

23 (1996) Neue Forschungsergebnisse, kurz gefaßt

J. Krüger, M. Leistner, P. Leistner

Lärminderung bei tiefen Frequenzen mit hybriden Schalldämpfern

1. Einleitung

Die Schalldämpfung in Kanälen bei tiefen Frequenzen verlangt effektive und robuste Schalldämpfer, die auf engem Raum eine hohe Wirksamkeit gewährleisten. Diese Anforderungen werden weder von passiven bzw. reaktiven Absorbern noch von bestehenden aktiven Systemen im gewünschten Umfang erfüllt. Eine Möglichkeit zur Überwindung der Diskrepanz zwischen vertretbarem Aufwand und erzielter Dämpfungswirkung bieten hybride Schalldämpfer [1]. Hinter diesem Konzept verbirgt sich die Realisierung lokal wirksamer Dämpferstrecken durch die Optimierung der Kanalwandimpedanz. Dazu werden passive Absorber durch aktive Komponenten ergänzt, so daß im Ergebnis eine den tatsächlichen Verhältnissen (Kanalgeometrie, Strömung, physikalische Belastungen) und Erfordernissen (Einfügungsdämpfung, Druckverlust, Kosten) weitgehend angepaßte Konfiguration vorliegt. Der aktive Teil des hybriden Schalldämpfers umfaßt die Elemente Mikrophon, Lautsprecher und Signalverarbeitung, welche zusammen mit dem passiven Absorber in einer kompakten, geschlossenen Kassette untergebracht sind. Deren Montageaufwand kann mit demjenigen einer üblichen passiven Schalldämpferkassette verglichen werden. Eine solche Kassette repräsentiert den allgemeinen und einfachsten Fall eines hybriden Schalldämpfers und wird im folgenden näher vorgestellt.

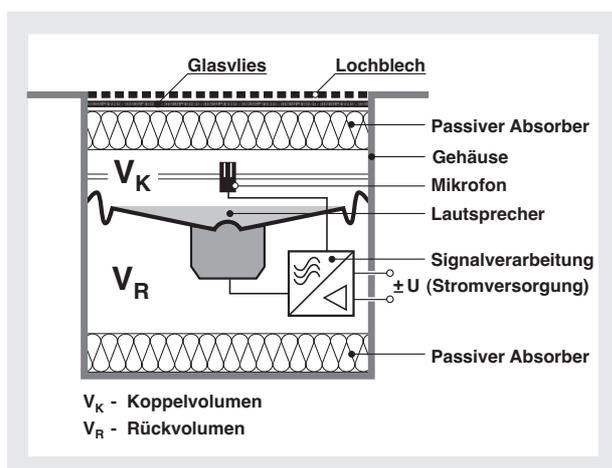


Bild 1: Konstruktiver Aufbau einer hybriden Schalldämpferkassette

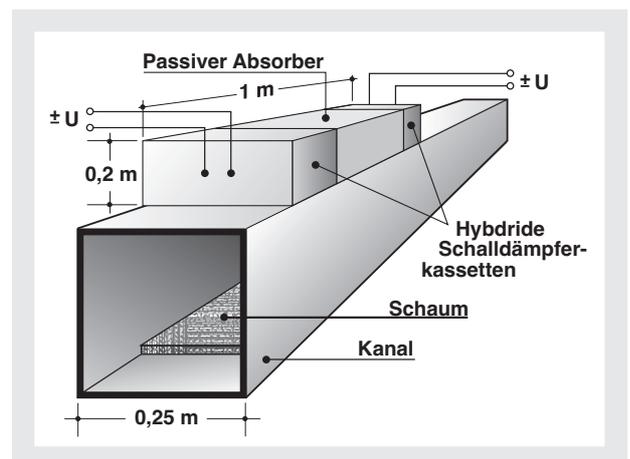


Bild 2: Anwendung eines hybriden Schalldämpfers aus zwei Kassettensetzen und dazwischenliegendem passivem Absorber im Kanal

2. Aufbau und Wirkungsweise

Der konstruktive Aufbau einer hybriden Schalldämpferkassette ist in Bild 1 dargestellt. In einem massiven Gehäuse (Gesamtvolumen 12 Liter) sind hinter einer Abdeckung (Lochblech, Glasvlies) die passive Absorberschicht und das aktive System, bestehend aus Mikrophon, Lautsprecher und Signalverarbeitung, angeordnet. Das Mikrophon ist in unmittelbarer Nähe und konzentrisch zur Lautsprechermembran positioniert. Dieses aktive System bildet einen Regelkreis, bei dem die gemessene Mikrofonspannung gefiltert und verstärkt an den Lautsprecher rückgekoppelt wird. Während das Mikrophon weitgehend frequenzunabhängig ist, bilden der Lautsprecher (Membran, Zentrierung, Schwingspule usw.) ohne Verstärkung bzw. Stromversorgung und die angeschlossenen Volumina (Bild 1) zusammen in erster Näherung einen akustischen Serienresonator [2]. In der Umgebung der Resonanzfrequenz führt die so erhöhte Nachgiebigkeit dieser Wandauskleidung bereits zu einer Einfügungsdämpfung, die für Resonatoren typisch ist. Vor diesem Hintergrund wird die druckproportionale Mikrofonspannung linear und mit hoher Verstärkung an den Lautsprecher rückgekoppelt, so daß die Membran zu noch stärkerem Nach-

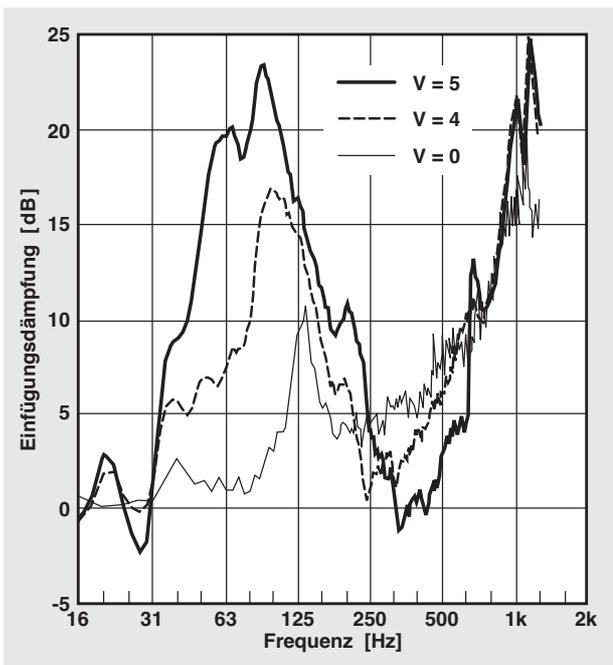


Bild 3: Einfügungsdämpfung des hybriden Schalldämpfers aus Bild 2 bei verschiedenen Rückkopplungsverstärkungen

geben gezwungen wird. Dabei erhöht sich einerseits der Druck im Rückvolumen, andererseits verringert sich jedoch der Druck an der Trennfläche zum Kanal und die Dämpfungswirkung steigt erheblich. Die beschriebene Regelung stellt für den hier behandelten Frequenzbereich eine ausreichende Näherung dar, gilt aber strenggenommen nur für sehr tiefe Frequenzen. Die Energiebilanz dieses Vorgangs ist hauptsächlich durch die Umwandlung der Schallenergie in eine Erwärmung der Schwingspule bzw. durch die zugeführte elektrische Energie charakterisiert.

Die passiven Bestandteile der hybriden Schalldämpferkassette erfüllen zunächst eine Schutzfunktion für den aktiven Teil vor den bekannten thermischen und mechanischen Belastungen im Kanal. Eine weitere bedeutsame Störgröße bei der aktiven Lärmbekämpfung in Lüftungskanälen ist die überlagerte Strömung. Die damit möglichen Turbulenzgeräusche am Mikrofon werden durch die Kombination aus Abdeckung und passivem Absorber deutlich verringert. Diese Tatsache ist nicht zu unterschätzen, da zu hohe strömungsinduzierte Geräusche spätestens bei der Signalverarbeitung zu einer Aufwandserhöhung führen. Die Einfachheit der Signalverarbeitung hybrider Schalldämpfer stellt einen der wesentlichen Vorteile dar. Neben der Leistungsverstärkung handelt es sich dabei um Selektivfilter, welche mit analogen Bauelementen realisiert werden können und in erster Linie zur Unterdrückung instabiler Eigenschwingungen der Kassette bei höheren Frequenzen (größer 1 kHz) dienen.

3. Ergebnisse

Die gemessene Einfügungsdämpfung einer hybriden Schalldämpferanordnung (Bild 2) bei verschiedenen Rückkopplungsverstärkungen ist in Bild 3 dargestellt. Der Verlauf bei der Verstärkung $V=0$ repräsentiert den bereits erwähnten passiven Resonator (Schalldämpfer ohne Stromversorgung). Mit ansteigendem V erhöht sich erwartungsgemäß

die Dämpfung, wobei im oberen Verstärkungsbereich geringe Veränderungen großen Einfluß auf die Dämpfungswirkung ausüben. Die rechnerische Überprüfung dieser gemessenen Werte anhand des Modells der hybriden Kassette zeigt bei den angewandten Näherungen eine gute Übereinstimmung.

Die Einfügungsdämpfung ist grundsätzlich als Summe der Reflexionsdämpfung an der Eintrittsebene und der Ausbreitungsdämpfung entlang des ausgekleideten Kanalstücks zu betrachten. Während bei passiven und reaktiven Schalldämpfern die Ausbreitungsdämpfung überwiegt, gilt dies für aktive und auch hybride Systeme nicht in gleichem Maße. Die aktive Veränderung der Wandimpedanz und damit der Druckverhältnisse im davorliegenden Kanalstück bewirkt eine merkliche Reflexionsdämpfung. Für die Anordnung aus Bild 2 lagen deren Werte zwischen 50 und 250 Hz bei maximal 3 dB. Im Gegensatz dazu ist die übliche aktive Lärmbekämpfung mittels interferierender Schallauslöschung in Kanälen dadurch gekennzeichnet, daß die Einfügungsdämpfung ausschließlich als Reflexionsdämpfung zu interpretieren ist. Eine Besonderheit der bislang realisierten hybriden Schalldämpfer sind die negativen Dämpfungswerte bzw. Einstrahlungen bei hohen Verstärkungen und Frequenzen um 300 Hz (Bild 3, $V=5$). Durch die verwendeten Tiefpaßfilter und die damit verbundene zusätzliche Phasendrehung zwischen Mikrofon- und Lautsprecherspannung treten in diesem Frequenzbereich negative Realteile der Wandimpedanz auf, die zu den geringen Einstrahlungen führen. Zur Beseitigung dieses unerwünschten Phänomens ist u.a. eine akustische Dämpfung (Bild 1, Absorber im Rückvolumen) möglicher Eigenschwingungen der Kassette notwendig, so daß die Tiefpaßgrenzfrequenz deutlich erhöht werden kann.

4. Zusammenfassung

Der Einsatz hybrider Schalldämpfer in Kanälen stellt eine hochwirksame Alternative zu bestehenden passiven, reaktiven und auch aktiven Dämpfungskonzepten dar. Die kompakte Kassettenbauweise gewährleistet einen geringen Montage- und Installationsaufwand und unterstützt verschiedene Konfigurationen z.B. innerhalb von Schalldämpferkulissen. Gleichzeitig gestattet die große Anzahl von Entwurfsparametern die gezielte Auslegung von hybriden Schalldämpfern in Abhängigkeit von akustischen aber auch wirtschaftlichen Anforderungen.

5. Literatur

- [1] Mechel, F.P.: Hybrider Schalldämpfer. Patentschrift DE 402 7511 C1.
- [2] Lippold, R.; Lenk, A.: Schalldämpfung in Kanälen mit aktiv erzeugten Wandadmittanzen. *Acustica* 81 (1995), H. 4. S. 356-363.

Die Untersuchungen wurden mit Unterstützung der Volkswagen-Stiftung durchgeführt.



Fraunhofer
Institut
Bauphysik

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR BAUPHYSIK (IBP)

Leiter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. mult. Dr. E.h. mult. Karl Gertis
D-70569 Stuttgart, Nobelstr. 12 (Postfach 80 04 69, 70504 Stuttgart), Tel. 07 11/9 70-00
D-83626 Valley, Fraunhoferstr. 10 (Postfach 11 52, 83601 Holzkirchen), Tel. 0 80 24/6 43-0