



Aktive Schallreduktion in Wohn- und Schlafräumen

Beruhigt schlafen

Forscher an der Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg arbeiten an Systemen zur aktiven Lärmreduktion durch Gegen-schall, unter anderem zur Senkung von in Wohnungen wahrgenommenem Verkehrslärm. Der dafür notwendige rechenaufwendige adaptive Algo-rithmus wurde auf einem dSPACE DS1006 Processor Board implementiert.



Störfaktor Lärm

Der besonders in Städten allgegenwärtige Lärm erzeugt Stress und kann krank machen. In Wohnungen lässt sich Lärm zwar durch Dämmstoffe mindern, allerdings macht bereits ein zum Lüften gekipptes Fenster jede Dämmung wieder zunichte. Außerdem verliert das Dämmmaterial bei sinkender Schallfrequenz (d.h. tiefen Tönen bzw. steigender Wellenlänge) an Wirkung. Beispielsweise beträgt bei einer Bass-Schallwelle von 100 Hz (entspricht z.B. dem tiefen Brummen von Lkw-Dieselmotoren) die Wellenlänge bereits knapp 3,5 m. Derartige Schallwellen durchdringen spielend die handelsüblichen, wenige Zentimeter dicken Dämmschichten.

Genau für solche Szenarien entwickelt die Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg, gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU), ein aktives System zur Schallreduktion, das auch bei tiefen Frequenzen und geöffnetem Fenster funktioniert.

Lärmauslöschung durch Gegenschall

Die aktive Schallreduktion durch Gegenschall beruht auf dem Prinzip der destruktiven Interferenz, bei dem sich zwei im Gegentakt schwingende Wellen auslöschen (Abbildung 2). Der Gegenschall wird auf Basis der

Messungen von zwei Mikrofonen berechnet: Das erste misst das Lärm-signal nahe der Quelle, das zweite das resultierende Signal aus der Überlagerung von Lärm und Gegenschall. Eine komplette Auslöschung des Lärms ist dennoch kaum möglich, denn weil sich Schall in alle Richtungen ausbreitet, wird bereits die Messung des Lärms an der Quelle durch den Gegenschall gestört. Außerdem entsteht durch Reflexionen an den Wänden ein komplexes Schallfeld. Zu guter Letzt setzt sich Lärm in der Regel aus einem breiten Frequenzspektrum zusammen, für das sich kein exaktes Gegenschall-signal erzeugen lässt (allenfalls sehr lokal).

Aktive Schalldämmung für Wohn- und Schlafräume

Der Versuchsaufbau (Abbildung 3) des an der Helmut-Schmidt-Universität entwickelten Gegenschall-Systems besteht aus zwei Räumen: einem reflexionsarmen Außenraum mit den Lautsprechern für die Lärm- und Gegenschallerzeugung, und einem Innenraum mit den typischen akustischen Eigenschaften eines Wohnraums. Dieser ist über ein handelsübliches Fenster mit dem Außenraum verbunden und soll vor zu hohen Lärmpegeln geschützt werden. Die Signale der Fehlermikrofone (der „Fehler“ ist dabei der Restlärm, der



Abbildung 1: Die Gegenschalllautsprecher reduzieren den Lärm bereits vor dem Fenster (Dritte Projektphase).

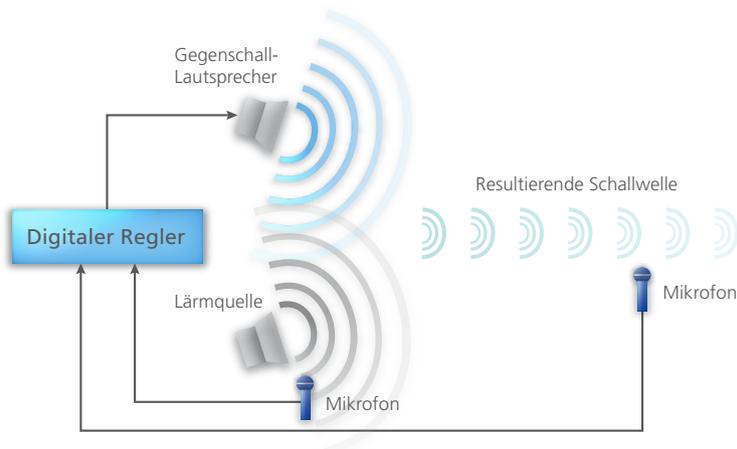


Abbildung 2: Prinzip der aktiven Schallreduktion: Die Ursprungswelle (grau) und die Gegenschallwelle (blau) überlagern sich und löschen sich (beinahe) gegenseitig aus (türkis).

im Idealfall auf null reduziert werden soll) werden über ein dSPACE DS2004 High-Speed A/D Board an das DS1006 Processor Board geleitet, das mit einem adaptiven, digitalen Regelalgorithmus (Filtered-x-Least-mean-square, FxLMS-Algorithmus) die Ausgabesignale berechnet. Diese werden über ein DS2102 D/A Board ausgegeben, über einen Tiefpass gefiltert und leistungsverstärkt an die Gegenschall-Lautsprecher weitergeleitet. Bei einigen Versuchen

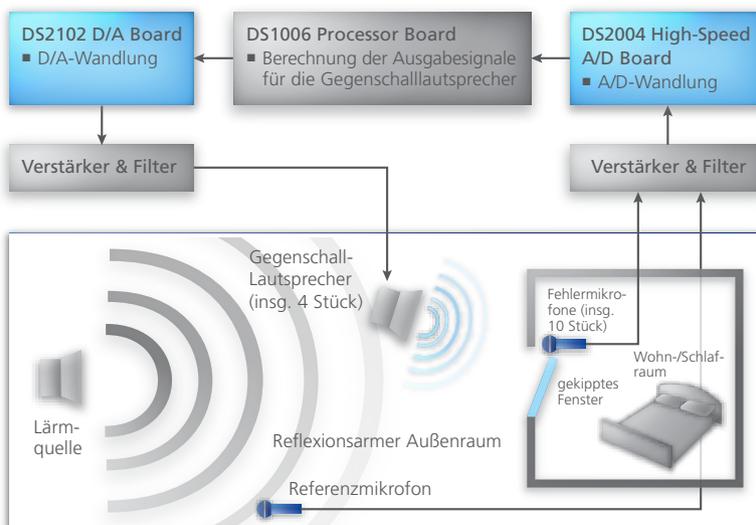
misst zusätzlich ein Referenzmikrofon den Lärm direkt an der Quelle.

Details der Signalverarbeitung

Die hohen Anforderungen an die Geschwindigkeit der Signalverarbeitung resultieren daraus, dass der Gegenschall spätestens dann erzeugt werden muss, wenn der Lärm am Gegenschall-Lautsprecher ankommt. In dieser kurzen Zeit, die der Lärm bis zum Erreichen der Gegenschall-Lautsprecher benötigt (ca. 0,6 Milli-

sekunden, entspricht 20 Zentimetern), müssen die Ein- und Ausgabesignale die Verstärker und die analogen Anti-Aliasing-Filter durchlaufen haben sowie die Ausgabesignale mit Hilfe des FxLMS-Algorithmus berechnet werden. Der Algorithmus besteht bei mehrkanaligen Systemen aus einem digitalen, adaptiven FIR (Finite Impulse Response)-Filter für jeden Gegenschall-Lautsprecher sowie weiteren FIR-Filtern als Nachbildungen der Strecken zwischen jedem Gegenschall-Lautsprecher und jedem Fehlermikrofon (Sekundärstrecken). Bei dem beschriebenen Aufbau mit 4 Gegenschall-Lautsprechern und 10 Mikrofonen ergeben sich 4 FIR-Filter für die Regelung und 40 FIR-Filter für die Sekundärstrecken. Jede FIR-Filterung entspricht einer Faltungsoperation. Mit der Zahl der Filterkoeffizienten wächst auch die Zahl an Multiplikationen. Die Filter müssen für gute Regelungsergebnisse jedoch eine gewisse Anzahl an Koeffizienten besitzen, da sie physikalisch vorhandene Impulsantworten nachbilden. Je höher die Abtastfrequenz, desto mehr Filterkoeffizienten werden aber auch benötigt und desto weniger Zeit steht zur Verfügung, um diese zu berechnen.

Abbildung 3: Schematischer Versuchsaufbau für die Gegenschallexperimente.



Vergößerung der Ruhezone

In einer ersten Projektphase^{*)} erfolgte die aktive Schallreduktion mit Hilfe zweier Fehlermikrofone im Kopfkissen und zwei Lautsprechern am Bettrand (Abbildung 4). Die Geräuschreduktion betrug bis zu 18 dB, war jedoch räumlich sehr beschränkt. In der zweiten Projektphase wurde die Ruhezone durch zusätzliche Lautsprecher und Mikrofone sowie eine Optimierung ihrer Positionen deutlich vergrößert. Wegen der mangelnden Alltagstauglichkeit dieses Aufbaus war es das Ziel der dritten Projektphase, den Lärm be-

^{*)} gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) in mehreren Projekten im Zeitraum 2006 bis heute

„Durch die hohe Rechenleistung des DS1006 Processor Boards konnten wir die Abtastrate des Gegenschall-Systems problemlos von 2 kHz auf 8 kHz steigern. Die Nutzung von Multitasking bietet weitere Reserven, um die Regelung weiter zu verbessern.“

Sergej Jukkert, Universität der Bundeswehr Hamburg

reits direkt am Fenster zu dämpfen (Abbildung 1). Dieser „Aktive Schall-druckblocker“ arbeitet mit einem Referenzmikrofon, das den Lärm an der Quelle misst, sowie mit Lautsprechern und Mikrofonen direkt am Fensterrahmen. An zwanzig im Raum verteilten Messpunkten wurde hiermit der Lärm im Frequenzbereich zwischen 80 Hz und 480 Hz im Mittel deutlich (um 16 dB) reduziert.

Vom Labor in den Alltag

Zurzeit wird mit der Firma Adaptronics International GmbH an weiteren praxisrelevanten Aspekten gearbeitet. Neben der Integration der Lautsprecher und Mikrofone in den Fensterrahmen soll das Referenzmikrofon entfallen. Bei diesem neuen Regelungskonzept wird intern ein Referenzsignal aus dem Fehlersignal erzeugt. Weil dadurch Verzögerungen im generierten Signal gegenüber dem Lärmsignal entstehen, ist eine hohe Ausführungsrate noch wichtiger. Diese konnte bei gleicher Kanal-

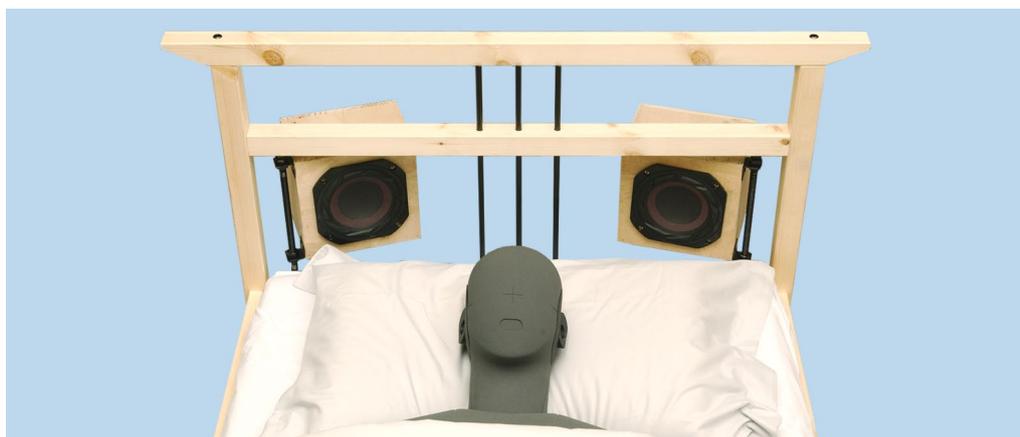


Abbildung 4: Gegenschall-System direkt am Bettende (Erste Projektphase).

anzahl bereits von 2 kHz auf 8 kHz gesteigert werden, jedoch ist die Anzahl der Filterkoeffizienten noch nicht ausreichend. Aktuelle Arbeiten behandeln daher gerade die Aufteilung des Regelungsalgorithmus auf alle vier Kerne des DS1006 Boards. Des Weiteren erfolgt die Untersuchung von Reglerkonzepten, die Modellanteile im Frequenzbereich

berechnen. Dadurch wird es möglich sein, die Anzahl der Filterkoeffizienten zu steigern und die Qualität der Regelung weiter zu verbessern. ■

*Jan Foht,
Sergej Jukkert,
Dr. Delf Sachau,
Helmut-Schmidt-Universität/Universität
der Bundeswehr Hamburg*

Jan Foht

Jan Foht ist wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur für Mechatronik der Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg und bearbeitet schwerpunktmäßig Projekte zur aktiven Schallreduktion bei Flugzeugen.



Sergej Jukkert

Sergej Jukkert ist wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur für Mechatronik der Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg und bearbeitet aktuell das vorgestellte Projekt.



Dr. Delf Sachau

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Delf Sachau leitet die Professur für Mechatronik an der Helmut-Schmidt-Universität, Universität der Bundeswehr Hamburg, Deutschland.

