



Doctoral Thesis

## Active control of sound transmission through a double wall structure

**Author(s):**

Kaiser, Oliver Erwin

**Publication Date:**

2001

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004131944> →

**Rights / License:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH No. 14109

# Active Control of Sound Transmission through a Double Wall Structure

A dissertation submitted to the  
Swiss Federal Institute of Technology (ETH)  
Zurich

for the degree of  
Dr. sc. techn.

presented by  
**Oliver Erwin Kaiser**  
Dipl. El.-Ing. ETH  
born June 9, 1970  
from Fischingen TG

accepted on the recommendation of  
Prof. Manfred Morari, examiner  
Dr. Stanislaw Pietrzko, co-examiner

2001

# Abstract

One way to tackle the control of stochastic noise in three dimensions is to reduce the sound transmission to the zone of interest. In buildings, windows are often the weak link in protecting the interior from outside noise. In particular, double glazed windows have a poor sound insulation at low frequency around the mass-air-mass resonance (double wall resonance). Since the passive means for windows are exhausted, an active controller that increases the transmission loss in the low frequency range is an attractive approach to reduce the noise level in buildings.

Previously suggested feedforward controllers need reference microphones to measure the disturbance outside and error microphones for the adaptation somewhere in the room. For a real window this is unpractical or even infeasible. These limitations can be overcome with the feedback controller presented here, that only uses sensors and actuators in the cavity of the double glazed window.

For the modeling, the system is decomposed into five subsystems that are governed by coupled partial differential equations. These equations are solved using modal expansion. Because the coupling between the subsystems can be calculated as well, it is possible to assemble the subsystems into one single state space model.

The eigenfrequencies and mode shapes predicted by the model are validated using a laser vibrometer. In addition, transfer functions measured on the structure are compared to those calculated from the model. In both cases, the measurement and the prediction agree

very well.

From the validated model, design guidelines are derived. For example, it is shown that there are some uncontrollable modes if the double glazed window is symmetrical. It is confirmed experimentally that the performance of an active controller is doubled if symmetry in the construction of the double wall panel is avoided. The model is also used to optimize the sensor and actuator locations.

Four different controllers – two feedforward and two feedback strategies – are designed, implemented and compared. With feedback the noise transmission around the mass-air-mass resonance can be reduced by 13 dB, compared to 18 dB with a feedforward controller.

# Zusammenfassung

Eine Möglichkeit, Lärm in räumlichen Situationen zu reduzieren, besteht darin, die Schallübertragung in den Raum zu vermindern. Bei Gebäuden sind Fenster oft das schwächste Glied der Schallisolation. Insbesondere haben Doppelverglasungsfenster eine schlechte Schallisolation bei tiefen Frequenzen im Bereich der Doppelwandresonanz. Da die passiven Isolationsmöglichkeiten ausgeschöpft sind, ist ein aktiver Regler, der die Schallisolation bei tiefen Frequenzen erhöht, eine interessante Möglichkeit, um den Lärm in Gebäuden zu reduzieren.

Die in der aktiven Lärmunterdrückung üblichen Feedforward-Regler benötigen Mikrophone im Freien zur Messung der Störung und Mikrophone im Innern für die Adaptation, was unpraktisch und in vielen Fällen auch nicht machbar ist. Diese Probleme können mit dem hier vorgeschlagenen Feedback-Regler überwunden werden, denn es werden nur Sensoren und Aktoren im Zwischenraum zwischen den Scheiben benötigt.

Für die Modellierung wurde das System in fünf Subsysteme aufgeteilt. Das Verhalten dieser Subsysteme kann durch gekoppelte partielle Differentialgleichungen beschrieben werden, die mit einem Modalansatz gelöst werden können. Weil auch die Kopplung zwischen den Subsystemen bestimmt werden können, ist es möglich, ein Modell des Gesamtsystems in Zustandsraumdarstellung herzuleiten.

Die vom Modell vorausgesagten Eigenfrequenzen und Modenformen wurden mit einem Laser-Vibrometer validiert. Zusätzlich wurden Übertragungsfunktionen auf der Struktur

gemessen und mit jenen des Modells verglichen. In beiden Fällen ist die Übereinstimmung sehr gut.

Ausgehend vom validierten Modell konnten Konstruktionshinweise abgeleitet werden. Beispielsweise konnte gezeigt werden, dass nicht-steuerbare Moden existieren, wenn die Doppelverglasung symmetrisch gebaut ist. Es konnte experimentell gezeigt werden, dass ein Regler etwa die doppelte Regelgüte erreicht, wenn das Fenster asymmetrisch ist. Basierend auf dem Modell wurden auch die Positionen der Sensoren und Aktoren optimiert.

Vier verschiedene Regler wurden entworfen und implementiert, zwei waren Feedforward-Regler, und zwei basierten auf Feedback. Mit dem besten Feedback-Regler konnte die Schallisolation im Bereich der Doppelwandresonanz um 13 dB erhöht werden, mit dem Feedforward gar um 18 dB.