

Modellierung aktiver Kompaktschalldämpfer

Karlheinz Bay, Peter Brandstät, Michael Krämer

Fraunhofer-Institut für Bauphysik, 70569 Stuttgart, Deutschland, Email: bay@ibp.fraunhofer.de

Einleitung

Der Stand der Technik ermöglicht den Einsatz moderner Heizungsanlagen in Wohnhäusern und Blockheizkraftwerken, bei denen neue Brenntechnologien, wie z.B. Blau- oder Raketenbrenner mit sehr effizienter Ausnutzung der Brennstoffe Gas und Öl, Verwendung finden. Diese Brenner erzeugen aber hohe Schalldruckpegel in den Abgasleitungen. Durch die zur Beurteilung angewandte A-Bewertung treten die maximalen Schalldruckpegel im Bereich von 80 Hz bis 200 Hz auf. Zur Einhaltung von Immissionsrichtwerten bedarf es daher Pegelminderungen im Bereich tiefer und mittlerer Frequenzen.

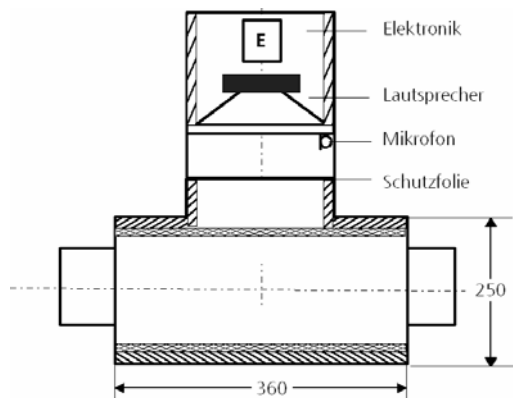


Abbildung 1: Prinzipskizze eines aktiven Kompaktschalldämpfers

Ausgangssituation

Um eine Anpassung an die jeweiligen akustischen Gegebenheiten zu ermöglichen, wurde ein in seiner frequenzabhängigen Wirkung einstellbarer Schalldämpfer untersucht. Ausgangspunkt für diese Entwicklung ist der vom IBP in Zusammenarbeit mit Kutzner + Weber entwickelte Aktiv+Schalldämpfer [1,2]. In Abbildung 1 ist der Aufbau dieses Kompaktschalldämpfers, bestehend aus passivem Rohrschalldämpfer und aktivem Abzweigresonator, dargestellt. Eine temperatur- und kondensatbeständige Folie trennt den aktiven Abzweig vom Abgasstrom zum Schutz der elektroakustischen 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 [3] und bewirkt eine deutliche Erhöhung der Einfügungsdämpfung gegenüber dem nicht ver-

stärkten Fall. Eine stufenlose Verschiebung dieses Dämpfungsmaximums ist durch den Einsatz eines zusätzlichen Mikrofons hinter dem Lautsprecher, im so genannten Rückvolumen, möglich. Werden beide Mikrofonsignale zusammengeführt und gemeinsam über die Elektronik an den Lautsprecher rückgekoppelt, so erfolgt in Abhängigkeit der Kopplung beider Signale, eine Verschiebung zu hohen oder tiefen Frequenzen, im Bereich von 80 Hz bis 200 Hz.

Modellierung

Das akustische Gesamtsystem wird als eindimensionaler Wellenleiter betrachtet und durch Transfermatrizen beschrieben [4,5]. Der Kompaktschalldämpfer wird in Einzelteile 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.

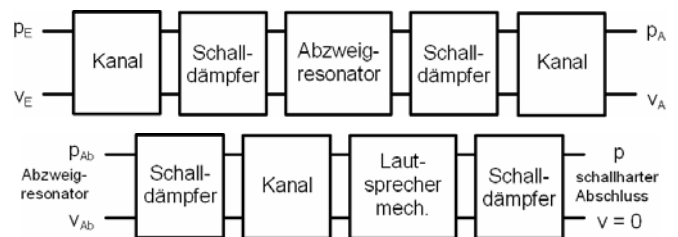


Abbildung 2: Schema des passiven Kompaktschalldämpfers.

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 Abbildung 2 sind die durch Transfermatrizen beschriebenen Einzelelemente 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 durch einen Schalldämpfer mit schallhartem Abschluss (d.h. Druck maximal und Schallschnelle null) modelliert. In Abbildung 3 sind die berechnete und die im Prüfstand ermittelte Einfügungsdämpfung für den passiven Kompaktschalldämpfer dargestellt. Im Bereich der durch die Feder-Masse-Resonanz erzeugten Dämpfungserhöhung um 100 Hz weisen Rechnung und Messung gute Übereinstimmung auf. Bei mittleren und höheren Frequenzen wird die Tendenz der Messwerte wiedergegeben. Zur Aktivierung des Kompaktschalldämpfers wird dieses Modell um die elektri-

schen Komponenten des Lautsprechers und die Rückkopplung über Mikrofon und Elektronik erweitert.

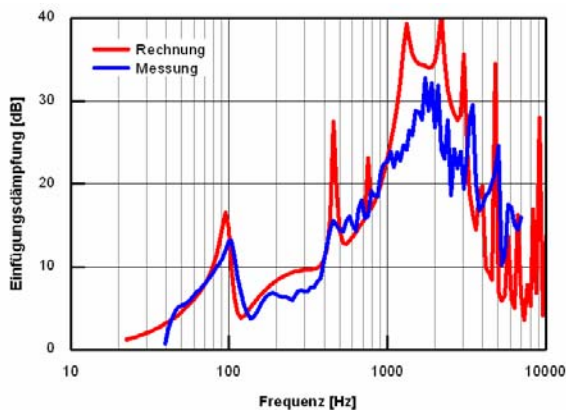


Abbildung 3: Berechnete und im Prüfstand ermittelte Einfügungsdämpfung des nicht rückgekoppelten Kompaktschalldämpfers.

In Abbildung 4 werden nun auch die elektrischen Komponenten in die Lautsprechermatrix mit aufgenommen [5]. Die Rückkopplung wird durch eine gesteuerte Druckquelle beschrieben. Der zuvor schallharte Abschluss wird jetzt durch den am Mikrofon aufgenommen und verstärkten Druck in Verbindung mit der daraus resultierenden Schallschnelle ersetzt. Die Übertragungsfunktionen des Mikrofons und der Elektronik werden als frequenzunabhängig angenommen.

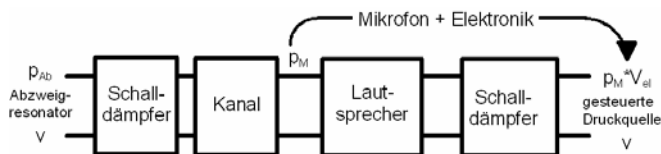


Abbildung 4: Schema des rückgekoppelten Abzweigresonators.

Die Verstärkung des rückgekoppelten Systems wird durch die Systemstabilität begrenzt und kann aus der Übertragungsfunktion der offenen Rückkopplungsschleife ermittelt werden. In Abbildung 5 sind der aus den Transfermatrizen berechnete und der gemessene Phasengang aufgetragen. Den Messwerten ist die Stabilitätsgrenze bei 1000 Hz zu entnehmen (Nulldurchgang).

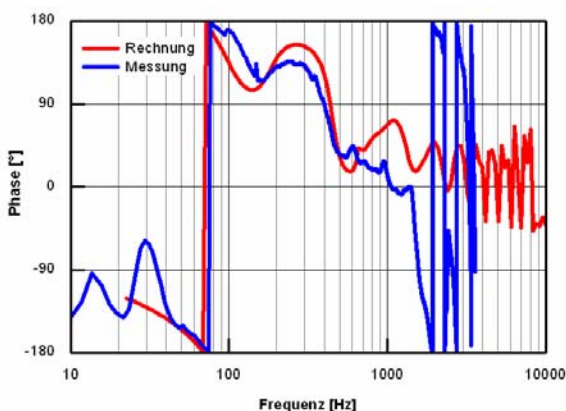


Abbildung 5: Phasenverlauf der Übertragungsfunktion der offenen Rückkopplungsschleife.

In diesem 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 Abbildung 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 des zweiten freien Parameters nur Tendenzen in Richtung der ebenfalls in Abbildung 6 dargestellten gemessenen Verschiebungsgrenzen ermittelt werden.

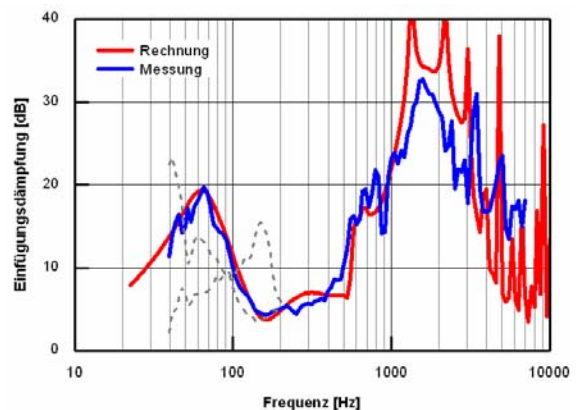


Abbildung 6: Einfügungsdämpfung des aktiven Kompaktschalldämpfers in Abhängigkeit der Frequenz.

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 auch hier gute Ergebnisse erzielt werden.

Literatur

- [1] Kristen, R.: Aktiver Rohr-Schalldämpfer mit abstimmbarer Dämpfung. Diplomarbeit Fachhochschule Stuttgart – Hochschule für Technik (2005).
- [2] Bay, K., Krämer, M., Brandstätt, P.: Compact silencer for heating systems. In: CFA/DAGA 2004, CD-ROM, p.459-460.
- [3] Leistner, P. et al.: Schallabsorber und Schalldämpfer. Teil 4: Absorber mit aktiven Komponenten. Bauphysik 24 (2002), S. 361-367.
- [4] Munjal, M. L.: Acoustics of Ducts and Mufflers. Wiley & Sons, New York, 1987.
- [5] Zollner, M., Zwicker, E.: Elektroakustik. Springer-Verlag, 1993.