

# Räumliche Schalldruckverteilung bei lokaler aktiver Lärminderung in Schlafräumen

Kai Simanowski<sup>1</sup>, Thomas Kletschkowski, Delf Sachau

<sup>1</sup> Professur für Mechatronik, 22043 Hamburg, Deutschland, Email: kaisima@hsuhh.de

## Einleitung

Für einen gesunden und erholsamen Schlaf ist es notwendig, Schlafräume mit Frischluft zu versorgen. Dies erfolgt im Allgemeinen durch Öffnen von Fenstern. Allerdings dringt durch geöffnete Fenster auch Lärm, z. B. von nahe gelegenen Straßen, in den Schlafraum ein, wodurch der Schlaf beeinträchtigt werden kann. Folglich besteht die Notwendigkeit, insbesondere den Lärm im Kopfbereich einer schlafenden Person zu reduzieren, ohne dabei den Schlafkomfort oder die Frischluftzufuhr zu beeinträchtigen.

Zur Lärminderung in Schlafräumen bieten sich aus Sicht der Mechatronik, insbesondere im Bereich niedriger Frequenzen, aktive Maßnahmen an [1]. In der vorliegenden Arbeit wurde die Anwendung eines lokal wirksamen, aktiven Lärminderungssystems (Active Noise Cancellation, ANC-System) an einem nachempfundenen Schlafraum analysiert. Die räumliche Schalldruckverteilung im unregelmäßig und geregelten Zustand wurde unter Verwendung eines Mikrofonfeldes vermessen und als Schallfeldkartierung dargestellt.

## Versuchsaufbau

Ziel der Arbeit war es, ein ANC-System in einer realitätsnahen Umgebung zu testen. Die Untersuchungen fanden in einem Transmissionsprüfstand statt. Dieser besteht aus einem reflektionsarmen Raum (RAR) und einem Hallraum (HR). Diese sind über eine Öffnung miteinander verbunden, in welche ein kipp- und schwenkbares Kunststofffenster mit Zweifachverglasung eingebaut wurde. Im RAR dienen Lautsprecher zur Erzeugung von Störschall. Dort wurde am Rahmen des Fensters ein Mikrofon positioniert, welches als Referenzmikrofon für das ANC-System diente. In den HR wurde ein handelsübliches Bett gestellt, an dessen Kopfende zwei Lautsprecher zur Erzeugung des Gegenschalls befestigt waren.

Die Eignung des HR wurde in Anlehnung an DIN 18041 überprüft. Eine mittlere Nachhallzeit von 0,6s bei einem Volumen von ca. 26m<sup>3</sup> liegt zwischen den Sollwerten für Musik- und Sprachnutzung. Zwei Mikrofone im Kopfkissen dienten als Fehlersensoren. Der verwendete FxLMS-Regelalgorithmus war auf einer Reglerkarte des Herstellers dSPACE (Typ DS1103) implementiert, Details sind in [2] ausgeführt. Dieser Regler berechnete, abhängig vom Signal am Referenzmikrofon, Ansteuerungssignale für die Gegenschalllautsprecher zur Reduzierung des Schalldrucks an den Fehlermikrofonen.

Mit Hilfe einer automatischen Messwerterfassung konnte die räumliche Schalldruckverteilung im Hallraum in einem 100mm-Raster auf einer Fläche von 7,2m<sup>2</sup> erfasst werden. Abbildung 1 zeigt eine maßstabsgerechte Draufsicht des

gesamten Transmissionsprüfstandes mit den Positionen der Einbauten. Die kartierte Fläche ist gestrichelt dargestellt. Die Maße sind Millimeter-Angaben.

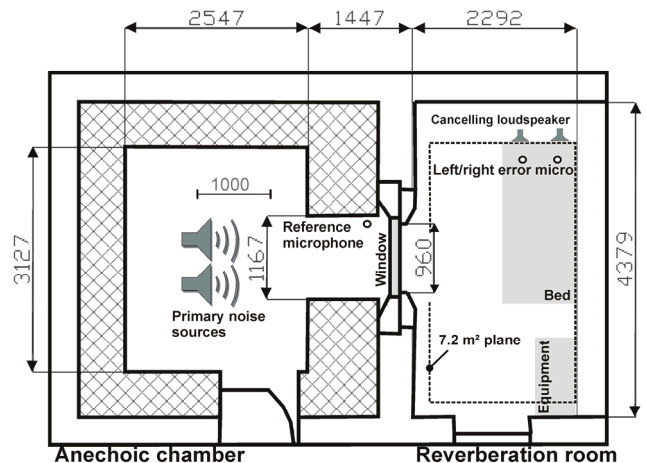


Abbildung 1: Maßstabsgerechte Draufsicht des Transmissionsprüfstandes [2]

In Abbildung 2 ist der HR bei gekipptem Fenster dargestellt. Das Mikrofonfeld befand sich auf der obersten Messebene.



Abbildung 2: Hallraum mit Bett und Mikrofonfeld bei gekipptem Fenster

## Versuchsdurchführung

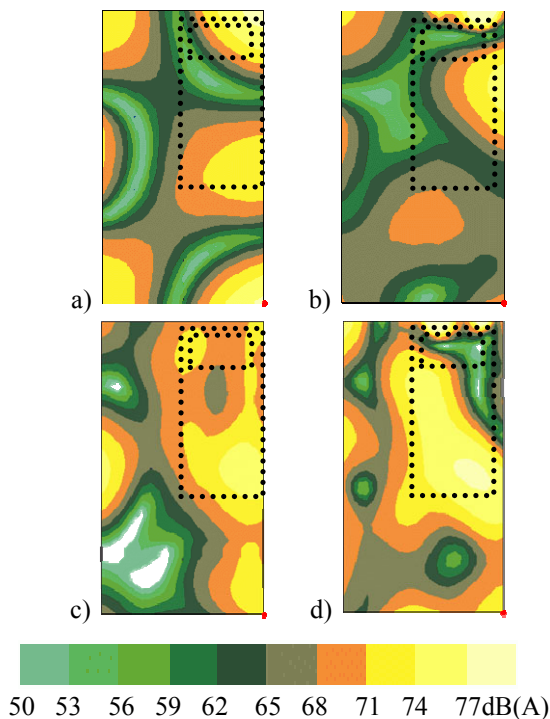
Für die einzelnen Kartierungen wurden folgende Parameter variiert: der ANC-Status (ungeregelt, geregelt), die Signalform (Sinus 100Hz, 200Hz oder 400Hz, daneben weißes Rauschen zwischen 80Hz und 280Hz sowie bis 480Hz), die Fensterstellung (kippen, auf, zu) und die Messebene, entsprechend der Ohrhöhe einer liegenden (760mm über Fußboden), sitzenden (1260mm) oder stehenden (1760mm) Person.

Zusätzlich wurde auf jeder Messebene das Hintergrundgeräusch erfasst. Um vergleichbare Ergebnisse unter realistischen Bedingungen zu erhalten, wurde der Störschallpegel an den Fehlermikrofonen bei gekippter Fensterstellung stets auf 70dB(A) eingestellt. Für die weiteren Fensterstellungen und Messebenen blieben die Einstellungen unverändert.

Die Schalldrücke wurden mit Messmikrofonen des Herstellers Brüel&Kjær (Typ 4935) und einer Analysestation (Typ 3560D) erfasst. Mit der PULSE Applikation „Acoustic Test Consultant“ wurden FFT-Spektren im Frequenzband zwischen 0Hz und 1600Hz mit 4Hz Absolutbandbreite als Agewichtete Pegel einer Messmatrix zugeordnet und als Konturdiagramme mit Flächen gleichen Pegels farbig dargestellt.

## Messergebnisse

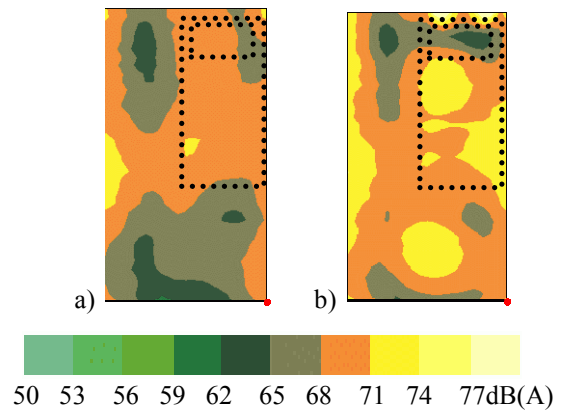
Folgende Kartierungen stellen nebeneinander links das unregelte und rechts das geregelte Schallfeld bei jeweils derselben Signalform und gekippter Fensterstellung auf der untersten Messebene dar. Die gepunkteten Rechtecke geben die Position des Bettes und des Kopfkissens wieder. Die hellgrüne Farbe entspricht dem Pegel des Hintergrundgeräusches von 50dB(A). In Abbildung 3a) sieht man das stehende Wellenfeld bei tonaler Anregung mit 100Hz. In Abbildung 3b) ist eine deutliche Lärminderung von ca. 20dB im Bereich des Kopfkissens erkennbar. Der Rest der Messebene ist durch das ANC-System uneinheitlich verändert worden. Insgesamt ist das geregelte Schallfeld homogener und zeigt, abgesehen vom Nahfeld der Gegenschalllautsprecher, keine höheren Maximalpegel als das unregelte Schallfeld. Ähnliches gilt auch für die Regelung bei 200 Hz, siehe Abbildungen 3c) und 3d).



**Abbildung 3:** Kartierung bei gekipptem Fenster, Messebene 760mm, a) unregelt Sinus 100Hz, b) geregelt Sinus 100Hz, c) unregelt Sinus 200Hz, d) geregelt Sinus 200Hz.

Auch bei der Anregung mit breitbandigem Rauschen zwischen 80Hz und 280Hz zeigte sich eine Reduzierung des Gesamtschallpegels im Bereich des Kopfkissens, siehe Abbildung 4a) und 4b). In der verwendeten Konfiguration wurde für den Algorithmus eine Filterlänge von 256 Taps für die Sekundärstreckenmodellierung und die Regelung gewählt.

Der Regelungserfolg an den Fehlermikrofonen betrug ca. 5dB. Weitere Untersuchungen [3] mit Filterlängen von bis zu 1024 Taps zeigten eine Reduzierung von bis zu 9,5dB.



**Abbildung 4:** Kartierung bei gekipptem Fenster, Weißes Rauschen 80Hz bis 280Hz, Messebene 760mm, a) unregelt, b) geregelt.

## Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurden die Auswirkungen eines lokal wirksamen ANC-Systems an einem nachempfundenen Schlafraum analysiert. Störschall verschiedener Signalformen wurde in einem reflektionsarmen Raum produziert und gelangte über ein variables Fenster in einen Hallraum. Dort befand sich ein Bett, welches mit Gegenschalllautsprechern und Fehlermikrofonen ausgestattet war. Die Anwendung eines ANC-Systems ermöglichte für tonale und breitbandige Anregungen signifikante Pegelreduktionen an den Fehlermikrofonen. Die räumliche Verteilung des Schalldruckes im unregulierten und geregelten Zustand wurde unter Verwendung eines Mikrofonfeldes vermessen. Die Untersuchungen erfolgten auf mehreren Ebenen, mit verschiedenen Fensterstellungen und belegen einerseits die Ausbildung der Ruhezone über dem Kopfkissen und andererseits, dass die globale Rückwirkung des ANC-Systems auf den Hallraum von deutlich kleinerer Größenordnung als die Lärminderung an den Fehlermikrofonen ist.

## Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) für die Förderung dieses Projektes.

## Literatur

- [1] Kletschkowski, T., Sachau, D., Böhme, S.: Aktive Lärminderung in Schlafräumen mit realen und virtuellen Fehlersensoren. DAGA 2007, Stuttgart, Deutschland, 19. – 22. März 2007
- [2] Sachau, D., Kletschkowski, T., Kochan, K.: Active Noise Reduction in Bedrooms. IMAC XXVI, Orlando, Florida, USA, 4. – 7. Februar 2008
- [3] Sachau, D., Kletschkowski, T.: Design Methodology for Active Noise Control Systems. MOVIC 2008, TU München, Deutschland, 15. – 18. September 2008