

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-Kurzbericht zu B-BA 2/2010

Verbesserter baulicher Schallschutz durch aktive Körperschallisolation haustechnischer Anlagen

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der
Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesamt für
Bauwesen und Raumordnung gefördert
(Aktenzeichen: Z6-10.08.18.7-07.34 / II 2-F20-07-44)
Die Verantwortung für den Inhalt des Berichts liegt
bei den Autoren.

Projektleiter: Dr. Moritz Späh
Bearbeiter: Dr. Moritz Späh, Dr. Lutz Weber,
Benjamin Hanisch

Stuttgart, 20. Juli 2010

1	Einleitung	2
2	Durchführung der Forschungsaufgabe	3
3	Modellaufbau	4
4	Zusammenfassung der Ergebnisse	5

1 Einleitung

Lärm wird in unserer Gesellschaft zunehmend als eine der bedeutendsten Umweltbelastungen wahrgenommen. Lärm beeinträchtigt nicht nur die Konzentration und geistige Aufnahmefähigkeit, sondern verursacht darüber hinaus Schlafstörungen, die bis zur nachhaltigen Störung der Gesundheit führen können. Daher ist die Lärmbelastung in unserer Umwelt und vor allem in Gebäuden möglichst gering zu halten, da wir uns zu einem Großteil der Zeit in Gebäuden aufhalten. Moderne Bauten bieten bei guter Planung in der Regel einen relativ hohen Schutz vor Lärm aus der Umwelt, der z.B. durch den wachsenden Verkehr entsteht.

Durch technische Anforderungen und einem erhöhten Komfort-Anspruch an Büro- oder Wohngebäude sind dagegen die Installationen in Gebäuden in ihrem Umfang steigend und die Verwendung von elektrischen Antrieben zunehmend. Dies sind z.B. elektrisch betriebene Rollläden, Verschattungseinrichtungen, Lüftungsanlagen, Aufzüge, Pumpen für Heizung, Kühlung und Solaranlagen, aber auch im Sanitärbereich z.B. Whirlwannen mit Pumpen und Gebläsen. Alle diese Installationen können Ursache von Lärm in Gebäuden sein. Dabei ist diese Art von Lärm meist als sehr störend anzusehen, da der Informationsgehalt groß ist. Vor allem in sensiblen Räumen wie Schlafräumen, und in Umgebungen mit geringem Störgeräuschpegel, sind Störungen durch Installationen immer wieder Ursache von Beschwerden. Dabei werden vor allem die Frequenzen unterhalb von 1000 Hz in der Regel als störend empfunden.

In der Regel werden zur Geräuschreduzierung passive Entkopplungsmaßnahmen zwischen der Installation und dem Gebäude eingesetzt, die im höheren Frequenzbereich oberhalb der Resonanzfrequenz der Entkopplung eine deutliche Reduktion der Lärmeinleitung bewirkt. Dagegen führen diese Maßnahmen bei der Resonanz zu einer Erhöhung der Anregung des Gebäudes, unterhalb der Resonanzfrequenz sind sie unwirksam. Aus statischen oder konstruktiven Gesichtspunkten ist die Entkopplung von Installationen oft nur begrenzt möglich.

Als Alternative bzw. als Ergänzung von passiven Entkopplungsmaßnahmen bieten sich aktive Systeme an, die vor allem im tiefen Frequenzbereich eine deutliche Wirksamkeit erzielen können. Als aktives System wird hier der Einsatz eines elektrodynamischen Schwingerreger bezeichnet, der durch ein geeignetes Anregungssignal zu einer Reduktion des in den Baukörper eingeleiteten Schwingungssignals führt. Damit wird eine Reduktion der Störwirkung im Gebäude erreicht. Der in diesem Forschungsvorhaben verfolgte Ansatz ist die Reduktion der Körperschalleinleitung am Kontaktpunkt zwischen Installation und Gebäudestruktur. Dabei wird für Installationen mit mehreren Kontaktpunkten angenommen, dass sich die Systeme unabhängig voneinander betreiben lassen. Damit lassen sich sehr einfache Systeme realisieren, die keine aufwändige Steuerungs- oder Regelungsprozessoren benötigen.

Ziel dieser Arbeit ist es, ein robustes und für den Bau anwendbares aktives Isolationselement aufzubauen und zu erproben. Dabei wird dieses System auch mit einem passiven Element kombiniert, weil es die Wirksamkeit eines passiven Elements bei höheren Frequenzen gut ergänzt. Das Element wird an einem einfachen Modellaufbau untersucht, um die Wirksamkeit prinzipiell zu untersuchen. Weiterhin wird das System beispielhaft an Sanitärinstallationen in einer gebäudeähnlichen Situation getestet und auf seine Anwendbarkeit an realen Quellen erprobt.

2 Durchführung der Forschungsaufgabe

Zu Beginn des Projekts wurde die zu aktiven Systemen vorliegende Literatur gesichtet. Zu aktiven Systemen ist eine große Anzahl an Literatur verfügbar, allerdings ist das Feld der aktiven Schall- und Schwingungsreduktion inzwischen sehr umfangreich. Daher wurde die für diese Anwendung relevante Literatur bearbeitet und die für den Einsatz als aktive Körperschall-Isolation geeigneten Ansätze vertieft studiert. Darüber hinaus wurde eine Produktrecherche zur Auswahl von geeigneten Sensoren und Aktoren durchgeführt. Weiterhin wurden die in der Literatur vorliegenden akustischen Daten zur Charakterisierung von Körperschallquellen gesichtet und mit eigenen Daten abgeglichen. Daraufhin wurden an typischen Quellen von haustechnischen Anlagen Messungen zur Charakterisierung durchgeführt, so dass Hinweise auf die Auslegung von aktiven Isolationssystemen erarbeitet werden konnten.

Basierend auf diesen Informationen wurde ein aktiver Modellaufbau erstellt, der die grundsätzlichen Eigenschaften von Quelle und angeregter Struktur berücksichtigt, der aber einfach aufgebaut, reproduzierbar und gut mit Sensoren auszustatten ist. An diesem Modellaufbau konnten grundlegende Untersuchungen durchgeführt werden, dabei wurde eine bauähnliche Empfangsplatte aus 10 cm dickem Beton verwendet. Diese Untersuchungen wurden mit theoretischen Modellen der aktiven Körperschall-Isolation aus der Literatur, die auf den verwendeten Modellaufbau angepasst wurden, abgeglichen. Für die Regelung wurde eine einfache Strategie gewählt, so dass hier mit analogen Systemen gearbeitet wurde. Auf den Einsatz von Filtern wurde verzichtet.

Nachdem die Untersuchungen am Modellaufbau als erfolgreich waren, wurde das System an einer realen Quelle, einer Duschwanne, getestet. Hierbei wurde schrittweise vorgegangen, so dass von einfachen Quellen zu einer komplexeren Quellen mit mehreren Kontaktpunkten übergegangen wurde.

Als weiterer Schritt wurden aktive Systeme im Modellaufbau und an realen Quellen in einer bau-ähnlichen Situation getestet. Damit konnten die Systeme unter Massivbaubedingungen getestet werden. Die Versuche wurden an verschiedenen Sanitärinstallationen durchgeführt. Dabei wurde sowohl der Einsatz von aktiven Systemen wie auch die Kombination von aktiven mit passiver Iso-lation untersucht.

3 Modellaufbau

Der verwendete Modellaufbau ist in Bild 1 dargestellt. Dieser einfache Aufbau repräsentiert Befestigungselemente realer Quellen wie z.B. eine Rohrschelle oder die Fußkonstruktion einer Dusch- oder Badewanne. Als Signalquelle wurde ein handelsüblicher elektro-dynamischer Schwingerreger (kurz Shaker genannt) verwendet. Dieser wurde von einer Hilfskonstruktion abgehängt. Über ein Verbindungselement war dieser mit einer Gewindestange verbunden, die die eigentliche Fußkonstruktion der Quelle darstellte. An dieser Gewindestange war der Aktor des aktiven Systems befestigt. Der Aufbau mit Aktor ist in Bild 2 dargestellt, der Aktor selbst ist in seinen Bestandteilen in Bild 2 rechts gezeigt. Die eingesetzte Messtechnik ist schematisch in Bild 1 gezeigt.

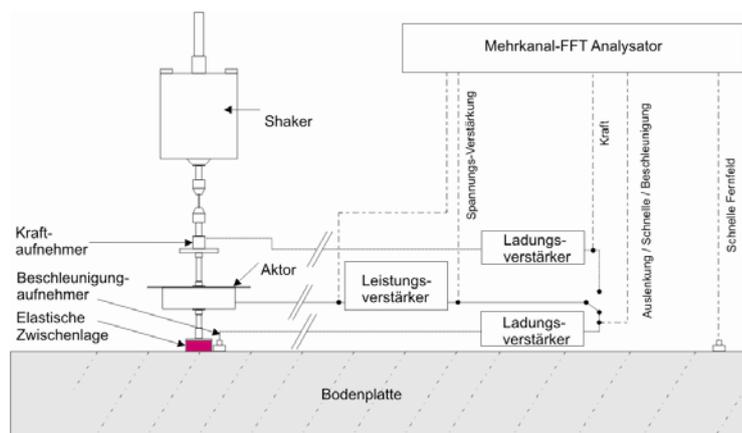


Bild 1: Skizze des Modellaufbaus mit elastischer Zwischenlage und schematischer Darstellung der Messtechnik.



Bild 2: Fotografie des Modellaufbaus mit starrer Verbindung zur Bodenplatte und Bauteile des verwendeten Aktors.

Der verwendete Aktor war ein handelsüblicher elektro-dynamischer „Körperschall-Lautsprecher“. Er wurde als Inertialsystem eingesetzt. Dabei wirkt der Aktor gegen die eigene Masse des federnd gelagerten Rings. Der Aktor besteht aus einem Dauermagnet, der mittig durchbohrt ist. Durch diese Bohrung wurde die Gewindestange gesteckt und dieser beidseitig durch Muttern daran befestigt. Über Kunststoff-Federn ist ein Metallring mit dem Magneten verbunden, der eine Wicklung trägt, so dass bei Betrieb des Aktors eine Kraft auf die Gewindestange ausgeübt wird. Das Steuer- oder Regelungssignal erhält der Aktor von einem Leistungsverstärker, der das Sensorsignal verstärkt (Bild 1). Es wurde sowohl die Signal-Rückspeisung (Regelung) mit Auslenkungs-, Schnelle- und Beschleunigungsrückspeisung untersucht, als auch die Signal-Vorspeisung (Steuerung) des Kraftsignals durchgeführt. Dabei war die Kraftvorspeisung am wirkungsvollsten, bei der Signalarückspeisung war die Schnellerückspeisung die sinnvollste Variante, sie zeigte aber vor allem bei der Kombination von passiver und aktiver Isolation geringe Verbesserung. Filter oder weitere Signalaufbereitung wurde nicht eingesetzt. Als Sensoren wurden piezo-elektrischen Messaufnehmer verwendet, die mit hochwertigen Ladungsverstärkern verbunden waren. Diese Ladungsverstärker übernahmen gegebenenfalls auch die Integration der Beschleunigungssignale. Alternative Sensoren wurden grundsätzlich untersucht, waren aber nicht im Rahmen dieses Projekts einsatzfähig.

Bei der Untersuchung wurden sowohl der starre Aufbau, ohne elastische Zwischenlage zwischen Gewindestange und Gebäudestruktur, Bild 2 links, als auch die Kombination des aktiven Systems mit einem passiven System, Bild 1 untersucht. Dabei bestand das passive System aus einer handelsüblichen elastischen Zwischenlage aus Polyurethanschaum (Materialbezeichnung Sylomer S900-6, Fa. Kaldewei).

4 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Wirkungsweise des passiven Systems ist in Bild 3 illustriert.

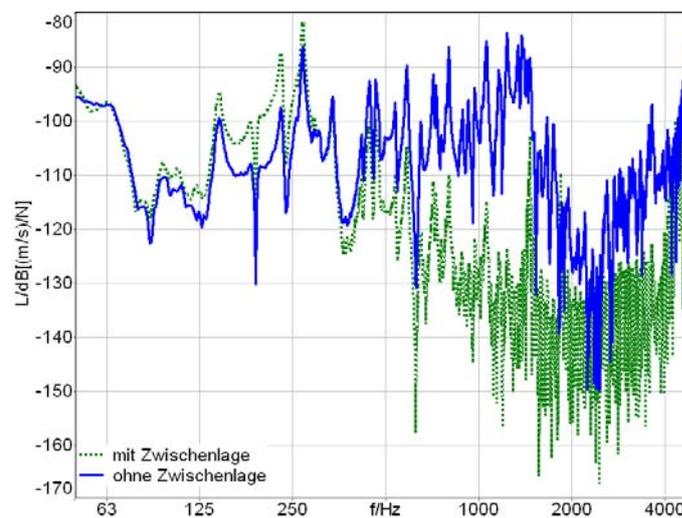


Bild 3: Transfer-Admittanz zwischen Schnelle im Fernfeld und eingeleiteter Kraft des Shakers im starren und elastischen Modellaufbau.

Eine ganze Reihe von Messungen wurden an einem Empfangsprüfstand durchgeführt. Als Referenzsignal wurde das Schnellesignal im Fernfeld des Empfangsbauteils verwendet, das nahezu proportional zur eingeleiteten Körperschall-Leistung ist. Das Empfangsbauteil war in diesem Fall eine Empfangsplatte aus 10 cm dickem Beton. In Bild 3 ist die Übertragungsfunktion zwischen vom Shaker eingeleiteter Kraft (Anregung) und der Schnelle im Fernfeld der Empfangsplatte dargestellt. Im tiefen Frequenzbereich ist die Transferfunktion sehr ähnlich, d.h. die elastische Zwischenschicht hat keine Wirkung. Im Frequenzbereich von 125 Hz bis 270 Hz bewirkt die elastische Zwischenschicht eine Erhöhung der Schnelle. In diesem Frequenzbereich liegt die Resonanzfrequenz der elastischen Zwischenlage für diesen Aufbau. Oberhalb ca. 270 Hz setzt die positive Wirkung der elastischen Zwischenschicht ein und die Schnelle und damit die Körperschalleinleitung verringern sich. Ab ca. 1000 Hz erreicht die Schnelle den Hintergrundpegel auf der Platte.

Die weiteren gezeigten Ergebnisse wurden im Installationsprüfstand des IBP erzielt. Dieser Prüfstand wird seit geraumer Zeit zur Messung von Installationsgeräuschen und zur Eignungsprüfung von Installationen genutzt. Der Prüfstand besteht aus 4 Räumen, von denen zwei im EG und zwei im UG des Technikums des IBP angeordnet sind. Die Quelle wurde auf die Bodenplatte im EG vorne aufgestellt. Als Referenzsignal wurde die Schnelle der Bodenplatte im EG im Fernfeld und der Schalldruckpegel im Raum UG hinten, diagonal darunter, gemessen. Dies ist der nächstgelegene schutzbedürftige Raum nach DIN 4109. Die Messung erfolgte mit einem hochempfindlichen 1'' Messmikrofon an einer festen Position. Auf die gemessenen Schallpegel kann die A-Bewertung angewendet werden, die mit den Anforderungen der DIN 4109 verglichen werden können. Leider gab es zum Zeitpunkt der Messungen störende Bautätigkeiten im Gebäude, so dass bei tiefen Frequenzen der Einfluss von Störgeräusch nicht ausgeschlossen werden konnte. Die Messungen sind nicht als Eignungsprüfung zu verstehen, sie zeigen aber die Tendenzen auf und geben Auskunft über die mit aktiven Körperschallisolationen mögliche Reduktion der Empfangsraumpegel.

Die Wirkung der aktiven Körperschallisolation am Modellaufbau im Installationsprüfstand ohne elastische Zwischenlage ist in Bild 4 gezeigt.

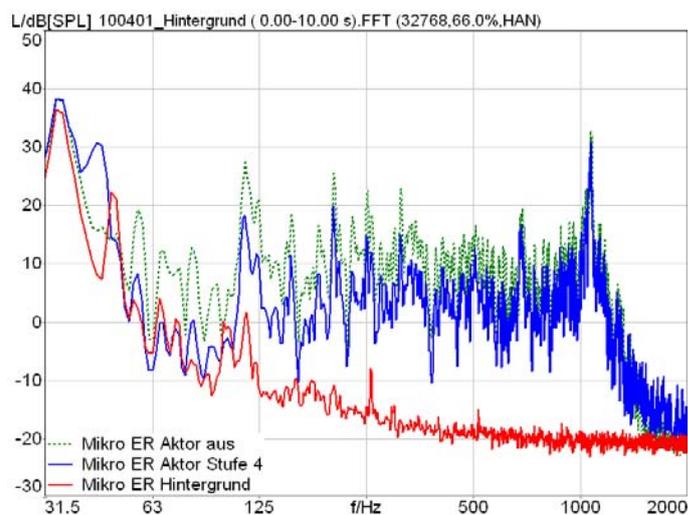


Bild 4: Schalldruckpegel im Empfangsraum bei Anregung des Modellaufbaus. Aktives System mit Kraft-Vorspeisung, Anregung mit rosa Rauschen.

Die angegebene Verstärkung des Leistungsverstärkers entspricht der optimalen Verstärkung, bei der das aktive System die größte Wirkung zeigte. Im Empfangsraum, wie auch im Fernfeld auf der Bodenplatte war die Reduktion der Pegel durch das aktive System im tiefen Frequenzbereich erheblich. Zwischen 50 und 250 Hz fiel die Reduktion am größten aus, und erreichte Werte über 10 dB. Der A-bewertete Summenpegel wurde dagegen nur um 2,4 dB(A) reduziert. Grund hierfür ist die im starren Aufbau auftretende Resonanz bei ca. 1100 Hz, die nur geringfügig durch das aktive System gemindert wurde, die aber den A-bewerteten Summenpegel deutlich mitbestimmte. Weiterhin ist die Reduktion im A-Schallpegel auch vom Anregespektrum abhängig. Dieses war mit rosa Rauschen deutlich breitbandiger, als es das tieffrequent dominierte Signal von realen Installationen ist. Die Überhöhung bei der Resonanz des Aktors bei ca. 50 Hz hat dagegen nur einen geringen Einfluss auf den A-Pegel.

Als nächstes wurde der Modellaufbau mit einer elastischen Zwischenlage, wie in Bild 1 dargestellt, versehen, so dass nun die Kombination von passivem mit aktivem System im Installationsprüfstand gemessen wurde. Die elastische Zwischenlage wurde in diesem Fall von einem Kunststoff-Bauteil gehalten. Damit wurde die Konstruktion eines Wannefußes eingesetzt. Die Ergebnisse des Schalldruckpegels im Empfangsraum ohne passive Entkopplung, mit elastischer Zwischenlage und zusätzlich mit aktivem System sind in Bild 5 gezeigt. Dabei war die Anregung für alle Varianten gleich.

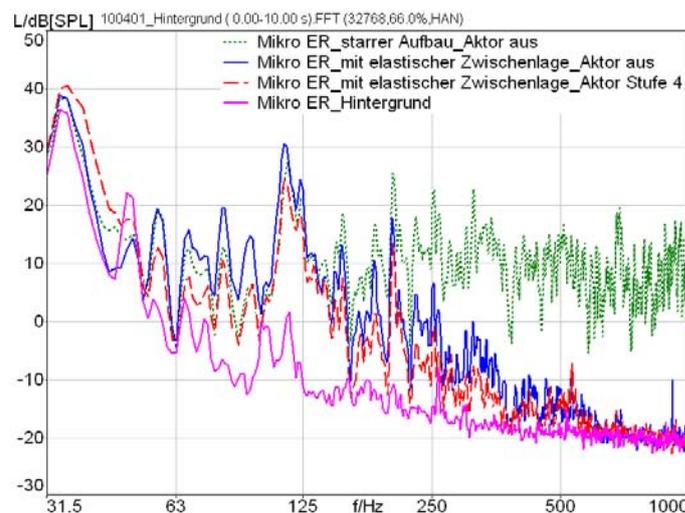


Bild 5: Schalldruckpegel im Empfangsraum bei Verwendung des Modellaufbaus ohne und mit elastischer Zwischenschicht und zusätzlich mit aktivem System (passive + aktive Körperschall-Isolierung). Aktives System mit Kraft-Vorspeisung, Anregung mit rosa Rauschen.

In diesem Aufbau zeigt die passive Körperschall-Isolierung eine Reduktion ab ca. 125 Hz. Zwischen ca. 63 und 125 Hz tritt eine Überhöhung durch die Resonanz der elastischen Zwischenlage auf. Das aktive System zeigt im tiefen Frequenzbereich unter 50 Hz eine geringe Überhöhung durch die Resonanz des Aktors, im Frequenzbereich darüber eine deutliche Reduktion der Pegel vor allem im Frequenzbereich von ca. 50 bis 125 Hz. Über 125 Hz fällt die Reduktion des aktiven Systems zum Teil etwas geringer aus, sie ist aber bis ca. 500 Hz vorhanden. Die Absenkung des A-bewerteten Pegels durch die passive Körperschall-Isolierung beträgt 21,2 dB(A), das aktive System reduziert den Pegel um weitere 2,9 dB(A). Die Ergebnisse zeigen, dass sich das aktive und

passive System sehr gut ergänzen und zu einer breitbandigen Reduktion zwischen 50 und 5 kHz führen, die allein mit passiver Isolierung nicht realisierbar ist.

Im folgenden sind Messungen an einer realen Quellen gezeigt. Dabei wurden vier aktive (voneinander unabhängige) Systemen an allen vier Füßen einer Duschwanne mit elastischer Zwischenlage eingesetzt. Die aktiven Systeme wurden mit Kraft-Vorspeisung betrieben. Die Verstärkung wurde an den Verstärkern auf gleichen Stufen eingestellt. Die Duschwanne wurde mittels Shaker angeregt, das Signal war ein Brausesignal, das durch eine Duschbrause auf dieser Duschwanne zuvor erzeugt und aufgezeichnet wurde. Der Schalldruckpegel im Empfangsraum, mit und ohne aktivem System, ist in Bild 6 gezeigt.

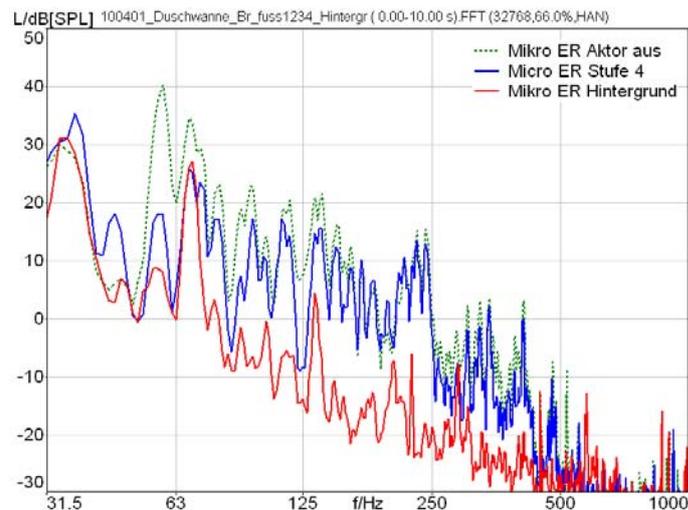


Bild 6: Schalldruckpegel im Empfangsraum bei Anregung der Duschwanne mit vier Füßen und mit elastischer Zwischenschicht (passive und aktive Körperschall-Isolierung). Aktives System mit Kraft-Vorspeisung, Anregung durch Duschbrause-Signal.

Die Messung zeigt zum Teil eine erhebliche Reduktion der Pegel durch die aktiven Systeme. So wird der Schalldruckpegel im Empfangsraum bei 63 Hz um mehr als 15 dB gemindert. Die Wirkung des aktiven Systems ist bis zu ca. 500 Hz deutlich. Der A-bewertete Schalldruckpegel wird um 4,7 dB(A) reduziert.

Weitere Untersuchungen wurden an zwei unterschiedlichen Whirlwannen durchgeführt. Hier konnte festgestellt werden, dass die aktiven Systeme, tieffrequent ähnliche Wirkung wie an der Duschwanne aufwiesen. Bei Kombination von passiver und aktiver Isolation war die Wirkung des aktiven Systems zum Teil etwas reduziert, wenn die Quellen selbst eine relativ wenig steife Rahmenstruktur aufwiesen. Hier besteht noch Verbesserungspotential, wenn die Quellen konstruktiv auf die Anwendung von passiver und aktiver Körperschallisolation abgestimmt werden.

Insgesamt lässt sich festhalten, dass mit diesem einfachen System eine erhebliche Reduktion der Körperschalleinleitung von bis zu 10 dB bei tiefen Frequenzen möglich war. In Kombination mit passiver Isolation entstand ein System, das sehr breitbandig von 50 bis 5000 Hz die Körperschalleinleitung reduziert. Als einziges Problem trat eine Überhöhung der Anregung bei der Resonanz des Aktors auf. Dies gilt es entweder durch Filter zu unterdrücken oder durch Eingriffe bei der Konstruktion des Aktors auf Frequenzen zu verschieben, die in Gebäuden unproblematisch sind.