

Aktive und passive Schallreduktion mit elektrostatischen Flachlautsprechern

Thomas Kletschkowski¹, Delf Sachau²

¹ Professur für Mechatronik, 22043 Hamburg, Deutschland, Email: Kletsch@hsuhh.de

² Professur für Mechatronik, 22043 Hamburg, Deutschland, Email: Sachau@hsuhh.de

Einleitung

Um den Schalldruckpegel eines störenden Lärmfeldes zu reduzieren, stehen sowohl passive als auch aktive Maßnahmen zur Verfügung. Passive Maßnahmen basieren auf der Dissipation der eintreffenden Schallenergie und werden erfolgreich zur Reduzierung hochfrequenten Lärms eingesetzt. Im Gegensatz hierzu bieten aktive Maßnahmen, bei denen der störende Lärm durch Gegenschall ausgelöscht wird, die Möglichkeit, den Schallpegel auch im niederfrequenten Bereich deutlich zu reduzieren.

Gegenwärtig basieren aktive Schalldruckreduktionssysteme überwiegend auf konventionellen Tauchspulenlautsprechern, siehe [1]-[2], [4]. Problematisch sind jedoch das hohe Eigengewicht und das für diese Sekundärquellen benötigte Einbauvolumen.

Eine Alternative stellen gewichtssparende Flachlautsprecher dar. In der neueren Literatur werden insbesondere die physikalischen Grundlagen sowie spezielle Anwendungen von Flachlautsprechern, siehe [5] zur rein aktiven Kontrolle störender Schallfelder diskutiert. Ihr Einsatz bietet jedoch insbesondere die bisher nicht diskutierte Möglichkeit, aktive und passive Schallreduktionsmaßnahmen in einem Element zusammenzufassen.

In der vorliegenden Arbeit werden daher die Ergebnisse experimenteller Untersuchungen zur Kombination aktiver und passiver Maßnahmen in einem Element diskutiert. Hierfür wird ein Prüfsandaufbau zur Untersuchung des Übertragungs- und Transmissionsverhaltens von elektrostatischen Folienlautsprechern vorgestellt, das im Experiment beobachtete akustische Verhalten eines speziellen Folienlautsprechers bei tonaler und breitbandiger Erregung analysiert sowie der mit dieser Gegenschallquelle lokal erreichbare Reduktionsgrad bei tonaler Anregung diskutiert.

Prüfsandaufbau

Der zur Untersuchung kombinierter Schallreduktionsmaßnahmen verwendete Prüfsandaufbau besteht, siehe Abbildung 1, aus einem Hallraum und einem reflektionsarmen Raum. Beide Räume sind durch einen Transmissionskanal miteinander verbunden, in den schwingungsfähige Strukturelemente oder sekundäre Schallquellen eingebracht werden können.

Während der Hallraum zur Erzeugung eines diffusen Schallfeldes dient, werden im reflektionsarmen Raum durch das Einbringen schallabsorbierender Keile unterschiedlicher Größe nahezu Freifeldbedingungen erzeugt.

Die Anordnung der für die Messung benötigten Mikrophone

und Lautsprecher ist ebenfalls in Abbildung 1 dargestellt. Zwei in einem Abstand von einem Meter zu den Raumecken des Hallraumes angeordnete Lautsprechersäulen werden zur Erzeugung des primären Schallfeldes verwendet.

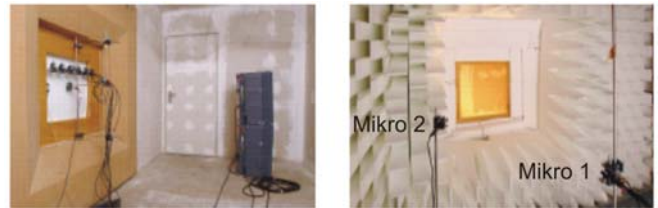


Abbildung 1: Transmissionsprüfsandaufbau bestehend aus Hallraum (links) und reflektionsarmem Raum (rechts).

Für die Vermessung der Übertragungseigenschaften dienen drei Mikrophone. Das hallraumseitige Referenzmikrofon ist, siehe Abbildung 1, mittig vor der Öffnung des Transmissionskanals positioniert. Das Referenzmikrofon (Mikrofon 1 in Abbildung 1) des reflektionsarmen Raumes wurde in einem Abstand von zwei Metern zur Öffnung des Transmissionskanals, ebenfalls zentriert, aufgestellt.

Pegelreduktion infolge passiver Dämmung

Um die Betriebseigenschaften des oben beschriebenen Versuchsstandes zu bestimmen, wurde in einer ersten Versuchsreihe die Schallpegeldifferenz zwischen dem Referenzmikrofon im Hallraum und im reflektionsarmen Raum vermessen. Hierfür wurde der Hallraum mit frequenzbegrenztem Rauschen beaufschlagt, und zwar derart, dass am hallraumseitigen Referenzmikrofon ein Pegel von 100 dB anlag.

Um die veränderten Betriebseigenschaften des oben beschriebenen Versuchsstandes unter Verwendung einer passiven Schallreduktionsmaßnahmen (Verschluss des Transmissionskanals mit einem elektrostatischen Flachlautsprecher) zu bestimmen, wurde in einer zweiten Versuchsreihe die Schallpegeldifferenz zwischen den Referenzmikrofonen im Hallraum und im reflektionsarmen Raum unter ansonsten unveränderten Bedingungen erneut vermessen.

Abbildung 2 zeigt die Ergebnisse beider Versuchsreihen. Es bleibt festzustellen, dass durch den Verschluss des Transmissionskanals im Frequenzbereich von 300 Hz bis 500 Hz eine mittlere Abschwächung von -40 dB erreicht wird.

Sowohl die natürliche Schalldämmung infolge des Impedanzsprunges als auch die passiv unterstützte Schallreduktion sind frequenzabhängig und es verbleiben einzelne Frequenzen, bei denen die Abschwächung des Primärschalls über dem Pegel der mittleren Abschwächung liegt.

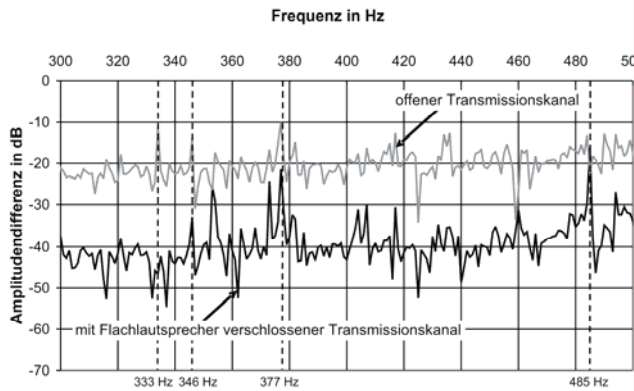


Abbildung 2: Frequenzabhängige Schalldämmung bei offenem (graue Linie) und geschlossenem (schwarze Linie) Transmissionskanal.

Für diese Minima der passiven Abschwächung fallen die Amplitudendifferenzen deutlich geringer aus als die mittlere Abschwächung infolge passiver Dämmung. Der Unterschied beträgt 18,5 dB für $f = 377$ Hz und 24,5 dB für $f = 485$ Hz.

Folglich ist es zweckmäßig, die passive Schalldämmung insbesondere bei einer Anregung mit $f = 377$ Hz bzw. $f = 485$ Hz zusätzlich aktiv durch eine geeignete Ansteuerung des elektrostatischen Flachlautsprechers zu verstärken. Der für diese Frequenzen bei tonaler Anregung erzielbare Regelungserfolg wird nachfolgend diskutiert.

Aktive Verstärkung der passiven Dämmung

Im Ergebnis der oben dargelegten Ausführungen soll die passive Schalldämmung für tonale Störungen mit den Frequenzen $f = 377$ Hz und $f = 485$ Hz aktiv unterstützt werden.

Hierfür wird der in [1] und [3] erläuterte Leaky-FxLMS-Algorithmus zur Erzeugung lokaler Ruhezone verwendet. Die Regelung erfolgt wahlweise unter Verwendung eines Fehlermikrophons oder der Einbeziehung beider Sensoren. Die Anregung wurde derart gestaltet, dass am hallraumseitigen Referenzmikrophon jeweils ein Schalldruckpegel von 100 dB anlag

Der Regelungserfolg wurde im Bezug zur passiven Schalldämmung bewertet. Daher sind in Abbildung 3 (A-B) die infolge der aktiven Schallreduktion zusätzlich erzielten Pegelabsenkungen dargestellt.

Die in diesen Graphiken dokumentierten Ergebnisse belegen, dass durch die aktive Ansteuerung des Flachlautsprechers Pegelreduktionen von bis zu 25 dB (bei Anregung mit $f = 377$ Hz) und bis zu 35 dB (bei Anregung mit $f = 485$ Hz) erreicht werden können, wenn jeweils nur ein Mikrofon als Fehlersensor dient. Das bedeutet, dass durch den gezielten Einsatz aktiver Maßnahmen der Schalldruckpegel für eine lokale Ruhezone auch für kritische Frequenzen auf den mittleren mit Hilfe rein passiver Maßnahmen erreichten, Schallpegel abgesenkt werden kann.

Der Regelungserfolg vergleichmäßig sich, siehe Abbildung 3, wenn beide im reflektionsarmen Raum positionierten Mikrofone als Fehlersensoren genutzt werden.

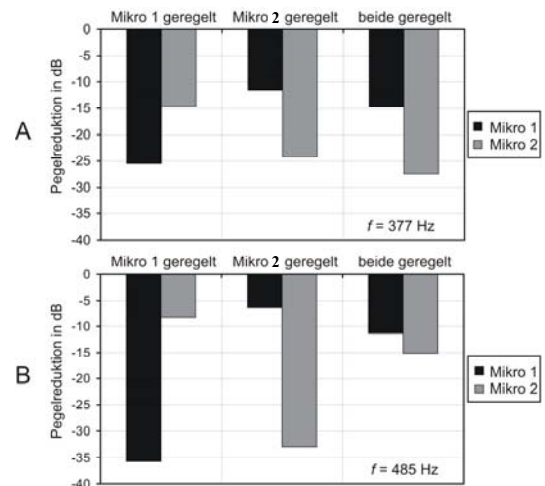


Abbildung 3: Pegelreduktionen an den Fehlersensoren.

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde die Kombination passiver und aktiver Schallreduktionsmaßnahmen unter Verwendung eines elektrostatischen Flachlautsprechers diskutiert. Die Ergebnisse experimenteller Untersuchungen in einem Transmissionsprüfstand belegen, dass sich dieses Leichtbauelement insbesondere dazu eignet, für einzelne Frequenzen identifizierte Schwachstellen passiver Schallschutzmaßnahmen durch aktive Maßnahmen zu beheben.

Insbesondere wurde durch Regelung mit Hilfe eines Leaky-FxLMS-Algorithmus der primäre Schalldruckpegel lokal reduziert. Auf diese Weise wurden punktuell und tonal Pegelreduktionen von ca. 30 dB nur infolge der aktiven Maßnahmen erreicht.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei Herrn OLT, Dipl.-Ing. Jochen Kirn für die im Rahmen seiner Diplomarbeit, siehe [3], geleistete Unterstützung.

Literatur

- [1] Gerner, C.: Optimale aktive Geräuschreduzierung in Flugzeugkabinen für hohe tonale Lärmpegel. Dissertation, Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg, (2005)
- [2] Hansen, C., H.; Snyder, S. D.: Active Control of Noise and Vibration. E & FN SPON, London, (1997).
- [3] Kirn, J.: Einsatz elektromagnetischer Folien zur aktiven Schallfeldbeeinflussung. Diplomarbeit, Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg, (2005)
- [4] Kuo, S., M; Morgan, D., R.: Active noise control systems. Wiley & Sons Inc., New York, (1996)
- [5] Nykänen, H; Antila, M.; Kataja, J.; Lekkala, J.; Usokainen; S.: Active Control of Sound based on utilizing EMFI-Technology. Active 99, Fort Lauderdale, Florida, USA, (1999)