

26 (1999) Neue Forschungsergebnisse, kurz gefaßt

J. Krüger, P. Leistner, T. Rose, H.V. Fuchs

## Aktivierter Abzweig-Resonator als Schalldämpfer

Zur Bekämpfung von tieffrequentem Lärm in Kanälen stellen aktive Schalldämpfer eine mögliche Alternative zu den vor allem bei mittleren und hohen Frequenzen wirkenden porösen Schalldämpfern dar. Besonders erfolgversprechend sind die industriellen Anwendungsmöglichkeiten im Bereich der Lüftungs- und Klimatechnik. Die Möglichkeiten dieser Technologie werden jedoch durch ungünstige Umgebungsbedingungen eingeschränkt. Zum Beispiel können hohe Temperaturen, extreme Schallpegel, statische und dynamische Druckbelastungen sowie feuchte und aggressive Medien die Verwendung von aktiven Komponenten behindern. Um die tieffrequente Wirksamkeit der aktiven Schalldämpfer auch in diesen Fällen praktisch zu nutzen, müssen entweder widerstandsfähige, aber dafür teure Komponenten verwendet oder aber die empfindlichen Teile des Schalldämpfers vor den rauen Umgebungsbedingungen geschützt werden. Eine Möglichkeit ist, Lautsprecher, Mikrofon und Elektronik räumlich vom schallführenden Kanal zu trennen, um den direkten Kontakt mit dem Medium zu vermeiden. Die Lösung besteht in einem  $\lambda/4$ -Abzweig-Resonator mit bekannten Übertragungseigenschaften, der seitlich am schallführenden Kanal angebracht und über eine Öffnung mit diesem verbunden ist [1]. Die Einfügungsdämpfung ( $D_e$ ) eines solchen akustisch hart abgeschlossenen Abzweiges kann erheblich verändert und gesteigert werden, indem das Schallfeld in der Resonator-kammer mit einer aktiven Schalldämpferkassette an ihrem Ende beeinflusst wird.

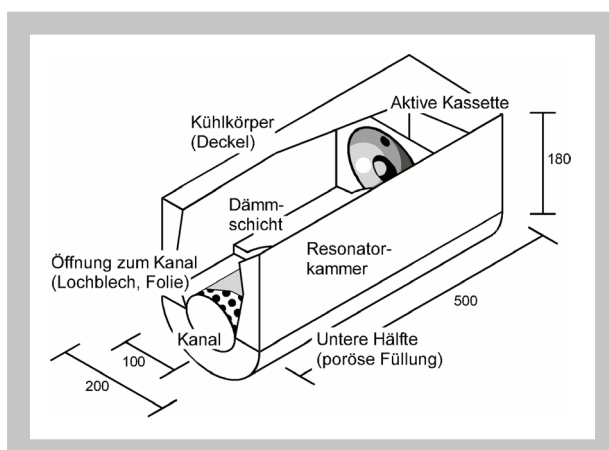


Bild 1: Schematischer Aufbau des aktiven Schalldämpfers

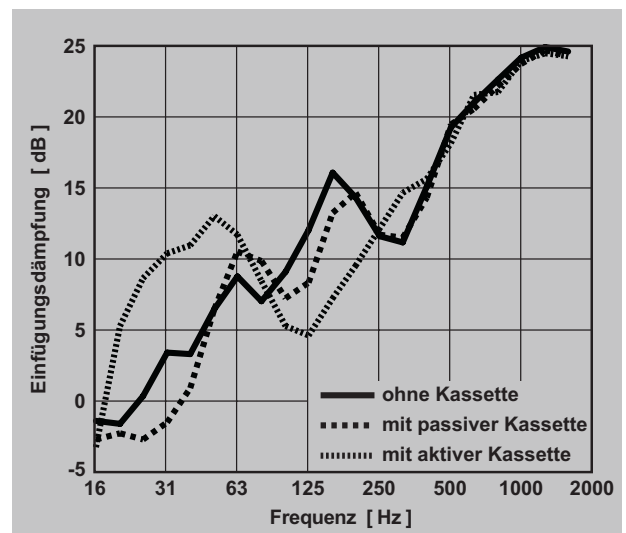


Bild 2: Gemessene Einfügungsdämpfung des Modell-Schalldämpfers nach Bild 1 in Abhängigkeit von der Frequenz

### Aufbau des aktiven Schalldämpfers

Der aktive Schalldämpfer in Bild 1 besteht aus zwei Kammern, die um den kreisförmigen Hauptkanal herum angeordnet sind. Die untere Hälfte enthält ein hitzebeständiges poröses Dämmmaterial. Die obere Hälfte bildet den Abzweig-Resonator, der über eine schmale Öffnung mit dem Hauptkanal verbunden ist. Um den Abzweig mechanisch zu schützen und einen Gasaustausch mit dem Hauptkanal zu vermeiden, ist die Öffnung ebenso wie das poröse Material durch ein Lochblech mit aufgelegtem Vlies geschützt. Zusätzlich sorgt eine spezielle, thermisch resistente Folie mit geringer flächenbezogener Masse für eine hermetische Abdichtung. In der Abzweigkammer befindet sich über der gesamten Länge eine Schicht aus porösem Material, die einerseits für eine Wärmedämmung gegenüber dem Hauptkanal sorgt und andererseits die Kammer akustisch bedämpft. Das Ende des Abzweiges wird durch eine Box gebildet, die neben einem Standardlautsprecher und einem preiswerten Elektretmikrofon eine kleine elektronische Schaltung enthält. Mit diesen aktiven Komponenten wird eine elektroakustische Rückkopplungsschleife aufgebaut. Die Stärke der Rückkopplung kann am Elektronikmodul manuell oder automa-

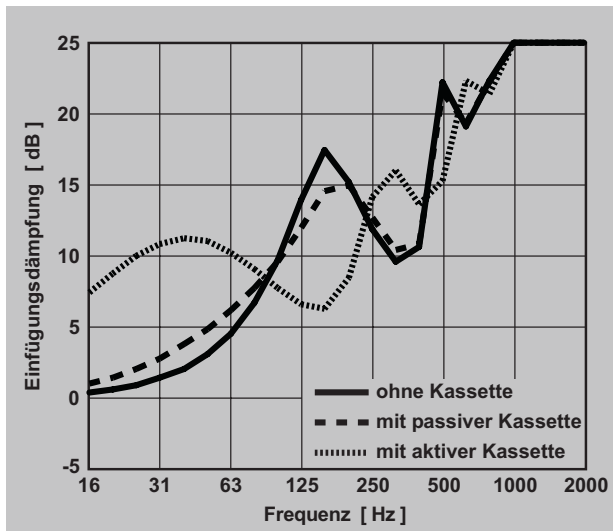


Bild 3: Berechnete Einfügungsdämpfung des Modell-Schalldämpfers nach Bild 1 in Abhängigkeit von der Frequenz

tisch variiert werden und bestimmt innerhalb der Stabilitätsgrenzen die akustische Wandimpedanz der aktiven Kasette [2]. Um die Einfügungsdämpfung einer solchen Anordnung zu berechnen, ist es nötig, die akustischen Modelle des passiven Rohrschalldämpfers, des  $\lambda/4$ -Resonators und der aktiven Kasette zu kombinieren [3]. Ein solches akustisches Gesamtmodell wurde in Form eines PC-Programms realisiert.

## Ergebnisse

Bild 2 zeigt die gemessene Einfügungsdämpfung des Modell-Schalldämpfers in Bild 1. Dabei entspricht die gepunktete Linie dem Fall, in dem das Ende des Abzweiges durch eine schallharte Platte abgeschlossen ist. In dieser Konfiguration führt die Kombination aus Helmholtz- und  $\lambda/4$ -Resonator zu einem ersten Maximum der Einfügungsdämpfung von 17 dB bei etwa 160 Hz. Zusätzlich steigt infolge des passiven Rohrschalldämpfers die Einfügungsdämpfung oberhalb 400 Hz mit der Frequenz deutlich an. Bei sehr tiefen Frequenzen wird eine negative Einfügungsdämpfung festgestellt, die durch stehende Wellen im Meßkanal hervorgerufen wird. Die gemessene Einfügungsdämpfung ändert sich nur wenig, wenn man statt des harten Abschlusses die aktive Kasette ohne Stromversorgung montiert (passiver Zustand). Wird hingegen die Stromzufuhr eingeschaltet und die höchstmögliche Rückkopplungsverstärkung eingestellt, so verschiebt sich das Maximum in der Einfügungsdämpfung zu tieferen Frequenzen und wird deutlich breiter. Eine Veränderung der Rückkopplungsverstärkung zwischen dem Maximum und Null ermöglicht eine Abstimmung des ersten Maximums der Einfügungsdämpfung im Bereich von 50 Hz bis 160 Hz ohne jede Veränderung der Geometrie des Schalldämpfers. Dieses Verhalten erlaubt die manuelle oder automatische Regelung der Einfügungsdämpfung in Abhängigkeit von Betriebszuständen eines Lärm emittierenden Aggregates, die mit der Schallemission korreliert sind, wie z.B. die Umdrehungszahl eines Verbrennungsmotors oder die Abgastemperatur eines Brenners. Zum Vergleich mit den Messungen zeigt Bild 3 die berechneten Ergebnisse mit dem Schalldämpfer in Bild 1. Beide Kurven veranschaulichen die deutliche Spitze der Einfügungsdämpfung bei 160

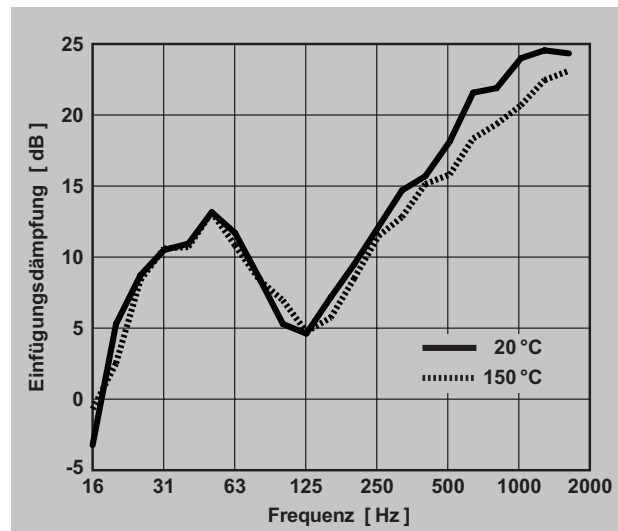


Bild 4: Gemessene Einfügungsdämpfung des Modell-Schalldämpfers in Abhängigkeit von der Frequenz bei verschiedenen Temperaturen

Hz, die durch aktive Abstimmung bis etwa 50 Hz verschoben werden kann. Die thermische Belastbarkeit des aktiven Schalldämpfers wurde getestet, indem elektrisch erhitze Luft mittels eines Ventilators durch den Hauptkanal geblasen wurde. Nach der Einstellung des thermischen Gleichgewichts führte dies zu einer Temperatur von etwa 150 °C am Auslaß des Schalldämpfers. Infolge der Wärmedämmung durch die Dämmschicht an der Innenseite und der Kühlung an der Außenseite des Abzweiges blieb die Temperatur im Abzweig unter 45 °C. Damit sind alle aktiven Komponenten des Schalldämpfers dauerhaft geschützt. Bild 4 zeigt die bei 150 °C gemessene Einfügungsdämpfung im Vergleich zu der bei Raumtemperatur. Da sich die Temperatur im Abzweig nur wenig erhöht, ist die Änderung der Einfügungsdämpfung im Bereich der tiefen Frequenzen kaum meßbar. Im Gegensatz dazu sinkt die Dämpfung bei hohen Frequenzen erwartungsgemäß infolge der temperaturabhängigen Wellenzahl im Kanal und des Strömungswiderstandes des porösen Materials.

Der aktivierte Abzweig-Resonator eröffnet eine neue Möglichkeit, den tieffrequenten Lärm insbesondere von Heizungs- und Verbrennungsanlagen wirksam und mit geringem Bauvolumen zu bedämpfen. Das Dämpfungsspektrum kann auch vor Ort oder automatisch auf das jeweilige Spektrum der Lärmquelle abgestimmt werden. Eine erste Anwendung kann z.B. der Einsatz im Abgaskanal einer Heizungsanlage sein, bei der ein Brenner die typischen tieffrequenten Geräusche erzeugt, die je nach Einstellung variieren.

## Literatur

- [1] Rose, T.: Einsatz aktiver Schalldämpfer bei hohen Temperaturen. Diplomarbeit, Fachhochschule Stuttgart - Hochschule für Technik, 1999.
- [2] Krüger, J.; Leistner, P.: Wirksamkeit und Stabilität eines neuartigen aktiven Schalldämpfers. Acta Acustica 84 (1998), H. 4, S. 658 - 667.
- [3] Krüger, J.; Leistner, P.: An active silencer for harsh environmental conditions. FORUM ACUSTICUM 99. The Joint ASA/EAA Meeting - Berlin 1999.