

33 (2006) Neue Forschungsergebnisse, kurz gefasst

Karlheinz Bay, Peter Brandstätt, Michael Krämer

Modellierung aktiver Kompaktschalldämpfer

Einleitung

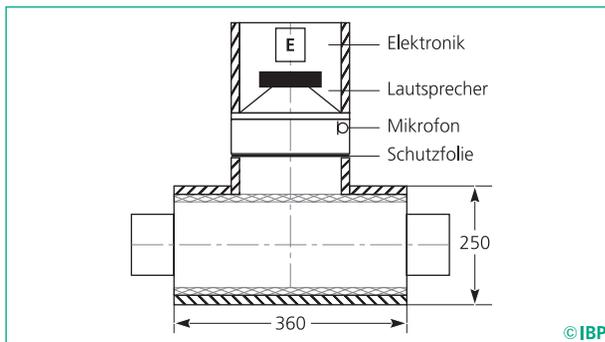


Bild 1: Prinzipskizze eines aktiven Kompaktschalldämpfers.

Ausgangspunkt und Ziel der Modellierung ist der aktive Schalldämpfer nach **Bild 1** [1]. Er besteht aus einem aktiven Abzweig-Resonator zur Bedämpfung tieffrequenter Geräusche, kombiniert mit einem passiven Rohrschalldämpfer für mittlere und hohe Frequenzen. Eine temperatur- und kondensatbeständige Folie trennt den aktiven Abzweig vom Abgasstrom zum Schutz der elektro-akustischen Komponenten. Im Gehäuse des Abzweigs befinden sich Mikrofon, Lautsprecher und Elektronikmodul. Lautsprecher und das dahinter liegende abgeschlossene Luftvolumen bilden ein Feder-Masse-System, das bei seiner Resonanzfrequenz die maximale Einfügungsdämpfung erzielt. Mit dem Mikrofon in unmittelbarer Umgebung der Lautsprechermembran und dem Elektronikmodul ergibt sich eine Regelschleife, indem die schalldruckproportionale Mikrofonspannung invertiert und verstärkt an den Lautsprecher rückgekoppelt wird. Diese Rückkopplung unterstützt aktiv die Membranbewegung [2] und bewirkt eine deutliche Erhöhung der Einfügungsdämpfung gegenüber dem nicht verstärkten Fall. Eine stufenlose Verschiebung dieses Dämpfungsmaximums ist durch den Einsatz eines zusätzlichen Mikrofons hinter dem Lautsprecher, im so genannten Rückvolumen, möglich [3].

Modellierung

Das akustische Gesamtsystem wird als eindimensionaler Wellenleiter betrachtet und durch Transfermatrizen beschrieben [4, 5]. Der Kompaktschalldämpfer wird in Einzelemente unterteilt, deren Übertragungseigenschaften in einer Transfermatrix zusammengefasst sind. Die Einfügungsdämpfung kann dann z. B. unter Berücksichtigung reflexionsfreier Abschlüsse aus dem Produkt der Einzelmatrizen, der Gesamtmatrix des Systems, berechnet werden. Im folgenden Modell wird nur die Ausbreitung der ebenen Welle bei Raumtemperatur ohne Strömung berücksichtigt. Die Transfermatrizen der Schalldämpfer basieren auf der Schalldämpferrechnung mit lokal wirksamer Auskleidung. In **Bild 2** sind die durch Transfermatrizen beschriebenen Einzelemente des Kompaktschalldämpfers schematisch dargestellt.

Der passive Rohrschalldämpfer wird in der Mitte in zwei Schalldämpfer aufgeteilt und die Gesamtmatrix des Abzweigresonators als konzentriertes, paralleles Element eingesetzt. Die Schutzfolie wird in der Modellrechnung nicht berücksichtigt. Im nicht rückgekoppelten, passiven Zustand wird die Transfermatrix des Lautsprechers nur durch das Feder-Masse-System bestimmt. Das bedämpfte Lautsprechergehäuse wird als rückseitiger Schalldämpfer mit schallhartem Abschluss (d.h. Druck maximal und Schallschnelle null) modelliert. In **Bild 3** sind die berechnete und die im Prüfstand ermittelte Einfügungsdämpfung für den passiven Kompaktschalldämpfer dargestellt. Im Bereich der durch die

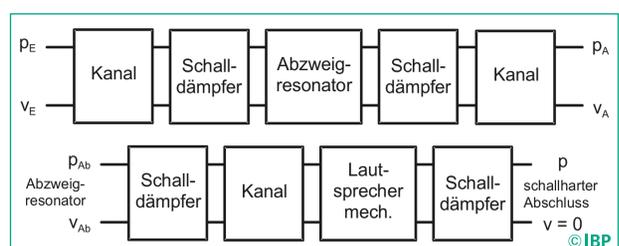


Bild 2: Schema des passiven Kompaktschalldämpfers.

Feder-Masse-Resonanz erzeugten Dämpfungserhöhung um 100 Hz weisen Rechnung und Messung Übereinstimmung auf. Bei mittleren und höheren Frequenzen wird die Tendenz der Messwerte wiedergegeben.

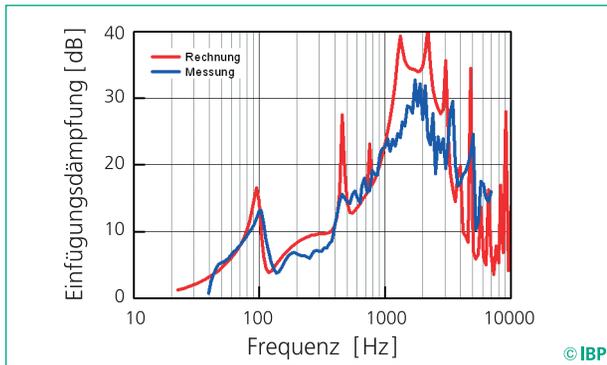


Bild 3: Berechnete und im Prüfstand ermittelte Einfügungsdämpfung des nicht rückgekoppelten Kompaktschalldämpfers.

Zur Aktivierung des Kompaktschalldämpfers wird das Modell um die elektrischen Komponenten des Lautsprechers und die Rückkopplung über Mikrofon und Elektronik erweitert. Die Beschreibung der Rückkopplung erfolgt durch eine gesteuerte Druckquelle. Der am Mikrofon aufgenommene und verstärkte Druck in Verbindung mit der daraus resultierenden Schallschnelle ersetzt den zuvor schallharten Abschluss (Bild 4). Die Übertragungsfunktionen des Mikrofons und der Elektronik werden als frequenzunabhängig angenommen. Die Verstärkung des rückgekoppelten Systems wird durch die Systemstabilität begrenzt und kann aus der Übertragungsfunktion der offenen Rückkopplungsschleife ermittelt werden.

In Bild 5 sind der berechnete und der gemessene Phasenverlauf aufgetragen. Den Messwerten ist die Stabilitätsgrenze bei 1000 Hz zu entnehmen (Nulldurchgang). In diesem

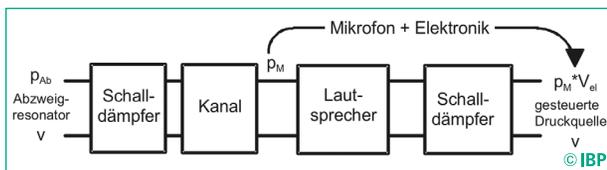


Bild 4: Schema des rückgekoppelten Abzweigeresonators.

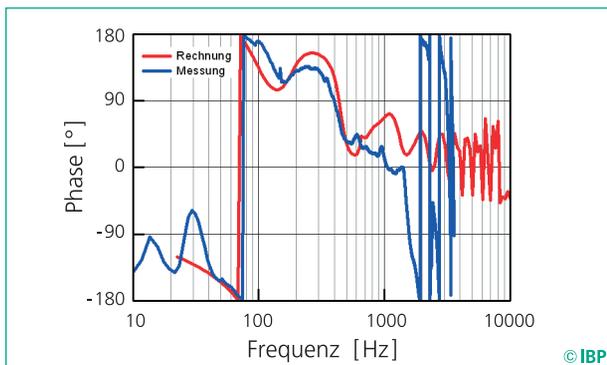


Bild 5: Phasenverlauf der Übertragungsfunktion der offenen Rückkopplungsschleife.

Bereich weisen Messung und Rechnung keine Übereinstimmung auf. Im Hinblick auf die Stabilitätsanalyse werden hier die Grenzen der einfachen Modellbeschreibung erreicht. Die Verstärkung für eine stabile Rückkopplung kann somit nicht berechnet werden. Um dennoch Aufschluss über das Verhalten des Modells im Bereich der aktiven Dämpfung bei tiefen Frequenzen zu erhalten, wurde die zur Berechnung notwendige Verstärkung so gewählt, dass Übereinstimmung des gemessenen mit dem berechneten Dämpfungsmaximum erzielt wird. In Bild 6 ist die auf diese Weise berechnete Einfügungsdämpfung im Vergleich mit Messwerten dargestellt. Rechnung und Messung zeigen nicht nur im Dämpfungsmaximum sondern bis hin zu höheren Frequenzen Übereinstimmung. Bei Berücksichtigung des zusätzlich eingesetzten Mikrofons im Rückvolumen können auf Grund eines zweiten freien Parameters nur Tendenzen in Richtung der gemessenen Verschiebungsgrenzen (gestrichelte Linien) ermittelt werden.

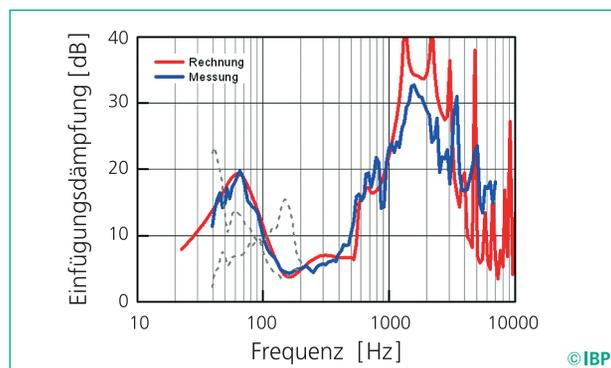


Bild 6: Einfügungsdämpfung des aktiven Kompaktschalldämpfers in Abhängigkeit der Frequenz.

Zusammenfassung

Die Modellierung durch Transfermatrizen stellt eine übersichtliche Berechnungsmethode dar. Für den passiven Kompaktschalldämpfer liefert das zugrunde gelegte einfache Berechnungsmodell gute Ergebnisse. Es reicht jedoch nicht aus, um die Stabilitätsgrenze und die damit verbundene stabile Rückkopplungsverstärkung des aktiven Kompaktschalldämpfers zu ermitteln. Durch Anpassung der Verstärkung konnten aber auch hier gute Ergebnisse erzielt werden.

Literatur

- [1] Bay, K., Krämer, M., Brandstät, P.: Compact silencer for heating systems. In: CFA/DAGA 2004, CD-ROM, p. 459-460.
- [2] Leistner, P. et al.: Schallabsorber und Schalldämpfer. Teil 4: Absorber mit aktiven Komponenten. Bauphysik 24 (2002), S. 361-367.
- [3] Brandstät, P., Bay, K., Kristen, R.: Aktiv-Schalldämpfer mit einstellbarem Dämpfungsspektrum. IBP-Mitteilung 32 (2005), Nr. 458.
- [4] Munjal, M. L.: Acoustics of Ducts and Mufflers. Wiley & Sons, New York, 1987.
- [5] Zollner, M., Zwicker, E.: Elektroakustik. Springer-Verlag, 1993.



Fraunhofer
Institut
Bauphysik

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR BAUPHYSIK IBP

Institutsleitung: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Sedlbauer

70569 Stuttgart, Nobelstr. 12 (Postfach 80 04 69, 70504 Stuttgart), Tel. 07 11/970-00
83626 Valley, Fraunhoferstr. 10 (Postfach 11 52, 83601 Holzkirchen), Tel. 0 80 24/643-0
34127 Kassel, Gottschalkstr. 28a, Tel. 05 61/804-18 70

Herstellung und Druck: IRB Mediendienstleistungen des Fraunhofer-Informationszentrums Raum und Bau IRB, Stuttgart
Nachdruck nur mit schriftlicher Genehmigung des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik