

Übertragungsverhalten von Flex-Elementen in Abgasanlagen bei Frequenzen bis 5000Hz

Hans-Jürgen Kammer¹, Dr.-Ing. Manfred Fallen¹, Dr.-Ing. Jan-Friedrich Brand²

¹ TU Kaiserslautern, Gottlieb-Daimler-Straße, 67663 Kaiserslautern, Email: hjkammer@rhrk.uni-kl.de

² Tenneco, Heinrich Gillet GmbH, 67477 Edenkoben, Email: JBrand@Tenneco.com

Einleitung

Flexible Elemente werden in Abgasanlagen von Straßenfahrzeugen eingesetzt, um Bewegungen des Motorblocks von der Abgasanlage zu trennen. Die Bauteile werden bisher auf tieffrequente Schwingungen deutlich unterhalb von 500 Hz ausgelegt. Das akustische Übertragungsverhalten oberhalb dieser Frequenz ist noch nicht näher untersucht worden. Bedingt durch zunehmende Anteile an höherfrequenten Schwingungen, z.B. durch Verwendung von Turboladern mit größeren Toleranzbreiten oder Einspritzsystemen bei direkt einspritzenden Benzinmotoren, ist es nötig, diese Bauteile akustisch zu beschreiben. Da bisher keine geeigneten theoretischen Modelle existieren, wird das Betriebsverhalten der Bauteile experimentell beschrieben. Ziel ist es, durch Kenntnis des akustischen Übertragungsverhaltens bereits in einer frühen Entwicklungsphase die Konstruktion so auszulegen, dass die Ausbreitung von Körperschall verhindert wird. Somit sollen die Anzahl von Prototypen, Tests und damit Entwicklungszeiten reduziert werden. Gezeigt wird dazu ein neuer, innovativer Prüfstand, der das akustische Übertragungsverhalten der Flex-Elemente unabhängig von den Randbedingungen bis 5000 Hz beschreibt.

Messtheorie

Das Übertragungsverhalten von Entkoppelementen wird allgemein durch Steifigkeitsmatrizen, wie in Gleichung 1 angegeben, beschrieben [2].

$$\mathbf{F} = [k] \mathbf{u} \quad (1)$$

Hierbei ist \mathbf{F} ein Vektor mit Kräften und Momenten, an den Anschlussstellen des Entkoppelementes, \mathbf{u} enthält Verschiebungen und Drehwinkel. Die Matrix $[k]$ enthält 12x12 komplexe und frequenzabhängige Steifigkeiten. Obwohl der Zusammenhang zwischen Kraft und Verformung bei den meisten Entkoppelementen nicht-linear ist, kann für die akustisch relevanten Schwingungen ein lineares Übertragungsverhalten in guter Näherung angenommen werden. Aufgrund von Symmetrie und Reziprozität der Entkoppelemente ist eine Bestimmung der kompletten Matrix $[k]$ nicht erforderlich. Betrachtet man die Entkopplung einzelner Wellenarten, so ergeben sich weitere Vereinfachungen. Das Übertragungsverhalten kann bei rein translatorischer Bewegung in Längsrichtung durch einen Vierpol beschrieben werden [1]. Im Fall der Biegewelle treten neben Kräften und Translationen auch Momente und Rotationen auf, es handelt sich somit um einen Achtpol.

Mit Hilfe der Übertragungsmatrizen können Dämmmaße berechnet werden. Das Verhältnis zwischen Eingangsschnelle und der Schnelle am Ausgang des Prüflings wird nach [5] als Durchgangsdämmung bezeichnet:

$$D_{dv}(j\omega) = \frac{v_1}{v_2}(j\omega) \quad (2)$$

Zur Beschreibung der Wirksamkeit eines Entkoppelementes eignet sich die Einfügedämmung:

$$D_e(j\omega) = \frac{v_2}{v_2'}(j\omega) \quad (3)$$

Hierbei ist v_2 die Schnelle an der Anschlussstelle bei direkter Anbindung des Ausgangs am Eingang und v_2' die Schnelle mit eingebautem Entkoppelement. Aufgrund der einfacheren Berechnung wird im Zusammenhang mit Schwingungsisolatoren die Durchgangsdämmung häufiger verwendet.

Prüfstand

Bei direkten Verfahren zur Messung von Steifigkeiten, werden die Eingangsseite des Elementes angeregt und Kräfte und Beschleunigungen an Ein- und Ausgangsseite gemessen. Da im höheren, akustisch relevanten Frequenzbereich keine fixierte Lagerung der Ausgangsseite durch Befestigung an einem starren Fundament möglich ist [3], wird ein indirektes Messverfahren in Anlehnung an [2] verwendet.

Der Prüfling ist hierbei ein- und ausgangsseitig mit Sperrmassen abgeschlossen, deren akustische Impedanz bekannt ist. Diese Impedanzmessköpfe verhalten sich noch über den Frequenzbereich der Messung hinaus wie starre Massen. Dadurch ist der Einfluss der Messköpfe auf das Messergebnis minimiert. Wie in Abbildung 1 dargestellt, wird die statische Last des Prüflings von Gummiexpandern getragen, während die dynamische Anregung durch einen elektrodynamischen Shaker erfolgt. Längs-, Torsions- und Biegewellen können angeregt werden. Es befinden sich jeweils zwei symmetrisch angebrachte Beschleunigungsaufnehmer auf den Impedanzmessköpfen. Durch Addition bzw. Subtraktion der Signale können Linearbewegungen wie auch Rotationen erfasst werden. Dies ist z.B. bei der Messung der Längsdämmung vorteilhaft, da so unerwünschte Kippbewegungen der Messköpfe unterdrückt werden.

Damit die Entkoppelemente unter Betriebsbedingungen untersucht werden können, ist eine Heizvorrichtung im Prüfstand integriert, womit die Erhitzung durch das Abgas simuliert wird.

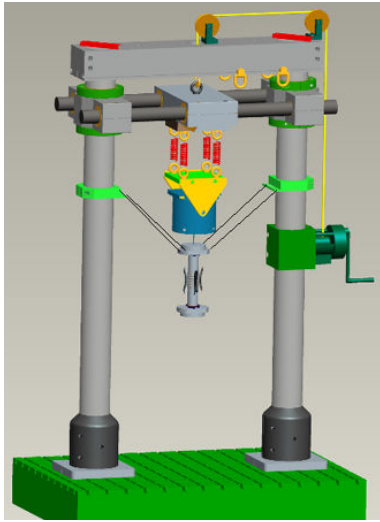


Abbildung 1: Prüfstand mit Impedanzmessköpfen und Entkoppelelement. Hier: Anregung von Längswellen.

Messergebnisse

Abbildung 2 zeigt die gemessenen Durchgangsdämmungen verschiedener Entkoppelelemente in Längsrichtung. Im unteren Frequenzbereich verhalten sich die Entkoppelelemente wie masselose Federn, während im höheren Frequenzbereich Längsschwingungen auftreten. Es ist auffällig, dass auch das steife Entkoppelelement (blaue Kurve) im Frequenzbereich über 1 kHz eine Entkoppelwirkung zeigt, die mit der von weicheren Elementen vergleichbar ist. Hierbei muss beachtet werden, dass die Durchgangsdämmung auch von der mechanischen Impedanz der angeschlossenen Struktur abhängt. Diese Eingangsimpedanz der Abgasanlage kann experimentell [4] oder auch rechnerisch durch eine FE-Berechnung bestimmt werden.

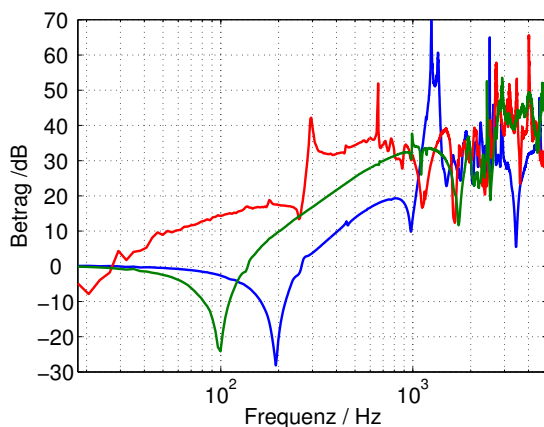


Abbildung 2: Am Prüfstand gemessene Durchgangsdämmungen. rot: weiches Flex-Element; grün: kurzer Metallbalg mit Dämpfungsring; blau: steifes Flex-Element

Zusammenfassung

Bisher wurden von Entkoppelelementen lediglich statische Messungen der Steifigkeiten bzw. dynami-

sche Messungen im Frequenzbereich bis maximal 500 Hz gemacht. Die akustische Entkoppelwirkung von Flex-Elementen kann mit dem hier vorgestellten Prüfstand fahrzeugunabhängig ermittelt werden. Die Möglichkeit der Quantifizierung relevanter akustischer Übertragungseigenschaften bis 5 kHz stellt eine Grundlage bei der Bewertung der Wirksamkeit von Entkoppelelementen dar.

Es wurden Messungen mit Entkoppelelementen gemacht, wie sie derzeit in Kfz-Abgasanlagen eingesetzt werden. Hierbei zeigte sich, dass selbst steife Elemente eine gewisse Dämmung im höherfrequenten Bereich aufweisen, der gerade im Hinblick auf die Körperschallentkopplung von Turboladergeräuschen relevant ist.

Literatur

- [1] Brand, J.-F., Fallen, M., Kammer, H.-J.: Future technologies against turbocharger noise transferred to exhaust systems, SAE Paper 2008-01-0891
- [2] DIN EN ISO 10846, Laborverfahren zur Messung der vibro-akustischen Transfereigenschaften elastischer Elemente
- [3] Cremer, L., Heckl, M.: Körperschall, 2. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 1973
- [4] Henn, H., Sinamari, R. Gh., Fallen, M.: Ingenieurakustik, Vieweg-Buchverlag, Würzburg, 3. Auflage, 2001
- [5] E. Seidel: Wirksamkeit von Konstruktionen zur Schwingungs- und Körperschalldämmung in Maschinen und Geräten, Forschungsbericht der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Fb 852