

Kurzbericht des Forschungsprojektes

Absorption tieffrequenten Trittschalls durch in Holzbalkendecken integrierte Helmholtzresonatoren

Förderstelle:



Bundesaamt
für Bauwesen und
Raumordnung

Bundesinstitut

für Bau-, Stadt- und Raumforschung

Forschungsinitiative "Zukunft Bau"

Z 6 – 10.08.18.7 – 08.19 / II 2 – F20-08-31 (086)

Forschungsstelle: Hochschule für angewandte Wissenschaften
Rosenheim
Labor für Schallmesstechnik LaSM

Projektleiter:

Prof. Dr. Ulrich Schanda

Projektmitarbeiter:

Dipl.-Ing.(FH) Markus Schramm

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim Autor.

Bearbeitungszeitraum: 01.03.2009 bis 31.01.2011

Rosenheim, März 2011

1 Ziel des Forschungsvorhabens

Ziel des Forschungsprojektes war die Verbesserung der Trittschalldämmung von Holzbal-kendecken bei tiefen Frequenzen.

Leichte Holzdecken sind bekannt für deren hohe Norm-Trittschallpegel im tieffrequenten Bereich. Auf den Frequenzbereich ab 50 Hz erweiterte Spektrum-Anpassungswerte $C_{1,50-2500}$ erreichen Werte mitunter bis 20 dB und belegen die schlechte Trittschalldäm-mung von Leichtbaudecken unter 100 Hz. Normative Schallschutzanforderungen an den Summenwert aus Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w}$ und Spektrum-Anpassungswert $C_{1,50-2500}$ sind in manchen Ländern bereits eingeführt. Die Einhaltung dieser Anforderungen führt bei Holzdecken zu konstruktiven Maßnahmen, die zum einen aufwendig und meist mit einer deutlichen Erhöhung der flächenbezogenen Masse verbunden sind.

Als alternative Maßnahme wurden Helmholtzresonatoren untersucht, welche eingebaut als konstruktive Komponente der Decke den tieffrequenten Trittschall absorbieren. Die Anordnung im Deckenhohlraum erfolgte durch eine Ankopplung der Resonatoröffnung an den Deckenhohlraum (s. Abbildung 1, Bild rechts); die Ankopplung der Resonatoröffnung an den Empfangsraum brachte keinen Erfolg.

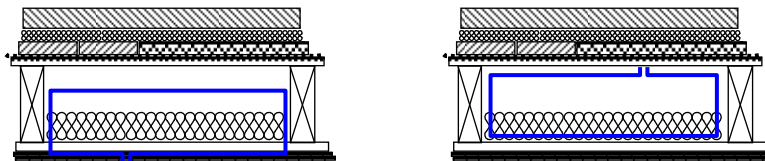


Abbildung 1: Untersuchte Ankopplungsvarianten der Helmholtzresonatoren. Nur die Ankopplung an den Deckenhohlraum (Gefach) war erfolgreich (Bild rechts).

Das Forschungsprojekt sollte die prinzipielle akustische Auswirkung eines integrierten Helmholtzabsorbers auf eine Senkung des Norm-Trittschallpegels und des Spektrum-Anpassungswertes klären sowie die physikalisch relevanten und die konstruktiven Pla-nungsgrundlagen für eine spätere Realisierung als kompaktes, in den Deckenhohlraum integrierbares Bauteil liefern. Zur Erzielung eines hinreichenden physikalischen Verständ-nisses der Resonatoren wurde deshalb zuerst die Wirkungsweise der Helmholtzresonatoren im diffusen Schallfeld untersucht.

Die Untersuchungsmethodik war vorwiegend experimenteller Natur. Die Messungen mussten deshalb in einer definierten und messbar veränderbaren Messumgebung eines bauakustischen Prüfstandes erfolgen.

2 Durchführung der Forschungsaufgabe

In einem ersten Arbeitsschritt wurden die Helmholtzresonatoren auf deren vibroakustische Eigenschaften vermessen. Die Helmholtzresonatoren waren ausgebildet als quaderförmige Kästen aus Gipskartonplatten mit einer i.d.R. schlitzförmigen Öffnung (Resonatormündung).

In Abbildung 1 ist der Helmholtzresonator dargestellt wie er im Rahmen des Forschungsprojektes zum Einsatz kam. Als Mündungsgeometrie wurde ein Schlitz gewählt.

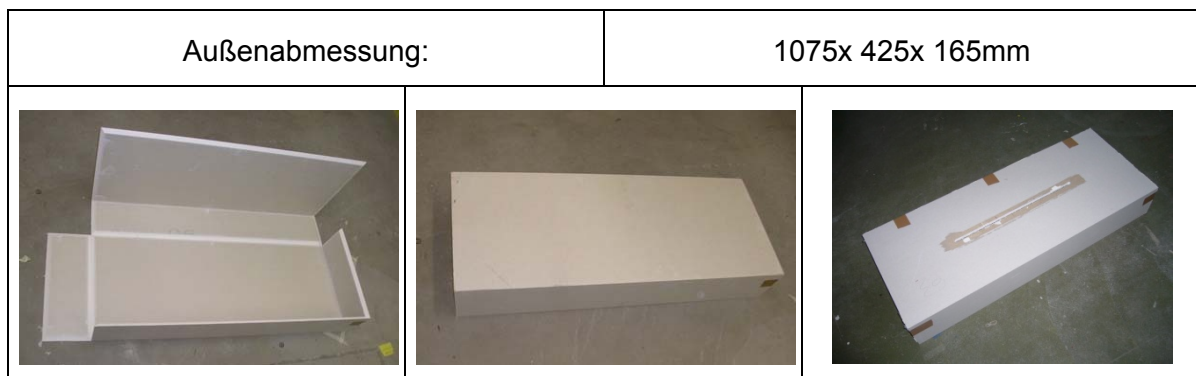


Abbildung 1: Der Helmholtzresonator in Form eines Gipskartonkastens

Es zeigte sich, dass die aus der Literatur gängigen Dimensionierungsregeln anwendbar sind, jedoch aus material- und fertigungstechnischen Gründen als auch aus anwendungsspezifischen Randbedingungen wie Einbaulage, Einbaugröße, etc. für diesen Anwendungszweck modifiziert werden müssen.

Im Einzelnen wurde der Einfluss der Dichtigkeit und der Lagerung des Resonatorkastens, der Bedämpfung des Resonatorhohlraums, der Bedämpfung sowie der Geometrie und der Positionierung der Resonatoröffnung untersucht. Folgende Ergebnisse sind festzuhalten:

- Die Flächenmasse der Resonatorwandung und die Resonatorlagerung spielen keine große Rolle bei der Ausbildung der Helmholtzresonanz. Bei Lagerung der Resonatoren auf den Rändern oder Ecken können die Wandungen zu Eigenschwingungen (insbesondere beim Resonatorboden) angeregt werden. Diese Eigenmoden treten als zusätzlicher Absorptionsmechanismus auf (beim Resonatorboden bei ca. 120 Hz).
- Die Dimensionierung der Resonanzfrequenz über die Schlitzlänge gemäß den Formeln aus der Literatur für die Mündungskorrektur ist im Frequenzbereich von 40 Hz bis 100 Hz auf ± 2 Hz genau möglich. Folgende empirische Formel ist dabei ermittelt worden, um die in der Literatur vorausgesetzte Näherung, dass die Schlitzlänge klein gegen die Wellenlänge bei Resonanzfrequenz ist, im vorliegenden Fall nicht erfüllt war:

$$f_0 = \frac{c_0}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{S}{V \cdot (t + 2 \cdot \Delta t)}} \quad \text{mit } S = S_{geo} \cdot \left(1 - \kappa \cdot \frac{l}{\lambda}\right)$$

V	Volumen der Luft im Inneren des Resonators
S_{geo}	Lochfläche des Schlitzes
l	Schlitzlänge
t	Resonatorhalsdicke (Dicke der Deckelplatte)
$2\Delta t$	Mündungskorrektur
κ	empirischer Korrekturfaktor = 1,25

- c) Die Position der Resonatoröffnung in der Deckelfläche ist unkritisch hinsichtlich der Resonanzfrequenz und kann sogar bis ganz an den Rand des Resonators verschoben werden.
- d) Ein poröser Absorber im Inneren am Resonatorboden, d.h. in genügender Entfernung zur Resonatoröffnung beeinflusst die Helmholtzresonanz nicht. Es wurde auch keine Verbreiterung der Resonanzkurve beobachtet.
- e) Eine Bedämpfung der Resonatoröffnung bedarf einer Feinabstimmung hinsichtlich des Abstandes und des Strömungswiderstandes. Im vorliegenden Versuch wurde ein Akustikglasvlies mit einem Strömungswiderstand von ca. 30 Pa s /m in einem Abstand zur Platte bzw. Resonatoröffnung von ca. 10 mm gewählt, welches den Öffnungsschlitz zu jeder Seite um ca. 5 cm überdeckt. Die Auswirkung der Bedämpfung zeigte unterschiedliche Ausprägungen bei einer Messung eines Resonators in einem für den Frequenzbereich bis 250 Hz ausgelegten Impedanzrohr, in welchem die Bedämpfung den Schallabsorptionsgrad α_0 deutlich ansteigen ließ ohne eine signifikante Verbreiterung der Resonanz. Im diffusen Hallfeld verringerte sich der Schallabsorptionsgrad α_s deutlich, die Resonanz verbreiterte sich aber auch (s. Abb. 3). Dies lässt auf einen zu geringen Strömungswiderstand bei der Messung im Impedanzrohr, aber auf einen zu hohen bei der Messung im Diffusfeld schließen.
- f) Die tatsächliche Breite der Helmholtzresonanz fällt deutlich größer aus als die Theorie erwarten ließ. Die Resonanzbreiten (FWHM) liegen bei ca. 10 Hz. Damit kann pro Terz mit einem auf die Terzmittenfrequenz abgestimmten Resonator als Absorber gearbeitet werden und somit der Frequenzbereich von 50 Hz bis 100 Hz mit vier unterschiedlich abgestimmten Resonatoren beeinflusst werden.

In einem zweiten Arbeitsschritt wurde die schallabsorbierende Wirkung der Helmholtzresonatoren auf eine Verbesserung der tieffrequenten Trittschalldämmung der gesamten Holzbalkendecke untersucht. Es zeigte sich, dass die Ankopplung des Helmholtzresonators an die Luft des Deckenhohlraums die deutlich bessere Wirkung zeigt.

Hierzu wurden insgesamt 16 verschiedene Einbauvarianten mit unterschiedlichen HR, unterschiedlichen Befestigungen und Aufhängungen der Resonatoren, etc. durch Luft- und Trittschallmessungen gemäß der Normenreihe DIN EN ISO 140 als auch durch Geher erzeugter Trittschall untersucht. Auf Grund der bei den verschiedenen Einbauvarianten nicht immer gleichen Unterdeckenabhängung können nur bedingt Vergleiche der verschiedenen Varianten gemacht werden, da sich eine Änderung der Abhängung einer Unterdecke mit-unter sehr stark auf die schalltechnischen Kenndaten aus-wirken kann. Versuche hatten jedoch ergeben, dass die Wiederholgenauigkeit nach mehrmaliger, kompletter Abnahme der Unterdecke bei exakt gleicher Wiedermontage extrem gut ist. Deshalb wurden die Vergleiche hinsichtlich der Wirksamkeit der HR durch Abkleben der Resonatoröffnung aus einem A/B-Vergleich (aktiver / inaktiver) HR gezogen. Im Folgenden ist das Ergebnis einer Variante dargestellt.

Die Einbausituation kann aus Abbildung 2 entnommen werden. Es waren 21 Resonatoren mit unterschiedlicher Resonanzfrequenz in den Deckenaufbau eingebaut. Die Resonatoren waren an Schnüren abgehängt, der verbleibende Deckenhohlraum mit Mineralwolle gefüllt. Auf der Decke war noch eine Rohdeckenbeschwerung in Form einer Splittschüttung sowie ein Trockenestrich aufgebracht (in der Abbildung nicht eingezeichnet).

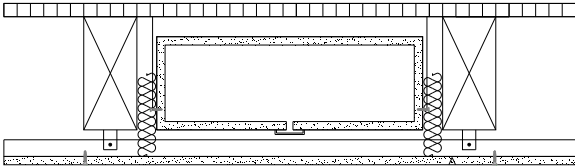
<u>Kopplung</u>	<u>Ist-Frequenz</u>	<u>Anzahl</u>	<u>Spannrichtung UK</u>	<u>Gefachdämmung</u>	<u>Anbindung</u>																					
frei hängend an Schnüren	50 Hz 63 Hz 80 Hz & 90 Hz	Gesamt 21 7x50Hz 7x63Hz 7x80/90Hz	quer zur Balkenlage	mit	Gefach																					
			<table border="1"> <tr> <td>63</td> <td>80 90</td> <td>63</td> <td>50</td> <td>80 90</td> <td>63</td> <td>80 90</td> </tr> <tr> <td>50</td> <td>50</td> <td>50</td> <td>80 90</td> <td>50</td> <td>50</td> <td>63</td> </tr> <tr> <td>80 90</td> <td>63</td> <td>80 90</td> <td>63</td> <td>63</td> <td>80 90</td> <td>50</td> </tr> </table>			63	80 90	63	50	80 90	63	80 90	50	50	50	80 90	50	50	63	80 90	63	80 90	63	63	80 90	50
63	80 90	63	50	80 90	63	80 90																				
50	50	50	80 90	50	50	63																				
80 90	63	80 90	63	63	80 90	50																				

Abbildung 2: Deckenaufbau mit 21, an Schnüren abgehängten Helmholtzresonatoren, abgestimmt auf die Resonanzfrequenzen 50 Hz, 63 Hz, 80 Hz und 90 Hz. Die Verteilung der unterschiedlich abgestimmten Resonatoren ist im Bild rechts zu sehen. Die verbleibenden Hohlräume im Gefach waren mit Mineralwolle ausgekleidet.

Ergebnisse Trittschall- und Luftschallmessung

Abbildung 3 zeigt die Ergebnisse im Trittschallpegel und in der Schallpegeldifferenz dieses Deckenaufbaus bei aktiven Resonatoren und bei inaktiven (mit einem Klebeband verschlossene Resonatormündungen) Resonatoren. Die Nachhallzeiten im Empfangsraum ändern sich nicht. Durch die unterschiedliche Abstimmung konnte im Summenwert aus Einzahlwert $L_{n,w} + C_{l,50-2500}$ eine Verbesserung der Trittschallübertragung von 3,1 dB durch die Helmholtzresonatoren erzielt werden, in Summenwert aus $R_w + C_{tr,50-3150}$ eine Verbesserung von 1,8 dB. Die Verringerung der Trittschallpegel bei 125 Hz ist durch die Eigenschwingung der Resonatorböden zu erreichen; sie tritt nicht in Erscheinung, wenn die Helmholtzresonatoren direkt an die Verlegespanplatte angekoppelt sind, da dann die Schwingung des Resonatorbodens stark bedämpft ist. Da sich die Spektrumanpassungswerte auf den ganzen Frequenzbereich beziehen, die verbessernde Wirkung der Helmholtzresonatoren naturgemäß nur im tieffrequenten Bereich von 50 Hz bis 100 Hz zu erwarten ist, sind die zahlenmäßigen Verbesserungen der Einzahlwerte eben nur

wenige dB. Weiterhin ist zu betonen, dass die Verbesserungen der Einzelnwerte durch das Einbringen der Helmholtzresonatoren individuell für jeden Deckenaufbau anders ausfallen müssen, abhängig vom Frequenzverlauf der Schallübertragung bei tiefen Frequenzen.

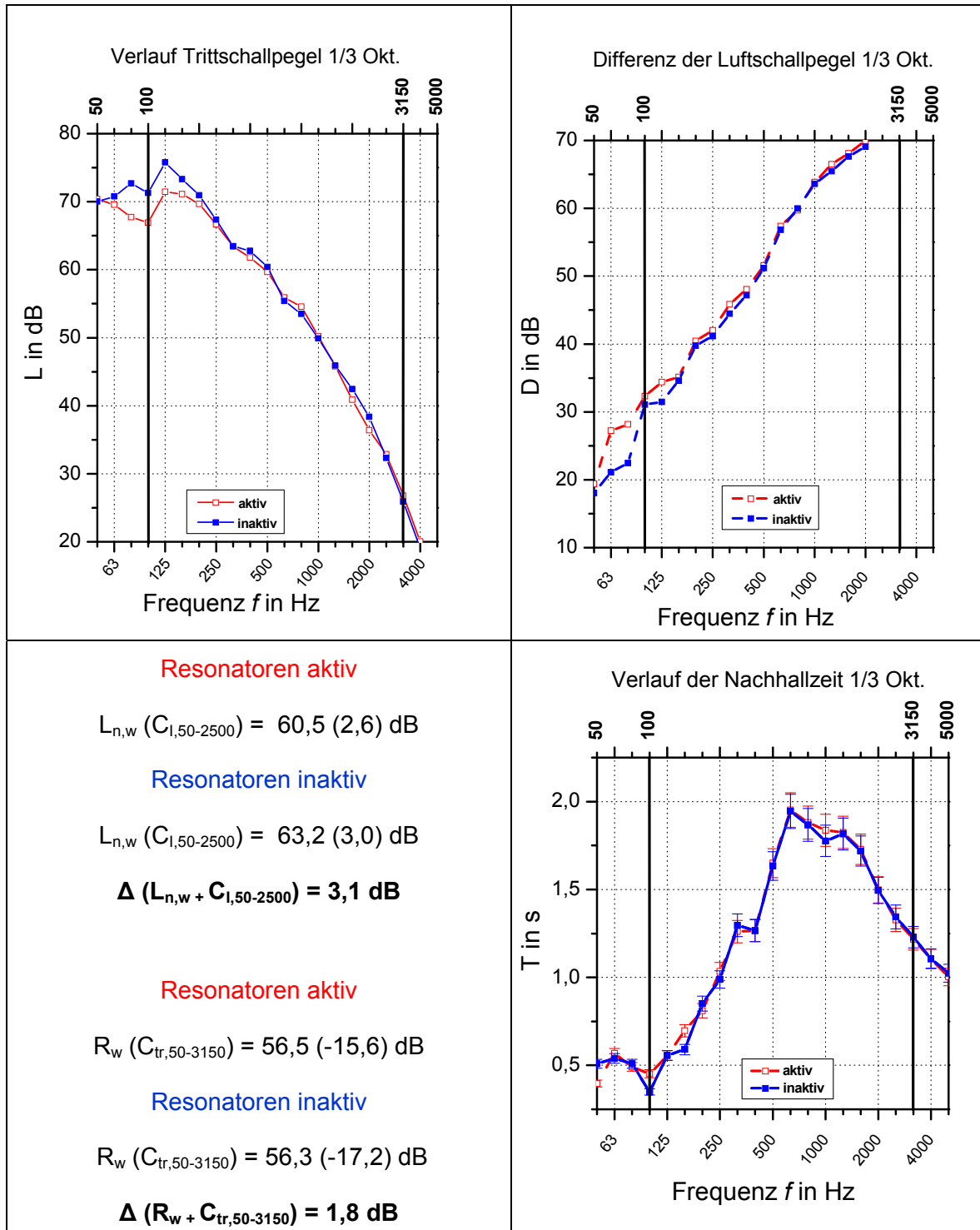


Abbildung 3: Ergebnisse Tritt- und Luftschallmessung

Ergebnisse Gehermessung

Abbildung 4 zeigt den Vergleich der Pegel beim Begehen der Decke aus Abbildung 2 (Schrittfrequenz 100 Schritte/min) durch eine männliche Person (75 kg Körpergewicht) mit Socken auf einer „Acht“ bei gleichzeitiger Wahrung von einem Mindestabstand von 70 cm zu den Wänden. Die Differenzkurve (grün, Skala rechts) zeigt eine Verbesserung von 10 dB in einigen Terzbändern. Bildet man den energetischen Mittelwert aus den Geherpegeln in den Terzfrequenzen von 50 Hz bis 100 Hz als Referenzmaß für den Wirkungsbereich der Helmholtzresonatoren, so zeigt sich eine Verbesserung von $\Delta L_{eq,walk, Socken, 50-100} = 5,9 \text{ dB}$.

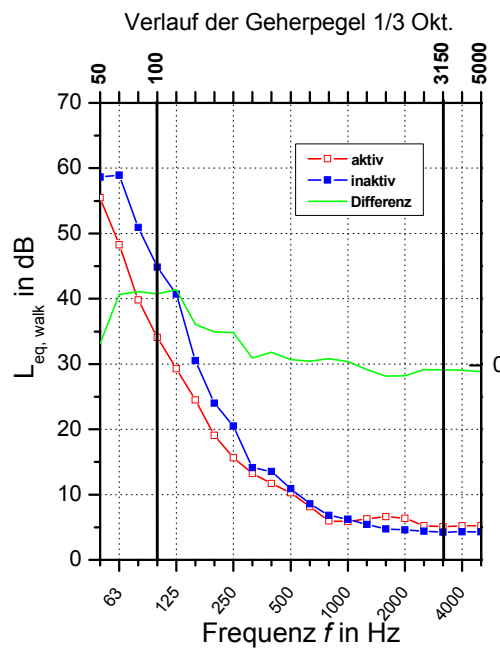


Abbildung 4: Ergebnisse Gehermessung; die Verbesserung im energetischen Mittelwert der Geherpegel im Frequenzbereich von 50 Hz bis 100 Hz beträgt 5,9 dB. In einzelnen Terzen werden Verbesserungen von 10 dB erzielt.

3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde im Sinne einer vorwettbewerblichen Analyse die Wirkung von Helmholtzresonatoren als Möglichkeit zur Verbesserung der tieffrequenten Trittschallübertragung bei Holzbalkendecken untersucht. Im ersten Arbeitspaket wurden die Helmholtzresonatoren dimensioniert und konstruiert, als Prototypen aufgebaut und in definierten Schallfeldern untersucht. Im zweiten Arbeitsschritt wurde dann deren Wirkung in einer Holzbalkendecke vermessen. Hierzu wurden insgesamt 16 Varianten aufgebaut.

Zusammenfassend können folgende Ergebnisse festgehalten werden:

1. Helmholtzresonatoren für den Frequenzbereich zwischen 50 Hz und 100 Hz können aus einer einzigen Gipskartonplatte einfach gefertigt werden.
2. Die Resonanzfrequenz kann für eine schlitzförmige Resonatoröffnung gut dimensioniert werden.
3. Die Breite der Absorptionsresonanz (FWHM) erreicht Werte von über 10 Hz.
4. Absorptionsgrade können durch eine leichte Bedämpfung im Bereich der Resonatoröffnung Werte bis nahezu 1,0 bezogen auf die Deckelfläche erreichen. Eine Bedämpfung der Resonatoren im Hohlraumvolumen zeigt keine Auswirkung.

Hinsichtlich der Verminderung der Schallübertragung im tieffrequenten Bereich wurden folgende Ergebnisse erzielt:

5. Die Resonatoren müssen an den Luftraum im Gefach angekoppelt werden. Die Art der Unterbringung als auch die Art der Montage der Resonatoren im Gefach ist unkritisch. Eine einfach zu konstruierende Aufhängung, die eine schnelle, fehlertolerante Montage ermöglicht, ist völlig ausreichend.
6. Die Absorptionswirkung wurde auf den Frequenzbereich zwischen 50 Hz und 100 Hz vorgesehen. Der Summenwert $L_{n,w} + C_{l,50-2500}$ aus Norm-Trittschallpegel und aus dem Spektrum-Anpassungswert konnte bei den gut durchgeführten Aufbauten um 3 dB verringert werden. Die Verbesserung der tieffrequenten Schalldämmung macht sich ebenso im Luftschall bemerkbar.
7. Speziell der durch reale Geher verursachte Trittschall weist in o.g. Frequenzbereich die höchsten Trittschallpegel auf. Die Terzpegel aus Messung von mit Socken bekleideten Gehern konnten in diesem Frequenzbereich durch die Helmholtzresonatoren im Mittel um 6 dB verringert werden, in einzelnen Terzbändern sind durchweg 10 dB erreichbar.
8. Die Gefachdämmung ist weiterhin für die Absorption von Schallenergie im Frequenzbereich zwischen 250 Hz und 2000 Hz notwendig.
9. Frei hängende Resonatorkästen können offensichtlich durch Ausbildung der Eigenmoden der Wandungen zusätzlich zur Absorption beitragen. Dies könnte noch zur Steigerung der Wirksamkeit beitragen, müsste aber durch weitere Arbeiten noch geklärt werden.