

Aktive Lärminderung am Spalt eines gekippten Fensters

C. Ohly, A. Jakob, M. Möser

Institut für Technische Akustik, Technische Universität Berlin, Einsteinufer 25, D-10587 Berlin
christian.ohly@tu-berlin.de

Einleitung

„Das beste Schallschutzfenster nützt nichts, wenn es geöffnet wird“. Auch nur gekippte Fenster bieten lediglich eine Schalldämmung von 10-15dB. Das war der Ausgangspunkt für die hier vorgestellte Arbeit, deren Ziel es war, mit aktiven Methoden zu versuchen, den Schalldurchgang durch den Spalt eines gekippten Fensters zu reduzieren. An einem handelsüblichen Dreh-Kippfenster sollte durch geeignet angesteuerte Lautsprecher das Schallfeld im Spalt verringert werden, mit dem Ziel, dass die ansonsten geringere Schalldämmung des Spaltes verbessert wird.

Versuchsaufbau

Das geschlossene Fenster wies ein Schalldämmmaß von $R'_{w} = 32dB$ auf. In die Fensterlaibung wurden Lautsprecher eingebaut, wahlweise vier oder acht Lautsprecher am oberen Spalt, an den beiden Seiten jeweils ein bis zwei Lautsprecher. Abb. 1 zeigt ein Foto des in den Fensterprüfstand eingebauten Fensters. Neben den Lautsprechern sind die am Fensterrahmen angebrachten Fehlermikrofone erkennbar. Zur Steuerung wurde eine Feedforwardanordnung mit einer eingestellten Abtastfrequenz von 800Hz verwendet. Wegen des Auftretens stehender Wellen im Senderaum wurde das Referenzsignal direkt vom Lautsprechereingang abgegriffen. Bei ersten Versuchen waren die Seitenspalten mit Holzbrettern abgedeckt. Es wurden verschiedene Lautsprecher- und Mikrofonskombinationen getestet, hierbei wurden z.T. Lautsprecher parallel angesteuert oder Mikrofonsignale summiert.

Versuchsdurchführung

Bei den Versuchen wurde der Lautsprecher im Senderaum mit einem Primärsignal angesteuert. Im Empfangsraum wurde der mittlere Schalldruckpegel gemessen. Es wurde jeweils eine Messung aktiv, d.h. bei eingeschaltetem aktivem System und eine Messung passiv bei abgeschaltetem System durchgeführt. Das Verbesserungsmaß wurde aus der Differenz der beiden Schalldruckpegel (in dB) bestimmt.

Zunächst wurden Versuche mit Sinesweep im Frequenzbereich von 50-400Hz durchgeführt. Sinesweep-Messungen haben den Vorteil, dass sie im jeweiligen Moment monofrequent sind. Außerdem konnte eine Wartezeit bei der jeweiligen Frequenz eingestellt werden, die dem System eine optimale Anpassung an die akustischen Gegebenheiten ermöglichte. Dadurch konnte ein geräteunabhängiges Optimum bestimmt werden.

Es wurden Versuche mit verschiedenen Konfigurationen durchgeführt. Schon mit einer einfachen 1x1-Konfiguration (ein Eingangskanal mit vier summierten Mikrofonsignalen und ein Ausgangskanal, der vier Lautsprecher parallel ansteuert) wurden brauchbare Ergebnisse erzielt. Mit Zunahme der separat angesteuerten Kanäle (auf bis zu fünf Eingangskanäle und vier Ausgangskanäle) konnten höhere Moden besser aktiv minimiert werden und dementsprechend im höheren Fre-



Abbildung 1: Versuchsaufbau im Fensterprüfstand.

quenzbereich höhere Verbesserungsmaße erzielt werden.

Die besten Resultate bei geöffneten Spalten an den Seiten wurden mit einer Konfiguration aus fünf Fehlermikrofonen und sechs Lautsprechern erzielt. Es wurden an den Seiten die beiden oberen Lautsprecher verwendet. Weil nur vier Ausgangskanäle vorhanden waren, wurden an der oberen Spaltöffnung jeweils zwei Lautsprecher parallel angesteuert.

Messergebnisse

In Abb. 2 sind die Ergebnisse dieser Konfiguration mit sechs Lautsprechern und fünf Mikrofonen dargestellt.

In der oberen Bildhälfte sind die gemessenen Sinesweep-Kurven als Powerspektren dargestellt. Die obere schwarze Kurve zeigt die Messung ohne aktives System, die untere rote Kurve die Messung mit aktivem System. In der unteren Abbildungshälfte ist das Verbesserungsmaß dargestellt. Im unteren Frequenzbereich bis etwa 120Hz gibt es einige Spitzenreduktionen um 20dB. Ansonsten werden im gesamten Messbereich bis etwa 350Hz häufig VM in der Größenordnung von 10dB erreicht. Oberhalb von 350Hz werden die Grenzen des Systems sichtbar – hier sinken dann die VM und erreichen gegen 400Hz auch negative VM. Diese Grenze ist allerdings mit durch das verwendete digitale System bedingt.

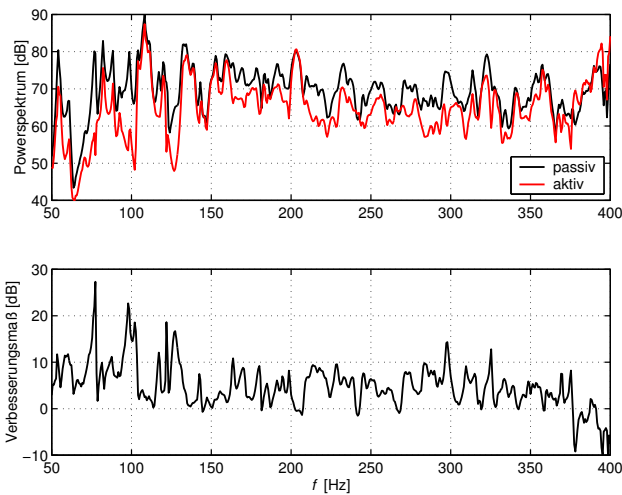


Abbildung 2: Messung mit Sinesweep, Feedforward 5 Eingangskanäle, 4 Ausgangskanäle, insgesamt 6 Lautsprecher, zwei Kanäle steuern jeweils zwei Lautsprecher im oberen Schlitz parallel an

Verbesserungsmaße um 0dB treten auch bei ca. 205Hz auf. Hier wurde die Tonpilzresonanz des Doppelglasfensters lokalisiert. Es zeigte sich, dass der Einfluss des Schalldurchgangs durch das Fenster gegenüber dem Schalldurchgang durch den Fensterspalt nicht zu vernachlässigen ist. Deswegen wurde in einem Versuch der Schalldurchgang durch das Fensterglas mit einer dicken aufgeklemmten Holzplatte weitgehend unterbunden. Schon durch die Holzplatte sanken die Schalldruckpegel im Bereich zwischen 150 und 250Hz, zu sehen im oberen Teil von Abb. 3. Im unteren Teil der Abbildung sind die Verbesserungsmaße dargestellt. Sie zeigen allein den Anteil des aktiven Systems. Durch Auflegen der Holzplatte konnte nun auch das aktive System, bisher gestört durch den Schalldurchgang im Fensterglas, besser arbeiten und nun in diesem Frequenzbereich höhere bzw. bei der Tonpilzresonanz (grüner Pfeil) überhaupt positive Verbesserungsmaße erzielen.

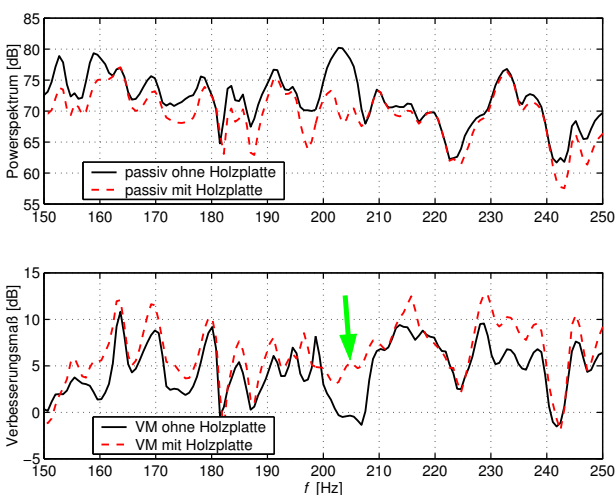


Abbildung 3: mit und ohne Holzplatte – Vergleich passiv und VM

Weiterhin wurden Messungen mit weißem Rauschen und Verkehrsgeräuschen durchgeführt. In Abb. 4 und 5 sind die jeweiligen Terzspektren abgebildet. Da es sich hier um schnell verändernde Signale handelt, treten hier die Grenzen des

aktiven Systems stärker zu Tage als bei den Sinesweep-Messungen. Wegen der störenden Tonpilzresonanz ergeben sich in der Terz bei 200Hz kaum Reduktionen. In den umliegenden Terzen werden VM um 5dB erreicht. Die Summenverbesserungsmaße liegen in der Größenordnung von 3dB.

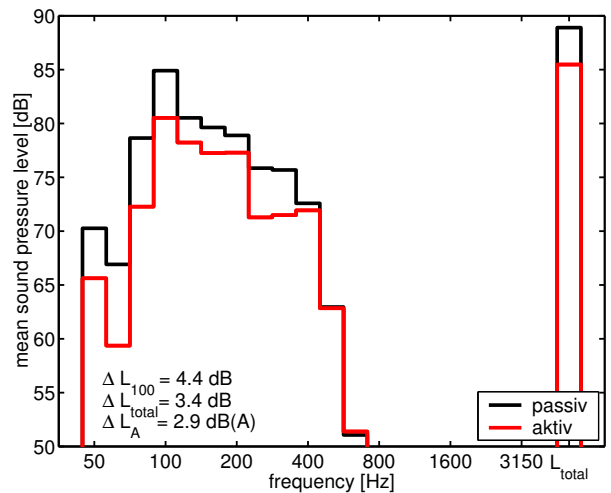


Abbildung 4: Anregung mit Rauschen.

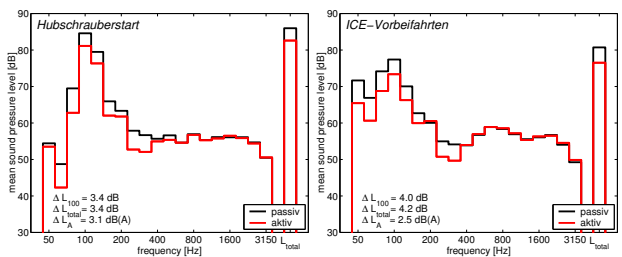


Abbildung 5: Anregung mit Verkehrsgeräuschen.

Zusammenfassung

Der Schalldurchgang im Fensterspalt eines Dreh-Kippfensters lässt sich mit aktiven Mitteln verringern. Schon mit einfachen Konfigurationen können brauchbare Ergebnisse erzielt werden. Durch geeignet angesteuerte Lautsprecher und Mikrofone am geöffneten Fensterspalt konnten bei einzelnen Frequenzen Verbesserungsmaße von über 20dB erreicht werden. Bei weißem Rauschen und Verkehrsgeräuschen konnten in einzelnen Terzen Verbesserungsmaße über 5dB und Summenverbesserungsmaße in der Größenordnung von 3dB erzielt werden. Es gab praktisch keine negativen Verbesserungsmaße.

Auch bei einem gekippten Fenster wirkt sich eine gute Schallsolation des eigentlichen Fensters positiv aus. Diese könnte erfolgen durch Verschiebung der Tonpilzresonanz in einen für den Schallschutz irrelevanten Bereich oder auch durch aktive Maßnahmen im Hohlraum zwischen den Doppelglasscheiben s.a. [1] (evtl. mit demselben aktiven System). Die aktive Minimierung ist v.a. im tieffrequenten Bereich wirksam. Für höhere Frequenzen kann eine Schallreduktion durch geeignete Absorbermaterialien in der Fensterlaibung als Ergänzung sinnvoll sein.

Literatur

- [1] A. Jakob, M. Möser, and C. Ohly. Ein aktives Doppelglasfenster mit geringem Scheibenabstand. In *Fortschritte der Akustik — DAGA 2002*, 2002.