

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Forschung, Entwicklung,
Demonstration und Beratung auf
den Gebieten der Bauphysik

Zulassung neuer Baustoffe,
Bauteile und Bauarten

Bauaufsichtlich anerkannte Stelle für
Prüfung, Überwachung und Zertifizierung

Institutsleitung

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Sedlbauer

IBP-Bericht B-BA 2/2018

Bauteile und Bausysteme für die akustische Gestaltung von Sporthallen

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung BBSR gefördert
Aktenzeichen:

SWD-10.08.18.7-16.08

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichts liegt beim Autor

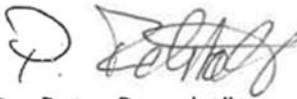
Der Bericht umfasst
78 Seiten Text
65 Bilder

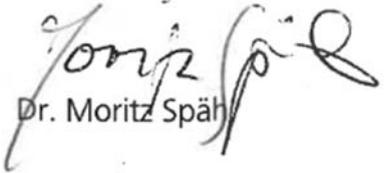
Dr. Moritz Späh
Prof. Dr. Philip Leistner
Dipl. Phys. Xiaoru Zhou

Stuttgart, 15.05.2018

Institutsleiter

Univ.-Prof. Dr.-Ing.
P. Leistner

Abteilungsleiter

Dr. Peter Brandstätter

Bearbeiter

Dr. Moritz Späh

Inhalt

1	Einleitung und Forschungsziel	5
1.1	Forschungsziel	5
1.2	Überblick über diesen Bericht	6
2	Grundlagen und Anforderungen	6
2.1	Nachhallzeit in Sporthallen	6
2.1.1	Anforderungen an die Nachhallzeit	7
2.2	Schallpegel in der Sporthalle	8
2.2.1	Anforderungen an die Schallpegel in Sporthallen	9
2.3	Schallabsorption in Sporthallen	10
2.3.1	Anforderungen an die Schallabsorption von Oberflächen und Teilsystemen	11
2.3.2	Planung mit frequenzabhängiger Schallabsorption	12
2.4	Schalldämmung	12
2.4.1	Anforderungen an die Schalldämmung von Trennvorhängen	12
3	Vorgehensweise und Planungsgrundlagen	13
4	Untersuchungen an den Raummodellen	16
4.1	Dreifeld-Sporthalle gesamt	16
4.1.1	Sporthalle im Rohbau	17
4.1.2	Sporthalle mit Standardausbau	18
4.1.3	Sporthalle mit hoch absorbierender Prallwand	20
4.1.4	Sporthalle mit absorbierender Decke	22
4.1.5	Sporthalle mit absorbierender Decke und hoch absorbierender Prallwand	24
4.1.6	Fazit für die Ausstattungsvarianten der Dreifeldhalle	25
4.2	Dreifeldhalle in Teilhallen unterteilt	26
4.2.1	Teilhallen mit hoch absorbierender Prallwand	26
4.2.2	Teilhallen mit hoch absorbierender Prallwand und absorbierender Decke	28
4.2.3	Fazit für die Ausstattung der Sporthalle bei Teilung in drei Hallenteilen	29
4.3	Einfeld-Sporthalle	30
4.3.1	Einfeldhalle im Ausgangszustand	31
4.3.2	Einfeldhalle mit hoch absorbierender Prallwand	31
4.3.3	Einfeldhalle mit absorbierender Decke	34
4.3.4	Fazit für die Ausstattung der Einfeld-Sporthalle	35
4.4	Zweifeld-Sporthalle	36
5	Untersuchungen an Teilsystemen	36

5.1	Schallabsorption im Kundt'schen Rohr	36
5.2	Schallabsorption im Hallraum	36
5.3	Prallwände	37
5.3.1	Messergebnisse Schallabsorption im Kundt'schen Rohr	37
5.3.2	Messergebnisse Schallabsorption im Hallraum	49
5.3.3	Messergebnisse Schallpegel im Hallraum	53
5.4	Geräteraumtore	55
5.4.1	Messergebnisse Schallabsorption im Hallraum	55
5.5	Tribünen und Ausziehtribünen	60
5.6	Trennvorhänge	60
5.6.1	Schalldämmung von Trennvorhängen	61
5.6.2	Flankenübertragung bei Einsatz von Trennvorhängen	62
5.6.3	Schallabsorption von Trennvorhängen	72
5.6.4	Nebenwegs-Übertragung bei Trennvorhängen	74
6	Zusammenfassung und Ausblick	75

Danksagung

Die Autoren danken dem Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung BBSR für die Förderung und den Projektpartnern Hamberger Flooring GmbH & Co. KG, Top-Sport GmbH und Trenomat GmbH & Co. KG für ihre Projektunterstützung sowie für die konstruktive Mitarbeit im Rahmen des Projekts.

1 Einleitung und Forschungsziel

In mehr als 30.000 Sporthallen sind Sportlehrer und Schüler tagtäglich auf gute Lehr- und Lernbedingungen angewiesen. Für diesen Unterricht, aber auch für den Vereinssport ist eine akustische Mindestqualität unerlässlich, um die Gesundheit der Nutzer zu erhalten, Kommunikation untereinander zu ermöglichen und nicht zuletzt die Sicherheit der Schüler und Sportler zu gewährleisten. Eine Studie des Fraunhofer IBP [1] belegt klar die schlechte Akustik in vielen Sporthallen. Die Unzufriedenheit der bundesweit befragten Lehrer ist groß und Messungen vor Ort konkretisieren die spürbaren Defizite. Deren Folgen lassen sich mit pädagogischen Mitteln nur geringfügig reduzieren. Verbesserungsbedarf und -potential besteht hingegen bei baulichen und technischen Maßnahmen. Beim Neubau und insbesondere im Bestand werden die vorhandenen bau- und raumakustischen Empfehlungen kaum berücksichtigt, so dass, bei einer Lebensdauer der Hallen von 50 Jahren und mehr, Generationen von Schülern, Sportlehrern und Freizeitsportlern unter schlechter Akustik leiden. Mit diesem Projekt sollen nun die schon seit Jahren bestehenden Anforderungen an die Akustik in Sporthallen analysiert und so aufbereitet werden, dass sie auch Nicht-Akustikern einfach und verständlich klar gemacht werden können. Weiterhin sollen damit alle Bau-Beteiligten über die Problematik informiert und sie über die Folgen der Nichtbeachtung sensibilisiert werden. Mit einem Planungsleitfaden sollen die wesentlichen Ergebnisse so zusammengefasst werden, sodass alle Baubeteiligten einen Überblick erhalten, wie grundsätzlich die Akustik in Sporthallen in den Griff zu bekommen ist und welche Mindestmaßnahmen zu ergreifen sind, um gesunde und nachhaltige akustische Bedingungen in Sporthallen zu erreichen. Nicht zuletzt sollen auch die Hersteller von akustisch wirksamen Einbauten und Teilsystemen unterstützt werden, so dass Investitionen in Sporthallen nachhaltiger und zukunftsfähiger werden.

1.1 Forschungsziel

Das Vorhaben zielt daher auf die Analyse der Situation in typischen Sporthallen, die Entwicklung, Weiterentwicklung und Erprobung von Teilsystemen und Bauteilen, die in der vorab durchgeführten Praxisstudie als besonders relevant identifiziert wurden: leise Sportböden, effiziente Trennvorhänge und schalldämpfende Prallwände und Wandauskleidungen sowie Deckenverkleidungen. Es liegen klare Ansätze vor, die auch in Normung und Planung einfließen können. Neue Systeme müssen eine vielfältige Funktionalität über akustische Fragen hinaus erfüllen sowie nachhaltige und wirtschaftliche Produktlösungen ermöglichen. Forschungsziel ist die Analyse der Anforderungen bezogen auf die Teilsysteme, so dass klar und eindeutig festgelegt werden kann, welche Eigenschaften die Teilsysteme aufweisen müssen, um eine ausreichend gute Akustik in Sporthallen zu erreichen. Abgeleitet von den Anforderungen an die Teilsysteme können dann bestehende Konstruktionen von Teilsystemen analysiert werden, so dass Verbesserungsmaßnahmen daran aufgezeigt werden können. Ergebnis des Forschungsvorhabens soll unter anderem der Leitfaden für alle Baubeteiligten sein, der einfach und anschaulich die notwendigen Maßnahmen und Eigenschaften der in Sporthallen verwendeten Teilsysteme aufzeigt, um die Anforderungen an die Akustik in Sporthallen zu erreichen. Dieser Leitfaden

wurde ausdrücklich auch von den beteiligten Projektpartnern angeregt und gewünscht. Ein wichtiges Ziel ist die Verbreitung dieser Information z.B. durch die Projektpartner, um alle am Bau beteiligten über die Problematik und die grundsätzlichen Lösungsmöglichkeiten zu informieren.

1.2 Überblick über diesen Bericht

Zunächst werden die wichtigsten akustischen Grundlagen und Anforderungen an Sporthallen dargelegt sowie die Vorgehensweise beschrieben. Es folgt die Vorstellung der Untersuchungen an Hallenmodellen und an einzelnen Teilsystemen in Sporthallen. Abschließend werden die Ergebnisse und Erkenntnisse des Forschungsvorhabens zusammengefasst sowie ein kurzer Leitfaden für die Planung von Sporthallen vorgeschlagen, der interessierten Kreisen zur Information und als Handlungshilfe dienen kann.

2 Grundlagen und Anforderungen

In diesem Abschnitt werden die Grundlagen und die Anforderungen an die wichtigsten akustischen Eigenschaften von Sporthallen und, daraus abgeleitet, an die Oberflächen der in Sporthallen verwendeten Konstruktionen beschrieben.

2.1 Nachhallzeit in Sporthallen

Die Nachhallzeit in Räumen stellt die wichtigste raumakustische Größe für die Hörsamkeit in Räumen dar [2,3]. Sie beschreibt die Dauer, die ein Schallsignal im Raum benötigt, um nach Abschalten des Geräusches um 60 dB abzufallen. Die Nachhallzeit eines Raumes kann durch verschiedenen Modelle berechnet werden. Das einfachste und dennoch gängigste davon ist das Modell nach Sabine [4], nach dem die Nachhallzeit T in s aus dem Raumvolumen V in m^3 und der äquivalenten Absorptionsfläche A_{eq} in m^2 berechnet wird.

$$T = 0,163 \frac{V}{A_{eq}} \quad s \quad (1)$$

Die Berechnung der Nachhallzeit nach Sabine geht von einem diffusen Schallfeld im Raum aus. Voraussetzung dafür ist eine ausreichend gleichmäßige Verteilung der schallabsorbierenden Fläche in alle drei Raumdimensionen. Bei Räumen mit nicht gleichmäßiger Verteilung kann die Diffusität des Schallfelds durch genügende Anzahl von Streukörpern verbessert werden. In Sporthallen mit vorwiegend ebenen Raumbegrenzungsflächen (zumindest im Aufenthaltsbereich der Personen) und mit einem relativ großen Raumvolumen und einer geringen Anzahl von Streukörpern ist das Schallfeld oftmals wenig diffus. Dies

führt tendenziell zu längeren Nachhallzeiten, als nach Sabine prognostiziert. Daher ist es in Sporthallen sehr wichtig, schallabsorbierende Flächen in allen drei Raumdimensionen vorzusehen, um ein möglichst diffuses Schallfeld zu erreichen.

Weiterhin kann es zwischen wenig absorbierenden ebenen Flächen, die sich parallel gegenüber stehen, zu Flatterechos kommen. In diesem Fall wird Schallenergie zwischen den beiden Oberflächen hin und her reflektiert. Diese Flatterechos werden als unangenehm empfunden, verringern die Sprachverständlichkeit und führen zu deutlich längeren gemessenen Nachhallzeiten. Daher ist es wichtig, Flatterechos durch eine sinnvolle Verteilung der Schallabsorption im Raum möglichst zu unterbinden. Flatterechos können auch zwischen herabgelassenen Trennvorhängen vorkommen, so dass bevorzugt in der Mittelhalle von Dreifeldhallen bei bestimmten Frequenzen besonders lange Nachhallzeiten gemessen werden. Daher ist es wichtig, auch an Trennvorhängen schallabsorbierende Maßnahmen zu treffen, um Flatterechos entgegenzuwirken.

2.1.1 Anforderungen an die Nachhallzeit

Die zur Planung von Sporthallen zugrundeliegende Norm ist die DIN 18032, die im November 2014 neu veröffentlicht wurde [5]. Anforderungen an die Nachhallzeit sind darin, Zitat: „in Abhängigkeit von der Raumnutzungsart und vom Raumvolumen soll die Nachhallzeit 1,4 s bis 2,5 s betragen (siehe DIN 18041)“, angegeben. Damit wird der Bezug zur aktuell gültigen DIN 18041 hergestellt. In DIN 18041 [3], die seit März 2016 neu überarbeitet vorliegt, wird die Anforderung an die Nachhallzeit in Sporthallen durch die Nutzungsart A5 Sport“ beschrieben. Hierfür wird die Berechnungsgleichung für die Soll-Nachhallzeit T_{soll} , abhängig vom Raumvolumen V in m^3 angegeben:

$$T_{\text{soll},A5} = \left(0,75 \lg \frac{V}{\text{m}^3} - 1,00\right) \text{ s} \quad 200 \text{ m}^3 \leq V < 10000 \text{ m}^3 \quad (2)$$

$$T_{\text{soll},A5} = 2,0 \text{ s} \quad V \geq 10000 \text{ m}^3 \quad (3)$$

Für die betrachtete Dreifeldhalle mit einem Volumen von 10145 m^3 ergibt sich daraus eine Soll-Nachhallzeit $T_{\text{soll}} = 2 \text{ s}$, für die Teilhallen bei Aufteilung in drei Teilhallen von jeweils $T_{\text{soll}} = 1,6 \text{ s}$. Für die betrachtete Einfeldhalle mit einem Volumen von 2220 m^3 ergibt sich eine Soll-Nachhallzeit von $T_{\text{soll}} = 1,5 \text{ s}$. Nach DIN 18041 wird für Sporthallen ein Toleranzbereich für die Soll-Nachhallzeit von $\pm 20\%$ angegeben, sowie die Einbeziehung einer Besetzungsdichte (und damit von zusätzlicher Schallabsorption durch Personen) von 80% einer Regelbesetzung für die Planung vorgenommen. Für die Planung bietet es sich dennoch an, lediglich die Soll-Nachhallzeit anzusetzen, denn durch Ausführungstoleranzen bei der Umsetzung der Planung und Messtoleranzen bei einer eventuellen Messung kann dieser Toleranzbereich ausgeschöpft werden. Die Einbeziehung von Personen sollte bei der Planung unterbleiben, denn die Definition ei-

ner Regelbesetzung ist nicht eindeutig und eine Nutzung der Sporthalle mit geringer Personenanzahl ist nicht ausgeschlossen. Daher wird in diesem Forschungsvorhaben darauf gezielt, Maßnahmen zu erarbeiten, um die Soll-Nachhallzeiten einzuhalten, ohne zusätzliche Personen in der Halle zu berücksichtigen.

Um diese Nachhallzeiten zu erreichen muss die Halle bzw. die Oberflächen der Sporthallen mit Materialien ausgestattet sein, die Schall absorbieren. Von den Anforderungen an die Nachhallzeit werden in diesem Vorhaben Anforderungen an einzelne Oberflächen in Sporthallen abgeleitet, so dass generelle Aussagen dazu möglich sind.

2.2 Schallpegel in der Sporthalle

Die in einer Sporthalle entstehenden Schalldruckpegel sind zum einen natürlich von der Art und Anzahl der Schallquellen und deren Zusammenwirken abhängig, werden aber auch auf verschiedene Weise von den raumakustischen Bedingungen beeinflusst. Da es sich bei den Quellen in der Regel nicht um Geräte oder andere stationäre Quellen handelt, sondern normalerweise um Personen und Übungsgeräte, ist es schwierig den in Hallen entstehenden Schalldruckpegel zu prognostizieren. Quellen können verbale oder nichtverbale Äußerungen der in der Halle befindlichen Personen sein, wie Rufen, Schreien, Klatschen, Trommeln etc. Aber es können auch Geräusche sein, die durch das Sporttreiben selbst entstehen, wie durch Ballprellen, Trittgeräusche, Quietschen von Schuhen etc. Bei bestimmten Sportarten werden gewollte Schallquellen wie Musik (Tanzen, Hip-Hop etc.) eingesetzt, die sich den weiteren entstehenden Geräuschen überlagern (sollen). Weiterhin, und sehr wichtig, stellen natürlich auch Trainer und Lehrer Schallquellen dar, die durch sprachliche Anweisungen die Sportausübung beeinflussen und versuchen, für ihre Anweisungen eine gute Sprachverständlichkeit zu erreichen. Da die Sprachverständlichkeit stark vom Verhältnis des (Sprach-) Signals zum Hintergrund- oder Störgeräusch abhängt, kann sich auch in Sporthallen der Pegel schrittweise erhöhen, wenn sich verschiedene Personen durch Anpassung der eigenen Lautstärke an ein erhöhtes Geräuschniveau gegenseitig beeinflussen (Lombard-Effekt). Umgekehrt ergibt sich aus dieser Dynamik aber auch die Möglichkeit, durch organisatorische Maßnahmen und Regeln diesem Effekt und einem erhöhten Lautstärkepegel in der Sporthalle entgegenzuwirken. Bei der Betrachtung der Schallquellen ist es wichtig festzuhalten, dass auch durch den Einsatz von „leisen Konstruktionen“, d.h. z.B. durch den Einbau eines „leisen“ Bodenaufbaus oder einer „leisen“ Prallwand die Pegel reduziert werden, wenn diese durch Schritte oder Ballprellen zur Schallabstrahlung angeregt werden. Wichtige Untersuchungen wurden hierzu speziell an Bodenkonstruktionen an der Universität Stuttgart durchgeführt und sind im Projektbericht [6] niedergelegt.

Eine weitere wichtige Möglichkeit der Einflussnahme auf den in Sporthallen auftretenden Schalldruckpegel ist die Schallabsorption im Raum. Der Schalldruckpegel L_p im Diffusfeld mit ausreichend großem Abstand von der Quelle errechnet sich aus dem Schallleistungspegel L_w in dB der Quelle und der äquivalenten Absorptionsfläche A_{eq} in m^2 :

$$L_p = L_W - 10 * \lg\left(\frac{A_{eq}}{4 \text{ m}^2}\right) \quad \text{dB} \quad (4)$$

Bei Verdoppelung der Absorptionsfläche A_{eq} ergibt sich damit eine Reduktion des Schalldruckpegels von 3 dB im diffusen Schallfeld.

Nahe an der Schallquelle dominiert in der Regel der Direktschall, der im Nahbereich bei einer Abstandsverdoppelung um 6 dB abnimmt. Bei erhöhter Absorption im Raum vermindert sich wie oben beschrieben der Schallpegel im Diffusfeld, und damit erweitert sich der Bereich um die Quelle, in dem der Direktschall dominiert. Der rechnerische Abstand, bei dem das Direktschallfeld den gleichen Schalldruckpegel wie das Diffusfeld aufweist, wird Hallradius genannt. Dieser Hallradius r_H berechnet sich für eine allseitig gleichmäßig abstrahlende Schallquelle auf einer reflektierenden Fläche mit:

$$R_H = \sqrt{\frac{A_{eq}}{25}} \quad \text{m} \quad (5)$$

Bei einer Vervierfachung der äquivalenten Absorptionsfläche vergrößert sich der Abstand des Direktschallfelds danach um den Faktor 2.

Für die Sprachverständlichkeit in Sporthallen ist eine Vergrößerung des Direktschallfelds vorteilhaft, denn damit wird das Verhältnis des Signals zum Geräusch größer und die Sprachverständlichkeit steigt.

2.2.1 Anforderungen an die Schallpegel in Sporthallen

Der Schalldruckpegel, der üblicherweise in Sporthallen auftritt hängt stark von der Sportart und der Anzahl der Quellen, aber auch von den raumakustischen Bedingungen ab. Messungen in Sporthallen haben gezeigt, dass Schalldruckpegel zwischen 80 und 90 dB(A) durchaus vorkommen können [1, 7]. In einer aktuellen Untersuchung wurden für die Schallabstrahlung von Sportböden [6] Spitzenpegel $L_{A,F,max}$ im Hallraum von ca. 80 dB(A) gemessen, wenn ein einzelner Basketball aus einer Höhe von 1,8 m auf den Sportboden fällt. Die Übertragbarkeit auf reale Sporthallen wurde für einen Abstand von 2 m mit -5 (± 2 dB) angegeben. Bei gleichzeitigem Ballprellen mehrerer Personen lässt sich abschätzen, dass dann Pegelspitzen von über 80 dB(A) erreicht werden. Da Sporthallen für die Sportlehrer und Trainer auch als Arbeitsplatz dienen, müssen diese hohen Schalldruckpegel in Sporthallen als bedenklich angesehen werden, denn nach VDI 2058 [8] entsteht für Beurteilungspegel über 85 dB die Gefahr von Gehörschäden. Daher ist es unerlässlich, auch durch erhöhte Schallabsorption geringere Nachhallzeiten und damit geringere Schalldruckpegel in den Sporthallen zu erreichen. Weiterhin müssen die Schallquellen in ihrem Pegel gemindert werden, was durch Einbauten wie z.B. „leise“ Prallwände und „leise“ Sportböden unterstützt wird.

2.3 Schallabsorption in Sporthallen

Neben der Reduktion der Schallquellen selbst stellt die Schallabsorption der Sporthallenoberflächen die wesentliche Möglichkeit dar, die Akustik in Sporthallen entscheidend zu verbessern. Da für die Raumakustik in der Halle alle Raumboberflächen zusammenspielen, ist es nicht einfach, die Anforderungen an die Nachhallzeit auf Eigenschaften der einzelnen Bauteiloberflächen zu übertragen. Dennoch müssen Planer darüber informiert werden, was diese Anforderung für die einzelnen Bauteile bedeutet.

Die äquivalente Absorptionsfläche der Oberflächen einer Sporthalle berechnet sich aus der Summe der Flächen der einzelnen Oberflächen S_i im m^2 , multipliziert mit dem jeweiligen Schallabsorptionsgrad der Oberfläche α_i . Damit ist:

$$A_{eq} = \sum_i \alpha_i S_i \quad m^2 \quad (6)$$

Der Schallabsorptionsgrad α_i beschreibt den Anteil der von der Oberfläche geschluckten Schallenergie. Er liegt zwischen 0 (keine Schallabsorption) und 1 (vollständige Schallabsorption). Bei Flächen mit dem Wert 1 wird die gesamte auftreffende Schallenergie absorbiert, so dass keine Schallenergie in den Raum zurückgeworfen wird.

Die Schallabsorption von Oberflächen entsteht in der Regel dadurch, dass Schallenergie in die Oberfläche eintritt und dort durch Reibung in Wärmeenergie umgewandelt wird. Eine gewisse Schallabsorption erfolgt an allen Oberflächen, wobei z.B. gestrichenen Betonoberflächen eine sehr geringe Absorption aufweisen, poröse Materialien bei entsprechender Art und Dicke dagegen eine hohe Schallabsorption nahe 1 besitzen können.

Die notwendige äquivalente Absorptionsfläche der in diesem Vorhaben näher betrachteten Modellhallen lässt sich durch die im Abschnitt 2.1 angegebenen Soll-Nachhallzeiten mit Gleichung (1) abschätzen. So ist für die Dreifeldhalle mindestens eine äquivalente Absorptionsfläche von $830 m^2$, in jeder Teilhalle der Dreifeldhalle bei Aufteilung eine äquivalente Absorptionsfläche von $334 m^2$ und in der betrachteten Einfeldhalle eine äquivalente Absorptionsfläche von $240 m^2$ notwendig, um die Soll-Nachhallzeiten einzuhalten. Diese Angabe bezieht sich nach DIN 18041 [3] auf den Frequenzbereich von 250 bis 2000 Hz, d.h. in diesem Frequenzbereich muss die angegebene äquivalente Absorptionsfläche erreicht werden.

In Sporthallen sind in der Regel große Oberflächen vorhanden, die auch mit geringen Schallabsorptionsgraden zu einer gewissen Schallabsorption beitragen können. So ist z.B. der Sportboden eine bedeutende Fläche. Dessen moderate Schallabsorption besonders im tiefen Frequenzbereich durch die Plattenstruktur des Bodenaufbaus von Werten bis zu ca. 0,2 kann zu einer wichtigen schallabsorbierenden Fläche werden. Bei der Dreifeldhalle ergibt ein Boden mit einem

Absorptionsgrad von 0,2 (bei tiefen Frequenzen) immerhin eine äquivalente Absorptionsfläche von ca. 240 m² .

Die Berechnung der Nachhallzeiten erfolgt in der Regel nach Sabine (Gleichung (1)). Dieser Berechnung liegt die Annahme zugrunde, dass es sich im Raum um ein diffuses Schallfeld handelt. Da in Sporthallen keine wesentlichen Streukörper vorhanden sind, müssen die schallabsorbierenden Oberflächen möglichst gleichmäßig verteilt werden, um ein nahezu diffuses Schallfeld zu erzeugen. Hinweise hierzu finden sich auch in DIN 18041 [3]. Hier wird gefordert, dass das Verhältnis der mittleren Schallabsorptionsgrade in allen drei Raumrichtungen nicht größer als 3 sein sollte, um noch von einem nahezu diffusen Schallfeld ausgehen zu können. Auch die Gestaltung der Oberflächen mit diffuser Streuwirkung, wie es durch Strukturierung der Oberflächen möglich wäre, ist in Sporthallen normalerweise nicht oder nur sehr eingeschränkt möglich. Daher gilt festzuhalten, dass es zur Erreichung der Soll-Nachhallzeiten in Sporthallen einer Verteilung der Schallabsorption auf verschiedene Flächen und auf alle drei Raumdimensionen bedarf. Damit wird auch die Möglichkeit vermindert, dass es zu Flatterechos in der Sporthalle kommt, die die Sprachkommunikation stören und die sehr lästig sein können.

Betrachtet man die Schallabsorptionsgrade verschiedener Materialien, die an den Oberflächen in Sporthallen verbaut werden, so zeigen sich unterschiedliche Frequenzverläufe und verschiedene Niveaus der Schallabsorption. So können z.B. abgehängte Akustikunterdecken Schallabsorptionsgrade von bis zu 1 erreichen. Um die frequenzabhängig gemessenen Absorptionsgrade einfacher einordnen zu können wird in DIN EN ISO 11654 [9] eine Bewertungsmethode genannt, mit der ein bewerteter Schallabsorptionsgrad α_w angegeben werden kann. Davon abgeleitet wird in der bestehenden Norm eine Klassifizierung mittels Buchstaben vorgenommen. Diese Klassifizierung wird zur Zeit bei der Überarbeitung der Norm zur Disposition gestellt und wird daher hier nicht weiter ausgeführt.

2.3.1 Anforderungen an die Schallabsorption von Oberflächen und Teilsystemen

Konkrete Anforderungen an die Schallabsorptionswerte der einzelnen Teilsysteme bestehen nicht. Dennoch lässt sich aus der im vorigen Abschnitt beschriebenen Forderung der DIN 18041 „Um ein nahezu diffuses Schallfeld zu erreichen, sollte das Verhältnis der mittleren Schallabsorptionsgrade in allen drei Raumrichtungen nicht größer als 3 sein“ ableiten, dass zumindest eine Oberfläche mit ausreichend großem Flächenanteil in jeder Raumrichtung wesentliche Schallabsorptionsgrade aufweisen sollte. Wie die Ausgestaltung konkret gewählt sein könnte, wird durch die Untersuchungen an den Raummodellen in Abschnitt 4 beschrieben. Infolge dieser Analyse werden in Abschnitt 5 Untersuchungen an Teilsystemen beschrieben, die in Sporthallen eingesetzt werden und die durch ihre Konstruktion zu einer besseren Akustik in Sporthallen beitragen können.

Anforderungen an die Schallabsorption von Trennvorhängen werden in DIN 18032-4 nur soweit gestellt, dass Trennvorhänge zur Verbesserung der

Schallabsorption der Hallenteile beitragen müssen. Anforderungswerte etwa an einen mittleren Schallabsorptionsgrad werden nicht gestellt. Die Schallabsorption von Trennvorhängen ist dennoch eine wichtige Eigenschaft, die im Abschnitt 4 näher beschrieben wird.

2.3.2 Planung mit frequenzabhängiger Schallabsorption

Der bewertete Schallabsorptionsgrad α_w stellt einen Einzahlwert, abgeleitet vom frequenzabhängigen Schallabsorptionsgrad von Materialien oder Konstruktionen dar. Damit geht die frequenzabhängige Information der Schallabsorption einer Konstruktion verloren. Eine Planung mittels bewertetem Schallabsorptionsgrad ist daher sehr grob und berücksichtigt vor allem die tiefen Frequenzbereiche bei 125 Hz und darunter nicht, bei denen die Bewertungskurve nicht relevant ist. Daher ist eine Planung mittels bewertetem Schallabsorptionsgrad nicht zu empfehlen, da sie tendenziell darauf hinausläuft, nur die Frequenzbereiche von 500 bis 2000 Hz zu bewerten. Eine ausgewogene Raumakustikplanung sollte dagegen frequenzabhängig durchgeführt werden, um im gesamten Frequenzbereich möglichst gleichmäßig kurze Nachhallzeiten zu erreichen. Hierzu sollten alle zur Schallabsorption beitragenden Bauteile und Oberflächen betrachtet werden, wie z.B. der Sportboden, der besonders im tiefen Frequenzbereich zur Schallabsorption im Raum beitragen kann, der aber durch sein Absorptionsspektrum einen sehr geringen bewerteten Schallabsorptionsgrad aufweist.

2.4 Schalldämmung

Die Schalldämmung der Sporthalle gegen Außenlärm ist entsprechend DIN 18032 [5] nach DIN 4109:1989-11 [10] in Abhängigkeit vom maßgeblichen Außenlärmpegel zu bemessen. Da die Lärmbelastung in Sporthallen in der Regel durch die Nutzer selbst entsteht, war die Schalldämmung der Außenbauteile nicht Bestandteil der Untersuchungen. Im Hallenbereich selbst spielt die Schalldämmung von Bauteilen nur für Trennvorhänge eine wichtige Rolle, die bei Mehrfeldhallen auch eine akustische Trennung von Hallenbereichen darstellen sollen, wenn sie eingesetzt werden.

2.4.1 Anforderungen an die Schalldämmung von Trennvorhängen

Die Trennung der Hallenteile sollte auch bezüglich der Akustik ausreichend groß sein. Die Trennung wird in der Regel mit beweglichen Trennvorhängen vorgenommen. Ein solcher Vorhang ist in Bild 1 dargestellt.



Bild 1:
Darstellung einer Sporthalle mit Trennvorhang (Quelle Trenomat)

Daher wird in DIN 18032-4 [12] ein bewertetes Schalldämm-Maß R'_w von mindestens 22 dB (z.B. nach Baumusterprüfung im Labor) gefordert. Für den eingebauten betriebsfertigen Trennvorhang zwischen den Teilhallen, unter Einschluss der Nebenwege, wie z.B. offene Spalte in Decken- und Wandbereichen, soll das bewertete Schalldämm-Maß R'_w einen Wert von mindestens 18 dB aufweisen. Der Nachweis einer Schalldämmung von 22 dB bei einer Baumusterprüfung kann durch geeignete Konstruktion des Trennvorhangs erreicht werden. Aus praktischen Gründen ist die Anforderung an den eingebauten betriebsfertigen Vorhang deutlich schwieriger zu erreichen und wird in vielen Sporthallen bei weitem nicht eingehalten. Die Ursache dafür sind in vielen Sporthallen offene Bereiche zwischen den Hallenteilen. Dies können z.B. Öffnungen im Deckenbereich sein, die durch die Deckenkonstruktion und den nicht abgeschlossenen Anschluss des Trennvorhangs hervorgerufen werden, oder Öffnungen an der Seite des Vorhangs, durch offene Schlupftüren oder Tribünenbereiche. Sind bei Trennvorhängen größere offene Bereiche zwischen den Teilhallen vorhanden, so liegt die Schalldämmung des Trennvorhangs deutlich unter 10 dB. Generell gilt, dass abgesehen von einem sehr schmalen Spalt an der Seite des Trennvorhangs keine weiteren Öffnungen vorhanden sein dürfen, um die Anforderung an die Schalldämmung erfüllen zu können. Untersuchungen zur Schalldämmung am Teilsystem Trennvorhang werden im Abschnitt 5.6.3 beschrieben.

3 Vorgehensweise und Planungsgrundlagen

Die Vorgehensweise in diesem Projekt war, die Anforderungswerte an Sporthallen, die durch DIN 18032 und DIN 18041 an die Nachhallzeiten und an die

Schalldämmung der Trennvorhänge gestellt werden, konkret auf typische Sporthallen und die dort verwendeten Bauteile und Konstruktionen anzuwenden. Mit Modellrechnungen wurde erarbeitet, welche Bauteile mit welchen Eigenschaften verwendet werden müssen, um die Anforderungen einzuhalten. Daraus resultiert eine Planungshilfe, die konkret am Planungsprozess beteiligte Personen darüber informiert, welche Eigenschaften die in Sporthallen projektierten Materialien bzw. Konstruktionen haben sollten, um die Anforderungen zu erfüllen. Im Planungsprozess kann dies durch Fachingenieure wie Bauphysiker oder Akustik-Ingenieure erfolgen. Dieses Vorgehen wird für die Planung von Sporthallen empfohlen. Dennoch wird die große Mehrzahl an Sporthallen, sei es beim Neubau oder bei der Sanierung, im Planungsprozess nicht von diesen Fachingenieuren begleitet. Oftmals führt dies dazu, dass die Anforderungen an die Akustik nicht oder nur unzureichend berücksichtigt werden.

Die Raummodelle für typische Sporthallen wurden erstellt und akustisch simuliert. Aus diesen Simulationen lassen sich grundsätzliche Schlüsse ziehen, welche Flächen mit schallabsorbierenden Eigenschaften ausgestattet werden müssen, um die raumakustischen Anforderungen zu erreichen. Der Blick in die Praxis und der Austausch mit Fachleuten, einschließlich der Projektpartner waren die Grundlage für die Auswahl typischer Beispiele.

Daraus ergab sich, dass ein Großteil als Dreifeldhallen ausgeführt wird. Diese Hallen kommen oft bei Schulen vor, um mit geringer Flächennutzung möglichst viel Fläche für den Schulsport bereitzustellen. Sie können sowohl für Wettbewerbe ein normgerechtes Spielfeld bereitstellen, als auch durch mobile Trennvorhänge in drei Teilhallen unterteilt werden, in denen parallel Schulklassen unterrichtet werden. Als erste Halle wurde daher eine typische Dreifeldhalle untersucht, die die nach DIN 18032 gestellten baulichen Anforderungen einhält. Beispielhafte Untersuchungen erfolgten für die ungeteilte Gesamthalle und bei Aufteilung in drei Teilhallen. Eine Dreifeldhalle ist in Bild 2 gezeigt.



Bild 2:
Dreifeldhalle mit zwei Trennvorhängen (Quelle Trenomat)

Als weitere Halle wurde eine klassische Einfeldhalle untersucht, die mit ca. 400 m² Grundfläche die Mindestabmessungen an diesen Hallentyp erfüllt und an der Untergrenze der mittelgroßen Einfeldhallen liegt. Dieser Hallentyp wurde früher öfter gebaut und steht nach langjähriger Nutzung im Fokus von Sanierung und Modernisierung.

Neben den klassischen betrachteten Modellhallen gibt es eine größere Zahl an Mehrzweck-Sporthallen, die zum Teil Tribünen oder bewegliche Tribünen aufweisen, die neben der Sportnutzung auch als Versammlungsstätte oder für weitere Nutzungen verwendet werden. Diese Hallen haben in der Regel an die Nutzung angepasste Grundrisse und sind daher individuell geplant. Dennoch können die hier beschriebenen Untersuchungen an typischen Modellhallen wertvolle Hinweise für die Planung auch dieser Art von Sporthallen liefern. Wichtig sind dabei vor allem ähnliche Raumvolumina zur Übertragung der Erkenntnisse.

Für alle betrachteten Hallen wurden beispielhafte Kombinationen von akustisch wirksamen und akustisch nicht wirksamen Oberflächen simuliert. Hierzu wurden für die einzelnen Bauteile bzw. Konstruktionen realistische akustische Eigenschaften verwendet, so dass die Nachhallzeiten der Hallen mit hoher Genauigkeit prognostiziert wurden. Im nächsten Schritt konnte durch verschiedenen Variantenrechnungen abgeleitet werden, welche Kombinationen von akustisch wirksamen Konstruktionen notwendig sind, um grundsätzlich die Anforderungen an die Raumakustik einhalten zu können.

Um verschiedene typische Teilsysteme heranzuziehen, wurde deren akustische Schallabsorptionsgrade anhand von Mustern teils im Impedanzrohr und teils im Hallraum gemessen. Der Abgleich der Messungen der Teilsysteme zeigt auf, welches Potential die zur Zeit verwendeten Konstruktionen, die von den am Projekt beteiligten Projektpartnern zur Verfügung gestellt wurden, haben. Weiterhin verdeutlichen die Untersuchungen, welche Konstruktionen bezüglich ihrer akustischen Wirkung optimiert werden können. Nicht zuletzt sollen diese Untersuchungen auch Unternehmen ermuntern, weitere und gegebenenfalls bessere Teilsysteme anzubieten, um die akustischen Gestaltungsmöglichkeiten von Sporthallen künftig zu erweitern.

4 Untersuchungen an den Raummodellen

Als erste Halle wurde eine Dreifeld-Sporthalle modelliert. Die Modellbildung der untersuchten Hallen erfolgte mit Google Sketchup, bei dem alle für die Akustik wichtigen Oberflächen beinhaltet sind. Eine Übernahme eines CAD-Modells in die Raumakustik-Modellierungssoftware Odeon erweist sich regelmäßig als schwierig, da in CAD-Modellen eine Detailtiefe vorgenommen wird, die bei der Raumakustik-Simulation hinderlich ist. In diesem Projekt wurde das Sporthallenmodell der Dreifeldhalle an Pläne einer konkreten Sporthalle angelehnt, wobei Details dieser Halle z.T. nicht übernommen wurden. Das Raummodell aus Google Sketchup lässt sich durch einen Modellimport in die Raumakustik-Simulationssoftware Odeon importieren. In diesem Raumakustikmodell wurden im nächsten Schritt die Oberflächeneigenschaften (Schallabsorptionsgrad) für die verwendeten Materialien gewählt und die Sporthalle modelliert. Da das Simulationsprogramm auch Angaben zu den Streueigenschaften der Oberflächen verwendet und es sich bei den Oberflächen in Sporthallen in der Regel um flächige Bauteile ohne starke Strukturierung handelt, wurde der Streugrad aller Oberflächen nach den Standardangaben von Odeon mit 0,05 angenommen, was einer geringen Streuwirkung entspricht. Diese Werte blieben im Verlauf der Modellierungen unverändert.

4.1 Dreifeld-Sporthalle gesamt

Die untersuchte Dreifeldhalle war eine Halle mit Giebeldach und hatte eine Länge von 45 m, eine Breite von 27 m sowie eine Höhe am Trauf der Halle von 7 m und in der Mitte der Halle (Giebel) von 9,7 m. Die mittlere Höhe der Halle betrug 8,4 m (alle Angaben lichtetes Innenmaß). Damit ergibt sich eine Grundfläche von 1215 m² und ein Raumvolumen von ca. 10200 m³, so dass diese Sporthalle an der Obergrenze des Volumens liegt, für das DIN 18041 [3] eine Berechnungsgleichung der Nachhallzeit angibt. Für diese Halle und für größere Hallen gilt nach dieser Norm eine Soll-Nachhallzeit von 2,0 s. Eine erste grobe Abschätzung des notwendigen mittleren Absorptionsgrads aller Raumboflächen, um diese Nachhallzeit zu erreichen, ergibt einen Wert von $\bar{\alpha} = 0,24$. Eine grafische Darstellung der Dreifeldhalle ist in Bild 3 dargestellt.

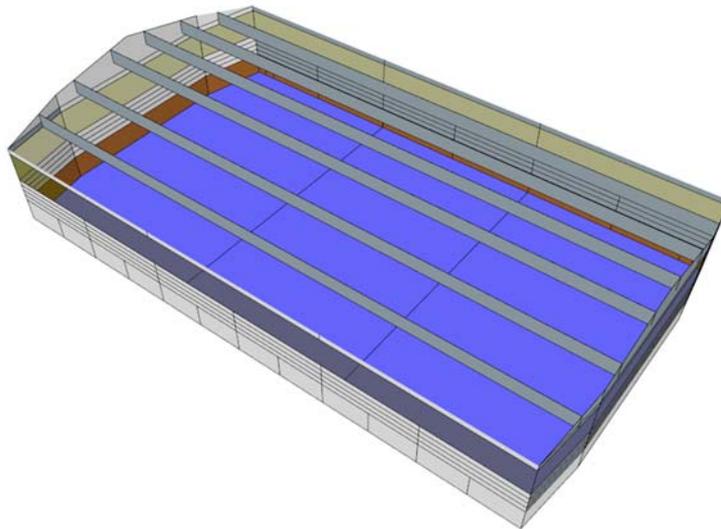


Bild 3:
Darstellung der untersuchten Dreifeldhalle ohne Trennvorhang

Wie aus der Grafik zu sehen ist, wurde für die gesamte Halle ein Fensterband angenommen, das im oberen Bereich der Halle umlaufend in allen Wänden eingebaut ist. Die Höhe des Fensterbands umfasst mit 2,5 m ca. 1/3 der Wandhöhe.

4.1.1 Sporthalle im Rohbau

Für die Wandbereiche der Sporthalle unterhalb des Fensterbands wurde für eine erste Simulation das Material Beton angenommen. Der Boden wurde im Rohbau ebenfalls als Betonoberfläche angesetzt, die Decke wurde als holzverschaltete Oberfläche mit 50 mm Unterkonstruktion im Rohbau vorgesehen. Die Absorptionsgrade der genannten Oberflächen sowie weiterer Bauteile, die im Projekt verwendet werden, sind in Bild 4 dargestellt.

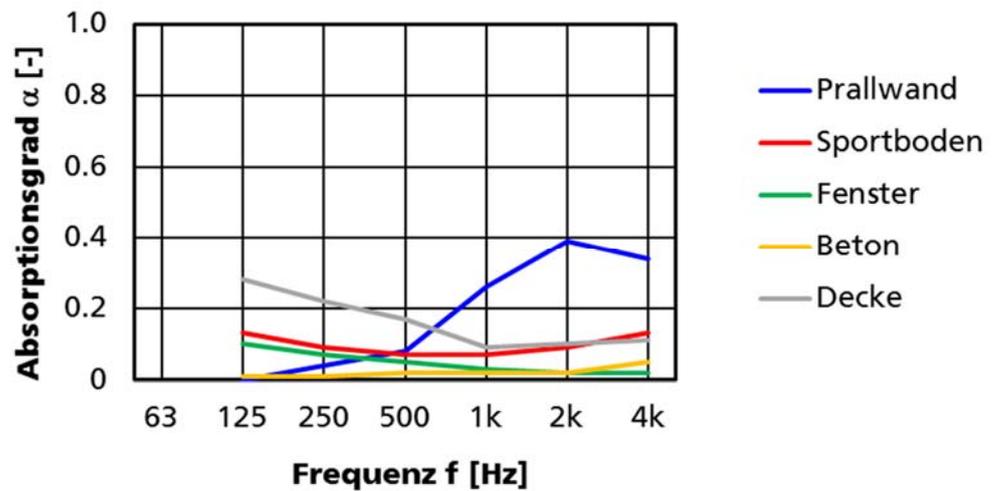


Bild 4:
Für die Modellierung der Dreifeldhalle verwendete Schallabsorptionsgrade

4.1.2 Sporthalle mit Standardausbau

Im nächsten Schritt erfolgte die Modellierung der Sporthalle mit einem Standardausbau. Dabei wurde zum einen ein handelsüblicher Sportboden für die Bodenfläche angenommen. Für die Absorptionsgrade des Sportbodens lagen Werte aus einem vorhergehenden Projekt [6] (kombielastischer Boden auf elastischer Konstruktion, Boden 3) vor. Weiterhin wurde bis zu einer Höhe von 2,0 m an den inneren Wandflächen eine Standard-Prallwand aus einer einfachen elastischen Schicht mit Nadelvlies-Oberfläche mit einer Gesamtdicke von 19 mm angenommen. Die Sporthalle mit den genannten Bauteilen ist in Bild 5 dargestellt.

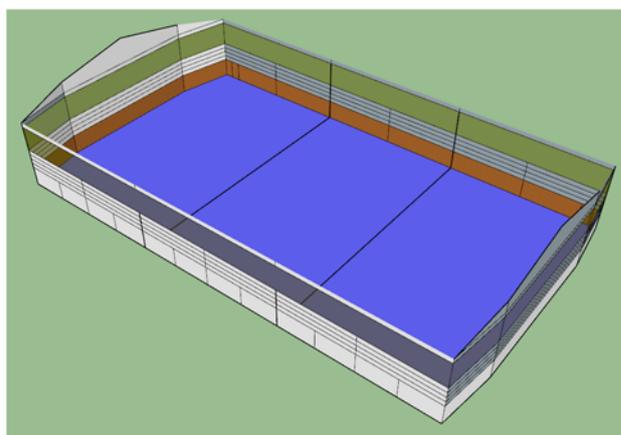


Bild 5:
Darstellung einer Dreifeldhalle im Modell mit blau gekennzeichneter Bodenfläche und durch einen roten Streifen dargestellten Prallwand mit eine Höhe von 2 m.

Die Wandflächen wurden als Betonoberflächen angenommen, Die Decke besaß eine einfache Holzkonstruktion mit 50 mm Unterkonstruktion als Ausstattung. Die angenommenen Absorptionsgrade sind ebenfalls in Bild 4 dargestellt.

Die simulierten Nachhallzeiten der Dreifeldhalle sind in Bild 6 niedergelegt, zusammen mit der Darstellung der Soll-Nachhallzeit nach DIN 18041 [3] für Hallen mit einem Volumen > 10000 m³ von $T_{\text{soll}} = 2,0$ s.

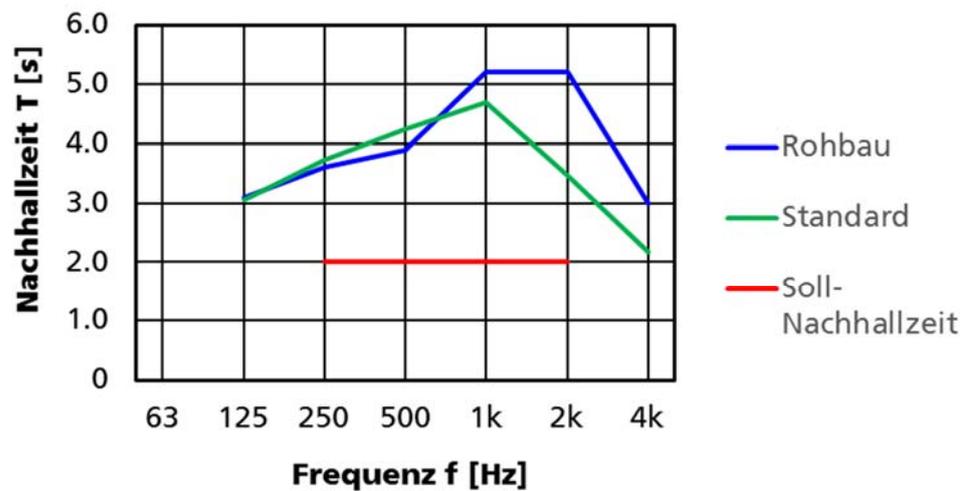


Bild 6:

Mittels Raumakustik-Simulation berechnete Nachhallzeit in der Dreifeld-Sporthalle für den Zustand Rohbau und eine Standardausstattung mit Sportboden und Prallwand. Die rote Linie zwischen 250 und 2 kHz stellt die Soll-Nachhallzeit von 2,0 s dar.

Die Ergebnisse der berechneten Nachhallzeiten zeigen Werte im mittleren Frequenzbereich von über 4 s für die Dreifeldhalle mit Standardausstattung. Damit ist die Nachhallzeit mehr als doppelt so lang wie gefordert. Im Rahmen früherer Projekt sowie im Rahmen dieses Projekts wurden in verschiedenen Sporthallen Messungen der Nachhallzeit durchgeführt. In Bild 7 sind beispielhaft Nachhallzeiten aus verschiedenen Dreifeldhallen mit ähnlichem Volumen dargestellt.

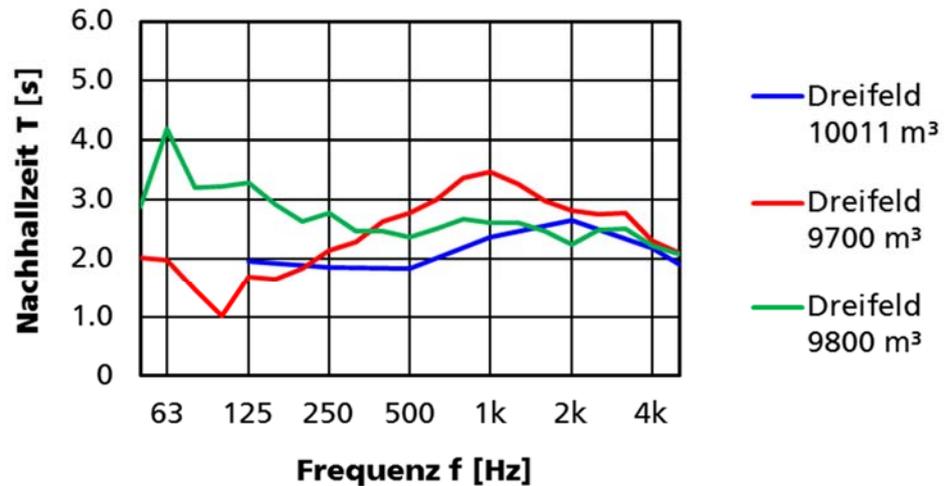


Bild 7:
Gemessene Nachhallzeiten in verschiedenen Dreifeldhallen

Auch in gebauten Sporthallen wurden Nachhallzeiten über 3 s, bei einer sogar über 4 s bei sehr tiefen Frequenzen gemessen. Reale Hallen weisen in der Regel weitere schallabsorbierende Oberflächen auf, als in der Modellierung der Standardhalle angesetzt, wie Sprossenwände, Sportgeräte etc., doch auch hier sind die Nachhallzeiten zum Teil deutlich zu lang, so dass die erste Abschätzung der Nachhallzeit für Standardhallen plausibel ist.

4.1.3 Sporthalle mit hoch absorbierender Prallwand

Als nächste untersuchte Variante der Dreifeldhalle wurde die Standard-Prallwand durch eine hochabsorbierende Prallwand im Modell ersetzt. Hierbei handelte es sich um ein noch nicht als Produkt erhältliches, aber von seinen akustischen Eigenschaften mögliches Bauteil mit einer Bautiefe von ca. 80 mm. Der Schallabsorptionsgrad dieser Prallwand ist in Bild 8 im Vergleich zum Absorptionsgrad der Decke aus einer Holzkonstruktion, die keine akustische Ausrüstung hatte, dargestellt.

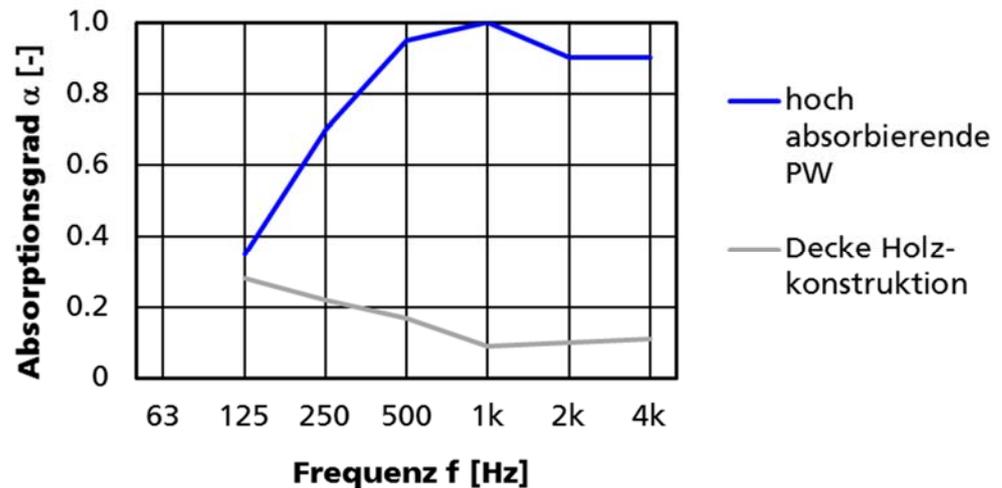


Bild 8:
Schallabsorptionsgrad einer hoch absorbierenden Prallwand-Konstruktion und der Deckenoberfläche aus einer einfachen Holzkonstruktion

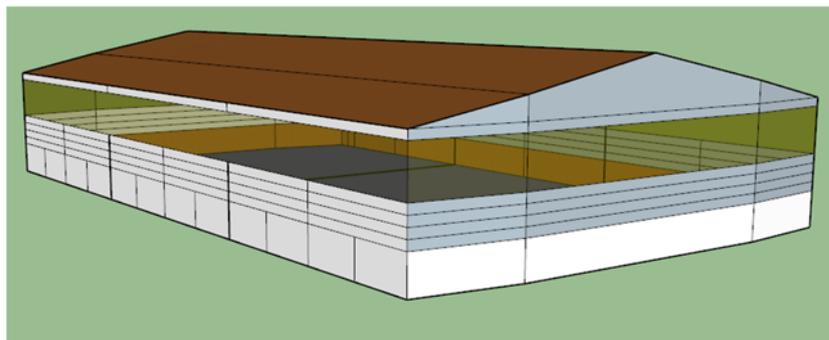


Bild 9:
Grafische Darstellung der modellierten Sporthalle mit 2 m hoher Prallwand (orange gekennzeichneter Bereich innerhalb der Halle)

Die Berechnung der Nachhallzeiten für die Dreifeldhalle mit hoch schallabsorbierender Prallwand wurde für zwei Varianten durchgeführt. Die erste war eine nach Norm [5] vorgeschriebene Mindesthöhe von 2,0 m der Prallwand an allen Wänden der Halle siehe Bild 9, die zweite war eine Prallwand mit doppelter Höhe von 4,0 m umlaufend. Bei dieser Variante kommt es vor allem auf die Schallabsorption der Prallwand an, die Ballwurfsicherheit muss oberhalb von 2 m Höhe nicht mehr gegeben sein. Daher entspricht diese Simulation aus akustischer Sicht auch einer möglichen Variante mit 2 m hoher Prallwand und einer weiteren 2 m hohen Wandverkleidung darüber, die dieselben akustischen Eigenschaften aufweist. Die Nachhallzeiten der Simulation mit ausschließlich akustischer Prallwand sind in Bild 10 gezeigt.

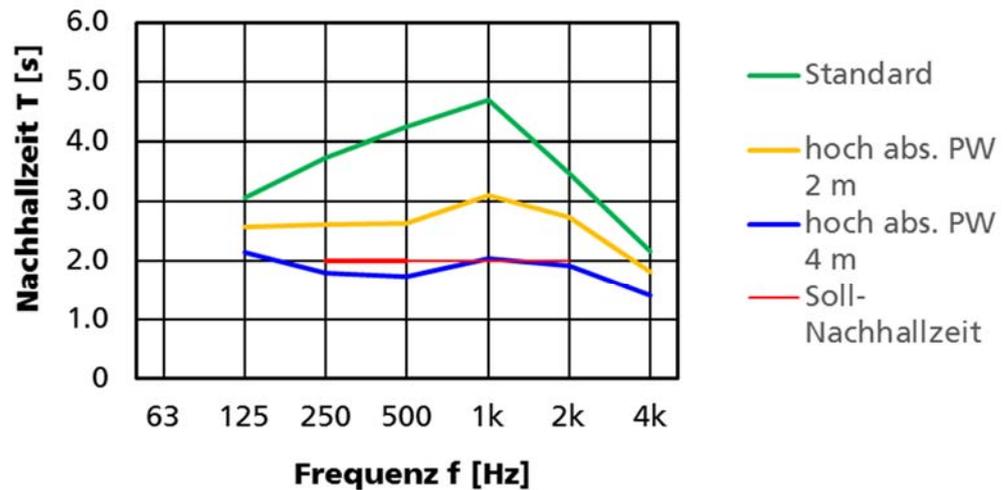


Bild 10:

Mittels Raumakustik-Simulation berechnete Nachhallzeit in der Dreifeld-Sporthalle für den Zustand Standardaustattung mit akustischer Prallwand

Die Simulation der Standardhalle mit akustisch wirksamer Prallwand mit einer Höhe von 2 m zeigt Werte von ca. 3 s. Diese einzelne Maßnahme reicht noch nicht aus, um die Nachhallzeit unter die geforderte Nachhallzeit von 2 s zu verkürzen. Die Verwendung einer Prallwand mit 4 m Höhe rundum erreicht dagegen Nachhallzeiten von knapp unter 2 s.

Eine Bewertung dieses Ergebnisses wird am Ende von Abschnitt 4.1 vorgenommen.

4.1.4 Sporthalle mit absorbierender Decke

Eine weitere Variante der Ausstattung der Dreifeldhalle war die Ausrüstung der Decke mit einer vollflächigen hoch-absorbierenden Deckenverkleidung (Fläche ca. 1280 m²), bestehend aus einer Aufbauhöhe von 285 mm, gefüllt mit 20 mm Mineralwolle. Die Prallwand war dagegen bei dieser Variante ein Standardprodukt. Der angenommene Schallabsorptionsgrad der hoch absorbierenden Decke und der Standard-Prallwand ist in Bild 11: gezeigt.

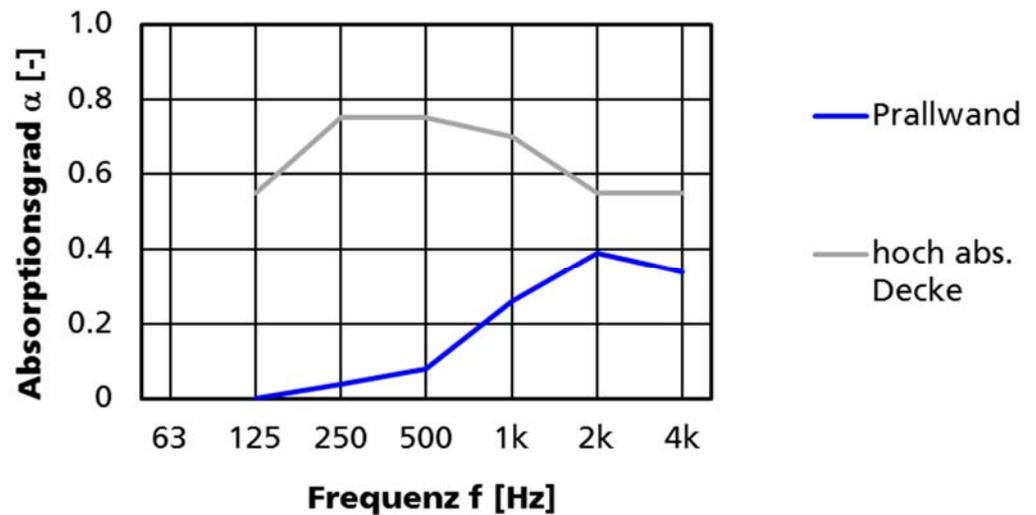


Bild 11:
Schallabsorptionsgrad einer hoch absorbierenden Decke und der Standard-Prallwand

Die Simulation der Halle mit hoch absorbierender Decke und Standardprallwand ergab Nachhallzeiten, die in Bild 12 gezeigt sind.

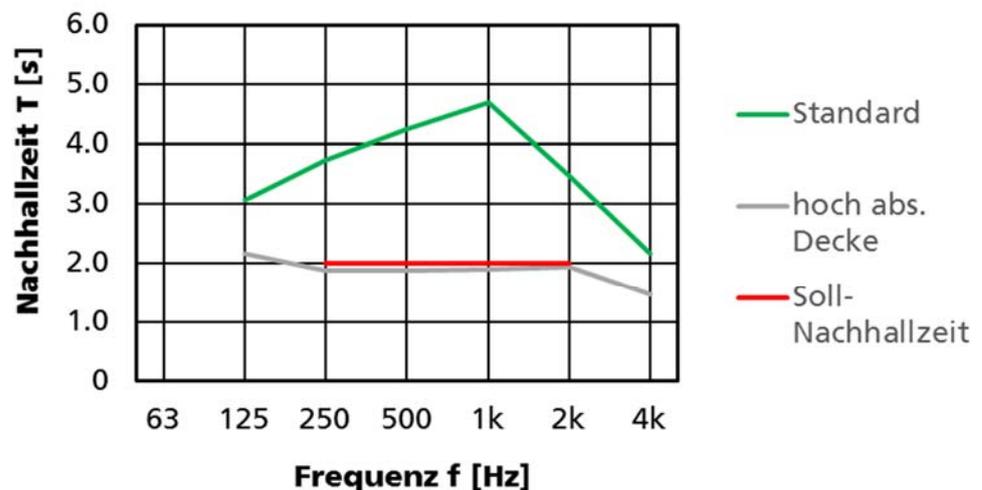


Bild 12:
Mittels Raumakustik-Simulation berechnete Nachhallzeit in der Dreifeld-Sporthalle für den Zustand Standard-Prallwand mit akustisch wirksamer Deckenverkleidung

Die vollständige Auskleidung der Decke mit dem angegebenen Verlauf der Schallabsorption würde rechnerisch ausreichen, die Nachhallzeitanforderung von 2 s einzuhalten.

4.1.5 Sporthalle mit absorbierender Decke und hoch absorbierender Prallwand

Eine weitere Kombination wurde für die Dreifeldhalle simuliert, bei der eine absorbierende Decke mit der hoch absorbierenden Prallwand mit einer Höhe von 2 m kombiniert wurde. Die angenommenen Absorptionsgrade sind in Bild 13 dargestellt, die Nachhallzeit für die so ausgestattete Dreifeldhalle ist in Bild 14 gezeigt.

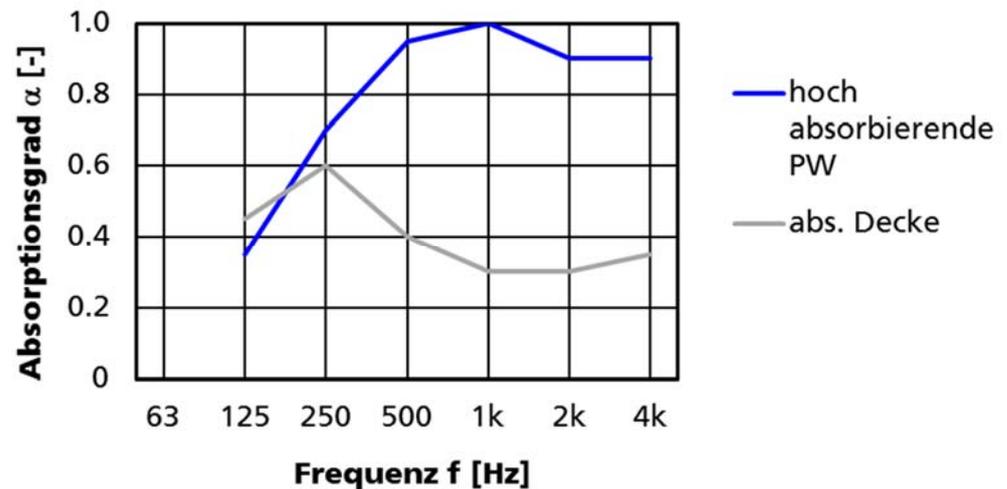


Bild 13:
Schallabsorptionsgrad einer absorbierenden Decke und der hoch absorbierenden Prallwand

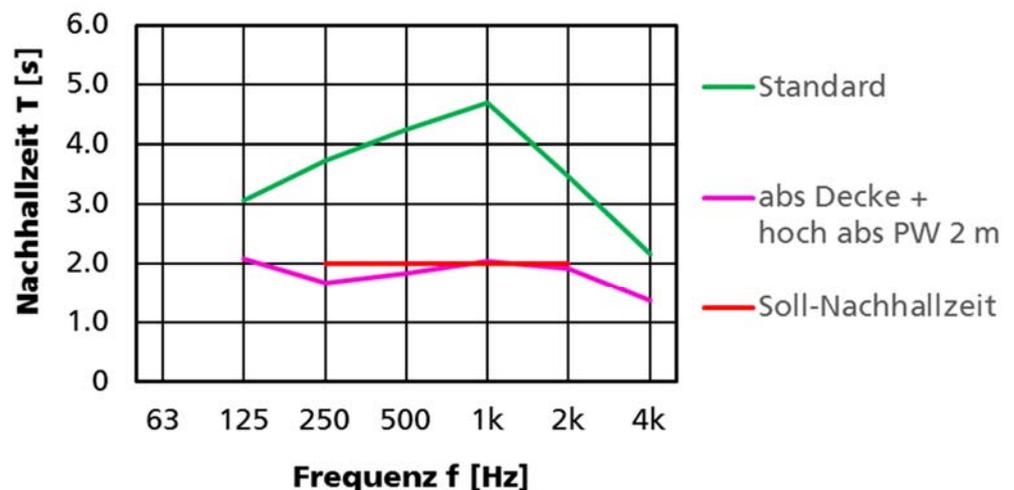


Bild 14:
Berechnete Nachhallzeit in der Dreifeld-Sporthalle für den Zustand akustisch wirksamer Deckenverkleidung und hoch absorbierender Prallwand mit einer Höhe von 2 m

Auch mit der Kombination von absorbierender Deckenverkleidung und hochabsorbierender Prallwand mit einer Höhe von 2 m ist es möglich, die geforderte Nachhallzeit von 2 s einzuhalten.

4.1.6 Fazit für die Ausstattungsvarianten der Dreifeldhalle

Zusammenfassend lässt sich für die Dreifeldhalle festhalten, dass mindestens drei mögliche Gestaltungsvarianten zur rechnerischen Einhaltung der Anforderung von maximal 2 s Nachhallzeit führen:

- Ausstattung der Halle mit hochabsorbierender umlaufender Prallwand mit einer Höhe von 4 m
- Ausstattung der gesamten Hallendecke mit hoch absorbierender Deckenverkleidung
- Die Kombination von absorbierender Deckenverkleidung und hoch absorbierender umlaufender Prallwand mit einer Höhe von 2 m

Bei den angenommenen Absorptionsgraden der akustisch wirksamen Bauteile, die zum Teil auf marktüblichen Produkteigenschaften basieren oder an diese angelehnt sind, führen alle drei Varianten zu sehr ähnlichen Nachhallzeiten. Dennoch ist die dritte Variante zu empfehlen, denn diese berücksichtigt die Anforderung der DIN 18041 [3] und die Erfahrung, dass eine gleichmäßige Verteilung der Schallabsorption in alle drei Raumdimensionen anzustreben ist. Diese Forderung wird in DIN 18041 mit dem Hinweis auf Räume mit nahezu diffusem Schallfeld gestellt, bei denen der mittlere Schallabsorptionsgrad für die Flächen in den drei Raumdimensionen nicht mehr als um den Faktor 3 abweichen soll, insbesondere wenn keine schallstreuenden Objekte oder Oberflächen vorhanden sind. Bei ungleichmäßiger Verteilung der Absorption auf einzelnen Flächen, wie z.B. nur auf der Decke, kann es zu langen Nachhallzeiten kommen, denn der Schall kann in horizontaler Ebene zwischen den Wänden reflektiert werden, ohne die schallabsorbierende Fläche der Decke zu erreichen. Untersuchungen dazu sind z.B. in [13] gezeigt. Weiterhin kann es zu Flatterechos zwischen reflektierenden Flächen kommen, was ebenfalls die Nachhallzeiten erhöht und die Sprachverständlichkeit deutlich mindert. Messungen in Hallen mit heruntergelassenen Trennvorhängen weisen z.B. solche langen Nachhallzeiten auf. Dies wird im folgenden Abschnitt dargestellt. Eine Ausgestaltung der Sporthalle mit 4 m hoher umlaufender hoch absorbierender Prallwand dagegen kann insbesondere bei flachem nicht absorbierender Hallendecke zu lang abklingenden Reflexionen zwischen Decke und Boden führen. Daher sollte die Empfehlung der Kombination aus absorbierender Decke und hoch absorbierender Prallwand berücksichtigt werden.

4.2 Dreifeldhalle in Teilhallen unterteilt

In einem weiteren Schritt folgte die Unterteilung der untersuchten Dreifeldhalle in drei Teile und die Untersuchung der Raumakustik in allen drei Teilhallen. Dabei wurde zuerst eine Trennung der Teilhallen, wie in der Praxis üblich, unterhalb des Giebeldachs vorgenommen. Die unterteilte Halle ist in Bild 15 gezeigt.

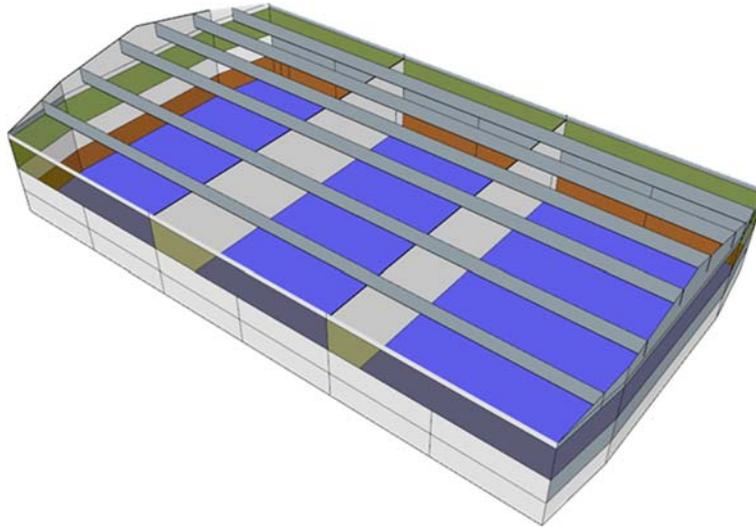


Bild 15:
Darstellung der untersuchten Dreifeldhalle mit Unterteilung durch zwei Trennvorhänge

In einer weiteren Variante wurden die Trennvorhänge bis zur Oberkante des Daches hochgezogen, so dass die drei Teilhallen voneinander getrennt waren. Für die Schalldämmung des Trennvorhangs wurden in der Realität vorkommende Werte von ca. 6 dB angenommen. Der Vergleich beider Varianten zeigte relativ geringe Unterschiede in den berechneten Nachhallzeiten der verschiedenen Teilhallen und generell dasselbe Verhalten. Daher werden hier die Ergebnisse der Berechnungen mit komplett geschlossenem Trennvorhang dargestellt.

4.2.1 Teilhallen mit hoch absorbierender Prallwand

Da für die Gesamthalle wenigstens die hoch absorbierende Prallwand mit einer Höhe von 4 m notwendig war, wurde diese auch für die Teilhallen modelliert. Ausgangszustand waren Trennvorhänge, die keine zusätzliche Schallabsorption aufwiesen. Zusätzlich wurde modelliert, wenn anstatt eines Standard-Trennvorhangs ein schallabsorbierender Trennvorhang Verwendung findet. Bei diesem Vorhang wurde ein auf dem Markt erhältlicher Trennvorhang mit schallabsorbierender Oberfläche mit relativ geringer Dicke der absorbierenden Schicht angenommen. Der Schallabsorptionsgrad der hoch absorbierenden Prallwand und des absorbierenden Trennvorhangs sind in Bild 16 gezeigt

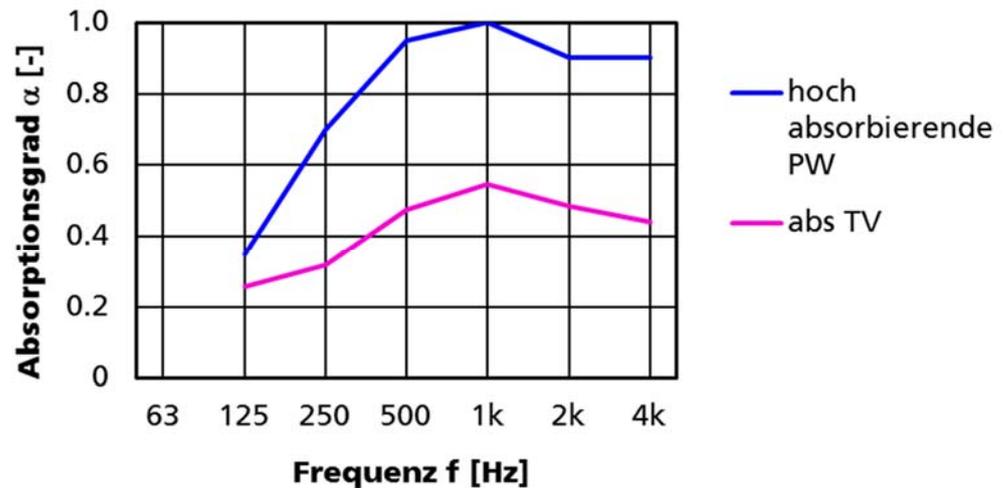


Bild 16:

Schallabsorptionsgrad der hoch absorbierenden Prallwand (PW) und des absorbierenden Trennvorhangs (TV)

Ist in den Teilhallen als ausschließliche akustische Maßnahme eine hochschallabsorbierende Prallwand mit 4 m Höhe vorhanden, so werden die Anforderungen an die Teilhallen von $T_{\text{Soll}} = 1,6$ s knapp verfehlt erreicht. Wird zusätzlich ein schallabsorbierender Trennvorhang eingesetzt, so liegt die Nachhallzeit unter 1,6 s. Die simulierte Nachhallzeit in einer Seitenhalle und in der Mittelhalle ist für beide Fälle, nur hochabsorbierende Prallwand mit 4 m Höhe und als Variante mit zusätzlich absorbierendem Trennvorhang, in Bild 17 dargestellt.

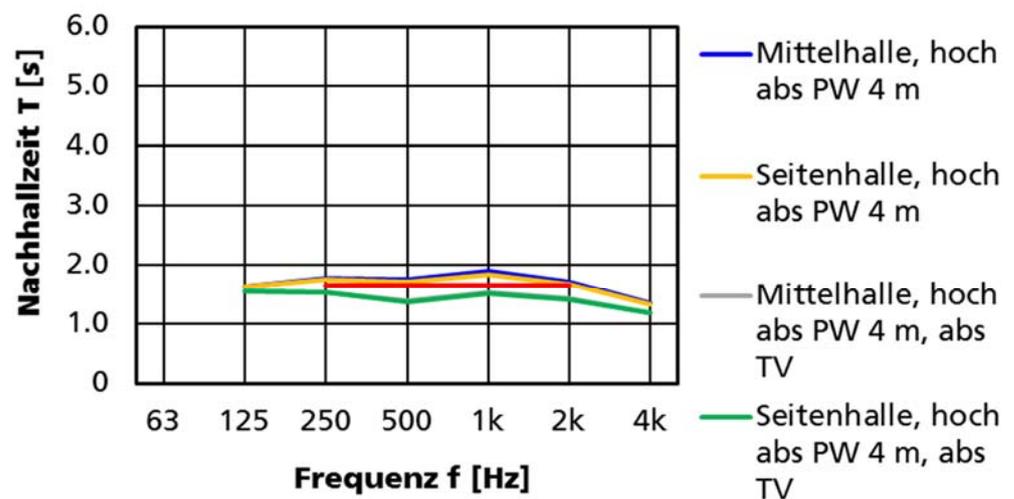


Bild 17:

Berechnete Nachhallzeit in den Teilhallen der Dreifeld-Sporthalle für den Fall hoch absorbierende Prallwand (PW) mit einer Höhe von 4 m und mit zusätzlichem absorbierenden Trennvorhang (TV). Die rote Linie zwischen 250 und 2000 Hz stellt die Soll-Nachhallzeit von 1,6 s dar.

Der Vergleich beider Hallenteile zeigt sehr ähnliche Nachhallzeiten, auch wenn die hoch absorbierende Prallwand in der Seitenhalle einen deutlich höheren Flächenanteil aufweist. Dieser geringe Unterschied ist darauf zurückzuführen, dass die Schalldämmung des Trennvorhangs in der Modellierung mit einem realistischen Schalldämm-Maß von 6 dB angenommen wurde, und damit ein Einfluss der Nachhallzeit der benachbarten Teilhalle auf die Nachhallzeit in der betrachteten Teilhalle vorhanden sein kann. Für beide Teilhallen zeigt sich, dass der ausschließliche Einsatz einer hochabsorbierenden Prallwand nicht ganz ausreicht, die Nachhallzeitanforderungen in den Teilhallen zu erreichen. Daher ist es zusätzlich notwendig, z. B. einen schallabsorbierenden Trennvorhang zu verwenden. Der in der Modellierung verwendete absorbierende Vorhang ist handelsüblich, wird aber kaum nachgefragt. Ein konstruktiver Vorschlag für einen neuartigen absorbierenden Trennvorhang wird im Abschnitt 5.6.3 beschrieben.

4.2.2 Teilhallen mit hoch absorbierender Prallwand und absorbierender Decke

Eine weitere Lösung zur Einhaltung der Nachhallzeiten in der Gesamthalle war die Kombination aus hochabsorbierender Prallwand mit Höhe von 2 m und absorbierender Decke. Wird diese Kombination für die Teilhallen übernommen, so ergibt sich eine modellierte Nachhallzeit wie in Bild 18 gezeigt. Weiterhin wird als Variante dargestellt, wie sich die Nachhallzeit in den Teilhallen verhält, wenn zusätzlich der schallabsorbierende Trennvorhang eingesetzt wird.

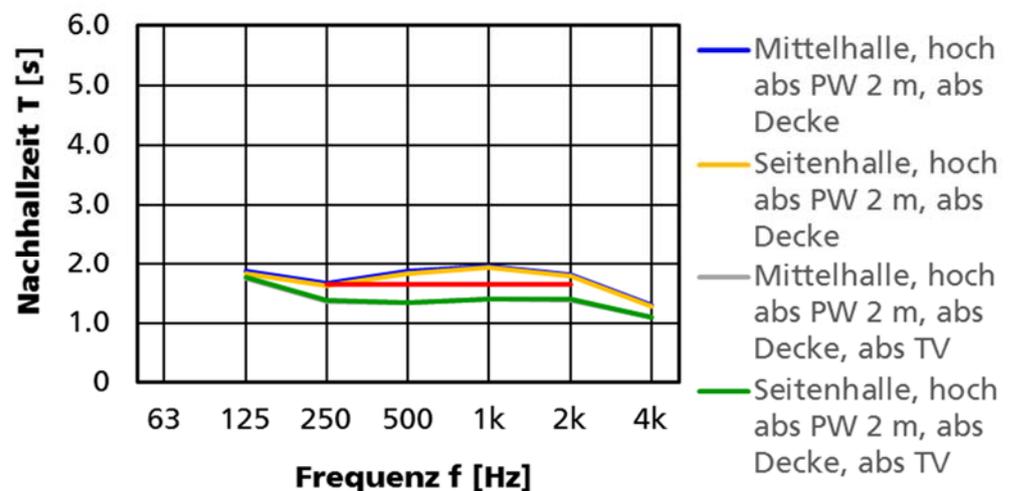


Bild 18:

Berechnete Nachhallzeit in den Teilhallen der Dreifeld-Sporthalle für den Fall hoch absorbierende Prallwand (PW) mit einer Höhe von 2 m, schallabsorbierende Decke und als Variante mit zusätzlich absorbierendem Trennvorhang (TV).

Der Vergleich der Nachhallzeiten zeigt, dass die hoch absorbierende Prallwand mit einer Höhe von 2 m und die hoch absorbierende Decke noch nicht ausreichen, um in den Teilhallen die geforderte Nachhallzeit von 1,6 s zu erreichen.

Hierzu ist wiederum der Einsatz eines absorbierenden Trennvorhangs notwendig. Die Schallabsorptionsgrade der akustisch wirksamen Bauteile, die bei der Simulation verwendet wurden, sind in Bild 19 gezeigt.

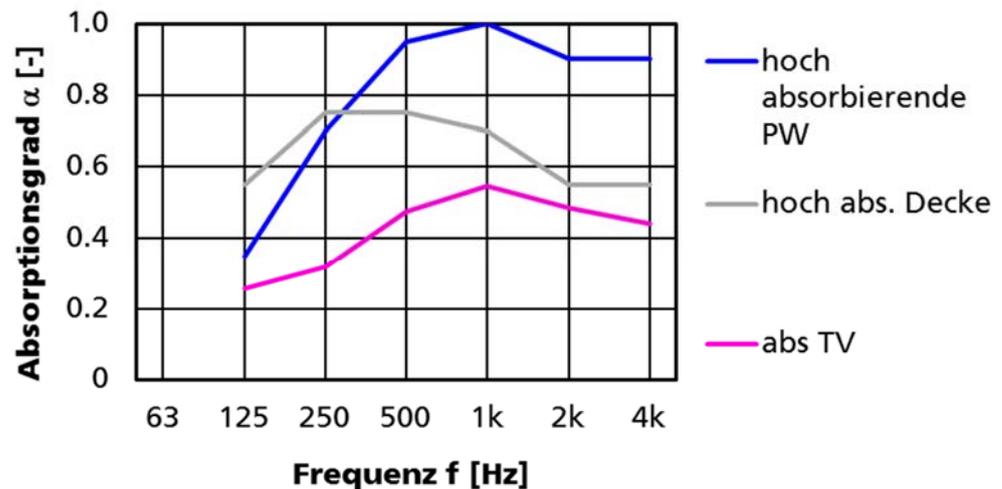


Bild 19:
Schallabsorptionsgrad der hoch absorbierenden Prallwand (PW), der hoch absorbierenden Decke und des absorbierenden Trennvorhangs (TV)

4.2.3 Fazit für die Ausstattung der Sporthalle bei Teilung in drei Hallenteilen

Für den Fall der Trennung der Sporthalle in drei Teilhallen zeigen die Modellrechnungen, dass auf jeden Fall ein schallabsorbierender Trennvorhang verwendet werden sollte, um die geforderten Nachhallzeiten von 1,6 s zu erreichen. Möglich ist dies in Kombination mit einer hoch absorbierenden Prallwand mit einer Höhe von 4 m oder der Kombination aus 2 m hoher hoch absorbierender Prallwand und absorbierender Decke. Bei der Aufteilung der Sporthalle in drei Teilhallen, was bei einer Studie des IBP von 84% der Lehrkräfte im Schulunterricht als häufigste Nutzungsart angegeben wird [1], soll der Hallentrennvorhang eine ausreichende Schallabsorption aufweisen, was bis dato in der Regel nicht der Fall ist. Eine schallabsorbierende Ausgestaltung des Trennvorhangs verhindert zusätzlich die Ausbildung von Flatterechos vor allem im mittleren Hallenteil zwischen beiden Vorhängen. Messungen und die Befragung haben gezeigt, dass vor allem die Mittelhalle oftmals die längsten Nachhallzeiten aufweist und am lautesten beurteilt wird. Durch absorbierende Trennvorhänge könnte diese schlechte Akustik deutlich verbessert werden. Die Verwendung eines Trennvorhangs in Mehrfeldhallen wirkt neben der Schallabsorption des Vorhangs noch die Thematik der Schalldämmung des Vorhangs bzw. des Vorhangs und seiner Nebenwege auf. Dies wird in Abschnitt 5.6.1 explizit behandelt.

4.3 Einfeld-Sporthalle

Als weiterer Sporthallentyp wurde eine Einfeld-Sporthalle modelliert. Einfeldhallen waren in der Vergangenheit ein relevanter Hallentyp und werden nun in größerem Umfang saniert. Aussagen aus der Praxis gehen zur Zeit von ca. 80% Sanierungen, unter anderem von Einfeld-Sporthallen, und nur 20% Neubauten aus. Problematisch ist bei Sanierungen oft, dass alte Hallen ohne Prallwände ausgestattet waren und wenig Platz vorhanden ist, moderne Prallwände mit elastischer Unterkonstruktion im Spielfeldbereich unterzubringen. Zusätzlich erschwert wird dies durch die Forderung eines besseren Wärmeschutzes, der bei Sanierungen zum Teil als Innendämmung vorgesehen wird. Interessant könnte es daher sein, Innen-Dämmsysteme zu entwickeln, die sowohl thermisch, hygrothermisch als auch akustisch wirksam sind, so dass der Platzbedarf auf der Innenseite der Hallenkonstruktion optimiert wird. Die Entwicklung solcher Systeme war nicht Inhalt dieses Forschungsvorhabens, wäre aber ein mögliches Entwicklungsziel weiterer Arbeiten.

Die modellierte Einfeld-Sporthalle orientierte sich am von einem Projektpartner bereitgestellten Grundriss und stellt eine typische Einfeldhalle dar, die auch in ihren Abmessungen die Planungsgrundlage der DIN 18032-1 [5] für Einfeldhallen erfüllt. Die modellierte Einfeldhalle hatte eine Länge von 27 m, eine Breite von 15 m und eine Höhe von 5,5 m. Das Dach wurde als Flachdach angenommen. Damit hatte die Halle eine Grundfläche von 405 m² und ein Raumvolumen von 2227 m³. Die sich aus dem Raumvolumen nach DIN 18041 für Sporthallen ergebende Soll-Nachhallzeit beträgt $T_{\text{soll}} = 1,5$ s. Die Sporthalle ist als Modell grafisch in Bild 20 gezeigt.

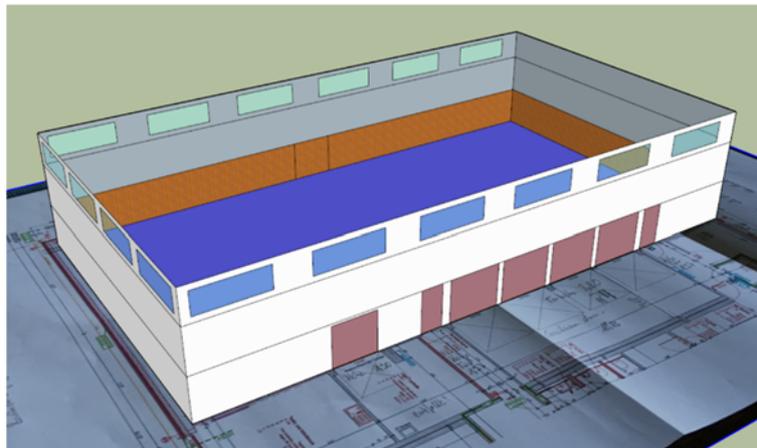


Bild 20:
Darstellung der untersuchten Einfeldhalle

Die Einfeldhalle hatte ein Fensterband an beiden Längsseiten und an einer Querseite. Außerdem besaß die Halle im unteren Bereich der Sporthalle, in dem auch die Prallwand vorgesehen ist, mehrere Geräteraumtore, wie in Bild 20 zu sehen ist (einzelne Flächen in der Wand zum Betrachter).

4.3.1 Einfeldhalle im Ausgangszustand

Die Oberflächen der Halle bestanden im Ausgangszustand der Modellierung aus einem handelsüblichen Sportboden sowie eine Prallwand aus einer einfachen elastischen Schicht mit Nadelvlies-Oberfläche mit einer Gesamtdicke von 19 mm. Die Wandflächen wurden als Betonoberflächen angenommen, die Decke als einfache Holzkonstruktion mit 50 mm Unterkonstruktion. Die für die einzelnen Oberflächen angesetzten Schallabsorptionsgrade sind dieselben wie bei der Dreifeldhalle. Sie sind für eine bessere Übersichtlichkeit nochmals in Bild 21 gezeigt. Zusätzlich ist der Absorptionsgrad der hoch absorbierenden Prallwand dargestellt, die bei der nächsten Variante der Modellierung verwendet wurde.

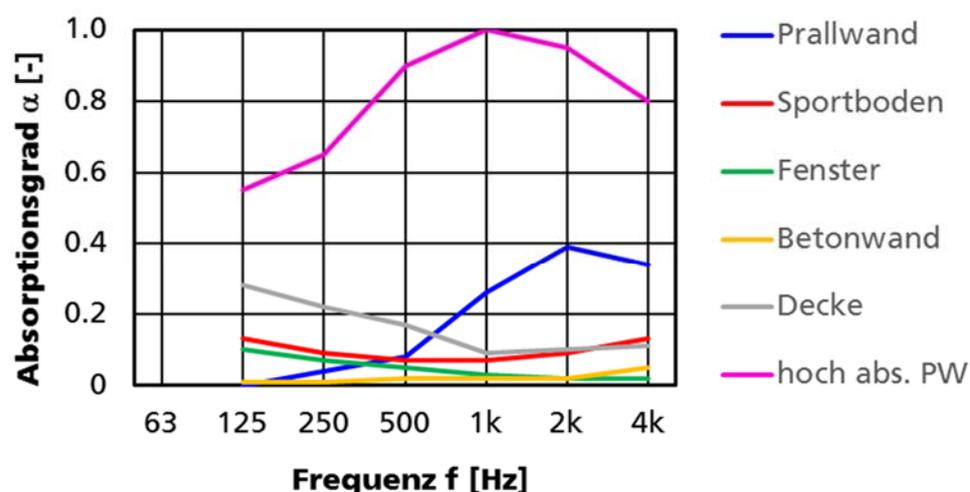


Bild 21:

Schallabsorptionsgrad der Oberflächen, die im Ausgangszustand für die Einfeldhalle angenommen wurden, sowie Werte für die hoch absorbierende Prallwand (PW).

Die berechnete Nachhallzeit des Ausgangszustands wird im folgenden Abschnitt beschrieben und ist in Bild 22 dargestellt.

4.3.2 Einfeldhalle mit hoch absorbierender Prallwand

In der Einfeldhalle wurde die einfache Prallwand durch die hochabsorbierende Prallwand (siehe Abschnitt 4.1.3) in verschiedenen Variationen ersetzt und die Halle jeweils modelliert. Im ersten Schritt war es eine umlaufende hoch absorbierende Prallwand mit einer Höhe von 2 m. Die modellierte Nachhallzeit für diese Variante, im Vergleich zum Ausgangszustand, ist in Bild 22 dargestellt.

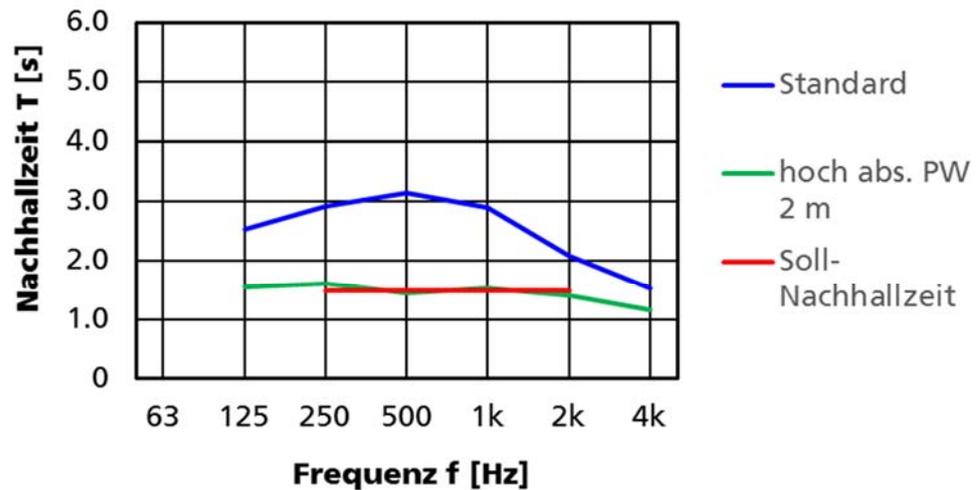


Bild 22:

Berechnete Nachhallzeit in der Einfeld-Sporthalle für den Ausgangszustand und die Ausstattung mit hoch absorbierender Prallwand (PW) mit einer Höhe von 2 m. Die rote Linie zwischen 250 und 2 kHz stellt die Soll-Nachhallzeit von 1,5 s dar.

Die berechnete Nachhallzeit des Ausgangszustands liegt mit Werten über 3 s deutlich über der Soll-Nachhallzeit von 1,5 s. Selbst die Verwendung der hoch absorbierenden Prallwand mit umlaufend 2 m Höhe erreicht die geforderte Nachhallzeit nicht ganz, bei 250 Hz wird die Nachhallzeit geringfügig überschritten.

Als nächst Variante wurde die hoch absorbierende Prallwand mit einer Höhe von 4 m simuliert. Ergebnisse der Nachhallzeit sind in Bild 24 dargestellt.

Eine weitere Variante ist für den Fall der Prallwand mit 2 m Höhe die zusätzliche Verwendung von akustisch hochwirksamen Geräteraumtoren. Sie sind in Abschnitt 5.4 beschrieben und wurden im Laufe des Projekts untersucht. Zum Zeitpunkt der Modellierung der Einfeldhalle lagen hierzu bereits Messwerte vor, so dass diese Variante berücksichtigt werden konnte. Der aus speziellen Messungen im Hallraum ermittelte Absorptionsgrad dieser Geräteraumtore ist in Bild 23 dargestellt.

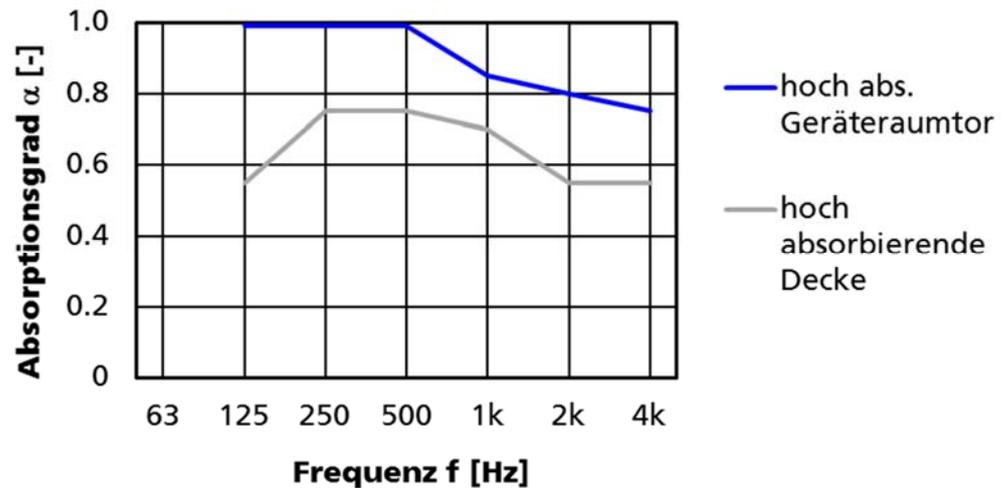


Bild 23:

Schallabsorptionsgrad der hoch absorbierenden Geräteraumtore und der akustisch wirksamen Decke.

Realistische Angaben zum Schallabsorptionsgrad von Geräteraumtoren lagen vor Durchführung der Untersuchungen in Abschnitt 5.4 nicht vor, da sie nur unter besonderen Bedingungen in Bezug auf ihr Schallabsorptionsvermögen untersucht werden können. In der Regel werden sie ähnlich wie Prallwände behandelt. Die hier angegebenen Schallabsorptionsgrade gehen davon aus, dass das Tor zum Geräteraum hin nicht mit einer geschlossenen Platte versehen ist, sondern dass der Geräteraum raumakustisch wirksam ist. Ist dies der Fall, dann wird das Luftvolumen (mit in der Regel ca. 4 m Tiefe) des Geräteraums akustisch genutzt, was die Schallabsorption stark beeinflusst. Durch die Tiefe des Raumes ergibt sich für das Tor tieffrequent ein sehr hoher Schallabsorptionsgrad, der praktische Absorptionsgrad erreichte bei unserer Untersuchung bei 125 bis 500 Hz den Wert $\alpha_p = 1$.

Werden in unserer Einfeldhalle neben der hochabsorbierenden Prallwand mit einer Höhe von 2 m außerdem fünf hochabsorbierende Geräteraumtore (GT) berücksichtigt, so ergibt sich damit die berechnete Nachhallzeit, die in Bild 24 dargestellt ist.

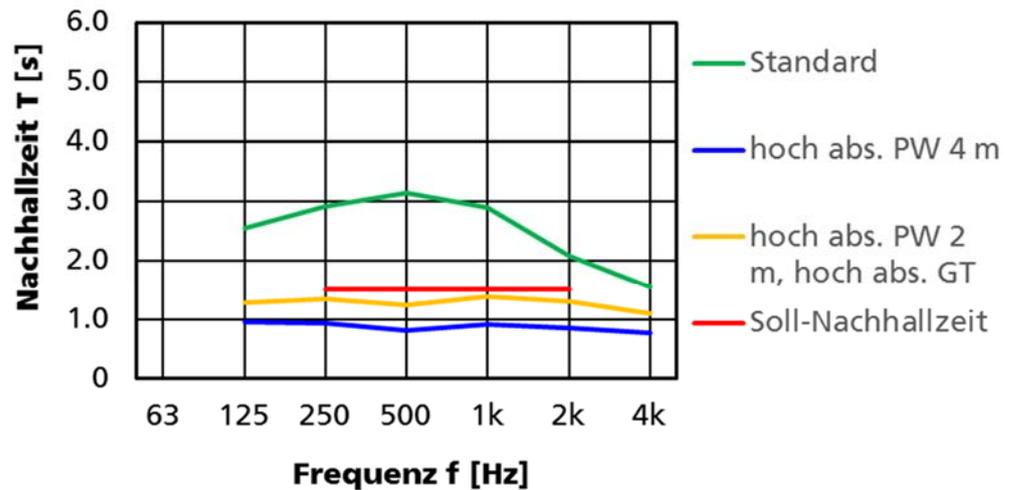


Bild 24:

Berechnete Nachhallzeit in der Einfeld-Sporthalle für den Ausgangszustand und die Ausstattung mit hoch absorbierender Prallwand (PW) mit einer Höhe von 4 m und der Prallwand mit 2 m Höhe und zusätzlich mit fünf hoch absorbierenden Geräteraumtoren (GT).

Die modellierten Nachhallzeiten in Bild 24 zeigen, dass für beide Varianten nun die Anforderung mit einer Nachhallzeit von 1,5 s erreicht wird. Dabei spielen vor allem die Geräteraumtore eine wichtige Rolle, denn sie liefern gerade im tiefen Frequenzbereich eine hohe Schallabsorption, so dass die Kombination mit der 2 m hohen Prallwand ausreicht und zu einem gleichmäßigen Verlauf der Nachhallzeit führt. Die hoch absorbierende Prallwand mit 4 m Höhe, d.h. bis zur Unterkante des Fensterbands der Halle, ergibt Nachhallzeiten von ca. 1 s, was für Einfeldhallen einen guten Wert darstellt.

4.3.3 Einfeldhalle mit absorbierender Decke

Als weitere Variante wurde die Einfeldhalle mit hoch absorbierender Decke simuliert. Die Deckenverkleidung, bestehend aus einer Aufbauhöhe von 285 mm mit 20 mm Mineralwollschicht gefüllt, war dieselbe wie bei der Dreifeldhalle. Der angenommene Absorptionsgrad der hoch absorbierenden Decke ist in Bild 23 gezeigt. Neben dieser Variante wurde auch die Kombination aus hoch absorbierender Decke und hoch absorbierenden Geräteraumtoren bzw. hoch absorbierender Prallwand mit 2 m Höhe untersucht. Die Ergebnisse sind in Bild 25 dargestellt.

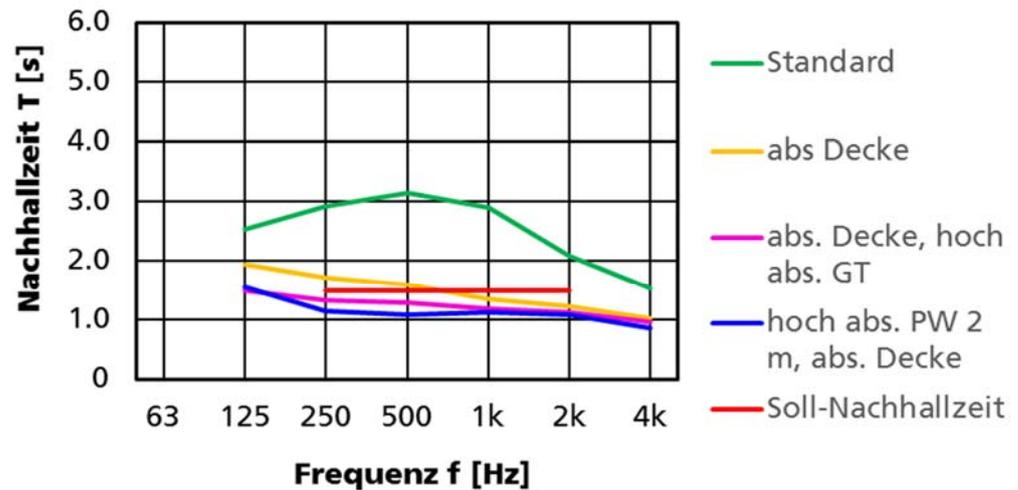


Bild 25:

Berechnete Nachhallzeit in der Einfeld-Sporthalle für den Ausgangszustand und die Ausstattung mit hoch absorbierender Decke, mit zusätzlich fünf hoch absorbierenden Geräteraumtoren (GT) oder mit hoch absorbierender Prallwand (PW) mit einer Höhe von 2 m.

Die Simulation der Einfeldhalle mit hoch absorbierender Deckenverkleidung zeigt, dass für diese Variante die Soll-Nachhallzeit noch nicht eingehalten wird. Bei tiefen und mittleren Frequenzen von 500 Hz und darunter ist sie länger als gefordert. Der zusätzliche Einsatz von hoch absorbierenden Geräteraumtoren führt dazu, dass die Anforderungen eingehalten werden. Wird hingegen die Prallwand bis zu einer Höhe von 2 m zusätzlich zur Decke hoch absorbierend ausgeführt, so werden auch damit deutlich niedrigere Nachhallzeiten (im mittleren Frequenzbereich bei ca. 1,1 s) als gefordert erreicht.

4.3.4 Fazit für die Ausstattung der Einfeld-Sporthalle

Die Simulation der Einfeldhalle zeigt, dass lediglich der Einsatz einer hoch schallabsorbierenden Prallwand oder einer hoch schallabsorbierenden Deckenverkleidung nicht ausreicht, um die Anforderung an die Nachhallzeit zu erreichen. Bei Verwendung einer hoch absorbierenden Deckenverkleidung, die über die hier angesetzten Absorptionsgrade hinaus geht, könnte rechnerisch mit der Berechnungsmethode nach Sabine die Soll-Nachhallzeit gerade erreicht werden. Hierzu wäre jedoch eine größere Bautiefe der Deckenkonstruktion notwendig und es wird immer von einer vollflächigen Anwendung ausgegangen. Dies ist jedoch praktisch nicht in jeder Halle möglich. Daher ist es nicht zu empfehlen, nur mit einer hochabsorbierenden Deckenverkleidung zu versuchen, die Akustik in einer Sporthalle einzustellen. Wie schon beschrieben gilt, dass bei ungleichmäßigen Verteilung der Absorption die Nachhallzeit tendenziell länger ist als nach Sabine berechnet, denn das Schallfeld ist dann nicht diffus. Auch kann es in diesem Fall zu Reflexionen und Flatterechos zwischen den Wänden

kommen, was zu längeren Nachhallzeiten, einer schlechteren Sprachverständlichkeit und subjektiv zu einer hohen Störwirkung führt.

Der Einsatz einer 4 m hohen Prallwand führt zur Einhaltung der Soll-Nachhallzeit, jedoch kann es in diesem Fall zu Flatterechos zwischen Boden und Decke kommen. Deshalb wird empfohlen, die Variante aus hoch absorbierender Prallwand mit einer Höhe von 2 m mit einer absorbierenden Deckenkonstruktion zu kombinieren. Die beste Lösung für Einfeldhallen stellt die zusätzliche Ausrüstung der Geräteraumtore als hoch schallabsorbierende Flächen dar, denn damit wird auch tieffrequent eine gute Schallabsorption in der Halle erreicht. Werden diese drei Maßnahmen kombiniert, muss der Schallabsorptionsgrad der einzelnen akustisch wirksamen Bauteile nicht extrem hoch sein. Die dann herrschende gleichmäßige Verteilung der Absorption führt zu einem eher diffusen Schallfeld, so dass auch einfache Berechnungsmethoden wie die nach Sabine eine gute Abschätzung der Nachhallzeit erlauben. Es entsteht ein diffuses Schallfeld mit geringen Nachhallzeiten, so dass geringere Pegel herrschen und die Kommunikation unterstützt wird.

4.4 Zweifeld-Sporthalle

Zweifeld-Sporthallen wurden nicht modelliert, denn die Ergebnisse der Dreifeld- und Einfeldhallen können auf diese übertragen werden. Werden Zweifeld-Sporthallen mit Unterteilung durch einen Trennvorhang betrachtet, so verhalten sich beide Hallenteile im Wesentlichen wie die Seitenhallen der Dreifeldhalle. Somit sind diese Ergebnisse direkt auf Zweifeldhallen übertragbar.

5 Untersuchungen an Teilsystemen

5.1 Schallabsorption im Kundt'schen Rohr

Die Messung der Schallabsorption im Kundt'schen Rohr ermöglicht die Messung der Schallabsorption von kleinen Proben bei senkrechtem Schalleinfall. Diese Messungen eignen sich zum Material- und Konstruktionsvergleich, sind aber nicht direkt auf Messungen im Hallraum und auf den Anwendungsfall in Sporthallen übertragbar.

5.2 Schallabsorption im Hallraum

Die Messung der Schallabsorption im Hallraum benötigt eine Probengröße von 10 m² bis 12 m². Damit ist der Aufwand zur Probenherstellung relativ groß. Hallraum-Messungen liefern Planungswerte von Materialien und Aufbauten. Für die Raumakustik-Planung von Sporthallen ist es aber, wie weiter oben dargestellt, nicht ausreichend, nach Sabine die Nachhallzeiten von Sporthallen zu berechnen.

5.3 Prallwände

Die in Sporthallen eingebauten Prallwände mit einer Mindesthöhe von 2 m eignen sich hervorragend als schallabsorbierende Konstruktionen, wenn sie dementsprechend ausgestattet sind. Die Prallwände sind immer im Bewegungsbereich der Personen angeordnet und können durch mittlere oder hohe Schallabsorption die Akustik in Sporthallen positiv beeinflussen. Eine Prallwand ist beispielhaft in Bild 26 dargestellt.



Bild 26:
Prallwand mit Geräteraumtoren in einer Sporthalle (Quelle HARO Sports Flooring)

Allerdings ist es nicht ausreichend, allein Prallwände als schallabsorbierende Bauteile einzusetzen, siehe Abschnitt 4.

5.3.1 Messergebnisse Schallabsorption im Kundt'schen Rohr

Die Messungen an Proben erfolgten in einem Kundt'schen Rohr (auch als Impedanzrohr bezeichnet) in Anlehnung an DIN EN ISO 10534-2, „Akustik-Bestimmung des Schallabsorptionsgrades und der Impedanz in Impedanzrohren“ Teil 2: Verfahren mit Übertragungsfunktion [14]. Der Rohrquerschnitt des Impedanzrohres beträgt 200 mm x 200 mm. Der Messaufbau ist in Bild 27 dargestellt.

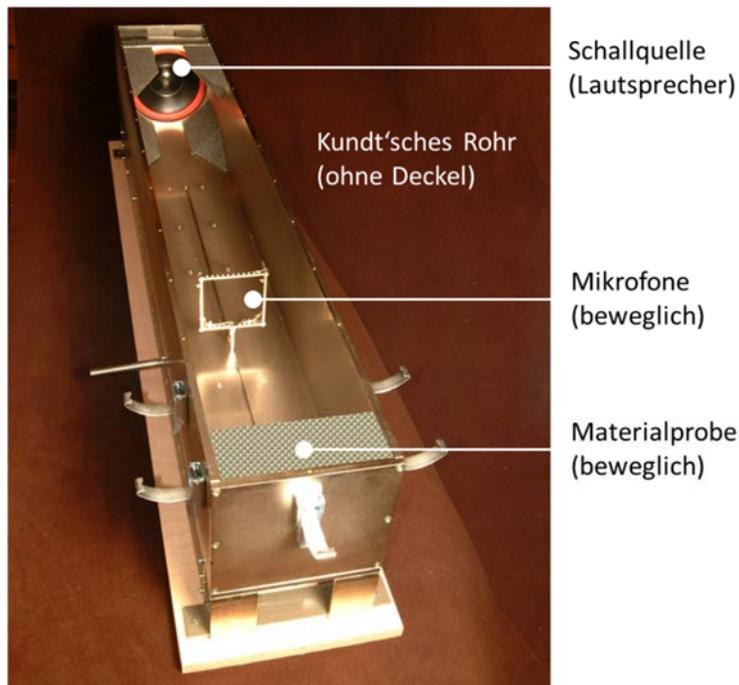


Bild 27:
Schematischer Aufbau eines Impedanzrohrs.

Die Messergebnisse einzelner Proben werden Berechnungsergebnissen gegenübergestellt. Auf die Rechenverfahren wird hier nicht weiter eingegangen, sie können [15] entnommen werden.

Zunächst sind exemplarisch Messungen an Materialien dargestellt, die als Füllmaterialien hinter der Deckschicht von Prallwänden eingesetzt werden. Die erste dieser Proben war ein Recycling-Schaumstoff mit einer Dicke von 50 mm, bezeichnet mit Probe 1-1. Der gemessene und berechnete Absorptionsgrad α_0 und die Probe ist in Bild 28 gezeigt.

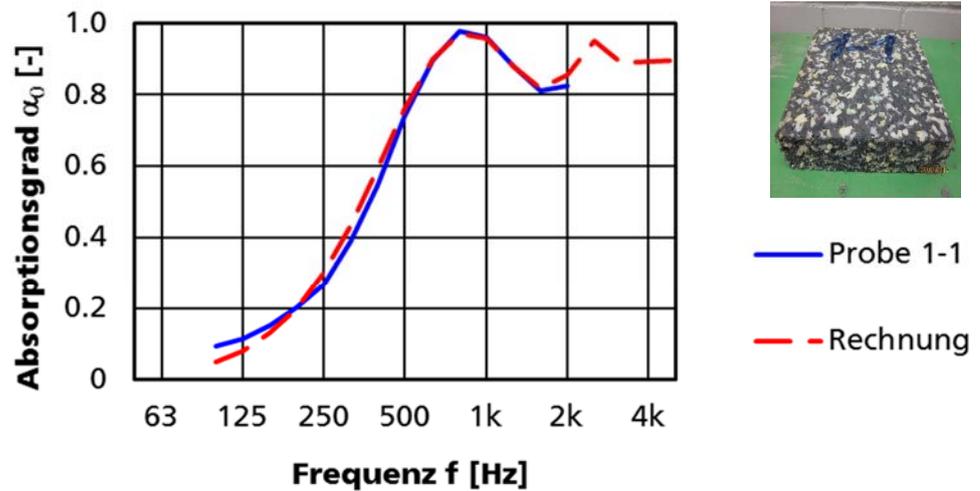


Bild 28:

Gemessener und berechneter Absorptionsgrad der Probe 1-1.

Probe 1-1 zeigt den typischen Verlauf eines porösen Absorbers, der einen gut angepassten Strömungswiderstand von geschätzt 20000 Ns/m^4 (empirisch angepasst) aufweist. Ist dies der Fall, so wird ein Maximum des Absorptionsgrads von nahezu 1 erreicht. Die Frequenz des Maximums hängt von der Dicke der Probe ab. Die Berechnung für poröse Absorber zeigt eine recht gute Übereinstimmung mit der Messung. Ein ähnliches Verhalten zeigt beispielsweise Probe 3. Hierbei handelte es sich wiederum um einen Recycling-Schaumstoff mit einer Dicke von 10 mm und einem empirisch angepassten Strömungswiderstand von 15000 Ns/m^4 , der jedoch mit einem Luftabstand von 50 mm gemessen wurde. Die Messergebnisse und die Probe sind in Bild 29 gezeigt.

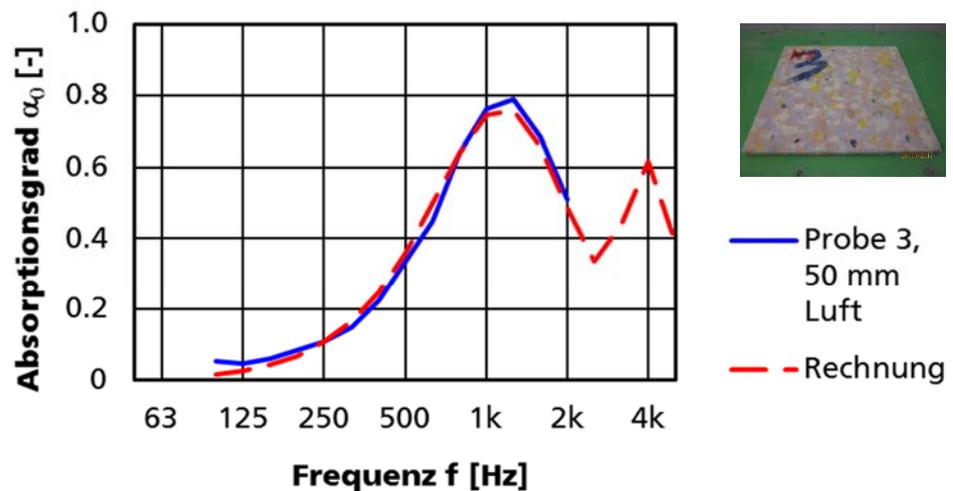


Bild 29:
Gemessener und berechneter Absorptionsgrad der Probe 3.

Die Messung der Probe 3 zeigt wiederum einen typischen Verlauf eines porösen Absorbers, jedoch ist dieser durch seine geringere Dicke nicht optimal angepasst. Daher erreicht er mit einem Maximum von ca. 0,8 nicht das volle Potential einer solchen Absorberschicht. Wiederum ist die Übereinstimmung von Messung und Rechnung gut. Die Rechnung zeigt, wie sich der Absorber bei höheren Frequenzen oberhalb des Messbereichs verhalten wird: Durch seine geringe Dicke fällt der Einbruch, hier bei 2,5 kHz, deutlich stärker aus als bei der dickeren Probe 1-1. Es zeigt sich, dass die Füllung einer Prallwand hinter der Deckschicht mit dickerem Material ausgestattet sein sollte. Eine dünnere Schicht, wie oftmals nur eine Vlieslage, führt zu Messergebnissen, die in Bild 30 dargestellt sind.

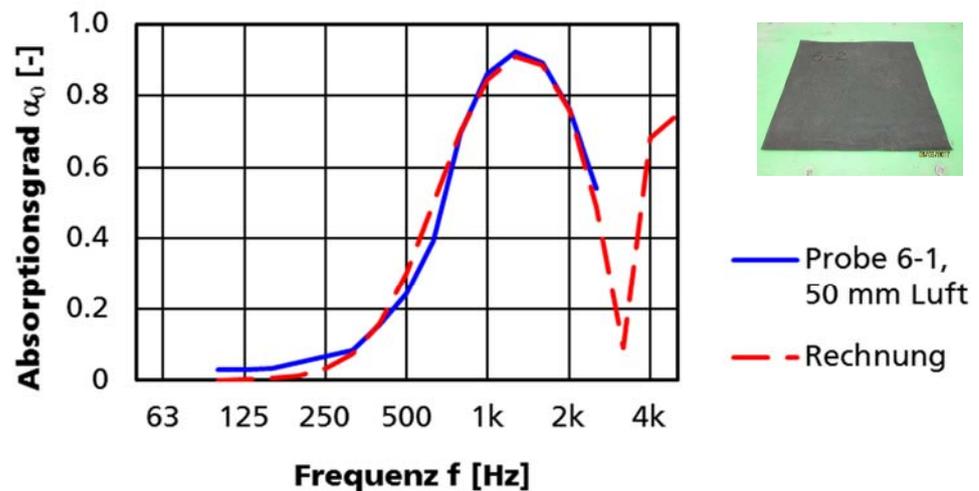


Bild 30:
Gemessener und berechneter Absorptionsgrad der Probe 6-1, einer Vlieslage vor einer Luftschicht von 50 mm.

Die Messung eines Vlies vor 50 mm Luftschicht, Probe 6-1, zeigt ein Maximum bei 1250 Hz von ca. 0,9 und damit eine recht gute Anpassung des Strömungswiderstands. Dennoch bricht die berechnete Kurve bei 3150 Hz auf einen Wert von ca. 0,1 ein, da die Schichtdicke des Vlieses mit 0,15 mm sehr gering ist. Allerdings muss hier bemerkt werden, dass diese Einbrüche im diffusen Schallfeld deutlich geringer ausfallen als beim senkrechten Schalleinfall. Um einen Einbruch der Schallabsorption bei höheren Frequenzen zu vermeiden wäre es besser, eine akustisch wirksame Prallwand mit einem an die Konstruktion angepassten Vlies sowie mit einer dahinter liegenden Absorberschicht auszuführen.

Realistischere Aufbauten von Prallwandsystemen bestehen wenigstens aus einer Deckschicht, die in der Konstruktion die mechanische Last eines Aufpralls von Bällen oder Personen aufnehmen kann. Wenn diese akustisch wirksam sein soll, muss die Deckschicht akustisch transparent sein. Dies wird z.B. durch Lochplatten realisiert. Eine solche Konstruktion stellt z.B. Probe 10-2 dar, die aus einer 9 mm dicken Lochplatte aus Sperrholz mit Lochdurchmesser 8 mm und Lochabstand 16 mm bestand. Diese Platte war mit einem Vlies hinterlegt. Die Probe 10-2 wurde mit einer 50 mm dicken Mineralwolle hinterlegt und gemessen. Die Mess- und Berechnungsergebnisse sind in Bild 31 gezeigt.

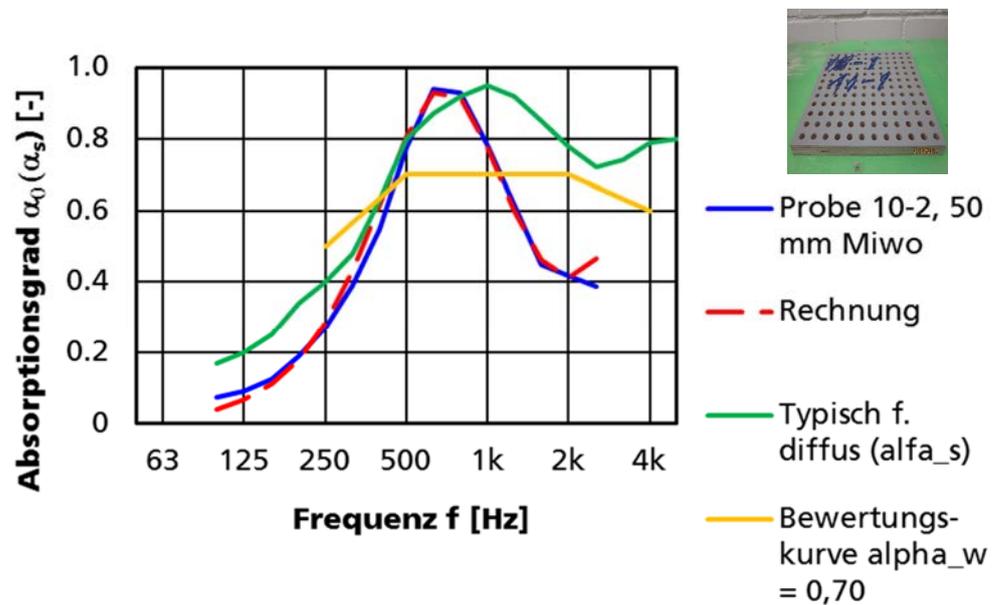


Bild 31:

Gemessener und berechneter Absorptionsgrad der Probe 10-2, einer Sperrholz-Lochplatte mit Lochung 8/16 vor einer Mineralwolle mit 50 mm Dicke. Abschätzung für den Schallabsorptionsgrad im Diffusfeld und die dafür geltende Bewertungskurve.

Probe 10-2 direkt vor der schallharten Rückwand alleine liefert sehr geringe Absorptionsgrade. Die gelochte Frontplatte mit rückseitig angebrachter Mineralwolle mit einer Dicke von 50 mm führt zu einer hohen Absorption von $\alpha_0 > 0,9$ bei 630 und 800 Hz in Bild 31. Dies deutet darauf hin, dass die Probe 10-2 mit Vlies und der Mineralwolle gut abgestimmt ist. Durch die Lochung der Platte kommt es mit steigender Frequenz zunehmend zu Reflexion an den geschlossenen Oberflächenbereichen, so dass die Absorption zu höheren Frequenzen wieder abnimmt. Der Vergleich vom Messung und Rechnung zeigt, dass das verwendete Modell gut geeignet ist, das akustische Verhalten der Probe zu berechnen. Das typische Verhalten dieser Probe im Diffusfeld, d.h. bei Messung im Hallraum, lässt sich aus Erfahrung durch die grüne Kurve abschätzen. In diesem Fall liegt die maximale Absorption bei etwas höheren Frequenzen, der Einbruch oberhalb dieses Maximums ist nicht so ausgeprägt. Weiterhin ist die Bewertungskurve für den bewerteten Schallabsorptionsgrad der für das Diffusfeld abgeschätzten Kurve dargestellt. Der bewertete Schallabsorptionsgrad beträgt dafür $\alpha_w = 0,7$. Da für die Bewertung der Schallabsorption die Unterschreitungen der Messkurve unter die Bewertungskurve ausschlaggebend sind, bestimmt in diesem Fall nur die unterste zur Bewertung herangezogene Frequenz von 250 Hz die Einzahlbewertung. Durch eine größere Aufbaudicke ließe sich das Absorptionsmaximum zu tieferen Frequenzen verschieben und der bewertete Schallabsorptionsgrad für diese Prallwandkonstruktion damit erhöhen.

Als weiterer Aufbau wurde Probe K3 untersucht. Sie bestand aus einer 9 mm dicken Lochplatte mit Lochung 8/16, einem dahinter angebrachten Akustikvlies,

einer 10 mm dicken Schaumstoffschicht und einer 16 mm dicken Holzfaserverplatte mit Mikrolochung. Der Schallabsorptionsgrad dieser Konstruktion ist in Bild 32 dargestellt.

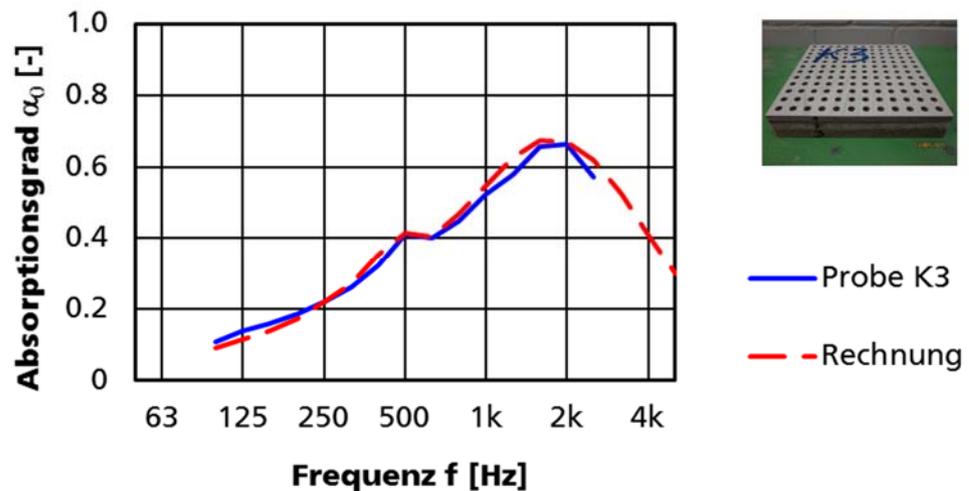


Bild 32:

Gemessener und berechneter Absorptionsgrad der Probe K3, einer Sperrholz-Lochplatte mit Lochung 8/16 mit Vlies vor einer 10 mm dicken Schaumschicht und einer 16 mm dicken Holzfaserverplatte mit Mikrolochung.

Das Messergebnis in Bild 32 zeigt einen maximalen Absorptionsgrad von etwas über 0,6 bei 2 kHz, darüber fällt der Absorptionsgrad wieder ab. Im Vergleich zur Probe 10-2 in Bild 31 liegt das Maximum bei höheren Frequenzen, denn die Aufbauhöhe ist geringer. Das deutlich unter eins liegende Maximum deutet auf eine nicht optimale Anpassung der Strömungswiderstände des Vlies und der Schaumstoffschicht hinter der Lochplatte hin. Die Analyse der Messergebnisse zeigt, dass der Aufbau unterdämpft ist, d.h. der Strömungswiderstand ist zu gering.

Eine weitere Variante der Prallwand mit gelochter Frontplatte waren Untersuchungen an Platten, die Lochungen mit zwei verschiedenen Lochdurchmessern aufwiesen. Dabei wurde auf der dem Raum zugewandten Oberfläche eine kleinere Lochung verwendet, um die Verletzungsgefahr zu minimieren und den in der Normung geforderten Lochdurchmesser von 8 mm nicht zu überschreiten. Von der Rückseite jedoch wurde die Lochung aufgebohrt, um den Lochflächenanteil zu erhöhen und damit das akustische Verhalten der Lochplatte zu verbessern. Eine solche Probe mit Lochung 5-10/16, d.h. mit Löchern auf der Frontseite mit Durchmesser 5 mm, von der Rückseite aufgebohrt mit 10 mm Durchmesser und Lochrasterabstand 16 mm, bestand aus einer 18 mm dicken Multiplex-Platte. Sie wurde mit einem Vlies hinterlegt und mit einem Luftabstand von 32 mm vor der Rückwand gemessen. Als Varianten wurde der Luftraum teilweise mit verschiedenen Materialien gefüllt. Bei der Beschreibung werden die vom Hersteller genannten Bezeichnungen verwendet. Der gemessene Absorptionsgrad ist in Bild 33 dargestellt.

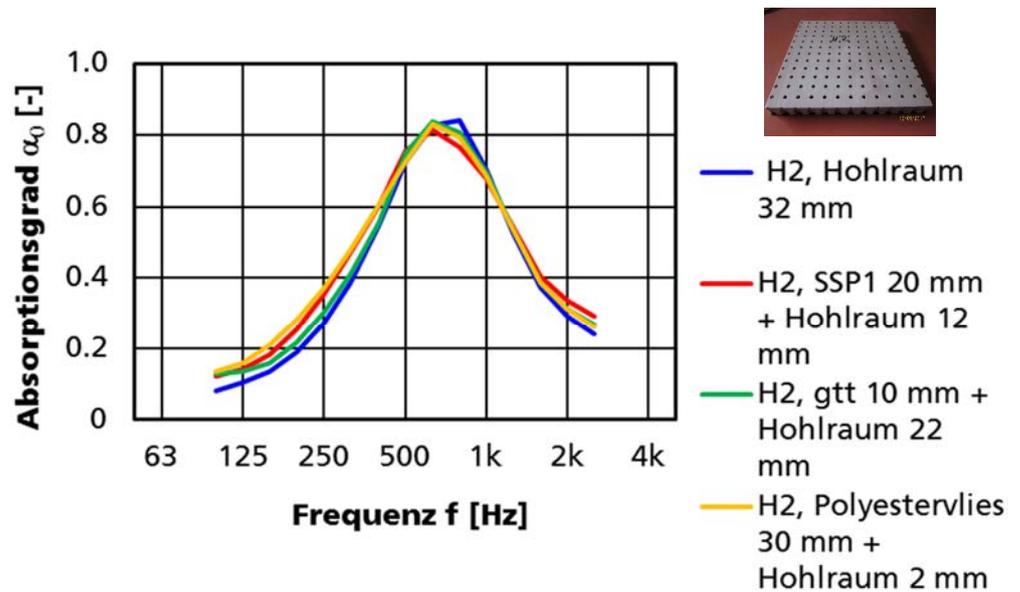


Bild 33:

Gemessener Absorptionsgrad der Probe H2, bestehend aus einer 18 mm dicken Multiplex-Platte mit Lochung 5-10/16, Vlies und 32 mm Luftschicht bzw. verschiedenen Teilfüllungen aus Schaumstoffen mit Bezeichnung SSP1, gtt und Polyestervlies

Der Absorptionsgrad für alle vier Varianten zeigt einen relativ ähnlichen Verlauf, mit einem Anstieg und einem Maximum bei 630 bzw. 800 Hz, gefolgt von einem Abfall der Schallabsorption, typisch für derartige Lochplatten. Die Füllmaterialien spielen eine geringe Rolle und erzeugen geringe Unterschiede, allerdings liefern die Proben mit dickerer Füllung, z.B. Polyesterfaservlies, im tieferen Frequenzbereich etwas höhere Absorption. Dennoch scheint der Absorptionsgrad bei 250 Hz mit Werten von ca. 0,3 relativ gering, so dass eine solche Konstruktion als Prallwand nicht ausreichend ist, um genügend Absorption im tiefen Frequenzbereich zur Verfügung zu stellen. Wird allerdings der Luftraum auf 82 mm, und damit die Gesamtstärke des Aufbaus auf 100 mm erhöht, so ergeben sich die in Bild 34 dargestellten Absorptionsgrade.

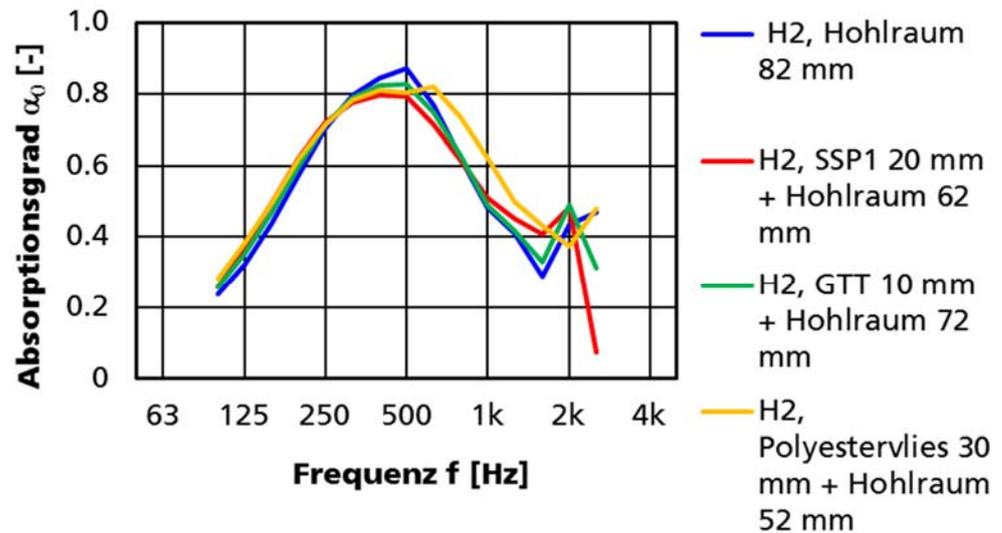


Bild 34:

Gemessener Absorptionsgrad der Probe H2, bestehend aus einer 18 mm dicken Multiplex-Platte mit Lochung 5-10/16, Vlies und 82 mm Luftschicht bzw. verschiedenen Teilfüllungen aus Schaumstoffen mit Bezeichnung SSP1, gtt und Polyestervlies

Bei dieser Aufbaustärke liegt nun das Absorptionsmaximum bei ca. 400 Hz, so dass auch bei 250 Hz schon ein hoher Absorptionsgrad von 0,7 erreicht wird. Der Abfall bei hohen Frequenzen wird im Diffusfeld geringer ausfallen, so dass der Einsatz dieser Art von Prallwand mit größerer Aufbauhöhe in Sporthallen möglich und sinnvoll erscheint.

Ähnlich zur zuvor gezeigten Konstruktion verhalten sich Prallwände mit mikroperforierter Lochung. Mikroperforation bezeichnet in der Regel Lochungen mit einem Lochdurchmesser von kleiner 1 mm. Im folgenden Fall wurden Lochdurchmesser von 0,5 mm verwendet. Dabei wurde wie im vorigen Fall nur die Frontschicht mikroperforiert und die Platte von der Rückseite mit einem Lochdurchmesser 10 mm und Lochrasterabstand 16 mm gelocht. So kann die Mikroperforation im Bereich der rückseitigen Lochungen in einer dünnen Materialschicht wirksam sein. Die Platte selbst war eine 18 mm dicke Multiplex-Platte, die Lochung hatte die Bezeichnung 05 10/16/8. Die Platte war mit einem Vlies hinterlegt, mit einem Luftraum von 82 mm mit teilweiser Füllung ergab sich damit eine Aufbaudicke von 100 mm. Messergebnisse des Schallabsorptionsgrads sind in Bild 35 gezeigt.

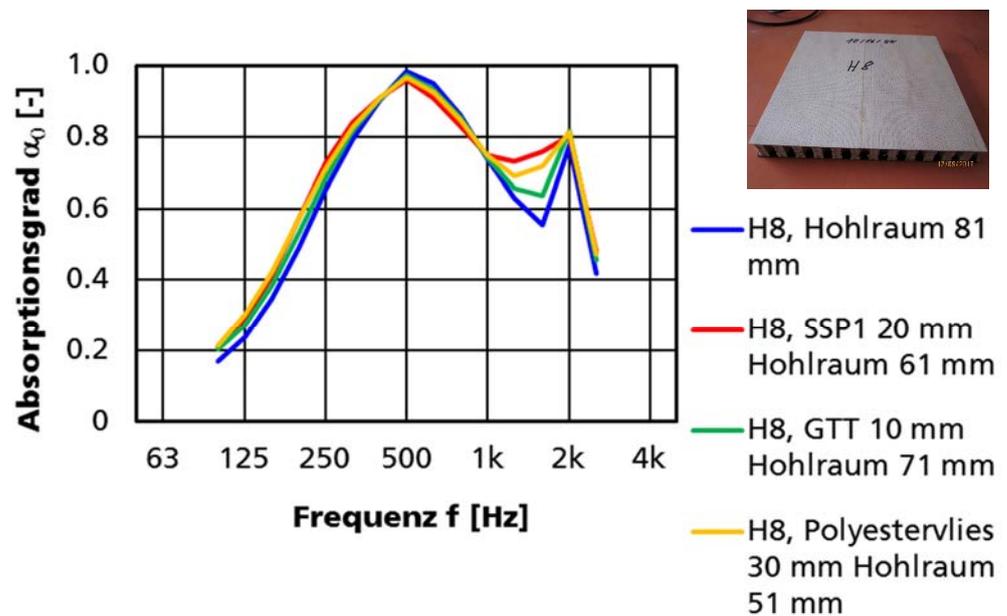


Bild 35:

Gemessener Absorptionsgrad der Probe H8, bestehend aus einer 18 mm dicken mikroperforierten Multiplex-Platte mit Lochung 05 10/16/8, Vlies und 82 mm Luftschicht bzw. verschiedenen Teilfüllungen aus Schaumstoffen mit Bezeichnung SSP1, gtt und Polyesterfaservlies

Bei dieser Aufbaudicke von 100 mm steigt die Schallabsorption schon bei tieferen Frequenzen an und erreicht bei 250 Hz Werte von ca. 0,7. Das Maximum liegt nahe 1,0 bei 500 Hz, darüber fällt die Absorption etwas ab. Allerdings gibt es zu 2 kHz nochmals einen Anstieg auf ca. 0,8, so dass das Absorptionsvermögen relativ breitbandig ist. Die Unterschiede der verschiedenen Füllungen sind gering, tendenziell zeigt die Füllung mit 20 mm Schaumstoff SSP1 die besten Ergebnisse, da die Kurve für diesen Aufbau am breitbandigsten ist. Für Messungen im Hallraum ist zu erwarten, dass diese Prallwandkonstruktion eine breitbandige Schallabsorption aufweist und dass diese Konstruktion gut für die Anwendung in Sporthallen geeignet ist.

Weitere Messungen wurden an Prallwandsystemen ohne Unterkonstruktion durchgeführt. Diese sogenannten „Direktsysteme“ werden direkt auf die Rohbauwand aufgebracht, oftmals aufgeklebt. Es handelt sich dabei um dünne elastische Schichten aus Kunststoff, die durch ihre Elastizität den Aufprall von Bällen und Personen abfedern. In der Regel haben diese Prallwandsysteme textile Oberflächen. Vier Varianten dieser Prallwandsysteme wurden untersucht, die Ergebnisse des Absorptionsgrads sind in Bild 36 dargestellt.

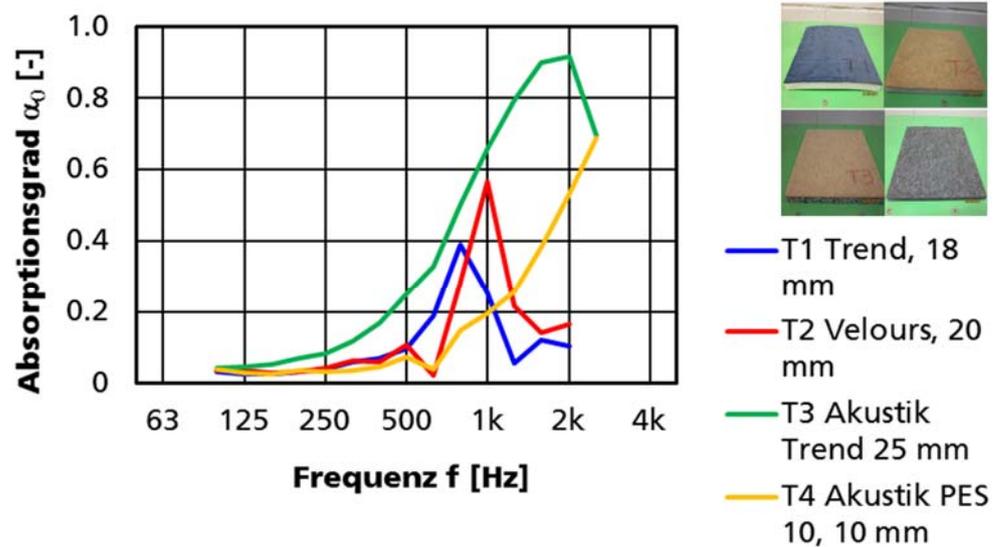


Bild 36:

Gemessener Absorptionsgrad der Proben T1 bis T4, Prallwandsysteme ohne Unterkonstruktion (Direktsysteme), in der Regel mit textilem Oberbelag, Ausnahme Probe T4.

Die Messergebnisse in Bild 36 weisen jeweils zwei verschiedene Charakteristiken auf: Für die Probe T1 und T2 zeigt sich das Verhalten eines Resonanzabsorbers, mit einer scharfen Resonanzspitze im Absorptionsgrad, für die Probe T1 bei 830 Hz, für die Probe T2 bei 1 kHz. Dagegen zeigen Probe T3 und T4 das Verhalten eines porösen Absorbers mit einem Anstieg zu höheren Frequenzen (vergleiche z.B. Bild 28). Durch die relativ dünne Schichtdicke liegt dieser Anstieg bei höheren Frequenzen. Das unterschiedliche Verhalten der Proben kann dadurch erklärt werden, dass Probe T1 und T2 aus einem geschlossenzelligen Schaumstoff bestehen. Damit bildet die Deckschicht eine Masse, die mit dem geschlossenen Schaumstoff als Feder vor der schallharten Rückwand ein Feder-Masse-System mit einer Resonanzfrequenz bildet. Die Proben T3 und T4 bestehen dagegen aus offenzelligem Material (sowohl die textile Deckschicht als auch der Schaumstoff), so dass hier ein poröser Absorber vorliegt. Dabei ist die Probe T4 mit einer Dicke von 10 mm deutlich dünner und damit erst bei höheren Frequenzen wirksam, im Vergleich zur zweieinhalb-mal so dicken Probe T3.

Betrachtet man den Anstieg von Probe T3 im Vergleich zur Bewertungskurve für den bewerteten Schallabsorptionsgrad in Bild 31, so erkennt man, dass der Anstieg der Schallabsorption bei der Schichtdicke von 25 mm immer noch zu hochfrequent ist, um für diese Art von Prallwänden im mittleren Frequenzbereich einen nennenswerten bewerteten Schallabsorptionsgrad zu erreichen. Daher ist diese Art der Prallwand zwar sehr platzsparend, aber gerade aus diesem Grund wenig geeignet, die Raumakustik in Sporthallen (im mittleren Frequenzbereich) ausreichend zu beeinflussen.

Die einzige aus akustischer Sicht sinnvolle Lösung wäre der Einsatz dieser porösen Schichten im Kombination mit einer dahinter angebrachten Luftschicht

(ohne oder mit Bedämpfung), was wiederum auf eine Prallwandkonstruktion mit Unterkonstruktion hinausläuft. Mit einem Luftabstand lässt sich z.B. Probe T4 zu einem ausreichend breitbandigen Absorber machen. Dies ist prinzipiell in Bild 37 dargestellt.

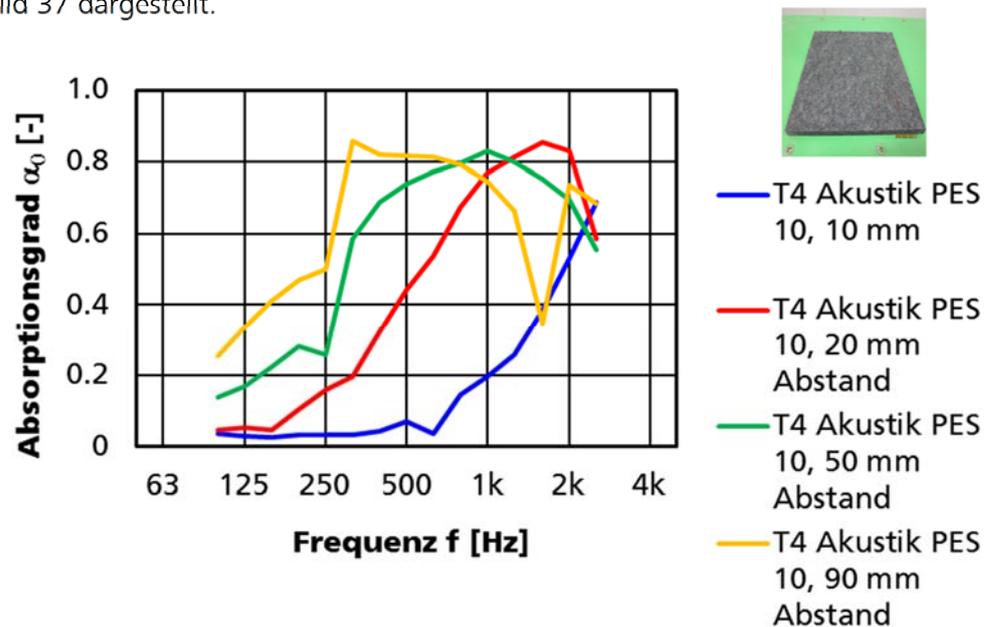


Bild 37:

Gemessener Absorptionsgrad der Proben T1 ohne und mit unterschiedlichem Luftabstand zur Rückwand

Der gemessene Absorptionsgrad in zeigt schon bei einem Abstand von 50 mm ein relativ breitbandiges Spektrum, mit relativ hoher Schallabsorption > 0,7 bei 500 Hz, so dass mit einer Konstruktion mit einer Gesamtdicke von 60 mm ein akustisch breitbandiges Absorptionsverhalten möglich erscheint.

Für Prallwände lässt sich aus den durchgeführten Messungen festhalten, dass bei Direktsystemen die textile Frontschicht sowie die dahinter liegende Schaumstoffschicht offenporig sein sollte, um eine breitbandige Schallabsorption zu erreichen. Die Materialien sollten in ihrem Strömungswiderstand optimiert sein, so dass sie für die vorgesehene Dicke eine optimale Schallabsorption erreichen. Der Vorteil der Direktsysteme, ihre geringe Aufbaudicke, stellt einen entscheidenden Nachteil für die Schallabsorption dar, sie begrenzt die mögliche Schallabsorption auf hohe Frequenzen.

Prallwände aus harten Oberflächen mit elastischer Unterkonstruktion bieten vor allem bei größeren Aufbaudicken, z.B. 100 mm die Möglichkeit, bei gelochter Plattenoberfläche und bei akustisch abgestimmten Lochungen und Strömungswiderständen eine relativ breitbandige und auch im mittleren Frequenzbereich hohe Schallabsorption zu liefern, so dass sie in Sporthallen als Akustikbauteil dienen können.

5.3.2 Messergebnisse Schallabsorption im Hallraum

Neben den Messungen an Modellen im Kundt'schen Rohr wurden auch Messungen an Prallwänden im Hallraum durchgeführt. Eine Messung betraf eine gelochte Prallwand mit der Gesamtabmessung von 3,78 m x 2,35 m und damit einer Prüffläche von 8,9 m². Die Fläche war so gewählt, dass sie auch in einer Prüföffnung des Hallraums als Geräteraumtor gemessen werden konnte und entspricht damit nicht ganz der in DIN EN ISO 354 [16] geforderten Prüffläche von 10 m². Diese Messungen sind in Abschnitt 5.4 näher beschrieben. Die Prallwand bestand aus 8 Sperrholzplatten mit 15 mm Dicke, einer Lochung 8/16 und mit Birke-Furnier. Diese Platten hatten umlaufend einen nicht gelochten Rand von 28 bzw. 32 mm Breite. Hinter den Platten war ein Akustik-Vlies Typ SP 50 mit einem Strömungswiderstand von 192 Ns/m³ angeordnet (gespannt, und mit doppelseitigem Klebeband locker befestigt). Die Platten waren auf einen 50 mm hohen Stahlrahmen geschraubt, so dass sich eine Aufbaudicke von 65 mm ergab. Der Stahlrahmen wurde auf den Boden des Hallraumes aufgelegt und in einer weiteren Variante mit einem zusätzlichen Abstand von 75 mm versehen, so dass dann die Aufbaudicke 140 mm betrug. In diesem Fall wurde um die Prallwand ein Rahmen gebaut, so dass das Luftvolumen dahinter zum Raum hin abgedichtet war. Der Aufbau ist in Bild 38, der gemessene Schallabsorptionsgrad ist in Bild 39 dargestellt.

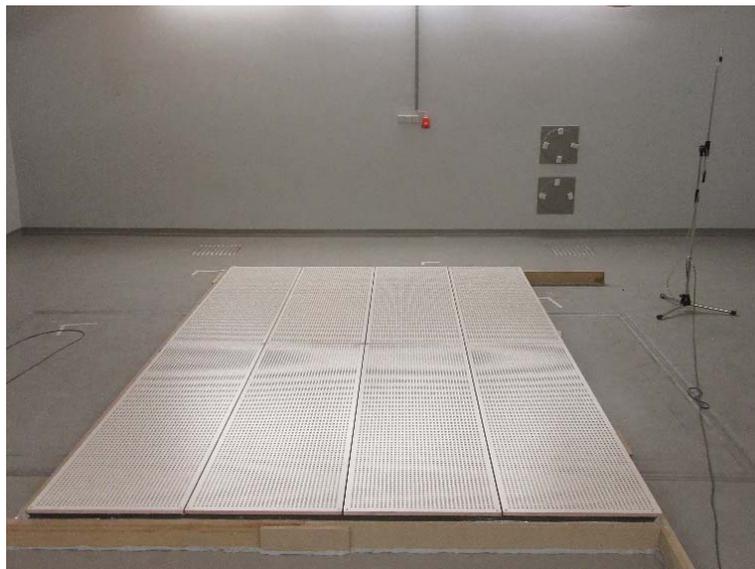


Bild 38:
Messaufbau der Prallwand mit Rahmen im Hallraum

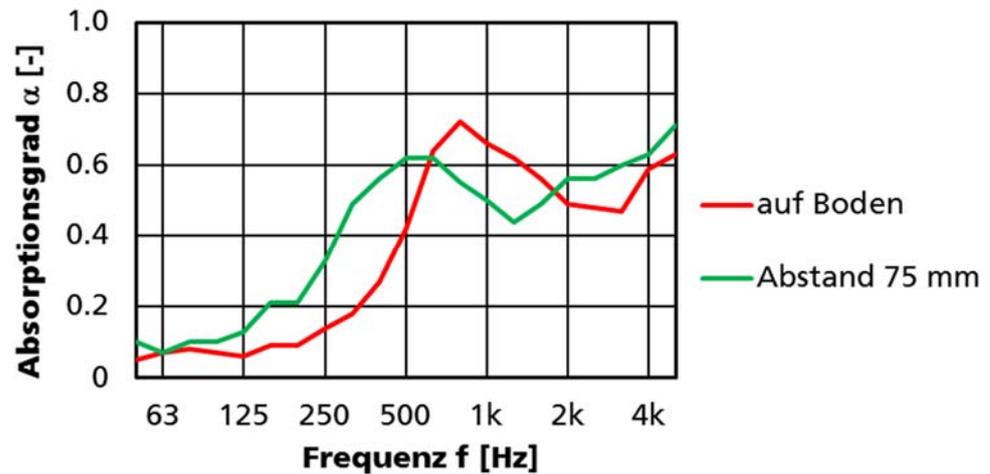


Bild 39:

Gemessener Schallabsorptionsgrad im Hallraum der Prallwand mit 8/16 Lochung und Stahlrahmen, Rahmen auf dem Boden, (Gesamtaufbauhöhe 65 mm) und mit 75 mm Abstand (Gesamtaufbauhöhe 140 mm)

Die Messung der Prallwand zeigt mit einem Maximum des Absorptionsgrads im mittleren Frequenzbereich von 0,6 bzw. 0,7, dass die Konstruktion nicht optimal abgestimmt ist. Eine Füllung aus porösem Absorber mit abgestimmtem Strömungswiderstand könnte die Absorption deutlich verbessern. Klar wird durch die Messung, dass die Konstruktion mit größerer Aufbauhöhe und größerem Wandabstand tieffrequent deutlich bessere Absorption aufweist und bei 140 mm schon recht breitbandig wirkt, so dass diese Konstruktion mit 140 mm Aufbaustärke, akustisch optimiert, eine gute Variante zum Einsatz in Sporthallen darstellt.

Eine weitere Untersuchung im Hallraum galt der Standard-Prallwand eines Projektpartners (Typ HARO Protect Classic Sperrholz). Sie bestand aus einer gelochten Frontplatte mit 15 mm Dicke, mit einer Lochung 8/16, hinterlegt mit einem Akustikvlies vom Typ GTT SP 50. Das Vlies war rückseitig mit Sprühkleber auf die Lochplatte flächig so aufgeklebt, dass es im Lochbereich frei blieb. Diese Information ist wichtig, denn der Strömungswiderstand des Vlies wird nur dann optimal wirksam. Wird das Vlies nur hinterlegt, kann es mit der Schallwelle bewegt werden, so dass der Strömungswiderstand und damit die absorbierende Wirkung deutlich absinkt. Die Konstruktion ist in Bild 40 gezeigt.

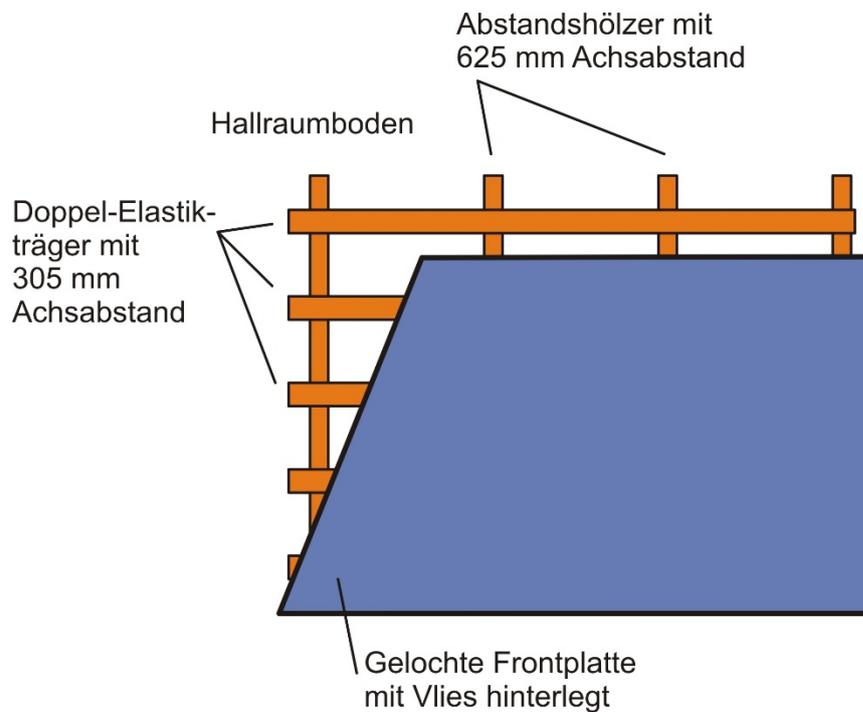


Bild 40:
Grafik des Prallwandaufbaus im Hallraum

Die Frontplatte mit Vlies war auf eine Unterkonstruktion aus Doppel-Elastikträger mit 84 mm Breite aufgeschraubt, mit einer Aufbaudicke von 39 mm. Der Achsabstand der Träger betrug 305 mm. Dahinter wurde die Unterkonstruktion aus Abstandshölzern mit Querschnitt 40 mm x 60 mm angeordnet, deren Achsabstand 625 mm betrug. Die Aufbaudicke dieser Ebene war 60 mm, so dass die Gesamtaufbaustärke 115 mm betrug. Die Prüffläche hatte Abmessungen von 4,07 m x 2,98 m, und damit eine Fläche von 12,1 m². Die Prallwand wurde mit und ohne Mineralwollefüllung nach DIN EN ISO 354 [16] gemessen. Die Mineralwolle war zwischen den 60 mm hohen Abstandshölzern eingebracht und bestand aus 60 mm dicker Mineralwolle Typ ISOVER TP 1. Der Messaufbau ist in Bild 41 zu sehen.

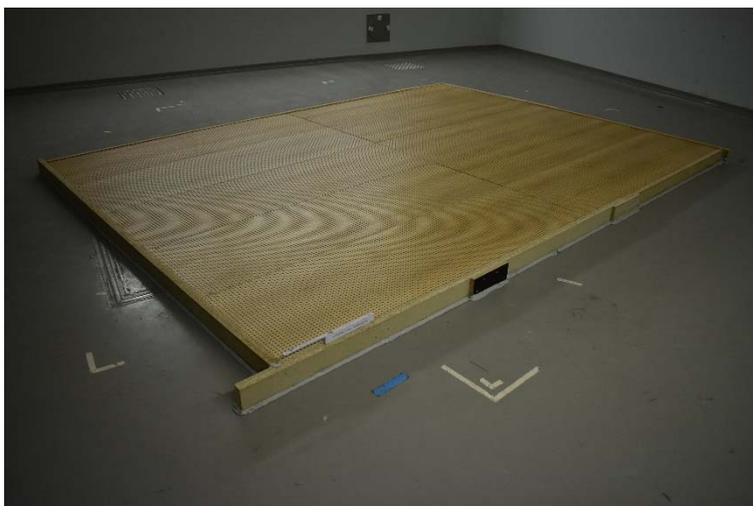


Bild 41:
Messaufbau der Prallwand HARO Protect Classic Sperrholz im Hallraum

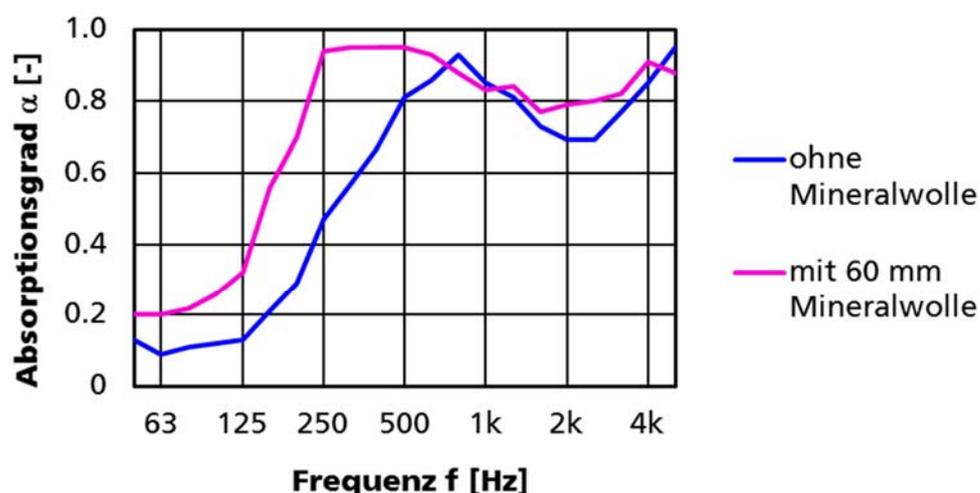


Bild 42:
Gemessener Schallabsorptionsgrad im Hallraum der Prallwand HARO Protect Classic Sperrholz mit 8/16 Lochung mit Gesamtaufbauhöhe 115 mm, ohne und mit 60 mm Mineralwollefüllung

Die Messergebnisse in Bild 42 zeigen für diese Prallwand, vor allem mit Mineralwollefüllung, hohe Schallabsorptionsgrade schon bei relativ niedrigen Frequenzen, z.B. bei 250 Hz einen Wert von über 0,9. Die Absorption ist breitbandig, so dass sich diese Prallwand gut für Sporthallen eignet. Der bewertete Absorptionsgrad beträgt für diese Prallwand $\alpha_w = 0,85$, für die Prallwand ohne Mineralwollefüllung ist der Wert $\alpha_w = 0,70$. Wie vorab geschildert trägt vor allem die Anbringung des Akustikvlies mit Sprühkleber rückseitig auf die Front-

platte zu diesen guten Ergebnissen bei. Wird dies nicht so ausgeführt, so werden deutlich geringere Schallabsorptionsgrade erreicht, siehe Bild 39. Es wird daher empfohlen, dieses Detail bei der praktischen Ausführung der Prallwand zu übernehmen.

5.3.3 Messergebnisse Schallpegel im Hallraum

Prallwände stellen in Sporthallen nicht nur ein notwendiges Bauelement dar, das durch geeignete Konstruktion auch zur akustischen Bedämpfung der Halle eingesetzt werden kann. Sie können auch Schallquellen darstellen, wenn z.B. Bälle dagegen geworfen werden. Daher wurden an einer Prallwand auch Untersuchungen zum erzeugten Schalldruckpegel durchgeführt, wenn auf diese verschiedene Bälle fallen. Die Untersuchung erfolgte bei liegender Prallwand im Hallraum und mit gleicher Vorgehensweise wie bei der Messung von Sportböden, die detailliert in [6] beschrieben sind. Da kein genormtes Verfahren für die Messung der Schallabstrahlung von Prallwänden und Sportböden existiert, wurde das Verfahren von anderen gängigen Norm-Verfahren abgeleitet (DIN EN ISO 10140 / 3741 / DIN EN 12235 u.a.). Bei der Messung kam ein Japanischer Gummiball und ein Basketball zum Einsatz. Der Japanische Gummiball wurde aus einer Höhe von 1,0 m, der Basketball aus einer Höhe von 1,8 m auf die Prallwand fallengelassen. Die Prallwand ist im vorigen Abschnitt beschrieben, der Aufbau ist in Bild 41 dargestellt.

Die Messergebnisse der Prallwand sind mit Ergebnissen an einem typischen Sportboden verglichen. Beim Sportboden handelte es sich um Boden 1 aus [6], einem flächenelastischen Boden auf elastischer Konstruktion, dargestellt und beschrieben in Bild 43.

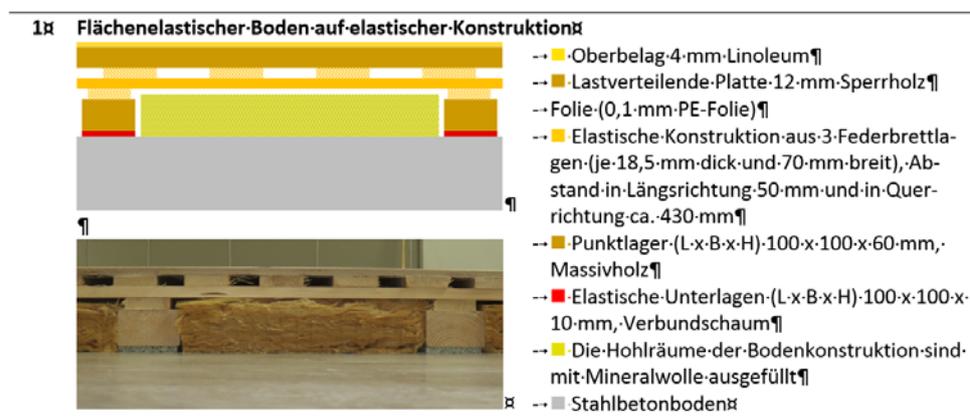


Bild 43:
Darstellung und Beschreibung des Sportboden 1 aus [6]

Der ermittelte Schalldruckpegel im Hallraum ist in Bild 44 für den Basketball und in Bild 45 für den Japanischen Gummiball gezeigt.

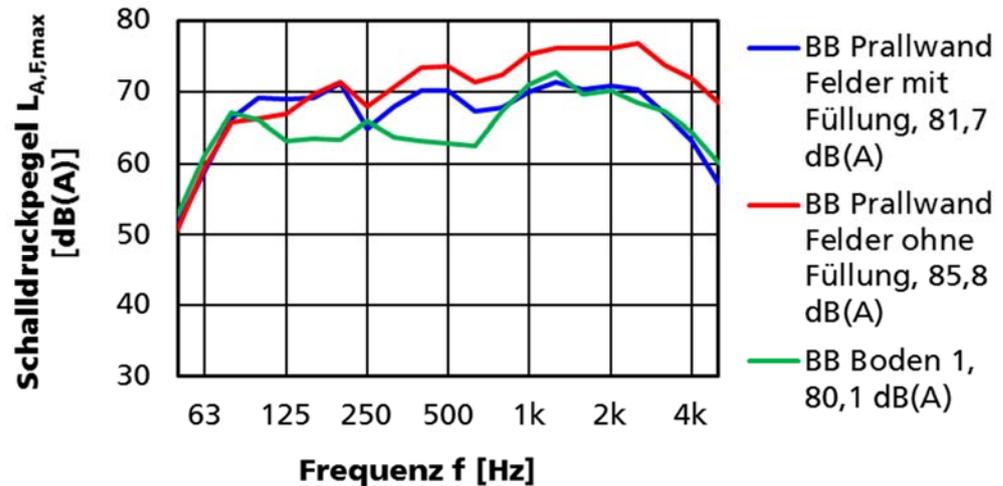


Bild 44:

Gemessener maximaler Schalldruckpegel der Prallwand HARO Protect Classic im Hallraum und Vergleich zu Messergebnissen an einem typischen Sportboden (Boden 1 in [6]) für die Anregung mit dem Basketball (BB), Mittelwert aus je 8 Messungen)

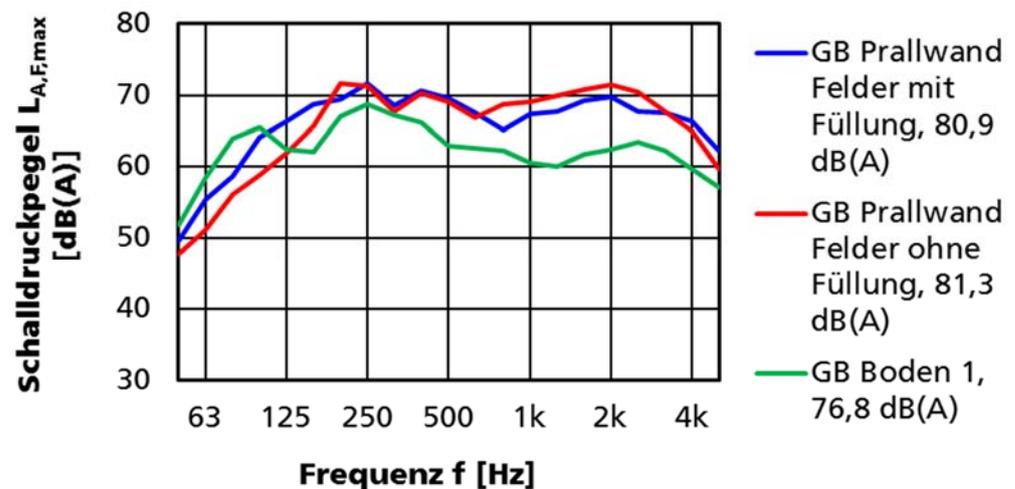


Bild 45:

Gemessener maximaler Schalldruckpegel der Prallwand HARO Protect Classic im Hallraum und Vergleich zu Messergebnissen an einem typischen Sportboden (Boden 1 in [6]) für die Anregung mit dem Japanischen Gummiball (GB), Mittelwert aus je 8 Messungen)

Die Ergebnisse zeigen bei Anregung mit beiden Bällen maximale Schalldruckpegel im Hallraum von ca. 70 dB(A), die relativ breitbandig über den gesamten Frequenzbereich vorhanden sind. Die Summenpegel liegen bei der Prallwand und dem Basketball etwas über 80 dB(A), Ausnahme ist die Prallwand ohne Mineralwollefüllung, die mit 85,8 dB(A) deutlich lauter ist. Beim Gummiball liegen die Summenpegel bei beiden Varianten der Prallwand bei ca. 80 dB(A), beim

Boden werden ca. 4 dB niedrigere Werte gemessen. Hierbei handelt es sich um Maximalwerte, die im Hallraum gemessen wurden. In realen Hallen kann davon ausgegangen werden, dass die Pegel bei einem Abstand von 2 m um ca. 5 (± 2) dB leiser sind als im Hallraum [6]. Der Vergleich in Bild 45 zeigt, dass die Pegel der Prallwand bei einigen Frequenzen um ca. 10 dB höher als die des Bodens sind. Ausnahme ist die Messung bei Basketball-Anregung der Prallwand ohne Mineralwollefüllung, bei der die Pegel vor allem mittel- und hochfrequent auf Werte von ca. 75 dB(A) ansteigen. Während der Messung waren Klappergeräusche auffällig, die voraussichtlich beim Aufprall des Balles durch den teilweise losen Verbund zwischen Frontplatte und Doppel elastikträger entstehen. Diese Pegel überlagern die Unterschiede zwischen den Bällen, die bei den Messungen an Sportböden ersichtlich wurden. Klappergeräusche sollten natürlich unbedingt vermieden werden, z.B. durch Aufbringen einer dünnen elastischen Schicht aus Stoff, Vlies, selbstklebendem Schaumstoff oder ähnlichem Material auf die Elastikträger, bevor die Frontplatte befestigt wird. Diese Maßnahme sollte auf ihre Wirksamkeit getestet werden. In dieser Beziehung könnte die Akustik von Prallwänden einfach und deutlich verbessert werden.

5.4 Geräteraumtore

Oftmals in die Prallwandsysteme integriert, stellen Geräteraumtore Einbauten in Sporthallen dar, die ebenso wie die Prallwände die Akustik von Sporthallen durch ihre Schallabsorption positiv beeinflussen können. Da sie als Abtrennung zu den dahinter liegenden Geräteräumen dienen, können sie bei akustischer Ankopplung des Volumens der Geräteräume vor allem im tiefen und mittleren Frequenzbereich hohe Absorptionsgrade aufweisen und damit besonders wertvolle Schallabsorber darstellen. Ein Nachweis der Absorptionsgrade von Geräteraumtoren (und auch, bei akustisch gleichwertiger Konstruktion, der Wandbereiche zu den Geräteräumen hin) in einer realitätsnahen Situation war vor diesen Untersuchungen zumindest bei den beteiligten Projektpartnern nicht vorhanden.

5.4.1 Messergebnisse Schallabsorption im Hallraum

Zur Messung der realistischen Schallabsorption von Geräteraumtoren bedarf es eines besonderen Aufbaus im Hallraum, der im Fraunhofer IBP möglich ist, der aber bis dato noch nicht realisiert wurde. Im Rahmen dieses Projekts war es möglich, diese Messungen an einem Geräteraumtor durchzuführen. Dazu wurde das Geräteraumtor vertikal in die Öffnung des Hallraums zum benachbarten Freifeldraum mit hartem Boden eingebaut. Der Freifeldraum hat eine hochabsorbierende akustischer Auskleidung an Wänden und Decke (siehe Bild 46).

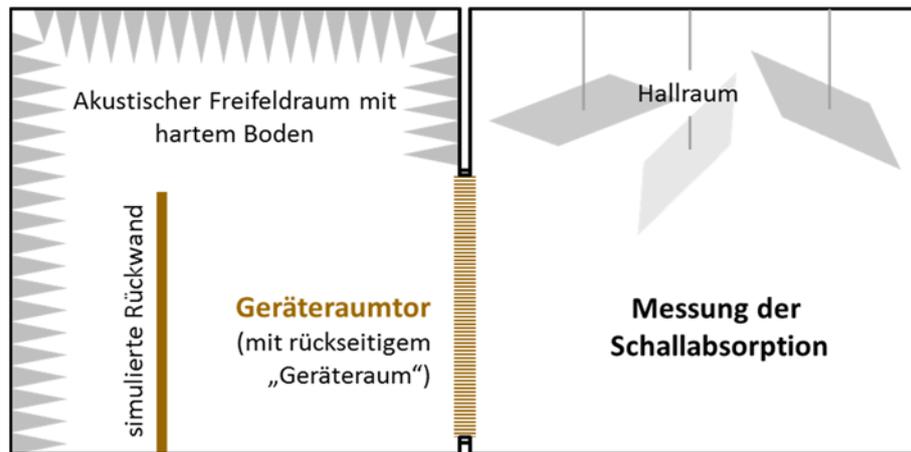


Bild 46:

Skizze des Geräteraumtors, eingebaut zwischen akustischem Halbfreifeldraum (mit hartem Boden) und Hallraum, zur Messung der Schallabsorption bei bauüblichem Einbau

Die Rückwand eines Geräteraums wurde mittels einer 2,4 m hohen Spanplatte simuliert, die in verschiedenen Varianten mit unterschiedlichem Abstand vom Geräteraumtor aufgestellt wurde. Damit ist der Bereich hinter dem Geräteraumtor „teil-absorbierend“, ähnlich zu einem realen Geräteraum, der mit Geräten wie Mattenwagen, Materialschrank und Turngeräten gefüllt ist. Anzu-merken ist bei dieser Messung, dass die Position des Prüflings in der Wandöffnung nicht der Norm-Position eines Absorbers im Hallraum entspricht, die Messung daher an die Norm DIN EN ISO 354:2003 [16] angelehnt war. Die Prüfflä- che betrug mit 8,9 m² etwas weniger als in der Norm vorgesehen. Eine detail- liertere Beschreibung des Geräteraumtors und der Messung ist in [17] zu fin- den. Der Aufbau des Geräteraumtors in der Prüföffnung zwischen Hallraum und Modellraum ist in Bild 47 und Bild 48 dargestellt.

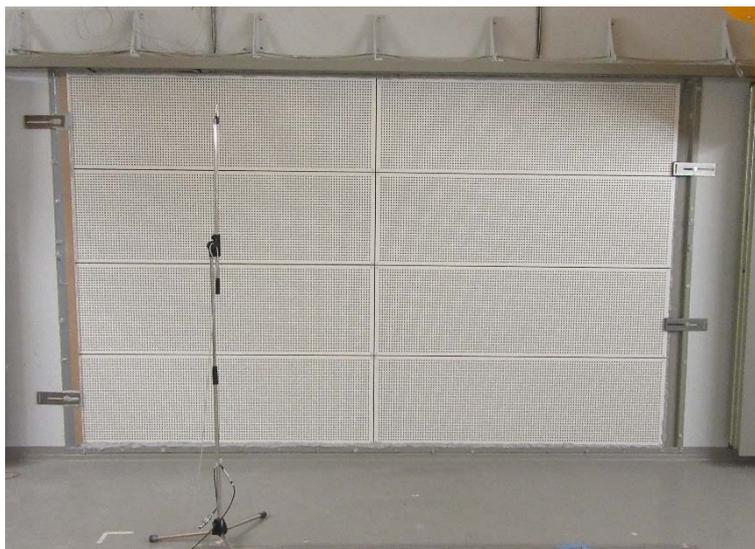


Bild 47:

Geräteraumtor aufgebaut zwischen Hallraum und Modellraum im IBP aus Sicht des Hallraums.



Bild 48:

Geräteraumtor aufgebaut zwischen Hallraum und Modellraum im IBP aus Sicht des Modellraums. Rechts ist das Geräteraumtor, rückseitig mit Vlies-Oberfläche zu erkennen, links die Spanplatte als Rückwand, in diesem Fall mit einem Abstand von 4,0 m zum Geräteraumtor aufgestellt.

Um den Schallabsorptionsgrad des Geräteraumtors unter verschiedenen Bedingungen zu untersuchen, wurde zunächst die Spanplatte direkt an den Rahmen des Tors gestellt, und dann schrittweise der Abstand zwischen Geräteraumtor und Spanplatte vergrößert. Beim Abstand von 59 cm war die Spanplatte abschließend zum inneren Rahmen der Prüföffnung aufgestellt, so dass in diesem Fall das Volumen zwischen Geräteraumtor und Spanplatte noch geschlossen war. Erst im Fall der Messung mit einem Abstand von 4,0 m konnte ein Teil des Schalls seitlich in den Modellraum eintreten und wurde dort in der Raumauskleidung absorbiert. Eine weitere Messung erfolgte ohne Einsatz der Spanplatte, so dass es in diesem Fall zur vollständigen Absorption im Modellraum kam. Der gemessene Schallabsorptionsgrad der Varianten des Geräteraumtors im Hallraum ist in Bild 49 gezeigt.

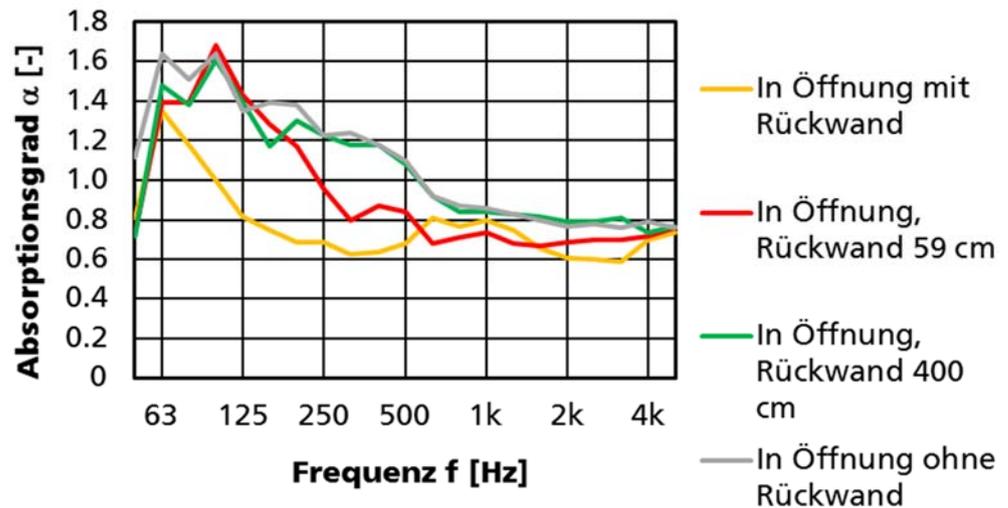


Bild 49:

Gemessener Schallabsorptionsgrad des Geräteraumtors im Hallraum mit verschiedenen Varianten der Aufstellung der Spanplatte als Rückwand.

Die Ergebnisse der Messungen zeigen vor allem im tiefen Frequenzbereich hohe Schallabsorptionsgrade größer 1. Es ist anzunehmen, dass diese hohen Werte vor allem auf den Kanteneffekt im Hallraum zurückzuführen ist, da sich die Öffnungsfläche und die Prüfwand (Geräteraumtor) vom Boden des Hallraums bis zu einer Höhe von 2,35 m erstreckt und sich Teile der Prüfwand im Kantenbereich der Wandfläche befinden. Aus Erfahrung lässt sich feststellen, dass vor allem im tiefen Frequenzbereich Schallabsorber deutlich effektiver sind, wenn sie im Kantenbereich des Raumes angeordnet sind.

Für die Prüfwand mit Rückwand aus Spanplatte liegen die Absorptionsgrade im mittleren und hohen Frequenzbereich etwas höher als bei der Messung des Prüflings nach Norm auf dem Hallraumboden, vergleiche Bild 39. Im tiefen Frequenzbereich steigt die Absorption bis 63 Hz stark an. Dies kann durch die Spanplatte als Rückwand bedingt sein, da diese bei diesen Frequenzen nicht schallhart ist und als Platte Resonanzen aufweisen kann.

Wird die Spanplatte mit einem größeren Abstand von 59 cm vom Geräteraumtor angeordnet, steigt die Schallabsorption tieffrequent deutlich an und erreicht ein Maximum bei 100 Hz. Im mittleren Frequenzbereich zwischen 160 und 500 Hz liegt sie höher als bei geringem Abstand der Rückwand. Wird die Rückwand weiter auf einen Abstand von 400 cm verschoben oder ganz entfernt, so ergeben sich ähnliche Absorptionskurven, mit einem stetigen Anstieg zu tiefen Frequenzen hin unterhalb 630 Hz.

Die Angabe von Absorptionsgraden deutlich über 1 ist problematisch, denn solch hohe Werte sind physikalisch von der Positionierung der Probe im Hallraum abhängig und daher schwer zu begründen. Deshalb wird mit dem praktischen Absorptionsgrad nach DIN EN ISO 11654:1997 [9] eine Größe des

Absorptionsgrad vorgeschlagen, die für die praktische Planung vorgesehen ist und der den Absorptionsgrad auf einen Maximalwert von 1 begrenzt. Für das Geräteraumtor ist dieser praktische Absorptionsgrad im Vergleich zum gemessenen und einem rechnerisch abgeschätzten Absorptionsgrad in Bild 50 dargestellt.

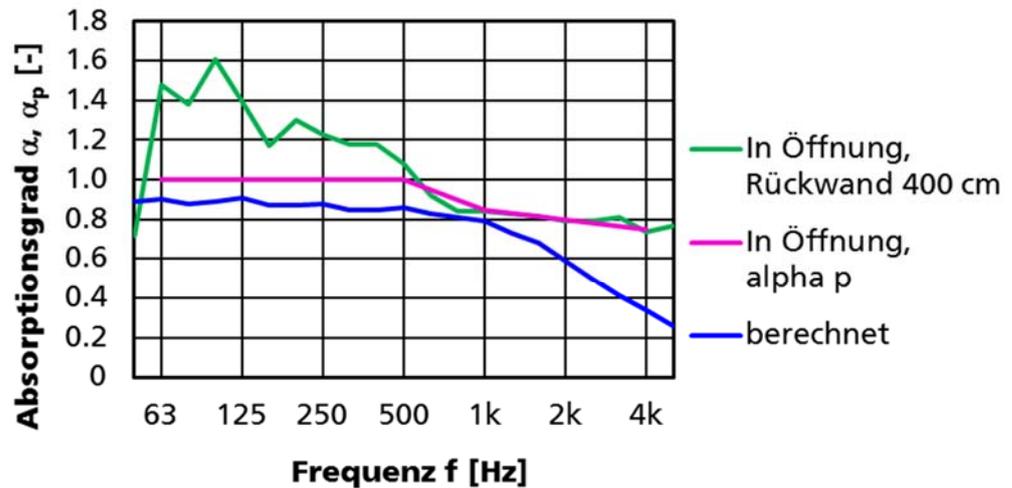


Bild 50:
Gemessener Schallabsorptionsgrad α und praktischer Schallabsorptionsgrad α_p des Geräteraumtors im Hallraum, sowie rechnerisch abgeschätzter Absorptionsgrad für eine Raumtiefe von 400 cm.

Der Vergleich des praktischen Absorptionsgrads mit dem rechnerisch geschätzten Absorptionsgrad zeigt einen relativ ähnlichen Verlauf, mit hoher Schallabsorption im tiefen Frequenzbereich und einer Reduktion der Absorption ab den mittleren Frequenzen durch die Lochplatte. Dabei zeigt sich, dass im diffusen Schallfeld der Rückgang der Absorption im höheren Frequenzbereich geringer ist wie berechnet, wobei bei dieser Abschätzung auch nur der senkrechte Schalleinfall berücksichtigt wurde.

Betrachtet man nochmals den Verlauf des praktischen Absorptionsgrads des Geräteraumtors, so lässt sich feststellen, dass eine akustische Nutzung dieser Tore oder auch der zum Geräteraum angrenzenden Wandflächen für die Akustik in Sporthallen ausgesprochen sinnvoll erscheint, da vor allem im tiefen Frequenzbereich in der Regel Schallabsorption fehlt und diese anderweitig sehr schwer zu erreichen ist, da sie meist große Konstruktionstiefen benötigt.

Die akustische Ankopplung der Geräteräume durch Lochung oder Schlitzung der Geräteraumtore und Wandbereiche wirft allerdings eine Problematik auf, die durch andere Maßnahmen entschärft werden kann: die dann mögliche Schalllängsübertragung entlang der Geräteräume an einem herabgelassenen Trennvorhang vorbei. Diese Problematik und Maßnahmen dagegen sind in Abschnitt 5.6.4 beschrieben.

5.5 Tribünen und Ausziehtribünen

Tribünen und Ausziehtribünen sind Bauteile innerhalb von Sporthallen, die in besonderen Fällen eingebaut werden und die daher in diesem Projekt nicht umfassend betrachtet wurden. Feststehende Tribünen stellen Bereiche in der Halle dar, die problematisch sein können, wenn z.B. in diesem Bereich keine Abtrennung von Teilhallen möglich ist, siehe Abschnitt 5.6.4. Sie können aber auch zusätzliche Absorption in die Halle einbringen, z.B. durch gepolstertes Gestühl. Allerdings erhöht der Bereich der feststehenden Tribüne in der Regel das Rauminhalt der Halle, was wiederum zu längeren Nachhallzeiten führt.

Ausziehtribünen können jedoch, wie die in Abschnitt 5.4 beschriebenen Geräteraumtore, durch akustische Ausführung der Front sowohl im eingefahrenen als auch im ausgefahrenen Zustand als tiefen- und mittelfrequente Schallabsorber dienen. Hierzu ist es notwendig, die Fronten wie z.B. bei den Geräteraumtoren zu lochen, sie mit einem angepassten Strömungswiderstand zu versehen und das dahinter befindliche Rauminhalt akustisch zu nutzen. Dann wäre es möglich, abhängig von der Bautiefe tieffrequente und breitbandige Schallabsorber zu erhalten, die andere Bereiche mit „normalen“ Prallwänden ergänzen. Damit könnten auch diese Konstruktionen zu einer guten Raumakustik in Sporthallen beitragen.

5.6 Trennvorhänge

Messungen an Trennvorhängen wurden in diesem Vorhaben ausschließlich bezüglich deren Schalldämmung vorgenommen. Zur Schallabsorption von üblichen Trennvorhängen liegen ausreichende Daten vor, so dass diese nicht untersucht werden musste. Da das Absorptionsvermögen üblicher Trennvorhänge für eine gute Akustik in Sporthallen nicht ausreichend ist, werden dennoch Vorschläge zur Verbesserung der Schallabsorption dargestellt.

Zur Untersuchung der Schalldämmung von Trennvorhängen wurde eine Trennvorhangkonstruktion im Wandprüfstand des Fraunhofer IBP eingebaut wurde. Dabei handelte es sich um einen konventionellen Sporthallen-Trennvorhang aus zwei Lagen Kunststoffbahnen mit einem Flächengewicht der einzelnen Bahnen von 1200 g/m^2 und einem Abstand von 260 mm zueinander. Wie üblich waren auf beiden Seiten die Bahnen aus Einzelteilen zusammengesetzt. Dies geschah durch Nähte, die nach innen hin einen Steg ausbilden, so dass es horizontal zu einer Aussteifung der Einzelschalen kommt. Weiterhin waren die Bahnen vertikal an einer Stelle getrennt, jedoch dort mit Klebeband luftdicht verbunden. Das Messprinzip und der Vorhang im Labor sind in Bild 51 dargestellt.

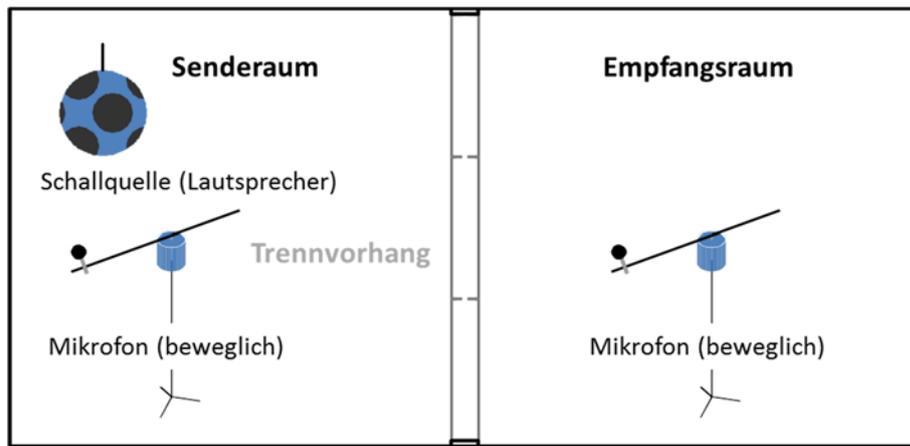


Bild 51:
Sporthallen-Trennvorhang zwischen Sende- und Empfangsraum im Prüfstand P 2 des Fraunhofer IBP.

Zunächst wurde die Messung der Schalldämmung des geschlossenen Trennvorhangs in verschiedenen Varianten durchgeführt. Danach wurde untersucht, wie sich die Schalldämmung verhält, wenn der Trennvorhang nicht komplett zum Baukörper hin geschlossen ist. Der dann hinzukommende Schallübertragungsweg wird im Folgenden als Flankenübertragung bezeichnet.

5.6.1 Schalldämmung von Trennvorhängen

Die gemessene Schalldämmung (Durchgangsdämmung) des Trennvorhangs ist in Bild 52 im Vergleich zu einer einzelnen Membran sowie mit und ohne gesonderte seitliche Abdichtung dargestellt.

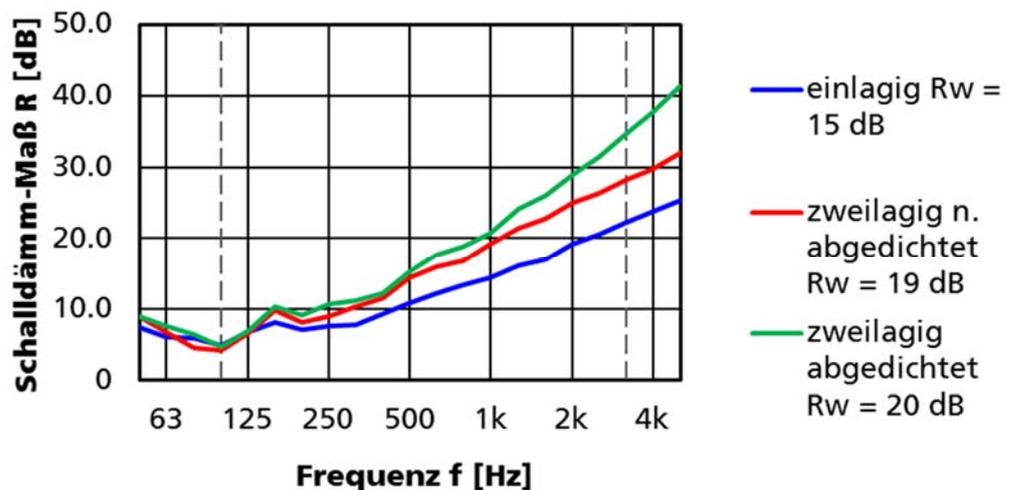


Bild 52:
Schalldämm-Maß R des Trennvorhangs einlagig, zweilagig nicht abgedichtet und zweilagig am Rand abgedichtet. Der für das bewertete Schalldämm-Maß R_w ausschlaggebende Frequenzbereich zwischen 100 und 3150 Hz ist durch gestrichelte dargestellte senkrechte Linien markiert.

Die Ergebnisse der Schalldämmung zeigen das typische Verhalten einer nicht gespannten Membran, mit einer geringen Schalldämmung im tiefen Frequenzbereich und einem kontinuierlichen Anstieg zu höheren Frequenzen. Die zweilagige Konstruktion hat von 125 Hz an aufwärts einen etwas steileren Anstieg. Insbesondere die Konstruktion mit umlaufender Randabdichtung weist bei höheren Frequenzen bessere Werte auf, das bewertete Schalldämm-Maß erreicht einen Wert von $R_w = 20$ dB.

5.6.2 Flankenübertragung bei Einsatz von Trennvorhängen

Im eingebauten Zustand muss nach DIN 18032-4 [12] für den betriebsfertigen Trennvorhang $R'_w \geq 18$ dB erreicht werden. Auch wenn diese Anforderung an die Schalldämmung gering erscheint (Die Schalldämmung einer 20 mm dicken Spanplatte liegt bei ca. 30 dB), so ist es dennoch schwierig, diesen Wert im praktischen Einsatz zu erreichen. Der wesentliche Grund hierfür ist der Anschluss des geschlossenen Vorhangs an den Baukörper, also an die seitlich flankierenden Wände sowie im Deckenbereich. Ist z.B. eine der seitlichen Wände eine durchgehende Prallwand, so ist es nicht ohne weiteres möglich, den beweglichen Trennvorhang schalldicht an diese Prallwand anzuschließen. In Bild 52 ist aber zu erkennen, dass nur durch Abdichten die höchste Schalldämmung erreicht wird. In der Praxis bleibt in der Regel zwischen Prallwand und Vorhang ein Spalt, der eine flankierende Schallübertragungsweg freigibt. In vielen Fällen gibt es zusätzlich weitere flankierende Übertragungswege, die die Schalldämmung des geschlossenen Trennvorhangs weiter mindern. Die Situation ist schematisch in Bild 53 dargestellt.

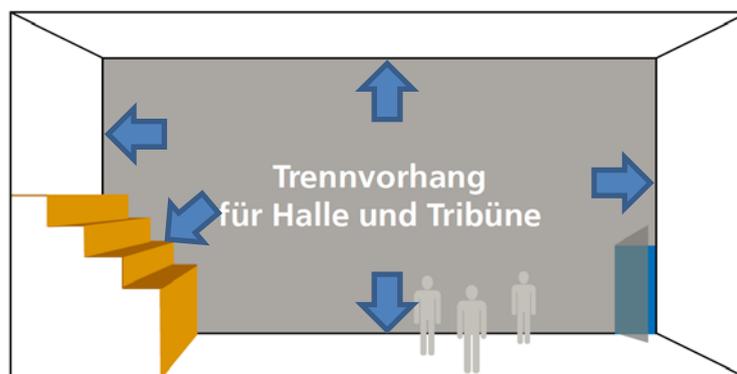


Bild 53:
Schematisch Darstellung eines Trennvorhangs in einer Sporthalle mit durch Pfeile gekennzeichnete potentielle flankierende Übertragungswege.

Im Bodenbereich liegt der Trennvorhang in der Regel auf, so dass hier wenig Flankenübertragung auftritt. Im Anschlussbereich zu den Seitenwänden gibt es in der Regel einen Spalt, da der Trennvorhang mechanisch bewegt wird und er nicht an der durchgehenden Wand streifen darf. Ist eine Tribüne vorhanden, gibt es in diesem Bereich oftmals große Lücken des Vorhangs, denn konstruktiv wird nicht darauf geachtet, den Vorhang dort zu schließen. Oftmals besitzt der Vorhang eine Schlupftüre, die, wenn geöffnet, eine weitere große Lücke im

Vorhang erzeugt. Schließlich wird auch im Dachbereich der Trennvorhang oftmals nicht dicht an die Decke angeschlossen, denn die Deckenkonstruktion verhindert dies oder der Aufwand wird aus Unwissenheit schlicht nicht betrieben. In all diesen Fällen werden Schalldämm-Maße im eingebauten Zustand zum Teil weit unter 10 dB gemessen.

Auch bei guter und bewusster Ausführung kann allerdings an der Seite des Trennvorhangs ein Spalt bleiben. Um diesen zu optimieren wurde vom Projektpartner Trenomat in der Vergangenheit eine Konstruktion entwickelt, die als „Schallsumpf“ bezeichnet wurde. Diese Konstruktion reduziert die Schallübertragung und wird als sinnvoll erachtet. Sie wird aber so gut wie nie eingebaut, da erhöhte Kosten und ein erhöhter Aufwand entstehen. Die Konstruktion lässt sich aus den Produktunterlagen, z.B. [20] entnehmen.

Wie groß der seitliche Spalt zwischen Trennvorhang und Seitenwand sein kann, und wie der Bereich des Anschlusses des Trennvorhangs zumindest theoretisch ausgestaltet werden kann, um die Anforderung eines Schalldämm-Maßes im eingebauten Zustand von 18 dB zu erreichen, soll die nachfolgende Untersuchung zeigen. Hierzu wurde auf einer Seite des Trennvorhangs im Prüfstand ein Spalt zur Prüfstandswand hin eingefügt, der systematisch vergrößert wurde. Der Trennvorhang mit Spalt im Prüfstand ist in Bild 54 gezeigt.



Bild 54:
**Trennvorhang mit seitlichem Spalt auf der linken Seite im
Wandprüfstand P 2 des IBP.**

Die Schalldämmung des Vorhangs wurde für verschiedene Spaltbreiten gemessen. Dabei wurde der Vorhang an drei Seiten, oben rechts und unten zum Prüfstand hin abgedichtet, auf der linken Seite war er nicht abgedichtet und dort wurde die Spaltbreite variiert. Eine grafische Darstellung des untersuchten Spalts ist in Bild 55 gezeigt.

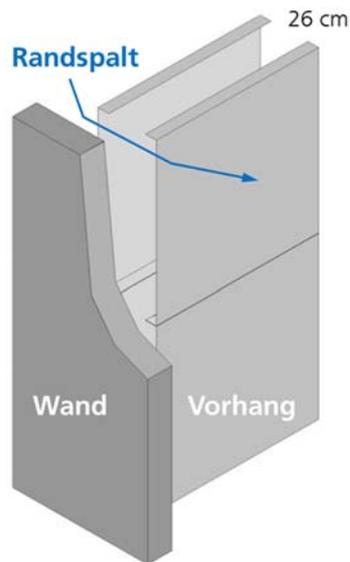


Bild 55:
Trennvorhang mit seitlichem, in der Breite variiertem Randspalt im Wandprüfstand P 2 des IBP.

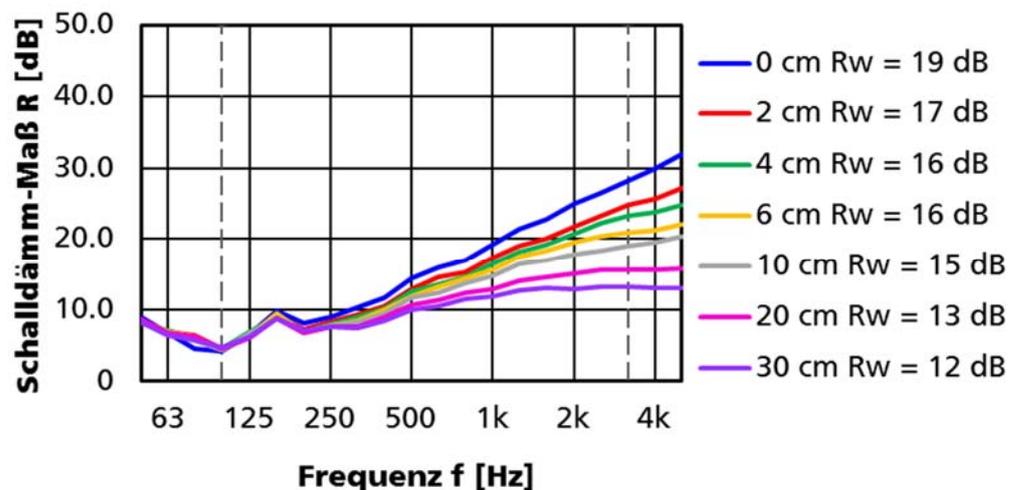


Bild 56:
Gemessene Schalldämmung des Trennvorhangs ohne und mit einseitigem Spalt mit verschiedener Breite zur Prüfstandwand.

Die Messung in Bild 56 zeigt für den Fall ohne Spalt (0 cm Spaltbreite) eine Schalldämmung von 19 dB und liegt damit um ein dB unter dem Wert für den rundum abgedichteten Fall, Bild 52. Bei 2 cm Spaltbreite liegt das bewertete Schalldämm-Maß R_w schon bei 17 dB und damit unter der Anforderung von 18 dB der DIN 18032-4. Bei weiterer Vergrößerung der Spaltbreite verringert sich das bewertete Schalldämm-Maß schrittweise und erreicht bei einer Spaltbreite von 30 cm einen Wert von 12 dB. Bei einer Spaltbreite von 6 bis 10 cm,

die bei sorgfältiger Ausführung und Wartung für Trennvorhänge möglich erscheint, wird ein Schalldämm-Maß von 15 bis 16 dB erreicht.

Mit Blick auf weitere Maßnahmen zur Erhöhung der Schalldämmung eines Hallenvorhangs mit Spalt wurden Modellversuche mit zusätzlichen Schallabsorbern im Prüfstand durchgeführt. Diese bilden eine Art Schalldämpfer im Bereich des Spalts, modellhaft in Bild 57 dargestellt.

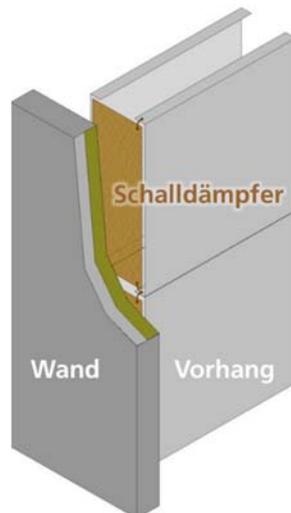


Bild 57:

Trennvorhang mit seitlich angebrachtem „Schalldämpfer“ im Bereich des Randspalts im Wandprüfstand P 2 des IBP (grün dargestellt ist die Belegung mit Absorber auf der Innenseite der Wand, braun die Belegung auf der Seite des Trennvorhangs)

Erster Schritt dazu war die Anbringung eines raumhohen Absorberstreifens auf der durchgehenden Innenwand des Prüfstands im Bereich des Spalts. Hierbei wurde ein schallabsorbierendes Material mit einer Dicke von 10 cm und zwei verschiedenen Breiten eingesetzt, die erste Breite war 26 cm und damit auch die Breite des Vorhangs, die zweite Breite waren 46 cm, d.h. der Absorberstreifen war auf beiden Seiten 10 cm breiter als der Trennvorhang. Das Material war Polyesterfaservlies mit einer Dichte von 40 kg/m^3 . Die Messergebnisse des 10 cm breiten Spalts mit und ohne Absorber sowie eine Skizze des Aufbaus ist in Bild 58 dargestellt.

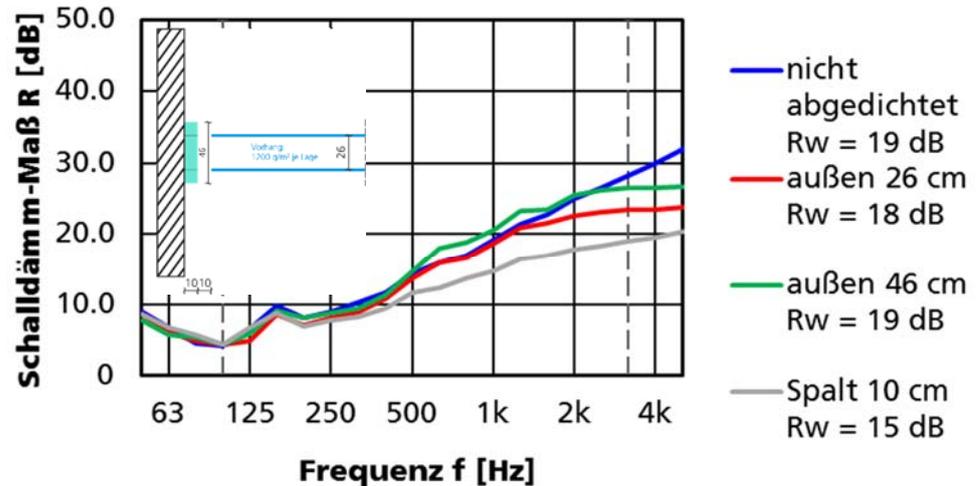


Bild 58:

Gemessene Schalldämmung des Trennvorhangs mit einseitigem Spalt von 10 cm Breite, ohne und mit 10 cm dickem Absorberstreifen im Bereich des Spalts.

Die Ergebnisse zeigen, dass durch den Einsatz eines ausreichend breitbandigen Schallabsorbers, wie es der 100 mm dicke Absorberstreifen darstellt, die Schalldämmung vor allem im mittleren bis höheren Frequenzbereich zwischen 500 und 2000 Hz deutlich erhöht werden kann. Das bewertete Schalldämm-Maß erhöht sich um ca. 3 – 4 dB, so dass nun die Anforderung von 18 dB erreicht wird.

Neben der Messung dieser Situation stellte sich auch die Frage, ob und wie gut die Schalldämmung einer solchen Situation auch mit einfachen Berechnungsmethoden ermittelt werden kann. Zum einen wurde versucht, mittels idealisierter Schalldämpferberechnung für den Spaltbereich und der Verwendung der gemessenen Durchgangsdämmung für den Vorhang, Messung „zweilagig“ aus Bild 52, die gesamte Schalldämmung als „zusammengesetztes Bauteil“ (SD z. Bt) zu berechnen. Dazu wird die aus der Bauakustik bekannte Gleichung

$$R = 10 * \log \left(\frac{1}{S_{ges}} \left(S_1 * 10^{\left(\frac{-R_1}{10}\right)} + S_2 * 10^{\left(\frac{-R_2}{10}\right)} \right) \right) \quad \text{dB} \quad (7)$$

heran gezogen. Darin sind S_{ges} die Gesamtfläche des Trennvorhangs in m^2 , R_1 und R_2 die Schalldämmung der Teilflächen in dB und S_1 und S_2 die Teilflächen des Spalts und des Vorhangs in m^2 .

Die frequenzabhängige Berechnung der Schalldämmung des Spaltbereichs wurde mit dem im IBP erstellten Berechnungsprogramm für Schalldämpfer COMPAS [20] vorgenommen.

Als weitere Berechnungsmethode wurde die Schalldämmung mittels des Simulationsprogramms ODEON bestimmt. Dabei wurde für den Trennvorhang die gemessene frequenzabhängige Schalldämmung des Trennvorhangs mit Abdichtung ($R_w = 20$ dB in Bild 52) angenommen und die Einbausituation im Prüfstand mit Schallabsorber im Spalt simuliert. Der Vergleich der berechneten Schalldämmungen mit den Messwerten ist in Bild 59 gezeigt.

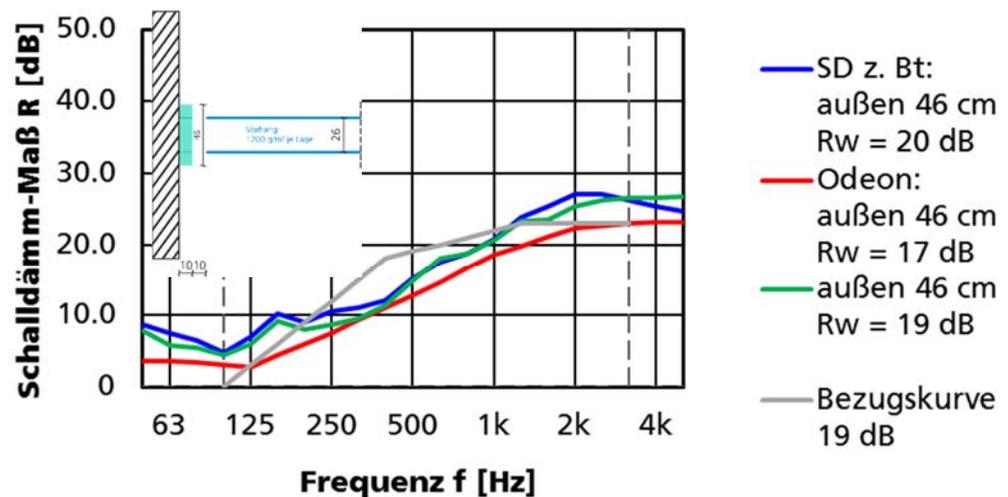


Bild 59:

Berechnete (SD z.Bt und Odeon) und gemessene Schalldämmung des Trennvorhangs mit 10 cm dickem Absorberstreifen im Bereich des einseitigem Spalts mit Breite von 10 cm. Zusätzlich Darstellung der Bewertungskurve für das bewertete Schalldämm-Maß für die Messung.

Die Gegenüberstellung von Messung und Rechnung veranschaulicht, dass vor allem die Berechnungsmethode „zusammengesetztes Bauteil“ gute Übereinstimmung mit der Messung liefert. Die ODEON-Simulation stellt ebenfalls eine recht gute Abschätzung der Schalldämmung dar. Weiterhin ist die Bewertungskurve zur Ermittlung des bewerteten Schalldämm-Maßes dargestellt. Wichtig ist dabei die Unterschreitung der Bewertungskurve durch die zu bewertende Kurve, z.B. die Messkurve. Dies ist bei der Messkurve und der mittels zusammengesetztem Bauteil berechneten Kurve im mittleren Frequenzbereich zwischen 125 und 1 kHz der Fall. Unterschiede der Kurven z.B. im hohen Frequenzbereich haben keinen Einfluss auf die Einzahlbewertung des bewerteten Schalldämm-Maß R_w .

Als weitere Maßnahme wurde untersucht, wie sich die Schalldämmung verhält, wenn zusätzlich auf der Seite des Trennvorhangs eine absorbierende Schicht eingefügt wird. Beispielhaft für diese Situation sind in Bild 60 Messergebnisse für eine Spaltbreite von 20 cm und beidseitig angebrachten Schallabsorbern dargestellt.

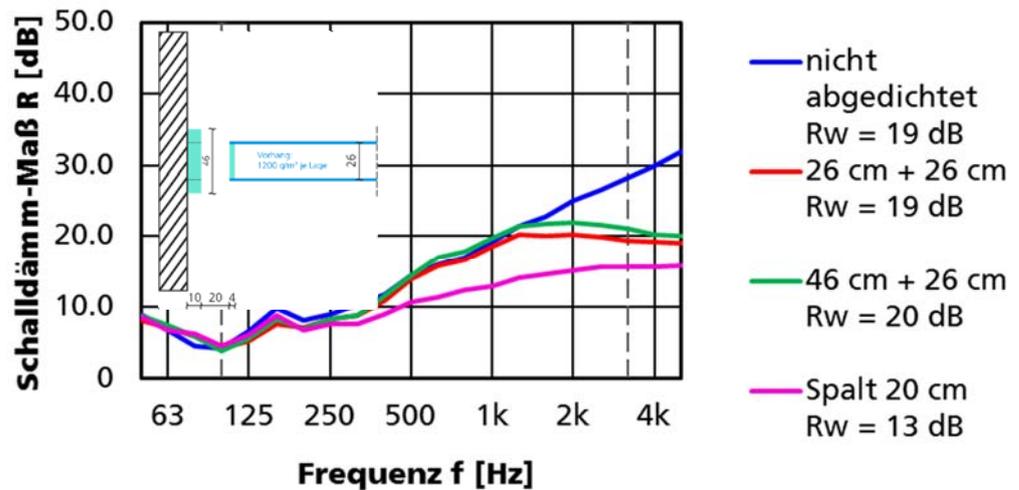


Bild 60:

Gemessene Schalldämmung des Trennvorhangs mit 10 cm dickem Absorberstreifen auf der Prüfstandswand und 4 cm dickem Schallabsorber im Bereich des Trennvorhangs, Trennvorhang mit einseitigem Spalt mit einer Breite von 20 cm.

Werden auf beiden Seiten des Spalts, auf der Prüfstandswand ein Schallabsorberstreifen mit 10 cm Dicke, und zusätzlich im Bereich des Trennvorhangs ein weiterer Absorberstreifen mit 4 cm Dicke angebracht, so kann die freie Spaltbreite 20 cm betragen. Für die gesamte Konstruktion wird dann immer noch ein bewertetes Schalldämm-Maß größer gleich 18 dB erreicht. Zum Vergleich ist in Bild 60 die Messung ohne Absorber für eine Spaltbreite von 20 cm dargestellt. Im Vergleich der Kurven wird klar, dass der „Schalldämpfer“ im Bereich des Spalts vor allem im mittleren Frequenzbereich eine höhere Schalldämmung bewirkt, so dass auch das bewertete Schalldämm-Maß deutlich höher liegt. Hochfrequent bleibt die Schalldämmung relativ konstant, was bei der Bewertung nicht nachteilig ist. Der Frequenzverlauf der Schalldämmung des Trennvorhangs mit Spalt und Schalldämpfer ist von den tiefen Frequenzen bis zu 1250 Hz fast identisch mit dem geschlossenen Trennvorhang, erst darüber bleibt die Schalldämmung auf einem gleichen Wert, dagegen steigt sie für den geschlossenen Vorhang weiterhin an.

Um aus den Messungen die Möglichkeit von umsetzbaren Maßnahmen abzuleiten, ist das Verhalten der Schalldämmung interessant, wenn der Absorberstreifen auf der Innenseite, d.h. nur im Bereich des Trennvorhangs befindet. Ein Vergleich der Messung mit Absorber im Bereich des Trennvorhangs mit der Variante des Absorberstreifens auf der Prüfstandswand ist für die Spaltbreite von 10 cm in Bild 61 gezeigt.

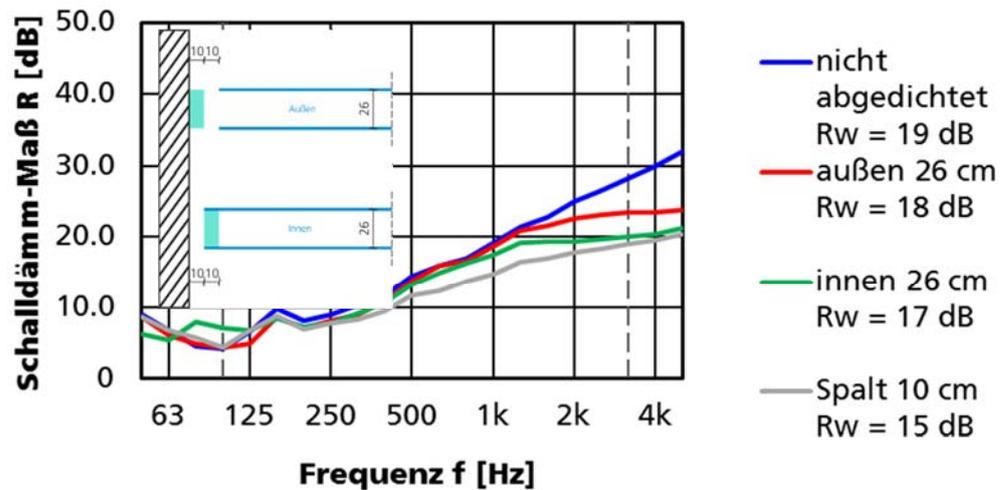


Bild 61:

Gemessene Schalldämmung des Trennvorhangs mit 10 cm dickem Absorberstreifen auf der Prüfstandswand oder 10 cm dickem Schallabsorber im Bereich des Trennvorhangs, Trennvorhang mit einseitigem Spalt mit Breite von 10 cm.

Der Vergleich zeigt relativ geringe Unterschiede zwischen der Anbringung des 10 cm dicken und 26 cm breiten Absorberstreifens außen (auf der Prüfstandswand) und innen (im Bereich des Trennvorhangs). Die Messung mit Absorber innenseitig weist etwas geringere Werte auf, so dass das bewertete Schalldämmmaß um ein dB niedriger liegt. Überführt man dieses Ergebnis gedanklich in eine praktische Anwendung, so eröffnet es die Möglichkeit, am Ende des Trennvorhangs mit einer geeigneten schallabsorbierenden Maßnahme eine Art Schalldämpfer herzustellen, um den Schalldurchgang durch den zwingend notwendigen Spalt zu reduzieren. Hierzu wurden Ideen erarbeitet, die nun von Herstellern solcher Trennvorhänge umgesetzt werden können.

Oftmals weisen eingebaute Trennvorhänge nicht nur seitlich einen Spalt auf, sondern auch im Deckenbereich. Es kann z.B. sein, dass die Mechanik des Trennvorhangs im Deckenbereich nicht direkt auf der Decke selbst angebracht werden kann, sondern davon abgehängt werden muss. Für diesen Fall lässt sich prinzipiell der Schalldurchgang durch diese Öffnung mittels einer Konstruktion verringern, die hier als „Umlenkung“ bezeichnet wird. Hierbei werden beiderseits des Trennvorhangs im Bereich des Spalts Platten angebracht, so dass ein direkter Schalldurchgang durch den Spalt nicht mehr möglich ist. Die Konstruktion ist in Bild 62 gezeigt. Die Umlenkung war auf beiden Seiten des Trennvorhangs angebracht. Die Wirkung einer solchen Umlenkung ist von der gewählten Geometrie abhängig. Bei den Untersuchungen war der Spalt aus messtechnischen Gründen vertikal angeordnet, eine solche Maßnahme bietet sich jedoch vor allem für den Deckenbereich an. Dabei muss ein gewisser Abstand der Abschottung zum Trennvorhang vorgesehen werden, denn beim hochziehen des

Vorhangs faltet sich dieser zusammen, und er muss noch in den Bereich zwischen die Abschottung passen. Bei den Versuchen wurde beidseitig ein Abstand von 80 cm vom Trennvorhang angenommen, die Abschottung hatte eine Breite von 60 cm. Der Spalt des Trennvorhangs von der Prüfstandswand hatte eine Breite von 30 cm.



Bild 62:

Trennvorhang mit seitlichem Spalt und seitlicher Abschottung des Spalts.

Für diese Situation wurden zwei Varianten gemessen, im ersten Fall bestand die Abschottung lediglich aus einer Holzwerkstoffplatte, im zweiten Fall war die Innenseite der Abschottung beidseitig mit 10 cm dickem Absorber belegt, und auch die Wandfläche war mit 10 cm dickem Absorber ausgestattet. Die gemessene Schalldämm-Maße der verschiedenen Varianten und eine Grafik der Konstruktion ist in Bild 63 dargestellt.

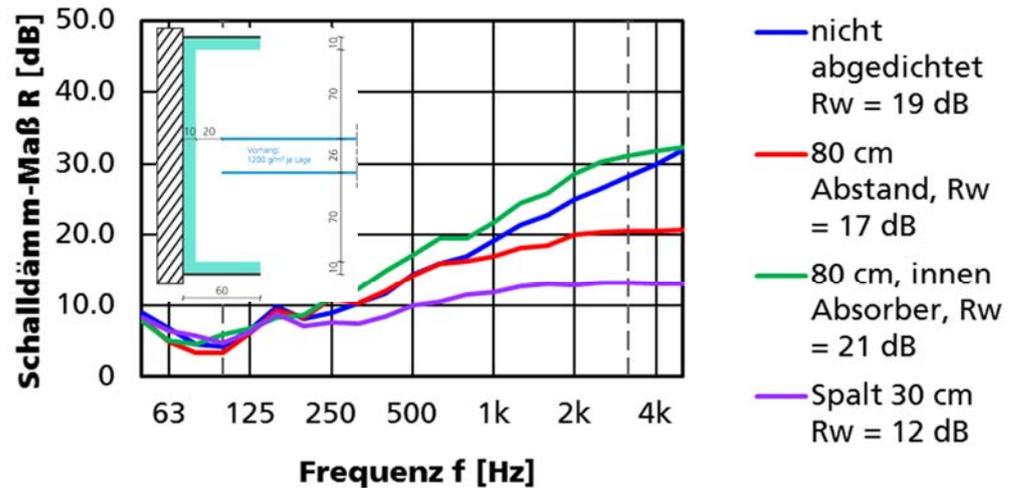


Bild 63:

Gemessene Schalldämmung des Trennvorhangs mit 30 cm breitem Spalt und mit Umlenkung, einmal ohne und einmal mit innenseitig 10 cm dicker Absorberauskleidung (in diesem Fall beträgt die freie Spaltbreite 20 cm), siehe Grafik.

Die Ergebnisse der Schalldämmung mit Umlenkung zeigen, dass diese selbst ohne Absorber eine Erhöhung der Schalldämmung von 12 dB für den freien Spalt mit 30 cm Breite auf 17 dB bewirkt. Damit wird fast die Anforderung für den eingebauten Zustand von 18 dB erreicht. Wird die Umlenkung innenseitig mit Schallabsorber belegt, so steigt die Gesamtschalldämmung auf 21 dB an und übersteigt damit die gemessene Schalldämmung des Vorhangs umseitig abgeklebt. Mit dieser Umlenkung kann der Spalt also akustisch vollständig kompensiert werden. Für den realen Fall lassen sich eventuell nur andere Dimensionen einer solchen Umlenkung realisieren. Dennoch zeigt die beispielhafte Untersuchung, dass diese Maßnahme, vor allem wenn mit absorbierender Innenseite der Umlenkung eine gute Möglichkeit darstellt, die Schallübertragung durch einen Spalt im Deckenbereich deutlich zu mindern. Damit wird die Schalldämmung eines Trennvorhangs im Einbauzustand soweit erhöht, dass sie die Größenordnung des Anforderungswerts von 18 dB erreicht.

Die in diesem Abschnitt untersuchten Maßnahmen mögen im Bau nicht alle und nicht genauso umsetzbar sein, sie zeigen aber das Potential auf, das z.B. durch geeignete Ausführung innerhalb und oberhalb der Prallwand und auch am Rand des Trennvorhangs zu einer deutlichen Verbesserung der Schalldämmung führen kann. Werden solche oder ähnliche Maßnahmen in Sporthallen ergriffen, so können die Pegel in den einzelnen Teilhallen gesenkt werden, denn durch eine erhöhte Schalldämmung des Trennvorhangs ergibt sich eine geringere Schallübertragung zwischen den Teilhallen.

5.6.3 Schallabsorption von Trennvorhängen

Die Schallabsorption von Trennvorhängen ist ein sehr wichtiges Thema, das in Abschnitt 4 durch die Studie an den verschiedenen Hallen dargestellt wurde. Zur Zeit gibt es Trennvorhänge auf dem Markt, die mittels einer relativ dünnen schallabsorbierenden Auflage eine gewisse Wirksamkeit erreichen. Sie ist aber meist auf hohe Frequenzen begrenzt, denn sie wird durch die Dicke der Auflage bestimmt. Da der Vorhang temporär verwendet wird und in der Regel bei Nichtgebrauch an die Decke gezogen wird, muss er sich entweder aufwickeln oder falten lassen. Es liegen Prüfzeugnisse zur Schallabsorption eines Trennvorhangs ohne schallabsorbierender Ausrüstung vor, dafür liegen die Absorptionsgrade tieffrequent bei ca. 0,2, im mittleren Frequenzbereich bei ca. 0,1, mit leicht ansteigender Tendenz zu höheren Frequenzen [21]. Im Vergleich dazu sind Ergebnisse mit spezieller schallabsorbierender Ausstattung bekannt. Hier besteht der Trennvorhang insgesamt aus vier Lagen Kunstleder. Die inneren beiden Lagen sind ungelocht und haben einen Abstand von ca. 260 mm. Die äußeren Lagen bestehen aus gelochtem Kunstleder, mit einer Luftschicht von 100 mm zu den inneren Lagen angebracht, die mit eingelegtem Molton ausgestattet ist. Bei der Prüfung der Schallabsorption wurde lediglich eine Seite des Trennvorhangs untersucht, d.h. eine Schichtung aus gelochtem Kunstleder mit 1200 g/m² Flächengewicht, 100 mm Luftraum mit Moltoneinlage, eine Kunstlederbahn mit 2000 g/m² und 200 mm Luftraum zur Rückwand. Dieser Aufbau erreichte bei tiefen Frequenzen Absorptionsgrade zwischen 0,2 und 0,4 sowie im mittleren Frequenzbereich bei 800 Hz Werte von 0,6. Darüber sinken die Werte auf nahe 0,5 [22]. Der Verlauf ist z.B. in Bild 16 dargestellt und wurde bei den Berechnungen als „absorbierender Trennvorhang“ bezeichnet. Aus akustischer Sicht wäre ein solcher Trennvorhang sinnvoll. Leider wird dieser Vorhang weder nachgefragt und eingebaut.

Daher wurde im Rahmen des Projekts ein Vorschlag erarbeitet, wie bestehende Trennvorhänge schallabsorbierend und praktisch umsetzbar ausgeführt werden können. Der Lösungsansatz ist in Bild 64 grafisch dargestellt.



Bild 64:
Lösungsansatz zur akustisch absorbierenden Ausgestaltung eines Sporthallen-Trennvorhangs.

Wesentlich ist dabei, dass der Trennvorhang sehr ähnlich konstruiert ist wie ein handelsüblicher Trennvorhang, so dass er mechanisch ähnlich funktioniert und zusätzlich das gesamte mögliche Potential für die Schallabsorption ausschöpft. Da der Vorhang beidseitig absorbierend sein sollte, wechseln in der Höhe Teilbereiche mit und ohne absorbierenden Eigenschaften. Dennoch muss der Vorhang natürlich auch eine ausreichende Schalldämmung aufweisen. Die dafür notwendige durchgehende Schicht wird ebenfalls wechselseitig auf beiden Seiten des Vorhangs ausgeführt. Diese Schicht muss innerhalb des Vorhangs mittels geschlossener Querverbindungen miteinander verbunden sein. Aus konstruktiven Gründen müssen die Querverbindungen vom Zugseil durchstoßen werden. Daher ist am Durchgangspunkt des Zugseils eine Dichtung vorzusehen, so dass die Schalldämmung an dieser Stelle nicht geschwächt wird. Um eine ausreichend hohe Schalldämmung zu erhalten, muss die durchgehende Schicht voraussichtlich mit einem etwas schwereren Material als dem üblichen ausgeführt werden.

Die schallabsorbierende Schicht besteht aus einer gelochten Folie, die innenseitig mit einem Akustikvlies mit angepasstem Strömungswiderstand ausgestattet ist. Als Rückvolumen dient die gesamte Trennvorhangbreite, so dass das Absorptionsspektrum sehr breitbandig ausfällt. Es wäre wünschenswert, wenn diese oder andere Ideen dazu führen, dass in naher Zukunft schallabsorbierende Trennvorhänge vorhanden sind und in Sporthallen eingesetzt werden können.

5.6.4 Nebenwegs-Übertragung bei Trennvorhängen

Die Schalldämmung und Flankenübertragung an Trennvorhängen wurde in Abschnitt 5.6.1 und 5.6.2 beschrieben. Zusätzlich zu diesen Übertragungswegen durch oder direkt neben dem Vorhang kann es weitere Nebenwege beim Einsatz von Trennvorhängen in Sporthallen geben, die die Schalldämmung zwischen zwei Hallenteilen mindern. Diese sind hier als „Nebenwege“ bezeichnet und es wird darauf hingewiesen, wie diese Nebenwegs-Übertragung unterbunden werden kann. Mögliche Nebenwege sind in Bild 53 schematisch und als horizontaler Schnitt in Bild 65 dargestellt.

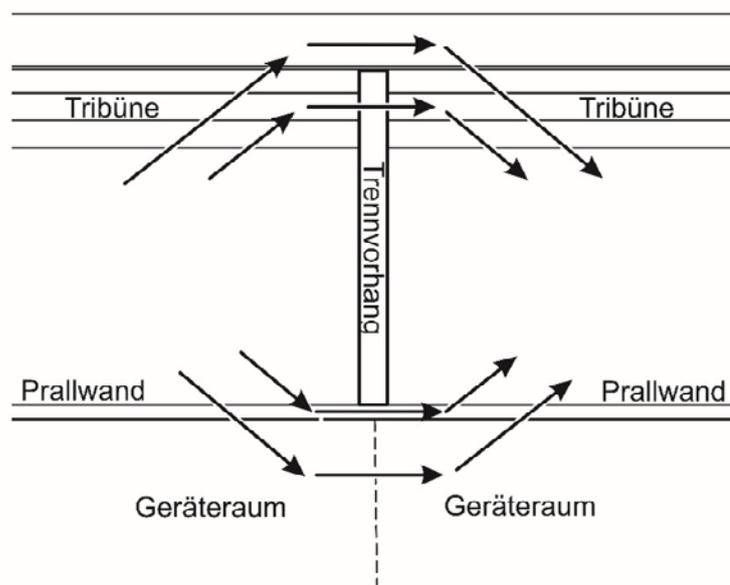


Bild 65:

Horizontaler Schnitt durch eine Sporthalle im Bereich des Trennvorhangs, mit Darstellung möglicher Nebenwege, die die Schalldämmung des Trennvorhangs gegebenenfalls mindern können.

Mögliche Nebenwege sind Schallübertragungsmöglichkeiten entlang bzw. durch den Hohlraum von akustisch ausgestatteten Prallwänden. Ebenso kann dies entlang von Ausziehtribünen der Fall sein, insbesondere wenn diese akustisch ausgestattet sind. Ein weiterer Nebenweg ist auch entlang der Geräte Räume denkbar, wenn diese, wie im Abschnitt 5.4.1 beschrieben, schallabsorbierend ausgestattet sind. Allerdings sind alle diese Nebenwege nur relevant, wenn sie nicht durch eine schalldämmende Schicht unterbrochen werden. Die Schalldämmung dieser Schicht sollte in der gleichen Größenordnung wie die des Trennvorhangs (ca. 20 dB) liegen. Daher reicht eine geschlossene Schicht aus einer Holzwerkstoffplatte aus, um diese Nebenwege zu unterbinden.

Die Holzwerkstoffplatte zur Unterbindung der Nebenwege sollte in der Ebene des Trennvorhangs eingebracht werden, siehe gestrichelte Linie in Bild 65. In der absorbierend ausgestatteten Prallwand sollte daher quer zur Prallwand eine

Holzwerkstoffplatte vorhanden sein, die den Schalldurchgang durch den Hohlraum der Prallwand, auch wenn er mit absorbierendem Material ausgefüllt ist, unterbindet. Hierzu ist ein möglichst dichter Abschluss zur Hallenwand und zur Frontplatte der Prallwand notwendig. Zur Prallwand hin kann dieser mittels dauerelastischer Abdichtung hergestellt werden, so dass die Prallwand an dieser Stelle ihre Elastizität nicht einbüßt.

Wird das Volumen der Geräteräume zur Schallabsorption genutzt, wie es in Abschnitt 5.3.2 beschrieben ist, so kann ein Nebenweg entlang der Geräteräume vorhanden sein, wenn die Geräteräume voneinander nicht getrennt sind. In diesem Falle muss eine Trennung der Geräteräume durch z.B. dicht abschließende Holzwerkstoffplatte in der Ebene des Trennvorhangs vorgesehen werden, siehe gestrichelte Linie in Bild 65.

Ist der Raum hinter einer eventuell vorhandenen Ausziehtribüne an das Sporthallenvolumen angekoppelt, z.B. durch gelochte Fronten, so kann damit ein Nebenweg, wie in Bild 65 dargestellt, entstehen. Auch hier muss die Trennung der Teilhallen, die der Trennvorhang vornimmt, auch innerhalb der Tribüne vorgenommen werden. Ebenfalls reicht es hier aus, mindestens durch eine dichte Holzwerkstoffplatte innerhalb der Konstruktion der Tribüne die Trennebene des Trennvorhangs weiterzuführen.

Neben diesen möglichen Übertragungswegen sei darauf hingewiesen, dass offensichtliche Öffnungen und Lücken in der Ebene des Trennvorhangs, wie beispielhaft in Bild 65 oberhalb der Tribüne auf der linken Seite der Zeichnung dargestellt, zu vermeiden sind.

Neben diesen sporthallentypischen Nebenwegen kann es eine Reihe weiterer Nebenwege geben, die die Schalldämmung der Trennvorhängen mindern können, wie z.B. Lüftungskanäle ohne Schalldämpfer, Elektrotrassen, die den Trennvorhang durchdringen oder dergleichen. Die Planung von Hallen mit einer angemessenen akustischen Trennung der Teilhallen ist daher im Detail nicht immer einfach. Allerdings können oftmals einfache Maßnahmen zur deutlichen Verbesserung der Situation beitragen, wenn sie beachtet werden.

Daher sei nochmals darauf hingewiesen, dass eine akustische Planung durch Fachberater sinnvoll erscheint, um die Akustik von Sporthallen auf ein Qualitätsniveau zu heben, das allen Nutzern der Hallen spürbar zugutekommt.

6 Zusammenfassung und Ausblick

In Sporthallen lässt die Akustik in vielen Fällen zu wünschen übrig. Oft beschwerten sich Nutzer berechtigt über eine schlechte Akustik, geringe Sprachverständlichkeit und viel zu laute Pegel. Alle diese Aspekte wirken zusammen und machen es den Nutzern unnötig schwer, in solchen Räumlichkeiten zu lehren und zu lernen oder ihrem Bedürfnis nach sportlicher Betätigung nachzugehen. In diesem Projekt werden die Anforderungen an die akustische Gestaltung

von Sporthallen insgesamt und mit Blick auf die wesentlichen einzelnen Bauteile in Sporthallen untersucht. Ein zentrales Ergebnis dieser Betrachtungen lautet, dass in allen Hallen akustisch absorbierende Konstruktionen eingesetzt werden müssen, um die Anforderungen an die Akustik zu erreichen. Aus der Analyse der verschiedenen Hallen geht hervor, dass einzelne Bauteile, wie z.B. eine absorbierende Decke, für gute Raumakustik nicht ausreichen. Es kann zu Mehrfachreflexionen von gegenüberliegenden nicht harten Flächen und zu langen Nachhallzeiten kommen. Die an sich bekannte Regel wird bestätigt, dass schallabsorbierende Flächen möglichst in allen drei Raumrichtungen anzubringen sind, z.B. durch Einsatz absorbierender Decken und Prallwände. Zusätzlich ist es erforderlich, einen absorbierenden Trennvorhang in Sporthallen einzubauen, um die Nachhallzeit zu senken und Mehrfachreflexionen am Trennvorhang zu unterbinden. Davon profitiert vor allem die mittlere Teilhalle. Absorbierende Trennvorhänge werden zur Zeit nicht eingesetzt, denn die erhältlichen Systeme sind bezüglich Konstruktion und Platzbedarf zu aufwändig, zu teuer oder wenig wirksam. In (zu) vielen Fällen werden absorbierende Trennvorhänge aber vom Planer oder Auftraggebern gar nicht erst nachgefragt. Um Abhilfe zu schaffen, ist also einerseits Information und Regelsetzung nötig. Andererseits wurde im Projekt das Konzept eines beidseitig absorbierenden Trennvorhangs entwickelt, das die aktuelle Konstruktionsweise von Trennvorhängen aufgreift.

Neben der Betrachtung der Gesamthalle und der Hallenteile wurden die in Sporthallen typischen und notwendigen Einbauten wie Prallwände und Trennvorhänge akustisch betrachtet und untersucht. Diese Bauteile können schallabsorbierend ausgestattet werden, so dass damit gute akustische Bedingungen in Sporthallen möglich sind. Die bislang eingesetzten Konstruktionen können in der Regel akustisch weiter optimiert werden, zum Teil durch sehr einfache Maßnahmen.

Ein akustischer Dauerbrenner in Sporthallen ist der Schallschutz zwischen Teilhallen bei herabgelassenen Trennvorhängen. Deren Schalldämmung lässt aus praktischen Gründen in vielen Hallen zu wünschen übrig. Zu diesem Problem wurden Maßnahmen untersucht, die unter realen Bedingungen umsetzbar sind und die bei guter Planung zu einer deutlichen Erhöhung der Schalldämmung zwischen den Teilhallen einer Sporthalle führen können.

Wichtig ist bei der Umsetzung von Akustikmaßnahmen eine fachgerechte Planung, so dass empfohlen wird, bei Bauprojekten für die Akustik einen geeigneten Fachplaner hinzuzuziehen. An erster Stelle auf dem Weg zu besserer Akustik in Sporthallen stehen aber die Auftraggeber von Neubauten und von Sanierungen. Ihre Information über die Bedeutung und Gestaltung guter Akustik hat hohe Priorität. Nur so kommt es zur Nachfrage von akustisch wirksamen und optimierten Konstruktionen, die von Planern und Herstellern aufgegriffen werden kann.. Zu dieser Information sollen der Bericht und der geplante Handlungsleitfaden beitragen, der die Ergebnisse zusammenfasst und Lösungsvorschläge beschreibt.

Literaturverzeichnis

- [1] Drotleff, H.et. al.: Lauter Sport in leisen Hallen. Akustische Gestaltung von Sport- und Schwimmhallen. Fraunhofer Institut für Bauphysik, Fraunhofer Verlag, 1. Auflage 1/2015.
- [2] Cremer, L, Müller, H.A.:Die wissenschaftlichen Grundlagen der Raumakustik.S. Hirzel Verlag Stuttgart, 2. Auflage, 1978.
- [3] DIN 18041:2016-03: Hörsamkeit in Räumen – Anforderungen, Empfehlungen und Hinweise für die Planung. DIN Deutsches Institut für Normung. Beuth Verlag, Berlin.
- [4] W.C. Sabine, L.L. Beranek, F.V. Hunt: Collected papers on Acoustics. Peninsula Publishing, Los Altos, California, 1992.
- [5] DIN 18032-1:2014-11: Sporthallen – Hallen und Räume für Sport und Mehrzwecknutzung – Teil 1: Grundsätze für die Planung. DIN Deutsches Institut für Normung. Beuth Verlag, Berlin.
- [6] Leistner, P.: Verbesserung der akustischen Eigenschaften von Sporthallenböden. Projektbericht der Universität Stuttgart, Lehrstuhl für Bauphysik, 14. Juli 2017
- [7] Leistner, P., Kittel, M., Liebl, A.: Akustische Gestaltung von Sport- und Schwimmhallen. Lärmbekämpfung, Bd. 10 Nr. 4, Juli 2015.
- [8] VDI 2058-2:1988-07: Beurteilung von Lärm hinsichtlich Gehörgefährdung. VDI Verlag GmbH, Düsseldorf 1988.
- [9] DIN EN ISO 11654:1997-07: Schallabsorber für die Anwendung in Gebäuden. DIN Deutsches Institut für Normung. Beuth Verlag, Berlin
- [10] DIN 4109:1989-11: Schallschutz im Hochbau. DIN Deutsches Institut für Normung. Beuth Verlag, Berlin
- [11] DIN 4109:2016-07: Schallschutz im Hochbau. DIN Deutsches Institut für Normung. Beuth Verlag, Berlin
- [12] DIN 18032-4:2002-4: Sporthallen – Hallen für Turnen, Spiele und Mehrzwecknutzung – Teil 4: Doppelschalige Trennvorhänge. DIN Deutsches Institut für Normung. Beuth Verlag, Berlin.
- [13] Oesters, D.: The effect of scattering objects on measured reverberation times in sport halls. Acoustics in Practice, Vol. 2, No. 1, January 2014.
- [14] DIN EN ISO 10534-2:2001: Akustik - Bestimmung des Schallabsorptionsgrades und der Impedanz in Impedanzrohren - Teil 2: Verfahren mit Übertragungsfunktion (ISO 10534-2:1998). DIN Deutsches Institut für Normung. Beuth Verlag, Berlin.

- [15] Leistner, P., Zhou, X.: Abschlussbericht Integrale Bausysteme zur effizienten Beeinflussung von Klima, Akustik und Luftqualität in Räumen. Forschungsbericht im Rahmen der Forschungsinitiative Zukunft Bau (BBSR) des Fraunhofer Institut für Bauphysik, 2010.
- [16] DIN EN ISO 354:2003: Messung der Schallabsorption im Hallraum. DIN Deutsches Institut für Normung. Beuth Verlag, Berlin
- [17] Ergebnisbericht – Bestimmung der Schallabsorption eines Geräteraumtors. Messung in Anlehnung an DIN EN ISO 354:2003 im Hallraum. Bericht des Fraunhofer Institut für Bauphysik IBP, 25. 10.2017
- [18] Baumusterprüfung - Prüfung der Schalldämmung von Trennvorhängen – Projekt-Nr. 98351, Graner und Partner, Bergisch Gladbach, Bericht vom 14.01.1999.
- [19] Die Zukunft im Trennvorhangbau hat begonnen. Teleskopschallsümpfe von Trenomat. Werbeschrift von Trenomat GmbH & Co. KG, Wuppertal.
- [20] Neue Akustik-Software. COMPAS zur Berechnung von Schalldämpfern. Informationsschrift des IBP. Fraunhofer Institut für Bauphysik IBP, Stuttgart. (https://www.ibp.fraunhofer.de/content/dam/ibp/de/documents/Produktentwicklungen/IBPsound_compas.pdf)
- [21] Praktischer und bewerteter Schallabsorptionsgrad nach EN ISO 11654. Prüfzeugnis A6073 vom 01.02.2016, ausgestellt von Graner + Partner Bergisch Gladbach, Trenomat GmbH & Co. KG, Wuppertal.
- [22] Prüfzeugnis Bestimmung des Schallabsorptionsgrades α_s nach DIN EN ISO 354 Bestimmung der Schallabsorption nach 11654. Prüfzeugnis A 5563-I vom 03.12.2015, ausgestellt von Graner + Partner Bergisch Gladbach, Trenomat GmbH & Co. KG, Wuppertal.