

Ein aktives Doppelglas-Fenster mit geringem Scheibenabstand

A. Jakob, M. Möser, C. Ohly

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

Einleitung In den letzten Jahren wurde ein Doppelglas-Fenster vorgestellt, dessen Schalldämmung durch geeignet angesteuerte Lautsprecher und Mikrofone im Hohlraum zwischen den Scheiben verbessert wurde [1, 2, 3, 4]. Vor allem im Bereich der Tonpflanzresonanz des Doppelglas-Fensters konnten Verbesserungen von mehr als 10dB gemessen werden, je nach Art des anregenden Schallsignals. Bedingt durch die recht großen verwendeten Lautsprecher betrug der Abstand der verwendeten Plexiglas-Scheiben 20cm. An einem neuen Versuchsaufbau wurde nun untersucht, ob sich die Ergebnisse auch bei etwas praxisnäheren Gegebenheiten bestätigen lassen.

Versuchsaufbau Es wurde ein Fenster konstruiert, das aus zwei 4mm Fensterglasscheiben besteht, und durch den Einsatz von sehr schmalen Lautsprechern mit einem Scheibenabstand von nur 4cm auskommt. Abb. 1 zeigt ein Foto des in den Fensterprüfstand eingebauten Fensters. Die Quer-Abmessungen der Scheiben betragen 100×125 cm. Eine Messung der Schalldämmung des passiven Fensters, also ohne aktive Maßnahme, zeigte, dass der Einbruch des Schalldämmmaßes durch die Tonpflanzresonanz des Fensters bei ca. 125Hz liegt. Die Schalldämmung in der 125Hz-Terz beträgt nur ca. 11dB und das bewertete Schalldämmmaß $R'_{w'}=33$ dB. In der Abb. 1 sind deutlich die eingebauten Lautsprecher zu erkennen, von denen jeweils 3 Stück pro Seite eingebaut wurden. Von den insgesamt 12 eingebauten Lautsprechern wurden aber für die hier vorgestellten Messungen nur 9 verwendet, die in je drei parallel geschaltete Gruppen eingeteilt wurden. Von den 4 vorhandenen Mikrofonen wurden 2 summiert, so dass ebenfalls drei Gruppen entstanden, also insgesamt ein System mit 3 Ein- und 3 Ausgängen. Es wurde kein zusätzliches Referenzsignal verwendet sondern eine Feedback-Anordnung mit adaptiven Filtern und dem bekannten multiple error LMS-Algorithmus wie in [5]. Die Abtastfrequenz wurde auf 800Hz eingestellt, woraus sich eine notwendige Anzahl der FIR-Filterkoeffizienten für die Sekundärstreckenfilter von 100 und damit letztlich eine — durch die Möglichkeiten der verwendeten Controller-Hardware vorgegebene — maximal mögliche Anzahl an Koeffizienten für die 9 adaptiven Filter von 62 ergab.

Verwendete Lautsprecher Die Auswahl der Lautsprecher erfolgte hauptsächlich anhand der Abmessungen. Es sollten möglichst schmale und zugleich möglichst lange Lautsprecher sein, um einen geringen Scheibenabstand mit einer möglichst großen schallabstrahlenden



Abbildung 1: Aktives Fenster im Fensterprüfstand.

Membran zu vereinen. So fiel die Wahl auf die in Abb. 2 gezeigten Lautsprecher mit den Abmessungen $130 \text{mm} \times 33 \text{mm} \times 33 \text{mm}$. Der Hersteller gibt eine Leistung von 2W an 16Ω an sowie einen Frequenzbereich von 180-17000Hz. Der Preis eines solchen Lautsprechers beträgt im Versandhandel 1,- Euro pro Stück.

Der angegebene Frequenzbereich liegt also eigentlich deutlich über dem hier hauptsächlich angestrebten von ca. 125Hz. Dabei ist aber zu beachten, dass es natürlich einen großen Unterschied macht, ob ein Lautsprecher ins Freie oder in ein relativ kleines Volumen strahlt. In kleinen, schallhart abgeschlossenen Volumen können auch bei sehr tiefen Frequenzen recht hohe Schalldrücke erzeugt werden, so auch mit den vorliegenden Billig-Lautsprechern. Zwischen den Scheiben eines Fensters, die natürlich nicht als schallharte Berandung anzusehen sind, liegen die Verhältnisse noch etwas anders, so dass die Pegel bei tiefen Frequenzen, die der Lautsprecher erzeugen kann, zwischen dem Fall „Abstrahlung ins Freie“ und „Abstrahlung in eine kleine geschlossene Kiste“ liegen. Die Leistung der Lautsprecher schränkt natürlich den Einsatzbereich eines aktiven Fensters ein. Daher wurde versucht, mit möglichst hohen anregenden Pegeln zu arbeiten. Die folgenden Messungen wurden mit Summenpegeln durchgeführt, die direkt vor dem Fenster im Sende- raum, also quasi auf der Außenseite des Fensters, mehr als

95dB betragen. Dieser Testpegel sollte ausreichen um die meisten in der Praxis vorkommenden Fälle abzudecken. Bei noch höheren Pegeln waren Verzerrungen durch die Lautsprecher nicht mehr auszuschließen.



Abbildung 2: Verwendete Lautsprecher.

Messergebnisse Gemessen wurde nicht das bewertete Schalldämmmaß sondern die Pegelunterschiede des mittleren Schalldruckpegels im Empfangsraum zwischen den Fällen mit und ohne aktiver Maßnahme. Das bewertete Schalldämmmaß lässt sich sinnvoll nur für Rauschsignalanregung angeben. Gerade beim Einsatz adaptiver Filter ist der erzielbare Erfolg aber vom Signalcharakter abhängig. Auf breitbandige und/oder stark schwankende Geräusche kann sich der adaptive Algorithmus schlechter einstellen als auf schmalbandige und in ihrer Signalstatistik konstante Geräusche. Dies spiegelt sich klar in den Ergebnissen der Abb. 3 und 4 wieder. Bei Anregung mit Rauschen oder mit Autobahn-, Eisenbahn- und Geräuschen von Flugzeugen mit Strahltriebwerken konnten Verbesserungen von 3 bis 5dB(A) erzielt werden, in den „besten“ Terzen 7 bis 9dB. Bei dem ausgeprägt tonalen Lärm von Turboprop-Flugzeugen und Hubschraubern konnten Verbesserungen von 10 bis 16dB(A) erzielt werden, in den „besten“ Terzen 11 bis 18dB. In allen Fällen wurde ein Mittelungspegel über mehrere Minuten oder mehrere unterschiedliche Überflüge bzw. mehrere unterschiedliche Vorbeifahrten gemessen.

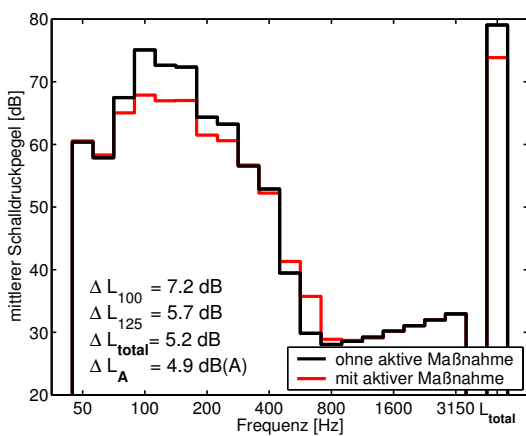


Abbildung 3: Anregung mit Rauschen.

Ausblick Es hat sich gezeigt, dass deutliche Verbesserungen der Schalldämmung im Bereich der Tonpilarresonanz eines Doppelglas-Fensters durch aktive Hohlraumbeschallung auch bei geringen Scheibenabständen mit einfachen Lautsprechern realisierbar sind. Die hohen Verbes-

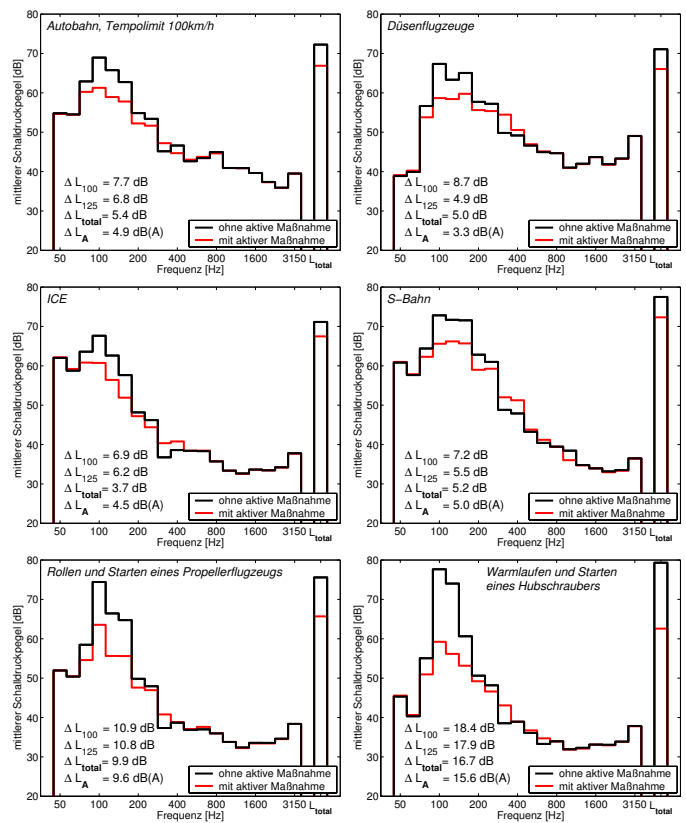


Abbildung 4: Anregung mit Verkehrsgeräuschen.

serungen bei schmalbandigen Geräuschen (vgl. auch [1]) zeigen das Potential, dass sozusagen in der Physik des Systems „aktives Fenster“ steckt, während die breitbandigen und stark schwankenden Geräusche eher die Grenzen der Signalverarbeitung aufdecken. Die Kausalität erfordert bei der vorliegenden Anwendung besonders kurze Verzögerungszeiten des Reglers. Bei dem zur Verfügung stehenden System ist diese bei der gewählten Abtastfrequenz ca. 5ms. Eine Verringerung dieser Totzeit kann bei instationären Geräuschen deutliche Verbesserungen bringen [5].

Diese Arbeit wird von der DFG im Rahmen des Projektes „Aktive Doppelschalen“ gefördert.

Literatur

- [1] A. Jakob, M. Möser. Enhancement of the transmission loss of double panels by means of actively controlling the cavity sound field. In *Active 99*, pages 363–374, 1999.
- [2] A. Jakob, M. Möser. Verbesserung der Schalldämmwirkung von Doppelschalen durch aktive Minderung des Hohlraumfeldes. In *Fortschritte der Akustik — DAGA 2000*, 2000.
- [3] A. Jakob, M. Möser. Active control of the cavity sound field of double panels with a feedback controller. In *7th International Congress on Sound and Vibration — ICSV7*, 2000.
- [4] A. Jakob, M. Möser. Aktive Verbesserung der Schalldämmung eines Doppelfensters: Vergleich zwischen Feedback- und Feedforward-Anordnungen. In *Fortschritte der Akustik — DAGA 2001*, 2001.
- [5] S.J. Elliott, T.J. Sutton, B. Rafaely, M. Johnson. Design of feedback controllers using a feedforward approach. In *Active 95*, pages 863–874, 1995.