzen Expositionszeit gesundheitliche Folgen nach sich ziehen kann.

Einige in den Hallen gemessene mittlere Schallpegel (außerhalb des Hallradius) sind in **Bild 8** dargestellt. Zweifellos vorhandene kurzzeitige Spitzenwerte sind daraus nicht erkennbar. Die zugehörigen Summenschallpegel lagen in einem Bereich zwischen ca. 80 und 90 dB(A). Der eingefärbte Bereich soll die Orientierung erleichtern und die wesentlichen Geräuschmerkmale hervorheben. Die bestimmenden Pegel liegen im (Sprach-) Frequenzbereich von 500 bis 2 000 Hz und erreichen dort Werte zwischen 70 und 85 dB(A).

Während der Messungen befanden sich im Mittel ca. 20 bis 25 Personen in den Hallen, die nicht mit Geräten oder dergleichen hantierten, sodass die Geräusche im Wesentlichen auf Stimmen zurückzuführen sind. In den Schwimmhallen waren z. B. zugleich wartende und schwimmende Schüler sowie Lehrkräfte anwesend. Trotz sehr unterschiedlicher Personenzahlen streuen die Geräuschpegel hier relativ gering. Anders in den Sporthallen, in denen die frequenzabhängigen Geräuschpegel trotz ähnlicher Personenzahlen deutlich stärker streuen. Je nach Aktivität, z.B. Einweisung, Erwärmung oder erste Übungen, spielen neben dem Sprachschall z. B. auch Lauf- und Springgeräusche eine Rolle. Insgesamt lässt sich aber keine klare Korrelation zwischen der Personenzahl und dem Summenschallpegel feststellen. Die zu erwartenden Einflussfaktoren auf die Geräuschpegel bei Nutzungsszenarien ohne Geräte sind also das sprachliche und sportliche Agieren der Personen, wobei deren Anzahl von Bedeutung, aber nicht entscheidend ist. Vielmehr stehen

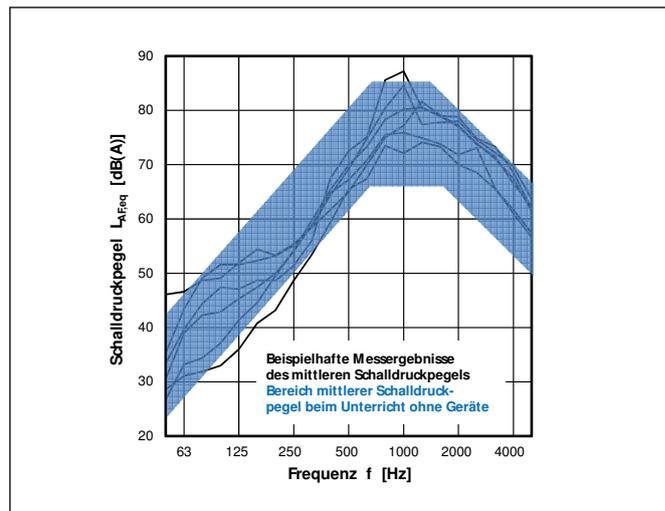


Bild 8 Beispielhafte Ergebnisse der Geräuschmessungen in Sport- und Schwimmhallen ohne Nutzung von Geräten oder dergleichen.

eine gewisse Disziplin in punkto Kommunikation sowie die nahezu unvermeidlichen nichtsprachlichen Nutzungsgeräusche, wie Laufen, Springen, Schwimmen usw. im Vordergrund. Sie führen zu einem Geräuschniveau, das einerseits im Fall von Anweisungen oder Warnhinweisen von den Sportlehrkräften nur mit lauter oder sehr lauter Stimme übertönt werden kann. Andererseits können sich auch Schüler im Fall von Fragen oder Rückmeldungen nur mit entsprechender Stimmgewalt Gehör verschaffen.

Geräuschpegel bei Nutzung von Sportgeräten

Angesichts der Vielzahl von Sportgeräten, deren Nutzung mit Geräuschen verbunden ist, wurde eine Fokussierung auf die sicher besonders auffälligen Ballsportarten vorgenommen. Dennoch sei hier festgehalten, dass eine ganze Reihe von anderen Geräten sicher noch einen Gestaltungsspielraum aufweisen, um Funktionalität und Sicherheit mit einer verringerten Geräuschanfälligkeit zu kombinieren. Jede dieser Maßnahmen zur Verringerung der Geräuschbelastung ist wertvoll und willkommen.

Zur messtechnischen Untersuchung der Geräusche, die durch Verwendung von Bällen entstehen, galt es zunächst ein stabiles und reproduzierbares Verfahren heranzuziehen. Dazu gehört eine entsprechende, möglichst genormte Quelle, eine Prozedur zu deren Verwendung sowie die eigentliche Messgröße. Natürlich sollte das Verfahren auch vor Ort praktikabel sein und einen ganz wesentlichen Einflussfaktor einbeziehen, den Boden in Sporthallen. Aus diesen Erwägungen heraus fiel die Wahl auf den sog. „Japanischen Gummiball“. Er besteht aus einer Hohlkugel mit einem Durchmesser von 180 mm und einem Gewicht von 2,5 kg, hat also etwa den Umfang eines Handballs und ist noch deutlich schwerer als ein Basketball. Die Abmessungen und seine akustisch maßgebenden Eigenschaften, wie z. B. Material und Rückprallkoeffizient, sind in der DIN EN ISO 10140-5 [8] vorgegeben. Beim Anregungsvorgang trifft der Ball aus einer Fallhöhe von 100 cm auf den Boden, um so in Wohngebäuden die Erzeugung von Gehgeräuschen oder Trittschall zu simulieren. In Sporthallen ermöglicht diese Methode hingegen die genormte Simulation von Lauf-, Spring- und insbesondere von Prallgeräuschen, sodass die akustische Reaktion von Böden oder Wänden beschrieben bzw. verglichen werden kann. **Bild 9** zeigt

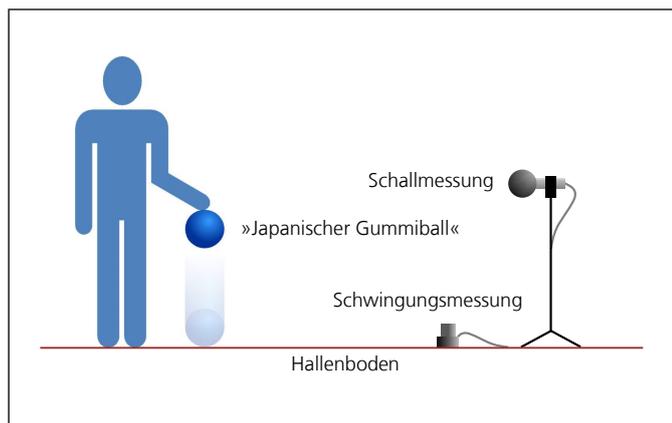


Bild 9 Schall- und Schwingungsmessungen bei Anregung des Hallenbodens mit dem „Japanischen Gummiball“.

vereinfacht den Aufbau der Messung, wobei der Boden mit dem Ball bei einer (Prell-) Frequenz von ca. 1 bis 2 Hz angeregt wird.

Auch wenn der „Japanische Gummiball“ keinem der praktisch verwendeten Bälle genau entspricht, besteht sein großer Vorteil in den exakt genormten Eigenschaften und seiner ähnlichen Verwendbarkeit im Sinne der Geräuschanregung. So lassen sich verschiedene Konstellationen und (Boden-)Konstruktionen schall- und schwingungstechnisch realitätsnah vergleichen. Beispielhaft ist dieser Vergleich in **Bild 10** enthalten, wobei erneut der eingefärbte Bereich eine Orientierung bezüglich der wesentlichen Geräuschmerkmale gibt. Die hier gezeigten Geräuschpegel wurden in 5 m Entfernung zum Anregungsort gemessen, wobei auch Werte in größerer Distanz vorliegen, die jedoch nur in den wenigsten Hallen deutlich geringer ausfielen (Stichwort: Hallradius).

Die Pegelwerte schwanken nur gering im Frequenzbereich und die jeweiligen Summenschallpegel liegen zwischen 60 und 67 dB(A). Auch wenn diese Unterschiede keineswegs vernachlässigbar sind, sei doch auf ein auffälliges Messergebnis (beschriftete Kurve in Bild 10) besonders hingewiesen. In dieser Halle bewerteten die Sportlehrkräfte den Boden als „auffällig leiser“ im Vergleich zu anderen, ihnen bekannten Sporthallen. Der akustisch relevante Unterschied stellt sich in Form deutlich niedrigerer Pegel bei tiefen Frequenzen unterhalb von 125 Hz dar. Dieses reduzierte Dröhnen wird offenbar wahrgenommen und positiv bewertet. Leider liegen zu den vorgefundenen Böden in den Sporthallen keine weiteren Daten vor, sodass eine genauere Auswertung hier (noch) nicht möglich ist.

Dass sich diese Analyse und die Berücksichtigung der Ergebnisse lohnen, illustriert die Einordnung der Geräuschpegel mit dem „Japanischen Gummiball“ in Bezug auf die Geräuschmessungen ohne Nutzung von Geräten. In **Bild 11** werden dazu die beiden eingefärbten Pegelbereiche aus Bild 8 und Bild 10 gemeinsam dargestellt. Um den Vergleich realistischer zu machen, wurden dazu die Geräusche mit einem „Japanischen Gummiball“ auf den Fall hochgerechnet, dass ca. 20 Personen einen solchen Ball gleichzeitig prellen lassen. Die dadurch entstehenden Summenschallpegel von bis zu 80 dB(A) liegen zwar noch deutlich unter den Spitzenwerten der gemessenen Sprach-, Lauf- und Springschallpegel, bei Frequenzen unter 250 Hz dominieren jedoch die prellenden Bälle das resultierende Gesamtgeräusch. Neben dem offenbar vorhandenen Störpotenzial dieser letztlich breitbandig lauten Geräusche lassen sich aus diesem Ergebnis

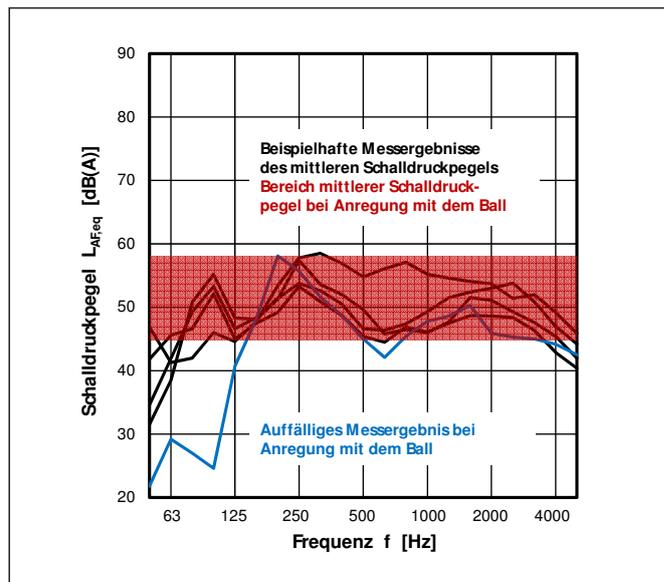


Bild 10 Beispielhafte Ergebnisse der Geräuschmessungen mit einem »Japanischen Gummiball« in verschiedenen Sporthallen ohne sonstige Nutzung.

auch Schlüsse für die bauliche Gestaltung ziehen. Abgesehen von dem willkommenen Versuch, die Geräuschquellen an sich zu beruhigen, sollte z. B. die Dämpfung des Raumschalls ebenfalls im gesamten Hörfrequenzbereich erfolgen.

Natürlich haben dieser Vergleich und das Zwischenresümee eine begrenzte Aussagekraft für die Praxis, da die einzelnen Geräuschquellen noch genauer spezifiziert werden müssen. Der von einem prellenden „Japanischen Gummiball“ erzeugte Schall wird sicher nicht ohne Weiteres repräsentativ für alle anderen Bälle und die je nach Nutzung damit verbundenen Geräusche sein. Allerdings sind die Ergebnisse bezüglich der

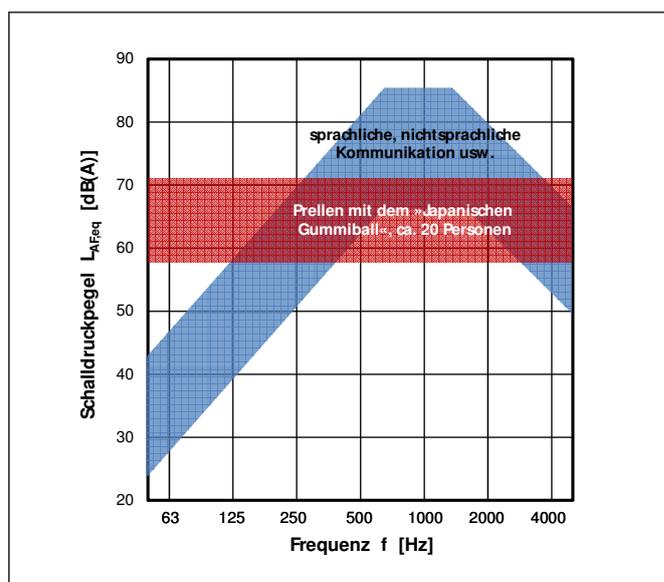


Bild 11 Beispielhafte Ergebnisse der Geräuschmessungen ohne Nutzung von Geräten im Vergleich mit dem „Japanischen Gummiball“, hochgerechnet auf 20 Personen mit Bällen, in den untersuchten Sporthallen.

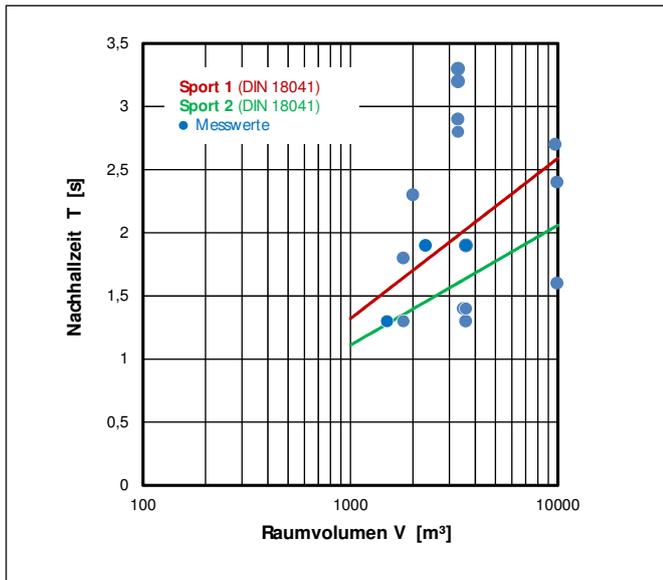


Bild 12 Vergleich von Messwerten (Punkte) und volumenabhängigen Anforderungen an die Nachhallzeit in Sport- und Schwimmhallen nach DIN 18041 [7].

Geräuschanfälligkeit von Sportböden evident und zeigen ein Schallminderungspotenzial, das sich gegebenenfalls auch auf Lauf- und Springgeräusche übertragen lässt.

Schließlich sei noch erwähnt, dass die hier untersuchten Geräuschquellen nur einen Teil der beim Sportunterricht möglichen Schallerzeuger einschließen. Auch die Musikdarbietung kann problematisch sein, wenn sie trotz eines beachtlichen Umgebungsgereuschs noch eine hörbare akustische Orientierung bieten soll. Durch das erforderliche Übertönen können sich die einzelnen Geräuschquellen gegenseitig auf immer höhere Pegel treiben, bis schlussendlich ein sprachlicher Austausch, z. B. ein Hinweis oder eine Anweisung, nur noch durch Schreien möglich ist. Ähnliche akustische „Höhepunkte“ sind mit wettkampfähnlichen Situationen im Unterricht verbunden, die deshalb aber nicht aus dem Programm gestrichen werden können. Insgesamt wird deutlich, dass angesichts der vielen geräuschintensiven Szenarien akustischer Gestaltungsbedarf besteht, der geeignete bauliche, organisatorische und didaktische Konzepte einschließt.

Nachhallzeiten

Die subjektiv empfundene Halligkeit in Sport- und Schwimmhallen erreichte in den Befragungen ein mittleres bis hohes Niveau. In früheren Studien zu Unterrichtsräumen erwies sich die Urteilsfähigkeit durchaus als belastbar. Die subjektive Einschätzung ergab klare Bezüge zu Messergebnissen der Nachhallzeiten, wobei sich ein Unterschied von ca. 0,3 s (im Bereich zwischen 1 und 2 s Nachhallzeit) als wahrnehmbar und wirksam zeigte. Im Zuge der hier durchgeführten Befragung der Sportlehrkräfte war die Halligkeit allein kein „starker“ Einflussfaktor auf die Gesamtzufriedenheit, sondern vielmehr Teil anderer Beurteilungsparameter. Da sich die Raumdämpfung auch auf das Schallfeld im Raum auswirkt, ist sie aber natürlich essenziell und wurde auch in verschiedenen Hallen gemessen.

Einen ersten Überblick bietet **Bild 12** durch den Vergleich von Messwerten mit den volumenabhängigen Anforderungen nach DIN 18041 [7]. Das Ergebnis ist ein sehr unterschiedliches

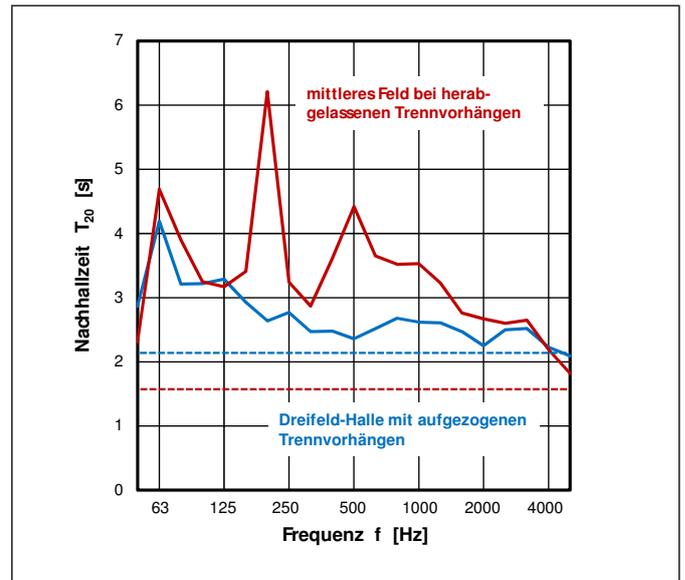


Bild 13 Beispielhafter Vergleich der gemessenen Nachhallzeiten in einer Dreifeld-Sporthalle mit aufgezogenen Trennvorhängen und im mittleren Feld bei herabgelassenen Trennvorhängen (die jeweiligen Anforderungen sind gestrichelt dargestellt).

Niveau in den Hallen, an dem einerseits die an sich realisierbare Raumdämpfung bei gleicher Hallengröße sichtbar wird. Sport- und Schwimmhallen mit einer kurzen Nachhallzeit sind also kein unlösbares Problem und selbst die deutliche Unterschreitung der Anforderung nach Norm findet offenbar Befürworter und Planer, die dies auch praktisch umsetzen können. Andererseits gibt es Hallen, in denen das Ruhe stiftende Potenzial von Schallabsorbern bei Weitem noch nicht ausgeschöpft ist.

Auch wenn die streuenden Messwerte eine bestimmte Verteilung von guten und weniger guten Hallen suggerieren mögen, eine statistisch belastbare Aussage zur Situation in hiesigen Sport- und Schwimmhallen lässt sich daraus nicht ableiten. Es ist jedoch hervorzuheben, dass alle akustisch unzureichend ausgestatteten Hallen ohne Ausnahme von einer Überarbeitung profitieren werden. Abgesehen von den leider zu häufig zu langen Nachhallzeiten wurden keine besonderen bzw. wiederkehrenden frequenzabhängigen Merkmale oder dergleichen festgestellt. Breitbandige Raumdämpfung ist möglich und wird sinnvollerweise auch praktiziert.

Eine Auffälligkeit lässt sich jedoch bei Mehrfeld-Sporthallen im mittleren Feld bei herabgelassenen Trennvorhängen feststellen. Wiederholt wurden dort längere Nachhallzeiten gemessen als in der viel größeren Halle mit aufgezogenen Trennvorhängen. In **Bild 13** ist ein beispielhafter Vergleich dargestellt mit den zugehörigen volumenbezogenen Anforderungen (gestrichelte Linien). Die Nachhallzeit im Mittelfeld ist in einem breiten Frequenzbereich zum Teil deutlich länger, sodass die akustischen Bedingungen dort spürbar schlechter sind. Auf besonders störende Effekte weisen die Spitzenwerte der Nachhallzeit z. B. bei ca. 200 Hz hin. Sog. „Flatterechos“ sind hier offenbar sehr ausgeprägt, sie steigern die Lärmanfälligkeit und erschweren die Kommunikation. Dieses Ergebnis passt zur Einschätzung der Befragten, die die Akustik im mittleren Feld als am schlechtesten bewerten.

In diesen praktisch sehr häufigen Fällen ist offenbar eine schallabsorbierende Decke allein nicht ausreichend. Theore-

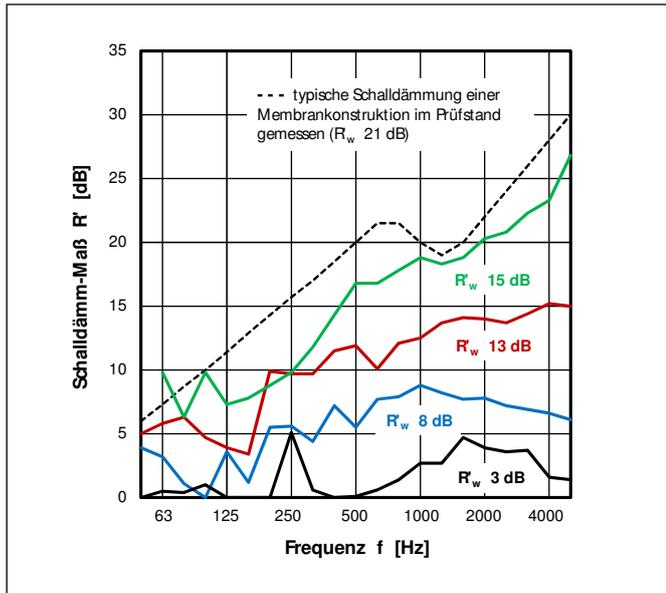


Bild 14 Beispiele gemessener Schalldämm-Maße von Trennvorhängen in Sporthallen im Vergleich zur Schalldämmung im Prüfstand (gestrichelt dargestellt).

tisch sollte sich in einem Drittel der Halle (Drittel des Volumens und der schallabsorbierende Deckenfläche) die gleiche Nachhallzeit einstellen. Selbst dann wäre dieser Wert noch ca. 1 s länger als die Anforderung nach Norm für die entsprechende Raumgröße des mittleren Feldes. Weisen zur Regulierung der Raumakustik aber z. B. auch die Stirnseiten, z. B. die dortigen Prallwände, der Halle Schallabsorption auf, kann das mittlere Feld bei Teilung der Halle nicht mehr davon profitieren. Die großflächigen Trennvorhänge reflektieren trotz ihrer leichten Bauweise so viel Schall, dass sich zwischen den parallelen Flächen sogar noch die genannten „Flatterechos“ ausprägen können.

Der offenkundige Ausweg liegt im schallabsorbierenden Potenzial der Trennvorhänge. Technisch sind Optionen von anderen Membranwerkstoffen bekannt und die Höhe der Schallabsorption muss sicher keine Rekordwerte erreichen, da die Flächen recht groß sind. Ein beidseitiger und breitbandiger Schallabsorptionsgrad von ca. 0,3 bis 0,5 wird die Akustik dann nicht nur im mittleren Feld spürbar verbessern.

Schallschutz von Trennvorhängen

Auf die schalldämmende Wirkung von Trennvorhängen wurde bereits eingegangen. Das aktuell geforderte Mindest-Schalldämm-Maß von 18 dB stellt zweifellos eine hilfreiche Größe dar, um die wechselseitige Geräuschübertragung zwischen gleichzeitig genutzten Feldern einer Sporthalle sinnvoll zu reduzieren. Die Praxishinweise in der Norm und die Berechnungen deuten aber bereits an, dass zur tatsächlichen Umsetzung dieser Schallschutzwirkung einige wesentliche Details zu beachten sind. Die Messergebnisse in bestehenden Hallen in **Bild 14** zeigen jedoch, dass diese Details nur teilweise beachtet werden. Ausgehend von der potenziellen Wirksamkeit, d. h. der im Prüfstand gemessenen Schalldämmung einer zweilagigen Membrankonstruktion mit einem inneren Lufthohlraum, liegen die praktisch erzielten Schalldämmwerte zum Teil erheblich darunter.

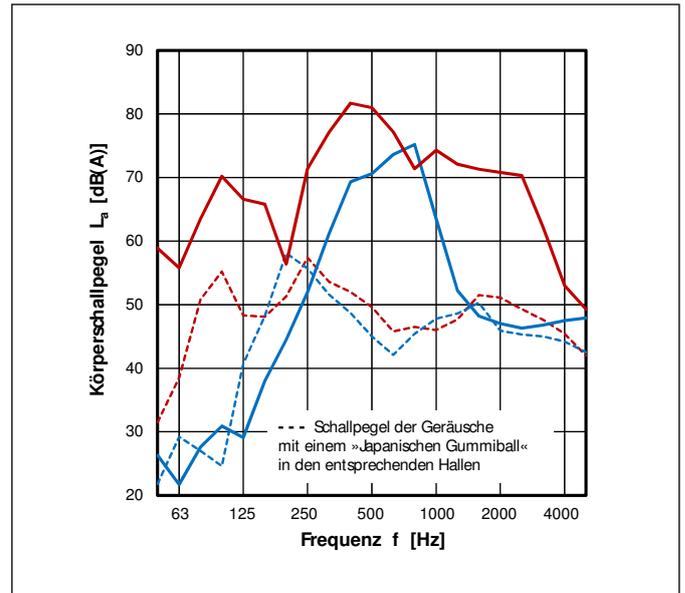


Bild 15 Beispiele gemessener Schwingungs- bzw. Körperschallpegel in 4 m Entfernung vom Anregungsort mit dem „Japanischen Gummiball“ in zwei unterschiedlichen Hallen (zum Vergleich sind gestrichelt die zugehörigen Messwerte der Geräuschmessungen dargestellt).

Das geforderte Schalldämm-Maß von 18 dB konnte zumindest in den untersuchten Hallen nicht festgestellt werden. Die eingebauten Trennvorhänge erreichten mitunter ein kaum noch spürbares Schallschutzniveau. Großflächige Öffnungen in Dach- oder Tribünenbereichen, umlaufende nicht abgedeckte Fugen sowie Schlupföffnungen sind wiederkehrende Gründe, die allerdings (leider) keinen Neuheitswert mehr haben. Im Vergleich dazu lässt sich bislang zur Schallübertragung durch die oftmals schwingfähigen Sportböden noch nicht viel sagen. Grundsätzlich stellen auch sie einen sog. akustischen Nebenweg dar, über den sich Schall „an den Trennvorhängen vorbei“ zwischen den Feldern ausbreiten kann. Als gesichert gilt jedoch, dass heute Trennvorhänge mit mehr als 22 dB Schalldämmung und sogar mit beachtlicher Schallabsorption verfügbar sind. Das Verbesserungspotenzial in den Sporthallen ist also insbesondere in der konkreten baulichen Umsetzung zu finden, die auch in der zugehörigen Norm noch mehr Gewicht erhalten sollte.

Schall- und Schwingungsverhalten von Böden

Die akustische Bedeutung der Böden in Sporthallen hat zumindest zwei Aspekte: Erstens sind es die Geräuschpegel infolge Anregung der Böden durch Laufen, Springen oder Bälle. Zweitens übertragen die Böden, einmal angeregt, die Schwingungen bzw. den sog. Körperschall entlang der Halle und können so die Schallschutzwirkung von Trennvorhängen beeinträchtigen. Beide Aspekte wirken sich immer in der betroffenen Sporthalle aus, sie können aber auch (horizontal und vertikal) benachbarte Räume im Schulgebäude betreffen.

Während die Geräuschenstehung bereits behandelt wurde, soll hier noch der Bezug zur Schwingungsneigung und -ausbreitung hergestellt werden. Dazu dient beispielhaft der Vergleich in **Bild 15** der gemessenen mittleren Schwingungs- bzw. Körperschallpegel in 4 m Entfernung vom Anregungsort mit dem „Japanischen Gummiball“ in zwei unterschiedlichen Hallen.

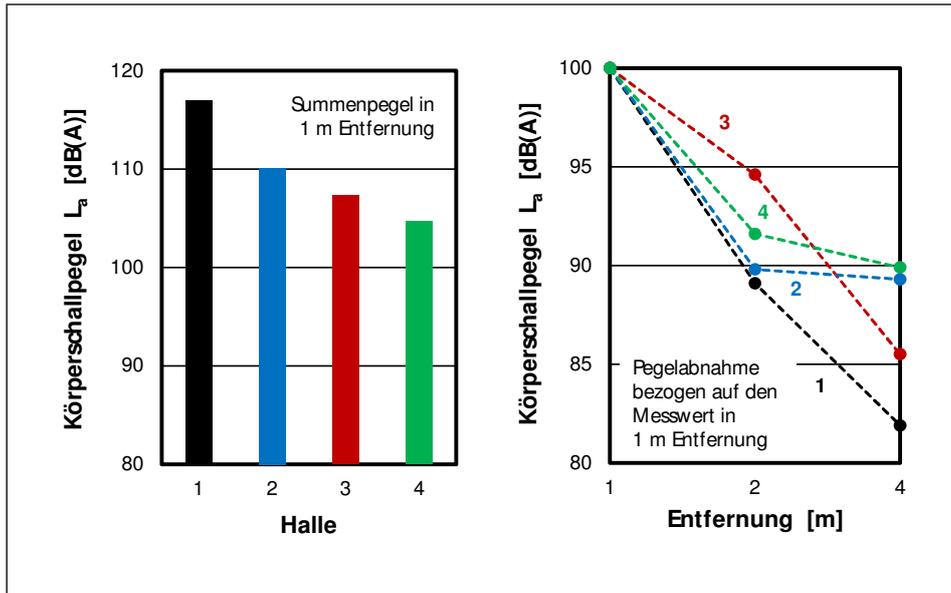


Bild 16 links: Beispiele gemessener Summenpegel, Schwingungs- bzw. Körperschallpegel in 1 m Entfernung vom Anregungsort mit dem „Japanischen Gummiball“ in fünf unterschiedlichen Hallen; rechts: Gemessene Abnahme der Körperschallpegel bei zunehmender Entfernung vom Anregungsort mit dem „Japanischen Gummiball“ in fünf unterschiedlichen Hallen (die Anfangswerte sind auf 100 dB normiert).

Die deutlich unterschiedliche Reaktion der Bodensysteme auf die Anregung ist klar erkennbar. Insbesondere bei tiefen Frequenzen betragen die Differenzen bis zu 40 dB. Dies muss sich natürlich auch auf die Geräuschabstrahlung auswirken. Zur Orientierung bezüglich der zugehörigen Messwerte der Geräuschmessungen sind daher diese (trotz anderer Größe und anderem Hintergrund) gestrichelt im selben Diagramm dargestellt. Die Differenzen der Schallpegel bei tiefen Frequenzen sind zwar nicht mehr ganz so hoch, aber dennoch deutlich messbar und zweifellos auch wahrnehmbar. Während zu den Geräuschen auch der Ball, d. h. seine ebenfalls schwingende Oberfläche beiträgt, sind die Schwingungs- bzw. Körperschallpegel für das jeweilige Bodensystem charakteristisch. Natürlich sind diese Pegel in unmittelbarer Nähe des Anregungsorts am höchsten, wie die Summenpegel in **Bild 16** (links) zeigen. Dieser Vergleich ermöglicht ebenfalls eine Bewertung der akustisch relevanten Schwingungsneigung unterschiedlicher Böden. Aus diesem Vergleich ließen sich bei fortgeführter und genauerer Analyse Schlüsse zur akustischen Gestaltung von Bodensystemen ziehen. Im Moment deutet sich zumindest ein bemerkenswertes Minderungspotenzial an.

Mit Bezug auf den zweitgenannten Aspekt, die Ausbreitungsfähigkeit von angeregtem Körperschall entlang des Bodensystems gibt Bild 16 (rechts) erste Anhaltspunkte. Dort ist die Abnahme des Körperschallpegels mit der Entfernung zum Anregungsort für die gleichen Hallenböden (Bild 16, links) dargestellt. Danach reagiert z. B. der Boden in Halle 1 besonders stark auf die Anregung mit dem „Japanischen Gummiball“, aber der Körperschallpegel klingt auch relativ schnell und deutlich ab. In 4 m Entfernung reduziert sich die Amplitude um fast 20 dB. Sie liegt dort fast gleichauf mit dem ermittelten Körperschallpegel des Bodens in Halle 4, der in unmittelbarer Nähe zum Anregungsort wesentlich schwächer angeregt werden kann. Allein diese kurze Interpretation der unterschiedlichen Schwingungsanregung und -ausbreitung der in bestehenden Hallen vorgefundenen Bodensysteme verdeutlicht den Nachholbedarf in punkto schall- und schwingungstechnische Erfassung und Modifikation. Im Sinne einer ganzheitlich verbesserten Akustik in Sporthallen wären solche Schritte erforderlich und offenbar lohnenswert.

Zusammenfassung

In mehr als 30 000 Sport- und Schwimmhallen hierzulande sind engagierte Sportlehrkräfte mit ihren Schülern tagtäglich auf gute Lehr- und Lernbedingungen angewiesen. Wie die anderen Räumlichkeiten in Schulgebäuden auch, müssen die Hallen Anforderungen an die akustische Qualität erfüllen, um nachhaltigen Unterricht zu ermöglichen. Eine erträgliche Lautstärke ist für störungsfreie Kommunikation und Konzentration unabdingbar, nur so lassen sich pädagogische Konzepte praktisch umsetzen. Es geht aber auch um die Gesundheit und Leistungsfähigkeit der Sportlehrer, z. B. um eine möglichst geringe Hör- und Sprechanstrengung. Nicht zuletzt ist die Sicherheit und Gesundheit der Schüler von den akustischen Raumbedingungen betroffen. Beim Sport- und Schwimmunterricht müssen Hinweise und Warnungen zuallererst hörbar sein, damit sie verstanden und z. B. Bewegungsabläufe korrigiert oder Gefahrensituationen erkannt bzw. vermieden werden können.

Angesichts dieser Ansprüche sollte der guten Akustik in Sport- und Schwimmhallen eine hohe Priorität eingeräumt werden. Die Praxis zeigt jedoch, dass dies bei weitem noch nicht der Fall ist. Sowohl die Beurteilung der akustischen Arbeitsbedingungen durch die Sportlehrkräfte als auch die gemessene Situation vor Ort belegen erhebliche Defizite. Es ist zu laut, die akustischen Störungen sind lästig und mit erheblichen Beanspruchungen verbunden. Diese und andere Indikatoren begründen die vielerorts große Unzufriedenheit mit den akustischen Bedingungen in Sport- und Schwimmhallen. Dennoch werden die heute vorhandenen bau- und raumakustischen Forderungen oftmals nicht eingehalten. Selbst bei Neubauten und Modernisierungsobjekten sind Investitionen in geeignete Akustik keineswegs eine Selbstverständlichkeit. Angesichts der Lebensdauer einer Sport- oder Schwimmhalle von 50 Jahren und mehr müssen dort Generationen von Schülern, Sportlehrkräften und Sportlern eine schlechte Akustik ertragen.

Dabei geht es auch besser und die Lösungsangebote haben einen beachtlichen Umfang. Der Verweis auf akustischen Bestandsschutz kann jedenfalls nicht mit fehlendem Wissen oder fehlenden Lösungsmöglichkeiten begründet werden, das beweisen die guten Beispiele. Allerdings besteht auch noch Informations-, Entwicklungs- und Forschungsbedarf. Wenn z. B. Stan-

dards klarer und verbindlicher werden, lassen sich auch höhere Anforderungen umsetzen. In der Praxis hat sich vielfach eine wirtschaftlich und gestalterisch ausgewogene Balance von (schall-) technischen und anderen baulichen bzw. bauphysikalischen Maßnahmen als vorteilhaft erwiesen. Unabhängig vom Anlass des Neubaus oder der Sanierung ist insbesondere eine ganzheitliche, partizipative Planung von Anfang an die wesentliche Voraussetzung für das Gelingen dieser Balance. Nicht zuletzt bietet auch der bewusste und informierte Umgang mit Sport- und Schwimmhallen Potenzial für eine Reduzierung akustischer Belastungen oder Belästigungen. Der Austausch zwischen den Akteuren lohnt sich also in mehrfacher Hinsicht. Natürlich ist gute Akustik nicht kostenlos, sie ist aber wertvoll, da alle Betroffenen und Beteiligten spürbar und messbar von ihr profitieren. Daher werden sich die Initiatoren und Partner der Projektinitiative „Lauter Sport in leisen Hallen“ auch künftig der akustischen Gestaltung von Sport- und Schwimmhallen widmen. Unterstützung ist dabei jederzeit und herzlich willkommen.

Prof. Dr.-Ing. **Philip Leistner**, Dipl.-Psych. **Maria Kittel**, Dr. **Andreas Liebl**, Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, Stuttgart.

Literatur

- [1] ISO/TS 15666: Beurteilung der „Lästigkeit“ von Geräuschquellen. Genf: International Organization for Standardization 2003.
- [2] *Fasold, W.* et.al.: Bauphysikalische Entwurfslehre. Bau- und Raumakustik. Berlin: Verlag für Bauwesen 1987.
- [3] 18. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes, Sportanlagenlärmschutzverordnung (18. BImSchV) vom 18. Juli 1991. BGBl. I, S. 1588, 1790, zul. geänd. durch Art. 1 der Verordnung vom 9. Februar 2006. BGBl. I, S. 324.
- [4] DIN 18032: Sporthallen – Hallen und Räume für Sport und Mehrzwecknutzung. Teil 1: Grundsätze für die Planung, Teil 2 (V): Sportböden, Anforderungen, Prüfungen, Teil 4: Doppelschalige Trennvorhänge. Berlin: Beuth Verlag 2014, 2001, 2002.
- [5] DIN 4109: Schallschutz im Hochbau, Anforderungen und Nachweise. Berlin: Beuth Verlag 1989.
- [6] Richtlinien für den Bäderbau. Hrsg.: Koordinierungskreis Bäder. 5. Aufl. Essen: Deutsche Gesellschaft für das Badewesen 2013.
- [7] DIN 18041: Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen. Berlin: Beuth Verlag 2004.
- [8] DIN EN ISO 10140-5: Akustik – Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand, Teil 5: Anforderungen an Prüfstände und Prüfeinrichtungen. Berlin: Beuth Verlag 2010.

DANKSAGUNG

Die Autoren danken allen am Projekt Beteiligten, den Sportlehrkräften und Schulen, dem Deutschen Sportlehrerverband und der Unfallkasse Baden-Württemberg sowie den Partnerunternehmen für ihre wertvolle und engagierte Unterstützung.