

# Aktive Schallreduktion

Entwicklung einer aktiven Schallreduktion für Turboprop-Flugzeuge

Professur für Mechatronik setzt in Forschung und Lehre auf dSPACE ACE Kits

Parallele DS1005 PPC Boards liefern die notwendige Rechenleistung

Die Professur für Mechatronik der Helmut-Schmidt-Universität (HSU) / Universität der Bundeswehr Hamburg entwickelt Systeme zur aktiven Schallreduktion. Aktueller Forschungsschwerpunkt sind aktive Systeme für Turboprop-Flugzeuge, deren Triebwerke aufgrund ihrer hohen Leistung im Flugzeuginnern hohe Schalldrücke verursachen, die Passagiere und Crew als starken Lärm wahrnehmen. Die Professur setzt für die Entwicklung der Schallreduktionssysteme in Forschung und Lehre auf mehrere dSPACE ACE Kits mit dem DS1103 PPC Controller Board und für besonders hohe Rechenanforderungen auf ein Multiprozessorsystem, basierend auf zwei DS1005 PPC Boards.

Bei den gegenwärtig weitverbreiteten passiven Schallschutzmaßnahmen wird meist schweres Schalldämpfungsmaterial in die Außenhaut des Flugzeugs eingebaut. Demgegenüber bietet die aktive Schallreduktion – Active Noise Control (ANC) – den entscheidenden Vorteil der Gewichtsersparnis. Hier kommt kein schweres Material zum Einsatz, sondern eine Gegenwelle löscht die störende Schallwelle aus.

## Active Noise Control

Ein ANC-System besteht im Wesentlichen aus Referenzsensoren (R), Lautsprechern (L), Fehlermikrofonen (M) und einem digitalen Regler. Referenzsensoren nehmen das von der Triebwerkdrehzahl abhängige Referenzsignal auf, das dem primären Störschallfeld entspricht. Der Regler verarbeitet dieses Referenzsignal mittels adaptiver Filter und gibt es als um 180° phasenverschobene Gegenwelle gleicher Amplitude (Sekundärschallwelle) über den Lautsprecher wieder ab, so

dass sich die beiden Schallwellen gegenseitig aufheben. Die Sekundärschallwelle wird allerdings von verschiedenen Faktoren beeinflusst, zum Beispiel von Luftdruck- und Temperaturschwankungen. Das Fehlermikrofon gibt

*„Das dSPACE-Multiprozessorsystem bietet uns die Möglichkeit, schnelle Regler auf einem hohen Abstraktionslevel zu entwickeln.“*

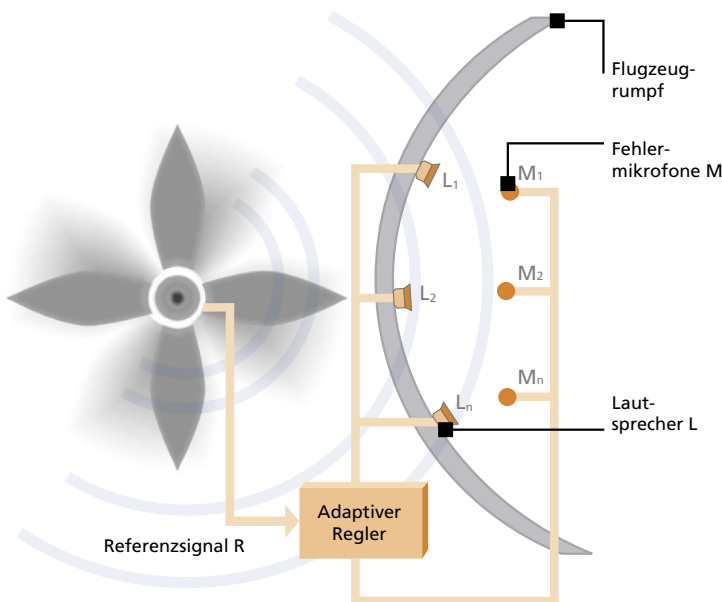
**Prof. Dr. Delf Sachau**

**Helmut-Schmidt-Universität / Universität der Bundeswehr Hamburg**

diese Schwankungen oder „Fehler“ als Störgröße an den Regler zurück, der die Sekundärschallwelle erneut berechnet. Der Regler muss hier Robustheit und Adaptivität vereinen, um auf die verschiedensten Einflüsse, die auf das Schallfeld ausgeübt werden, reagieren zu können. Die Entwicklung dieser Regelstrategien sowie die geschickte Platzierung von Lautsprechern und Fehlermikrofonen stehen gegenwärtig im Mittelpunkt unserer Forschungsarbeit.

## Lokale und globale Schallreduktion

Versuchsaufbauten zur lokalen Schallreduktion haben wir bereits in mehreren Projekten realisiert, zum Beispiel im Rahmen des Luftfahrtforschungsprogramms der Stadt Hamburg und in einem durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt geförderten Programm. Diese Projekte bezogen sich auf die Schallreduktion in einem begrenzten Raum von etwa einem Kubikmeter. Ein aktueller Fokus der wissenschaftlichen Arbeit liegt nun auf dem Entwurf eines ANC-Systems zur globalen Schallreduktion. Globale Schallreduktion bedeutet je nach Anwendung, dass die Schallabstrahlung nach außen verhindert oder ein sehr großer Raum, wie der gesamte Innenraum eines Flugzeugs, beruhigt wird. Die globale Schallreduktion erfordert allerdings eine deutlich höhere



▲ Der prinzipielle Aufbau des Regelungs Systems für die aktive Schallreduktion – Active Noise Control (ANC).



▲ Experimenteller Aufbau einer Lautsprecher-Fehlermikrofon-Anordnung zur aktiven Schallreduktion.

Anzahl an Fehlermikrofonen und Lautsprechern als die lokale Schallreduktion. Wie ein experimentelles Konzept zur globalen aktiven Schallreduktion mit relativ wenig

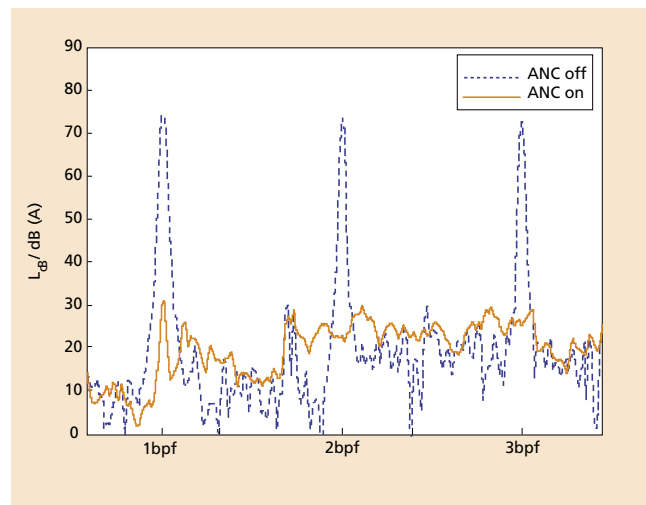
*„Mit dem modularen Hardware-Konzept von dSPACE erschließen wir uns eine nahezu unbegrenzt skalierbare Rechen-Performance, um somit ANC-Systeme zu entwickeln, die trotz hoher Abtastraten in Echtzeit ausgeführt werden können.“*

**Dipl.-Ing. Kay Kochan**  
**Helmut-Schmidt-Universität / Universität der Bundeswehr Hamburg**

Fehlermikrofonen und Lautsprechern aussehen könnte, zeigt das Foto. Mit Hilfe des Lautsprecher-Fehlermikrofon-Feldes verhindert das ANC-System den Durchtritt des Schalls durch die so genannte Schalltransmissionsöffnung vom ersten in den zweiten Raum. Es wird kein Lärm im zweiten Raum wahrgenommen. Exemplarisch zeigt die Grafik den Reglererfolg an einem der Fehlermikrofone. Das Frequenzspektrum umfasst drei dominante Frequenzen: 1. bpf, 2. bpf, 3. bpf. „bpf“ (blade passing frequency) ist die Rotorblattfolgefrequenz, also die Frequenz des von den Rotorblättern abgegebenen Störschalls. Die 1. bpf ist die Frequenz, mit der die Rotorblattspitzen am Flugzeugrumpf vorbeistreichen. Die 2. und 3. bpf sind jeweils die Vielfachen der ersten bpf. Es ist deutlich zu erkennen, dass die 1., 2. und 3. bpf bei eingeschaltetem ANC-System nahezu restlos aus dem Frequenzspektrum verschwunden sind.

## Reglerentwicklung mit dem Multiprozessorsystem

Die Reglerentwicklung für dieses ANC-System erfolgt in der grafischen Entwicklungsumgebung von MATLAB®/Simulink®. Gemäß dem Ansatz der modellbasierten Reglerentwicklung verkürzt dies vor allem die Zeit von der Regleridee bis zu ihrer Umsetzung auf dem Prozessor. Gleichzeitig garantiert dieses Vorgehen eine transparente Reglerentwicklung im Team, auch unter Einbeziehung von Studenten in die aktuelle Forschung. Vor allem aber lassen sich Fehler im Algorithmus bereits sehr früh durch Simulationen aufspüren. Mit der Zahl der Lautsprecher und Fehlermikrofone steigen auch die Anforderungen an die Rechenleistung sehr schnell. Das modulare Hardware-Konzept von dSPACE bietet durch die Möglichkeit des Parallelbetriebs der Prozessoren die notwendige Rechenleistung. Zurzeit implementieren wir Regler mit bis zu 40 Fehlermikrofonen, 20 Lautsprechern und einem Referenzsensor. Für eine fehlerfreie Berechnung der



▲ Mit eingeschalteter Active Noise Control (ANC on) zeigen die drei Rotorblattfolgefrequenzen (bpf) eine Schallreduktion um 45 dB, 51 dB bzw. 47 dB auf das Niveau der Hintergrundgeräusche.

Sekundärschallsignale haben wir im Regler 60 adaptive Filter und 2400 Sekundärstreckenmodelle realisiert. Dies war nur mit Hilfe eines Multiprozessorsystems möglich, das aus zwei parallelen DS1005 PPC Boards und verschiedenen I/O-Boards besteht. Mit dem DS1005-Multiprozessorsystem sind wir in der Lage, auch regelungstechnisch sehr aufwendige Projekte zur aktiven Schallreduktion erfolgreich zu realisieren.

*Hauptmann Dipl.-Ing. Kay Kochan*  
*Prof. Dr. Delf Sachau*  
*Helmut-Schmidt-Universität /*  
*Universität der Bundeswehr Hamburg*  
*Deutschland*