

# Kombination von Partikelfiltern mit Schalldämpfern für großvolumige Dieselmotoren

Michael Krämer, Peter Brandstätt, Karlheinz Bay

Fraunhofer-Institut für Bauphysik, 70569 Stuttgart, E-Mail: michael.kraemer@ibp.fraunhofer.de

## Einleitung

Neben der Einhaltung von Lärmemissionsgrenzwerten müssen Dieselmotoren für Pkw, Nutzfahrzeuge aber auch für Dieselloks, -triebzüge, Schiffsdiesel und Baumaschinen immer strengere Grenzwerte bezüglich Partikelemissionen einhalten. Als eine Folge dieser Entwicklung ergibt sich in sehr vielen Fällen ein akustisches Problem, da die verwendeten Partikelfilter (DPF) zum Teil erheblichen Bauraum beanspruchen und dabei den Platz der ebenfalls unverzichtbaren Abgasschalldämpfer einnehmen, ohne dessen Wirkung im dominanten tieffrequenten Bereich zu kompensieren.

Ziel und Anspruch bezüglich geeigneter Abgasschalldämpfer für künftige Dieselmotoren ist demzufolge, mit deutlich geringerem oder besser integriertem Volumenverbrauch die erforderliche Schalldämpfungswirkung zu erreichen. Als ein möglicher Lösungsansatz wird hierbei die Kombination eines aktiven Schalldämpfersystems mit einem Dieselpartikelfilter gesehen. Eine bloße Konvertierung von aktiven Schalldämpfersystemen scheitert aber an den überaus schwierigen Einsatzbedingungen, wie z.B. den Abgastemperaturen von 600 °C, den starken Druckschwankungen und den sehr hohen Schalldruckpegeln von über 160 dB im Abgasstrang.

Es wurden daher zwei Themenschwerpunkte gesetzt. Erstens, die Suche nach Konfigurationen, bei denen preiswerte, bekannte aktive Komponenten verwendbar sind, die jedoch gegenüber den Belastungen geschützt werden, ohne dabei die akustische Leistungsfähigkeit zu verlieren. Zweitens, die Suche nach thermisch robusten und zugleich akustisch wirksamen Komponenten, welche direkt im Abgasstrang eingesetzt werden können.

## Schutz der Komponenten

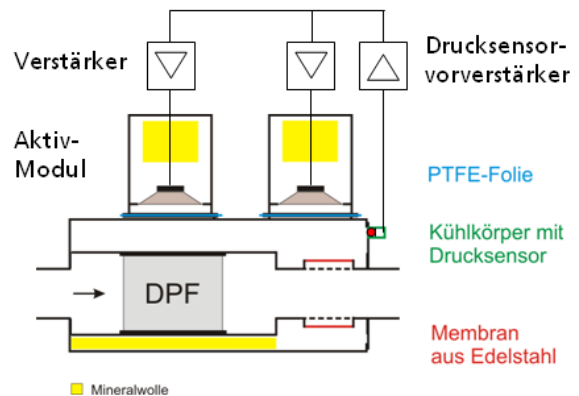
Die bisher üblichen Komponenten von aktiven Systemen bestehen häufig aus elektrodynamischen Lautsprechern (Aktor) und Elektretmikrofonen (Sensor). Die verwendeten Materialien sind bis zu einer Temperatur von ca. 120 °C verwendbar. Temperaturen oberhalb dieser Grenze bewirken bei Lautsprechern das Schmelzen der Spulendrahtisolierung, wodurch ein Kurzschluss verursacht wird, oder führen zum Erweichen des beim Zusammenbau der Komponenten verwendeten Klebstoffs. Zudem verschlechtert sich, je nach gewählten Dauermagneten, der Wirkungsgrad des Lautsprechers.

Ein aktiver Versuchsschalldämpfer mit integriertem DPF wurde aufgebaut (Abbildung 1), dessen aktive Komponenten es vor zu hohen Temperaturen und den Abgasen des Dieselmotors zu schützen galt. Als aktive Komponente

wurde ein am IBP entwickelter aktivierter Resonator-schalldämpfer (Feedbacksystem) verwendet [1].

Um die Komponenten zu schützen wurde ein Schutzkonzept mit möglichst großer akustischer Transparenz entwickelt. Eine direkte Temperaturexposition der Komponenten wird vermieden indem diese nur an einer an das Abgasrohr angekoppelten Resonator-kammer betrieben werden. Durch zwei Lagen dünner Edelstahlfolie über der Resonator-ankopplung und einer dünnen Folie aus PTFE vor dem elektrodynamischen Lautsprecher entstehen wärme-isolierende Luftkammern, die einen starken Temperatur-abfall bewirken. Aufgrund der Folienabmessung und der geringen Dicke sind die thermischen Trennschichten akustisch ausreichend transparent.

Direkt vor dem Sensor befindet sich ebenfalls eine dünne, akustisch transparente, PTFE-Folie. Um die Wärmeleitung über das Gehäuse zu reduzieren, wurden alle Flansche mit Gewebebändern thermisch getrennt. Zusätzlich wird die Temperatur am Sensor mit einem Kühlkörper abgeleitet.



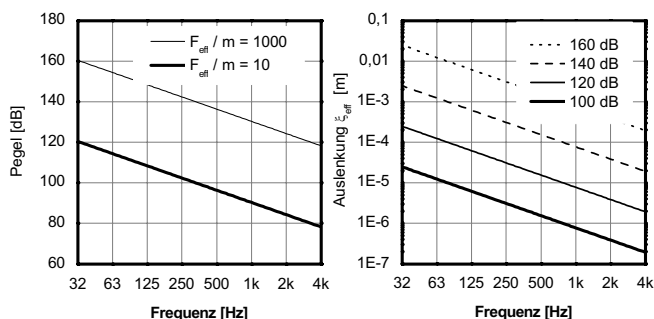
**Abbildung 1:** Aufbau des aktiven Versuchsschalldämpfers mit integriertem Dieselpartikelfilter. Der Durchmesser der Abgasleitung beträgt 150 mm. Die Kammerlänge des Resonators beträgt 900 mm.

Die akustische Eigenschaft des aktiven Versuchsaufbaus wurde am Schalldämpfer-Prüfstand des IBP überprüft. Die ermittelte Dämpfung der aktiven Komponente liegt hier im Frequenzbereich zwischen 32 Hz und 63 Hz und beträgt rund 4 dB. Um den Schalldämpfer auch unter realen Bedingungen bei hohen Schalldrücken und Temperaturen zu überprüfen wurden die Messungen in einem Motorprüfstand wiederholt. Der Schalldämpfer wurde in einen Abgasstrang eines 390 kW Dieselmotors für Schienenfahrzeuge eingebaut. Eine aktive Dämpfung war nicht messbar. Ursache ist die nicht ausreichende akustische Leistung des aktiven Systems sowie die thermischen Schutzmaßnahmen, die zu einer weiteren Minderung geführt haben. Während der Messung wurde an den aktiven Komponenten die kritische Temperatur von 120 °C nicht überschritten.

## Alternative Schallquelle

Für den direkten Einsatz am Abgasstrang wurde ein Schallquelle aus einem Kolben und einem Zylinder entwickelt (Hubkolbenaktuator), dessen akustische Wirkungsweise vereinfacht mit dem eines elektro-dynamischen Lautsprechers vergleichbar ist. Durch die erprobte Anwendung in Motoren kann das Zusammenspiel von Kolben und Zylinder als thermisch äußerst robust angesehen werden. Die Möglichkeit eines Hubkolbenaktuators direkt in einem Abgasstrang zu betreiben bietet akustische Vorteile. Unvorteilhafte Querschnittsprünge und Temperaturänderungen, die eine Frequenzverschiebung bewirken und berücksichtigt werden müssen, können vermieden werden. Der Antrieb kann außerhalb des Abgasstranges liegen, thermisch entkoppelt und ohne akustische Einbußen gekühlt werden.

Der für den akustischen Betrieb des Hubkolbens wesentliche Unterschied zum elektro-dynamischen Lautsprecher ist die zu bewegende Masse der Membrane bzw. des Kolbens einschließlich der Spule und der sonstigen bewegten Teile. Durch die thermischen und mechanischen Belastungen sowie die seitliche Ausbildung des Kolbens zur Führung im Zylinder, ist die zu bewegende Masse im Vergleich zu einer dünnen Lautsprechermembrane deutlich größer. Generell gilt, dass bei einer fortschreitenden akustischen Welle die Höhe des Schalldrucks proportional zur Beschleunigung ist. Gemäß dem zweiten Newtonschen Gesetz muss zur Erzielung hoher Schalldrücke, eine ausreichend große Kraft aufgebracht werden.

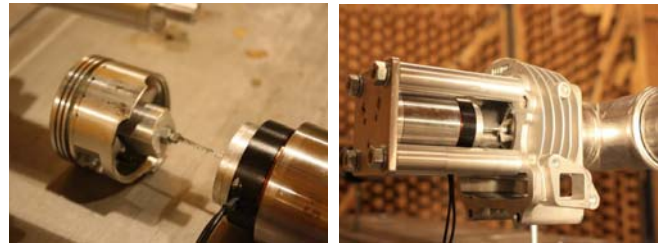


**Abbildung 2:** Schalldruckpegel bei konstanter Kraft (links) und die benötigte Auslenkung des Kolbens bei konstantem Schalldruck (rechts).

Um einen Pegel von 160 dB zu erzeugen wird ein Schalldruck von 2000 Pa benötigt. Dies setzt eine Kolbengeschwindigkeit von 4,8 m/s voraus. Abhängig von der Frequenz muss z.B. bei 80 Hz eine effektive Auslenkung von 10 mm geleistet werden. Dies entspricht einem Hub (Spitz-Spitze) von 28 mm. Der Zusammenhang ist in Abbildung 2 grafisch dargestellt.

Ein Demonstrationsaufbau des Hubkolbensystems mit einem Tauchspulenaktor als Kolbenantrieb ist in Abbildung 3 dargestellt. Zur Aufnahme dieses Antriebs wurde eine Trägerkonstruktion entwickelt. Um das Magnetfeld im Tauchspulenaktor nicht zu beeinflussen, wurden nur nichtmagnetische Materialien verwendet, wie Aluminium und Edelstahl. Ein 30 mm langes Drahtseil dient als Verbindung zwischen Kolben und Antrieb. Der

Tauchspulenaktor hat eine Nennkraft von 23 N und einen Hub von 5 mm. Die vom Antrieb bewegte Gesamtmasse beträgt 220 g. Im Laborversuch wurde mit dem Hubkolbenaktuator bei 80 Hz ein Pegel von 135 dB erreicht, was mit dem rechnerischen maximalen Pegel übereinstimmt. Um Schalldruckpegel von 160 dB zu erreichen muss daher die bewegte Gesamtmasse weiter reduziert werden.



**Abbildung 3:** Hubkolbenaktuator als alternative Schallquelle bestehend aus einem Kolben, Zylinder und einer Tauchspule als Antrieb.

Die Eignung des Hubkolbensystems als aktive Schallquelle wurde in einem einfachen Feedforward-Systems mit Sinusanregung überprüft. Die dabei durchschnittlich erreichte aktive Dämpfung lag im Bereich von 32 Hz bis 630 Hz bei 20 dB.

## Zusammenfassung

Es wurde ein Abgasschalldämpfer aufgebaut, bei dem die aktiven Komponenten durch eine thermische Trennung geschützt sind und gleichzeitig eine ausreichende Kopplung an das Schallfeld des Abgasstranges bestehen bleibt. Bei Messungen im Abgasstrang eines großen Dieselmotors konnte die akustische Wirksamkeit, wie sie am Schalldämpfer-Prüfstand des IBP gemessen wurde, nicht erreicht werden. Die thermische Trennung der aktiven Komponenten war erfolgreich.

Auf der Suche nach Aktuatoren, die bei den hohen Temperaturen im Abgassystem dauerhaft als Lautsprecher fungieren können, wurde ein neuartiges Hubkolbensystem entwickelt und getestet. Es konnte ein Demonstrationsaufbau aus einem Zylinder, Kolben und Tauchspulenaktor hergestellt und die akustische Eignung als aktive Komponente anschaulich demonstriert werden. Um Schalldruckpegel von 160 dB zu erreichen muss die bewegte Masse weiter reduziert werden.

## Danksagung

Die hier präsentierten Ergebnisse entstanden in einem Projekt, gefördert durch das Programm „Lebensgrundlage Umwelt und ihre Sicherung“ mit Mitteln des Landes Baden-Württemberg (BWPLUS).

## Literatur

- [1] Leistner, P. et al.: Schallabsorber und Schalldämpfer. Teil 4: Absorber mit aktiven Komponenten. Bauphysik 24 (2002), S.361-367.