

Verbesserung der Schalldämmwirkung von Doppelschalen durch aktive Minderung des Hohlraumfeldes

A. Jakob, M. Möser, Institut für Technische Akustik, TU Berlin, Einsteinufer 25, D-10587 Berlin

Einleitung Zweischalige Konstruktionen, wie sie z.B. als Doppelglasfenster, Flugzeugrümpfe, Spritzwände in Kraftfahrzeugen, etc. Verwendung finden, bieten für mittlere und hohe Frequenzen meist eine ausreichende Schalldämmung. Konventionelle Maßnahmen zur Erhöhung der Schalldämmung für tiefere Frequenzen setzen im allgemeinen einen erhöhten Masseaufwand oder eine Dickenvergrößerung jeweils in beträchtlichem Umfang voraus. Ein alternativer Ansatz, dieses Ziel zu erreichen, besteht in aktiven Maßnahmen. In diesem Vortrag wird über Meßergebnisse berichtet, die an einem Versuchsaufbau — bestehend aus einem Doppelglasfenster — gewonnen wurden. Zur Verbesserung der Schalldämmung wurde das Hohlraum-Schallfeld mit Hilfe von Mikrofonen und Lautsprechern zwischen den Scheiben minimiert und die Verbesserung der Schalldämmung gemessen.

Versuchsaufbau Abb. 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau des verwendeten aktiven Doppelfensters. Die Mikrofone und Lautsprecher wurden in den Ecken des Hohlraums plaziert, da dort der größte Schalldruck erwartet werden kann und im Falle der Lautsprecher die Sicht durch das Fenster nicht behindert werden sollte. Die Lautsprecher wurden zudem paarweise verwendet um neben einer vergrößerten abstrahlenden Fläche verschiedene Lautsprecherkombinationen testen zu können. So können z.B. die Lautsprecher an je einer Ecke oder an je einer Seite parallelgeschaltet werden, wodurch sich prinzipiell andere Moden besonders gut oder schlecht anregen lassen. Das aktive Fenster wurde in den Fensterprüfstand des Institutes für Technische Akustik eingebaut.

Neben der aktiven Beeinflussung des Hohlraumfeldes ist natürlich auch die direkte Beeinflussung der Scheiben durch Schwingungserreger denkbar. Aufgrund der Tatsache, dass die ersten Resonanzfrequenzen der verwendeten Scheiben bereits bei sehr tiefen Frequenzen (unter 10Hz) und im Gegensatz dazu die untersten Hohlraum-Resonanzen erst ab ca. 158Hz auftreten, also die modale Dichte des Hohlraumfeldes deutlich geringer ist als die der Scheiben, erscheint die Minimierung des Hohlraumfeldes die vielversprechendere Maßnahme zu sein. Dies gilt insbesondere im hier interessierenden Frequenzbereich der Tonpilsresonanz, die bei diesem Versuchsaufbau bei 85Hz liegt.

Erste Messungen mit monofrequenter Anregung ergaben, dass besonders hohe Verbesserungen der Schalldämmung nur im Bereich der Tonpilsresonanz des vorliegenden Masse-Feder-Masse-Systems (Platte-Luft-hohlraum-Platte) zu erzielen sind. Diese Messungen, die in Feedforward-Anordnung durchgeführt wurden, sind in [1] dokumentiert. Zusammengefasst lässt sich feststellen, dass mit allen Lautsprecheranordnungen das Schalldämmmaß in der Tonpilsresonanz verbessert werden kann und mit den Lautsprechern in den Ecken auch in allen Hohlraumresonanzen. Mit den Lautsprecherpaaren an den Seiten lässt sich das Schalldämmmaß natürlich nur in den Resonanzen erhöhen, deren zugehörige Moden angeregt werden können. Die etwas selektivere Anregung der Moden durch die Seitenlautsprecher hat zur Folge, dass die Verbesserungen teilweise höher ausfallen als durch die Eckenlautsprecher, da das „Übersprechen“ in höhere Moden (engl.: control spillover) geringer ausfällt.

Verwendeter Regler Bei einem praktischen Einsatz des aktiven Fensters — gedacht ist an die Verbesserung der Abschottung gegen Verkehrslärm (Straße, Schiene, Luft) — kommt man um eine Realisierung als Feedback-Regler kaum herum, da

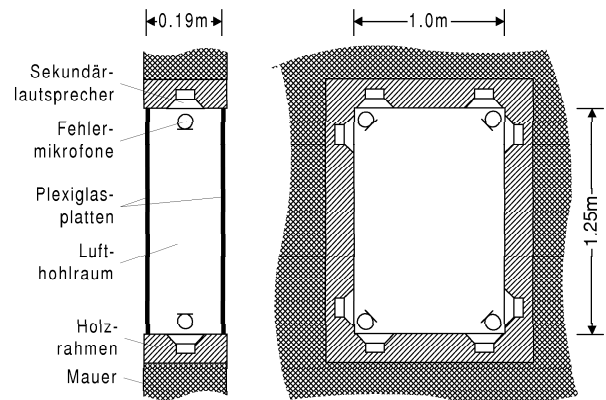


Abbildung 1: Aufbau des aktiven Fensters

sich die Gewinnung eines Referenzsignals als schwierig erweisen dürfte und einer kompakten Bauweise des Fensters mit integrierter Sensorik und Aktorik widersprechen würde. Allenfalls in den äußeren Rahmen ließen sich Referenzmikrofone einbauen, die dann aber möglichst gut von den Lautsprechern im Innern des Fensters entkoppelt werden müßten und dann außerdem noch Wind und Wetter ausgesetzt wären.

Feedback-Regler werden i.a. nach Verfahren der Regelungstechnik als Optimal-Regler berechnet und sind mit Begriffen wie LQG und H_∞ verbunden. Diese Art von Reglern wird in der aktiven Schwingungsminderung mit Erfolg eingesetzt. Die aktive Kontrolle eines Doppelfensters mit einem robusten Regler wurde von Pietrzko und Kaiser [2] vorgestellt.

Eine weitere Möglichkeit zum Entwurf von Feedback-Reglern für die aktive Lärmbekämpfung ist das „Vortäuschen“ eines Feedforward-Systems durch das wiederum aus der Regelungstechnik bekannte Internal Model Control Verfahren (IMC). Hierbei werden die Fehlersignale und die Stellgrößen dazu verwendet bei bekannten Sekundärstrecken auf die eigentlichen Störsignale zurückzurechnen und diese als Referenzsignale zu verwenden. Für dieses so erzeugte Quasi-Feedforward-System können dann die für Feedforward-Systeme bekannten adaptiven Algorithmen wie z.B. der filtered-X LMS-Algorithmus verwendet werden. In z.B. [3] und [4] ist dieses Verfahren ausführlich beschrieben. Das Verfahren ist relativ einfach anzuwenden, da weder eine Modellbildung, die im Falle eines akustischen Systems von recht hoher Ordnung sein kann, noch ein Reglerentwurf durchzuführen ist. Die Schätzung der Sekundärstrecken kann wie üblich z.B. mit dem LMS-Algorithmus im Zeitbereich durchgeführt werden. Dadurch ergibt sich auch die Möglichkeit auf Änderungen der Umgebungsparameter wie Temperatur etc. mit einer on-line Sekundärstreckenschätzung zu reagieren. Der Hauptnachteil des Verfahrens ist — insbesondere bei mehreren Fehlersignalen und Sekundärquellen — der hohe Rechenaufwand, der in Echtzeit auszuführen ist.

Messungen Im Rahmen der Messungen zu [1] konnte festgestellt werden, dass mit einem einkanaligen Regler gute Erfolge erzielt werden können, wenn nur der Bereich um die Tonpilsresonanz von Interesse ist: Werden die vier Lautsprecher an z.B. den zwei gegenüberliegenden vertikalen Seiten parallel geschaltet, können nur Moden angeregt werden, die bzgl. der vertikalen Mittellinie des Fensters symmetrisch sind. Abb. 2 zeigt die sich ergebenden Pegeldifferenzen bei monofrequenter Anregung und aktiver Kontrolle in Feedforward-Anordnung. Dort