

# Verbesserung der Raumakustik in Sporthallen durch geneigte Prallwandkonstruktionen

Ralf König, Carsten Ruhe

TAUBERT und RUHE GmbH, 25421 Pinneberg, E-Mail: ralf.koenig@taubertundruhe.de

## Einleitung

In Sporthallen sind in der Regel die Anforderungen an die Nachhallzeit gemäß DIN 18041 [1] einzuhalten. Aufgrund fehlender Diffusität werden oftmals deutlich längere Nachhallzeiten gemessen, als nach der Berechnung mit der Sabineschen Nachhallformel zu erwarten wäre. Ursache können Mehrfachreflexionen (Flutterechos) aufgrund fehlender Diffusität des Schallfeldes sein, die insbesondere im mittleren Frequenzbereich (250 Hz, 500 Hz oder 1000 Hz) zu deutlich längeren Nachhallzeiten führen.

Durch Neigen des Prallschutzes, der zumeist bis zu einer Höhe von ca. 2,5 m vor den Längs- und Stirnwänden befestigt ist, kann die Diffusität erhöht werden. Nachfolgend werden die Ergebnisse von Schallmessungen in Sporthallen mit geringfügig ( $< 2^\circ$ ) geneigtem Prallschutz vorgestellt. Die Messergebnisse werden diskutiert.

Weiterhin wird die Wirkung von zusätzlichen Absorptionsflächen oberhalb von senkrechten Prallschutzflächen untersucht.

## Beschreibung der Problematik

In Sporthallen sind in der Regel nicht die Voraussetzungen gegeben, die die Anwendung der Sabineschen Nachhallformel voraussetzt. Insbesondere sind die Absorptionsflächen in vielen Hallen ungleichmäßig verteilt.

Die Decke ist oftmals im gesamten relevanten Frequenzbereich schallabsorbierend ( $\alpha \geq 0,6$ ). In vielen Hallen ist ein textiler Prallschutz im Wandbereich bis ca. 2,5 m Höhe direkt auf Mauerwerk oder Beton aufgeklebt.

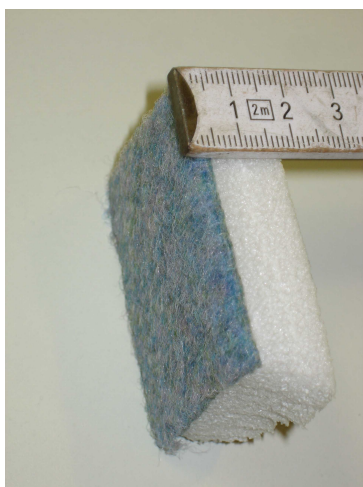


Abbildung 1: Textiler Prallschutz, bestehend aus PE-Schaumstoff und Nadelfilz- oder Velours-Deckschicht

Textiler Prallschutz weist gemäß den Prüfzeugnissen der Hersteller erst ab 1000 Hz einen Schallabsorptionsgrad von  $\alpha > 0,15$  auf. Die besonders kritische 500 Hz Oktave wird daher nur ungenügend bedämpft. Da die Wände und der Prallschutz in der Regel parallel zueinander stehen, wird wenig Schallenergie zur absorbierenden Decke gelenkt. In Sporthallen mit textilem oder schallhartem senkrechten Prallschutz ist für den Bereich mittlerer Frequenzen somit nur eine ungleichmäßige Verteilung der Absorptionsflächen gegeben. Dadurch kann es zu Flutterechos zwischen den Längs- und Stirnwänden kommen, die die Nachhallzeit deutlich verlängern.

Alternativ werden z. B. gelochte oder geschlitzte Holzplatten auf einer Unterkonstruktion als Prallschutz eingesetzt. Diese weisen je nach Art der Lochung, des dahinter liegenden Absorbers und der Unterkonstruktion auch im mittleren Frequenzbereich hohe Schallabsorptionsgrade auf. Der textile Prallschutz wird jedoch aufgrund der Robustheit und des günstigen Preises bevorzugt eingesetzt.

## Halle 1: Senkrechter textiler Prallschutz

Abbildung 2 zeigt eine typische 1-Feld-Sporthalle mit folgenden Parametern:

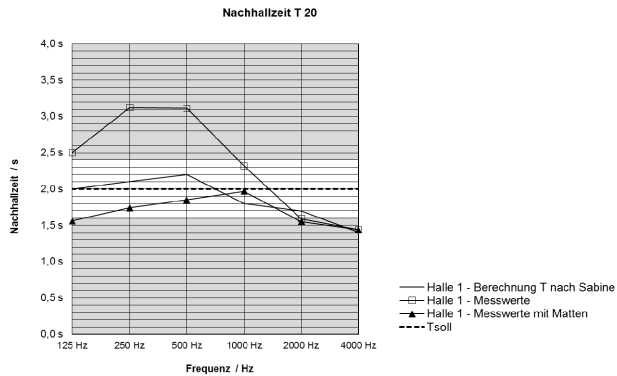
- 27 m x 15 m x 8...9 m;  $V = 3300 \text{ m}^3$
- Prallschutz Längswände: Textil senkrecht
- Prallschutz Stirnwände: Textil senkrecht
- Wände oben: Putz/Fenster
- Dach: gelochtes Trapezblech, Deckenstrahlheizung
- $T_{\text{soll}} = 2,0 \text{ s}$



Abbildung 2: 1-Feld-Sporthalle mit senkrechtem textilen Prallschutz (Halle 1)

Die gemessene Nachhallzeit in Halle 1 liegt deutlich über der Nachhallzeit, die gemäß der Sabine'schen Nachhallformel zu erwarten wäre.

In der Halle waren Flatterechos deutlich hörbar. Durch das Anlehnen vor Sportmatten vor dem Prallschutz an einer Stirnwand konnte die Nachhallzeit deutlich verringert werden.



**Abbildung 3:** Berechnete und gemessene Nachhallzeit ohne und mit Matten vor dem Prallschutz einer Stirnwand in Halle 1

Dass zwischen den Längswänden keine Flatterechos auftreten, ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass die Glasfassade, die bei der Halle 1 auf der einen Seite direkt über dem Prallschutz beginnt, um ca. 40 cm nach außen zurückspringt. An der Kante zwischen Prallschutz und Fassade entstehen offenbar aufgrund von Beugungseffekten phasenverschobene Reflexionen, die das Auftreten von Flatterechos unterdrücken (Fresnelsche Zonen [2])

### Halle 2: Geneigter textiler Prallschutz an Stirnwänden

Bei der Halle 2 ist ein textiler Prallschutz an beiden Stirnwänden auf einer geneigten Unterkonstruktion befestigt.

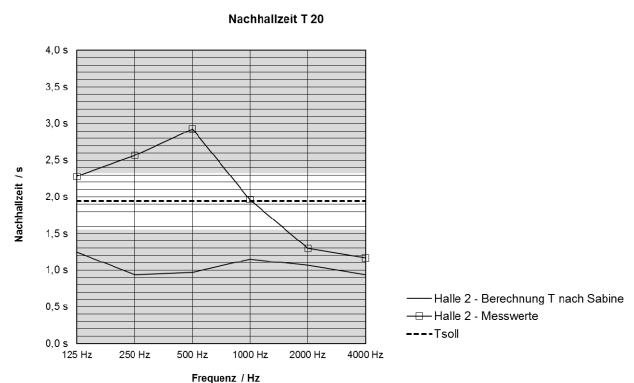


**Abbildung 4:** 1-Feld-Sporthalle mit geneigtem textilen Prallschutz vor den Stirnwänden (Halle 2)

- 27 m x 15 m x 7,5 m; V = 3100 m<sup>3</sup>
- Prallschutz Längswände: Textil senkrecht

- Prallschutz Stirnwände: Textil geneigt, Neigung ca. 5 cm/2,2 m (ca. 1,3°) an beiden Stirnwänden
- Längswände oben: Putz/Fenster
- Stirnwände oben: absorbierende Holzwolleplatten mit Mineralfaserhinterlegung
- Dach: gelochtes Trapezblech
- Tsoll = 1,9 s

In Halle 2 ist die nach Sabine berechnete Nachhallzeit trotz ähnlicher Abmessungen wie Halle 1 deutlich kürzer. Ursache hierfür ist die zusätzliche Absorptionsfläche oberhalb des Prallschutzes an den Stirnwänden. In Halle 2 liegt die gemessene Nachhallzeit noch deutlicher über der Nachhallzeit, die gemäß der Sabine'schen Nachhallformel zu erwarten wäre:



**Abbildung 5:** Berechnete und gemessene Nachhallzeit in Halle 2

Auch in Halle 2 sind Flatterechos deutlich hörbar. Subjektiv konnten die Flatterechos Mehrfachreflexionen zwischen den Längswänden, die keinen geneigten Prallschutz aufweisen, zugeordnet werden.

### Halle 3: Geneigter textiler Prallschutz an Stirnwänden

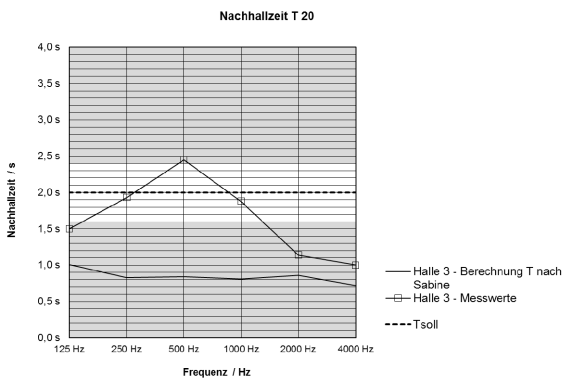
Bei der Halle 3 ist wie bei Halle 2 ein textiler Prallschutz an beiden Stirnwänden auf einer geneigten Unterkonstruktion angebracht. Auch in Halle 2 befindet sich oberhalb des Prallschutzes an den Stirnwänden eine schallabsorbierende Verkleidung.

- 33 m x 18 m x 6 m; V = 3540 m<sup>3</sup>
- Prallschutz Längswände: Textil senkrecht
- Prallschutz Stirnwände: Textil geneigt, Neigung ca. 5 cm/2,4 m (1,2°) an beiden Stirnwänden
- Längswände oben: Putz/Fenster
- Stirnwände oben: absorbierende Holzwolleplatten mit Mineralfaserhinterlegung
- Decke: Holzwolleplatten und perf. Deckenstrahl-elemente
- Tsoll = 2,0 s



**Abbildung 6:** 1-Feld-Sporthalle mit geneigtem textilen Prallschutz vor den Stirnwänden (Halle 3)

Der Vergleich von Rechnung und Messung zeigt ein ähnliches Bild wie in Halle 2:



**Abbildung 7:** Berechnete und gemessene Nachhallzeit in Halle 3

Auch in Halle 3 konnten wiederum Flatterechos zwischen den Längswänden festgestellt werden.

### Halle 4: Geneigter Prallschutz an Längs- und Stirnwand

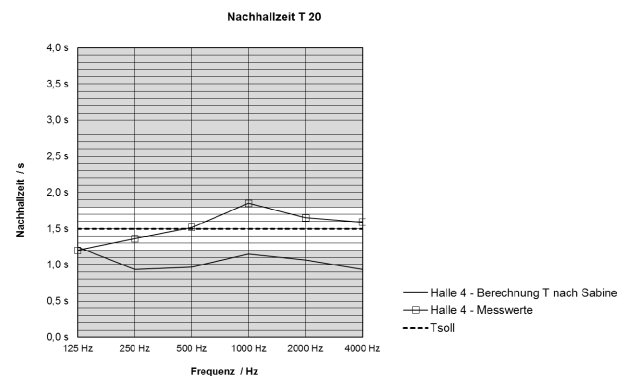
Die Halle 4 ist kleiner als die Hallen 1 bis 3. In Halle 4 besteht der Prallschutz aus ungelochten Holzplatten. Der Prallschutz in Halle 4 ist an einer Längswand und an einer Stirnwand geneigt.

- 21 m x 13 m x 5 m;  $V = 1370 \text{ m}^3$
- Prallschutz Längswand: Geschlossene Holzplatten geneigt, Neigung ca. 8 cm/2,5 m ( $1,8^\circ$ )
- Prallschutz Stirnwand: Geschlossene Holzplatten geneigt, Neigung ca. 6,5 cm/2,5 m ( $1,5^\circ$ )
- Längswände oben: Putz/Fenster
- Stirnwände oben: Putz
- Decke: Holzwolleplatten-Felder mit Mineralfaserhinterlegung
- $T_{\text{soll}} = 1,5 \text{ s}$



**Abbildung 8:** 1-Feld-Sporthalle mit geneigtem, schallharten Prallschutz an einer Längswand und einer Stirnwand (Halle 4)

Die gemessene Nachhallzeit ist auch in Halle 4 länger als die nach Sabine berechnete Nachhallzeit. Die Differenz ist jedoch geringer als bei den Hallen 2 und 3. Flatterechos sind nur sehr leise hörbar.

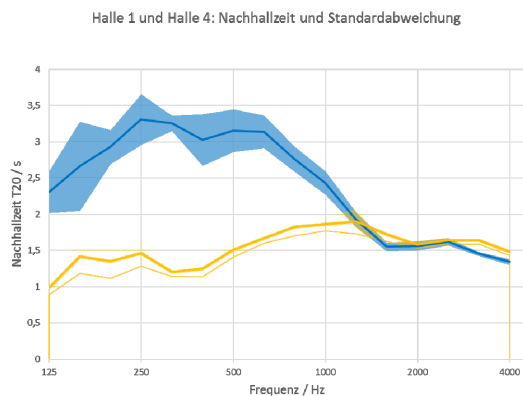


**Abbildung 9:** Berechnete und gemessene Nachhallzeit in Halle 4

### Bewertung der Diffusität der Schallfeldes anhand der Standardabweichung

Durch das Neigen einer Längswand- und einer Stirnwand in Halle 4 konnte die Diffusität erhöht werden. Dies lässt sich aus der Standardabweichung zwischen den einzelnen Messreihen ( $n=6$ ) erkennen.

In Halle 4 (geneigter Prallschutz an Längs- und Stirnwand) ist die Standardabweichung bei 500 Hz deutlich geringer als in Halle 1 (senkrechter Prallschutz). Die Standardabweichung in den Hallen 2 und 3 ist ebenfalls deutlich größer als in Halle 4 (nicht dargestellt).



**Abbildung 10:** Nachhallzeit und Standardabweichung der einzelnen Messreihen in Halle 1 (blau) und Halle 4 (gelb)

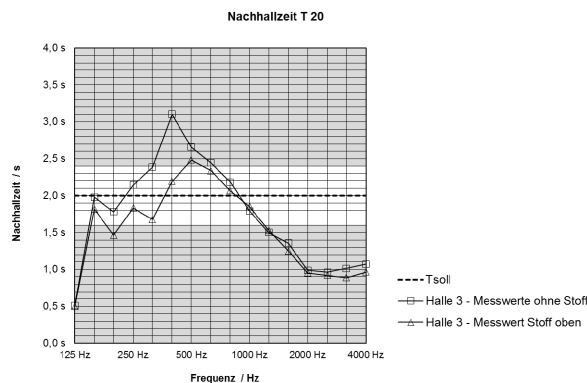
### Verkürzung der Nachhallzeit durch zusätzliche Absorption oberhalb des Prallschutzes

Durch zusätzliche Absorptionsflächen oberhalb des Prallschutzes können Flatterechos vermindert werden. In Halle 3 wurden ca. 5,8 m<sup>2</sup> Moltonstoff oberhalb des Prallschutzes vor der Wandfläche aufgehängt.



**Abbildung 11:** Halle 4 mit 5,8 m<sup>2</sup> Moltonstoff oberhalb des Prallschutzes an einer Längswand

Die Nachhallzeit verringert sich durch die zusätzliche Absorptionsfläche deutlich, obwohl sich die Absorptionsfläche oberhalb des Prallschutzes befindet. Die Begründung hierfür liegt in dem Effekt der Fresnelschen Zonen [2]. Die Verbesserung tritt insbesondere bei den Frequenzen auf, in denen die Flatterechos auftreten.



**Abbildung 12:** Nachhallzeit ohne und mit Stoff gemäß Abbildung 11 in Halle 3, Lautsprecher und Mikrofon

Die sich nach der Sabine'schen Formel aus der Nachhallzeit berechnende zusätzliche äquivalente Absorptionsfläche des Stoffes ist erheblich größer als die tatsächlich eingebrachte äquivalente Absorptionsfläche, was auf die Unterdrückung der Flatterechos zurückzuführen ist.

### Fazit

Durch Neigung des Prallschutzes einer Längswand **und** einer Stirnwand kann die Diffusität erhöht werden. Die Wirksamkeit der Absorber an der Decke wird verbessert. Flatterechos werden deutlich gemindert.

Die Neigung des Prallschutzes um ca. 1,5° erzeugt noch keine optimale Diffusität. Berechnungen nach der Sabine'schen Nachhallformel sind weiter nicht ohne Einschränkungen anwendbar. Ob eine stärkere Neigung (z. B. 5°) in der Praxis ausreicht, muss noch untersucht werden. Derzeit ist jedoch keine Halle, in der eine Neigung des Prallschutzes um 5° umgesetzt wurde, bekannt.

Das Neigen des Prallschutzes der Stirnwand/Stirnwände ist nicht ausreichend. Es muss der Prallschutz an mindestens zwei nicht gegenüber liegenden Wänden geneigt werden.

Durch Absorptionsflächen oberhalb des senkrechten Prallschutzes können Flatterechos gemindert und die Nachhallzeit verkürzt werden. Hieraus ergeben sich Anwendung für den Neubau und die Sanierung von Sporthallen mit senkrechtem textilem Prallschutz.

Dass zusätzliche Absorptionsflächen oberhalb eines schallharten Prallschutzes (z. B. ungelochten Holzplatten) ausreichen, ist nach Auffassung der Autoren eher nicht zu erwarten.

### Literatur

- [1] DIN 18041, Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen, Ausgabe Mai 2004
- [2] Cremer Müller, Die wissenschaftlichen Grundlagen der Raumakustik. S. Hirzel Verlag, Stuttgart, 1978