

Adaptives Akustikelement zur temporären Anpassung des Raumklanges

Rajko Berger, Andreas Ehrlich, Sandra Gelbrich, Matthias Klärner, Lothar Kroll

TU Chemnitz, Institut für Strukturleichtbau, 09107 Chemnitz, E-Mail: rajko.berger@mb.tu-chemnitz.de

Einleitung

Moderne Architektur in Innenräumen ist in zunehmendem Maße von Betonelementen geprägt, die nicht wie früher durch Putz, Tapeten und Holzpaneele verkleidet werden, sondern als sogenannter Sichtbeton den architektonischen Stil der Gebäude im Innenraum fortsetzen. Dies führt dazu, dass die Wände schallhart ausgebildet sind, also den Schall vielfach reflektieren und kaum noch absorbieren. Die Nachhallzeiten in derartigen Räumen sind enorm hoch, was die Sprachverständlichkeit stark beeinträchtigt. Diese Problematik erstreckt sich von modernen Konferenzzentren, über Büroräume, neu errichteten Kirchen, privaten Wohnräumen, bis hin zu Schulen. Das adaptive Akustikelement mit seinen beweglich gelagerten Prismen und deren unterschiedlich konditionierten Seiten ermöglicht eine individuelle Anpassung der Nachhallzeit, je nach Raumnutzung.

Systembeschreibung

Das System besteht aus einem Rahmen mit darin beweglich gelagerten Prismen, die synchron ausgerichtet werden können (vgl. Abbildung 1). Jedes Prisma hat eine schallreflektierende Seite, eine schallabsorbierende und eine Seite mit einer Öffnung, die mit dem Prismavolumen einen Helmholtzresonator bildet (Abbildung 2). Der Antrieb der Prismen erfolgt mit einem Schrittmotor, der über eine Zahnstange mit den Prismenachsen verbunden ist.

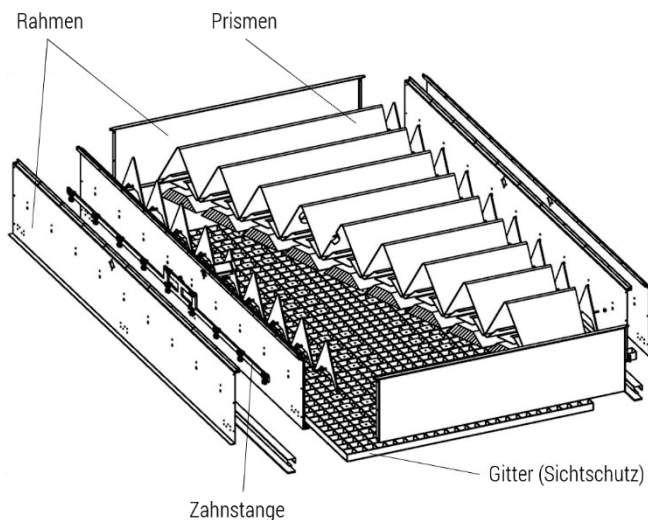


Abbildung 1: Systemübersicht

Die modularen Akustikelemente (Abmessungen: 2000 mm x 1000 mm) werden, ähnlich anderen raumtechnischen Installationen, direkt unter der Decke angebracht und mit einem Sichtschutzgitter verdeckt. Das Gitter ist dabei akustisch weitgehend neutral. Die einzelnen Deckenmodule werden zusammen oder in Gruppen über ein OSI-Steuerungsmodell (Open Systems Interconnection

Model) angewählt und die Prismen anforderungsgemäß positioniert.



Abbildung 2: Zustände des Testmoduls (von links: schallhart, absorbierend, Resonator)

Auslegung der Rotationskörper

Mit Bezug zu Abmaßen von Deckensystemen führender Hersteller und im Hinblick auf das Handling während der Montage, wurde für die Prismen eine Standardlänge von 1000 mm festgelegt. Durch diese Vorgabe und dem gewählten Querschnitt, wird das Resonanzvolumen des Körpers nach oben mit ca. 10 l begrenzt.

Die Ermittlung der Resonanzfrequenz erfolgt aus den geometrischen Randbedingungen [1] gemäß

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S_0}{V_0 \cdot (L + 2 \Delta L)}} \quad (1)$$

c Schallgeschwindigkeit
 S_0 Öffnungsquerschnitt
 V_0 Resonatorvolumen
 L Resonatorhalslänge (Dicke des Bleches)
 ΔL Mündungskorrektur .

Mit der Annahme sinnvoller Werte für

- Resonatorvolumen: $2,1 \text{ l} \leq V \leq 10 \text{ l}$
- Radius der Öffnung: $10 \text{ mm} \leq r \leq 50 \text{ mm}$
- Resonatorhalslänge: $3 \text{ mm} \leq l \leq 50 \text{ mm}$

ergibt sich ein resultierender Frequenzbereich von:

$$V_{10l}: F_{\min} \sim 37 \text{ Hz}; F_{\max} \sim 167 \text{ Hz}$$

$$V_{2,1l}: F_{\min} \sim 81 \text{ Hz}; F_{\max} \sim 364 \text{ Hz}.$$

Für die weiteren akustischen Untersuchungen am Testmodul wurden die Resonatoren auf eine Resonanzfrequenz von 156 Hz abgestimmt.

Für den Einsatz als Breitbandabsorber auf der schallabsorbierenden Seite des Körpers standen 4 Materialien zur Wahl, die am Prisma in eine trapezförmige Vertiefung (50 mm) (Querschnitt) eingeklebt werden. Es wurde nach Materialien recherchiert, die schwer entflammbar sind und sich damit für den Einsatz in öffentlichen Gebäuden empfehlen. Die engere Auswahl aus Glasschaum, Melapor®, Basotect® und Mineralwolle wurde nach DIN EN ISO 10534-2 im Impedanzrohr auf ihr

Schallabsorptionsvermögen hin untersucht und verglichen. Dabei hatten die Prüflinge einen Durchmesser von 40 mm und eine Dicke von 50 mm.

Aus den Kurvenverläufen (vgl. Abbildung 3) ist ersichtlich, dass alle Materialien mit Ausnahme des Glasschaums ein ähnlich hohes Niveau hinsichtlich ihres Schallabsorptionsvermögens aufweisen. Für die weiteren Untersuchungen wurde Basotect® im Akustikmodul verwendet.

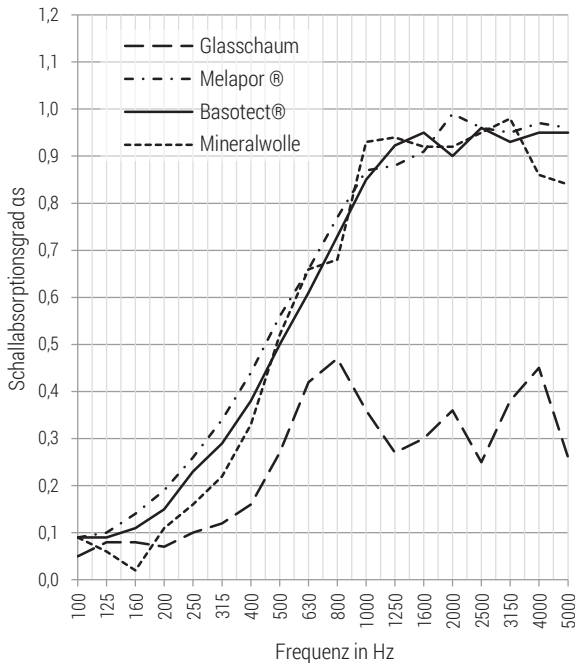


Abbildung 3: Schallabsorption nach DIN EN ISO 10534-2

Auf der den Schall reflektierenden Seite des Prismas wurde ein 2 mm dickes Aluminiumblech eingeklebt. Aufgrund des günstigen Verhältnisses der Seitenlängen zur Dicke und der Verklebung, bietet die Fläche eine hohe Steifigkeit um den auftreffenden Schall zum größten Teil zu reflektieren.

Ergebnisse der akustischen Untersuchungen

Für die Untersuchungen zur akustischen Wirksamkeit der verschiedenen Prismenflächen wurde an den eingebauten Rotationskörpern die Nachhallzeit im Hallraum bestimmt (Abbildung 4) und daraus der Schallabsorptionsgrad nach DIN EN ISO 354 ermittelt.

Abbildung 5 zeigt die Nachhallzeiten der verschiedenen Modi im Vergleich zum leeren Hallraum. Die Kurve der schallharten Seite verläuft im Vergleich, bei geringeren Nachhallzeiten. Der Grund für den großen Unterschied wird in den Fugen zwischen den Rotationskörpern untereinander und zum Rahmen hin vermutet. Hier sind weitere Untersuchungen an konstruktiv optimierten Prototypen (hinsichtlich Steifigkeit der Reflexionsplatte und Fugen) nötig, um das Reflexionsvermögen deutlich zu erhöhen.

Die Nachhallzeit der absorbierenden Prismaseite im Vergleich zum leeren Hallraum zeigt einen recht deutlichen Unterschied.



Abbildung 4: Bestimmung der Absorption im Nachhallzeitverfahren

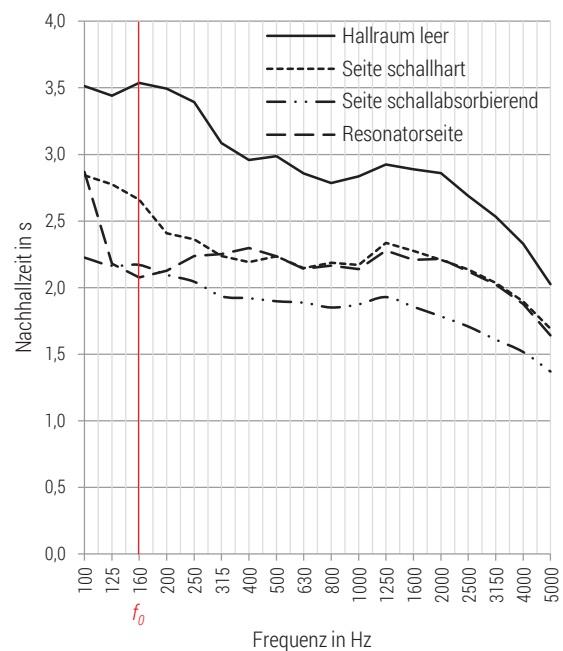


Abbildung 5: Nachhallzeiten im Hallraum mit verschiedenen Modulzuständen im Vergleich

Potential zur Verbesserung des Absorptionsvermögens (vgl. Abbildung 6) ist aber auch bei dieser Variante, insbesondere unterhalb von 1250 Hz, vorhanden. Durch eine Erhöhung der Absorberdicke kann im unteren Frequenzbereich eine Verbesserung des Absorptionsverhaltens erwartet werden, was durch eine Umkonstruktion der Prismen zu bewerkstelligen wäre.

Das Resultat des Resonators zeigt bei der Resonanzfrequenz eine zufriedenstellende Übereinstimmung mit der berechneten Abstimmfrequenz.

Die Güte,

$$Q_\alpha = \frac{f_0}{\Delta f_H} \text{ mit } \Delta f_H = f_2 - f_1 \quad (2)$$

f_1 ...Frequenz links des Absorptionsmaximums
 f_2 ...Frequenz rechts des Absorptionsmaximums

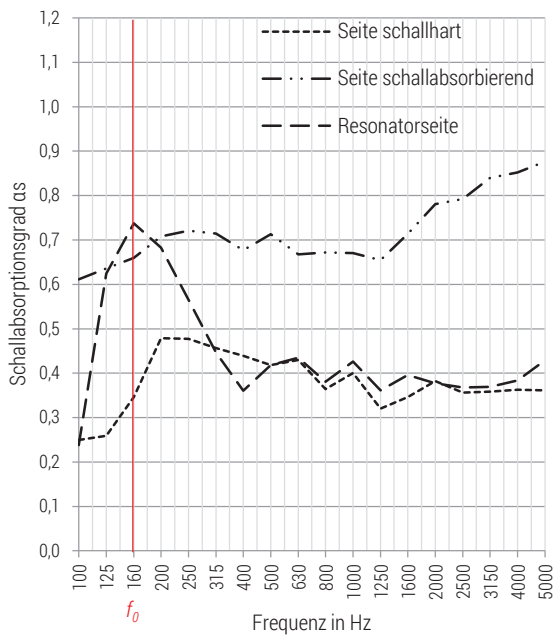


Abbildung 6: Resultierende Schallabsorption im Vergleich

die sich aus dem Halbwertsbreitenverfahren [2] ergibt, beträgt für diesen Resonator $Q_\alpha \approx 0,55$. Für eine hohe Güte ist ein möglichst niedriger Wert ausschlaggebend.

In künftigen Versuchen ist noch zu klären, ob das Einbringen schallabsorbierender Materials direkt in die Resonatoröffnung eine Amplitudenerhöhung bewirken kann und dabei den Wert der Güte verringert, um die Effizienz des Resonators zu steigern.

Zusammenfassung und Ausblick

Für das im Rahmen eines von der AiF geförderten Projektes, konnte ein erster Prototyp hergestellt und hinsichtlich seiner akustischen Eigenschaften getestet werden. Die Erkenntnisse, die aus den Untersuchungen gewonnen wurden, bilden eine gute Ausgangssituation um weitere Verbesserungen und Optimierungen zu erzielen um am Ende der Projektlaufzeit als Referenz in einem Besprechungsraum, dessen mittlere Nachhallzeit $RT = 1,1$ s beträgt, installiert zu werden. Vorgesehen sind 4 Module, die an der Decke untergehangen werden. Aus Prognoserechnungen wird mit der Absorberseite der Prismen eine Verkürzung der Nachhallzeit um 0,4 s - 0,6 s erwartet, sodass sich die für Besprechungsräume empfohlene Nachhalllänge von 0,5 s – 0,8 s [3] einstellt und die Sprachverständlichkeit erhöht. Parallel zu den akustischen Entwicklungen wird weiter an Steuerungs- Antriebs- und Lichttechnik gearbeitet.

Förderhinweis

Die Ergebnisse wurden im Rahmen eines AiF-ZIM-Projektes – KF3218135 – „Entwicklung eines adaptiven Akustikelements zur temporären Anpassung des Raumklangs an individuelle Bedürfnisse in öffentlichen und privaten Gebäuden“, gemeinsam mit den Projektpartnern HRT-Hausregeltechnik GmbH und Ivo Gehre Akustik & Trockenbau GmbH erarbeitet.

Literatur

- [1] S. W. Fasold, Bau- und Raumakustik, Berlin: Verlag für Bauwesen, 1987.
- [2] M. Meister, *Dimensionierung und Simulation von Helmholtz-Resonatoren (Diplomarbeit)*, Graz: TU Graz, 2011.
- [3] IFA-Institut für Arbeitsschutz der deutschen gesetzlichen Unfallversicherung, *Akustik im Büro*, Hamburg: BC GmbH Verlags- und Mediengesellschaft, 2012.