

# Vergrößerung der Ruhezone durch mehr Audiokomponenten eines Gegenschallsystems

Ian Widjaja<sup>1</sup>, Thomas Kletschkowski<sup>1</sup>, Delf Sachau<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Professur für Mechatronik, Helmut-Schmidt-Universität, 22043 Hamburg, E-Mail: widjaja@hsu-hamburg.de

## Einleitung

Für einen gesunden und erholsamen Schlaf ist unter anderem eine Versorgung des Schlafrumes mit Frischluft notwendig. Durch geöffnete Fenster kann Lärm von außen eindringen, wodurch der Schlaf beeinträchtigt wird. Um stressbedingte Gesundheitsschäden vorzubeugen, ist eine Reduktion der Geräuschbelastung erforderlich. Für mittel- und tiefrequenten Lärm ( $f < 500$  Hz) bieten sich aktive Maßnahmen an [1]. Die vorliegende Arbeit beschreibt die Weiterentwicklung des in [1] vorgestellten Systems. Insbesondere wird gezeigt, wie durch die gezielte Hinzunahme zusätzlicher Lautsprecher und Mikrophone die Ruhezone im Kopfbereich einer liegenden Person deutlich vergrößert werden kann.

## Versuchsaufbau

Als Versuchsumgebung dient ein Transmissionsprüfstand. Dieser besteht aus einem reflektionsarmen Raum (RAR) und einem Hallraum (HR), die über ein handelsübliches Fenster miteinander verbunden sind. Der Primärschall wird im RAR mit einem Lautsprecher erzeugt. Im HR befindet sich ein Bett, an dem sieben Lautsprecher angeordnet sind. 29 Mikrophone sind in einem quaderförmigen Kontrollvolumen (Länge: 40cm, Breite: 20cm, Höhe: 10cm) im 10cm-Raster angeordnet. Das Kontrollvolumen befindet sich am Kopfbereich einer liegenden Person. Von den 29 Mikrophen sind jeweils 14 bzw. 15 Mikrophone auf zwei Ebenen verteilt (siehe Abbildung 1). Die erste Ebene hat von der Matratzen Oberfläche einen Abstand von 22cm in z-Richtung, während die Mikrophone aus der zweiten Ebene in 12cm Höhe von der Matratzen Oberfläche positioniert sind. Von den sieben Lautsprecherpositionen befinden sich vier Lautsprecher (Nr.1, Nr.3, Nr.4, Nr.6) 75cm über dem Erdboden, während ein Lautsprecher (Nr.7) mit der Membran in negativer z-Richtung hängend über dem Kopf befestigt ist. Die restlichen zwei Lautsprecher (Nr.2, Nr.3) sind an der linken und rechten Bettkante in 95cm Höhe vom Erdboden angeordnet (siehe Abbildung 2).

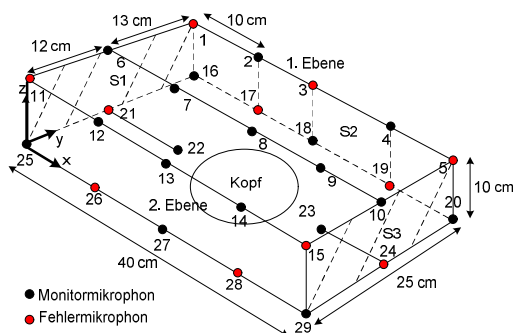


Abbildung 1: Positionen der 29 Mikrophone

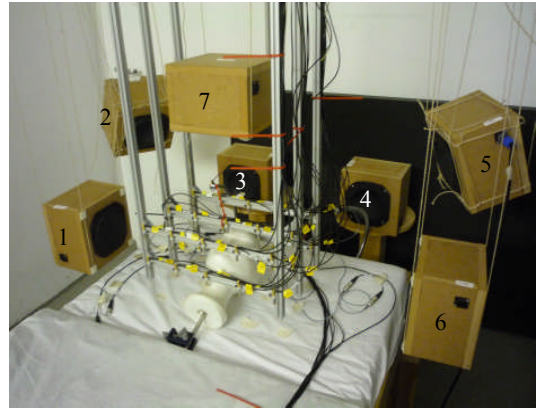


Abbildung 2: Anordnung der 7 Gegenschall Lautsprecher und der 29 Mikrophone

## Versuchsdurchführung

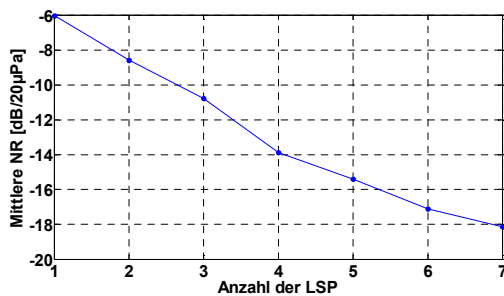
Zunächst wurden die Frequenzantworten zwischen den 29 Mikrophen und den 7 Lautsprechern gemessen. Für das Primärsignal wurde ein bandbegrenzter Gleitsinus im Frequenzbereich von 80Hz bis 480Hz verwendet. Die Fensterstellung war stets gekippt. Mit Hilfe der gemessenen Frequenzantworten und Primärdrücke wurde die mittlere Schalldruckpegelreduktion (Noise Reduction, NR) im gesamten Kontrollvolumen unter Berücksichtigung von Anzahl und Position der Lautsprecher und Mikrophone berechnet. Untersucht wurden folgende Fälle:

- 1.) Volle Beobachtbarkeit, volle Steuerbarkeit (Verwendung sämtlicher Mikrophone ( $N_M=29$ ) und Lautsprecher ( $N_L=7$ ))
- 2.) Optimale Steuerbarkeit mit reduzierter Lautsprecher Anzahl ( $N_L \leq 7$ ) bei voller Beobachtbarkeit ( $N_M=29$ )
- 3.) Optimale Steuerbarkeit ( $N_M \leq 29$ ) mit optimierten Lautsprecherpositionen ( $N_L \leq 7$ )
- 4.) Experimenteller Nachweis bei optimierten Lautsprecher und Mikrophonpositionen mit Echtzeit-Regelung

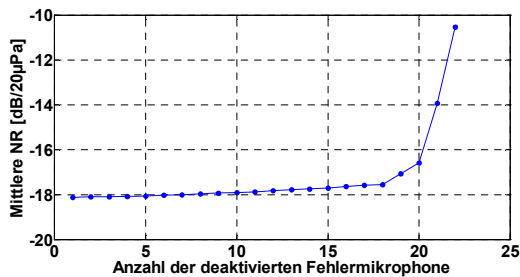
Zur Minimierung des mittleren Schalldruckpegels im Kontrollvolumen wurden bei voller Beobachtbarkeit unterschiedlich große Lautsprecherkonfigurationen mit einer sequentiellen Optimierung ermittelt. Die sequentielle Optimierung [2] startet mit der besten aus sieben Lautsprecherpositionen. Aus den verbleibenden sechs Positionen wurde diejenige Lautsprecherposition hinzugefügt, die zusammen mit der im ersten Optimierungsschritt bestimmten Lautsprecherposition die größtmögliche mittlere NR ermöglicht. Abschließend wurden mit den zuvor optimierten Lautsprecherpositionen die Anzahl und Positionen der Fehlermikrophone sequentiell optimiert.

## Vorstellung der Optimierungsergebnisse

Bei Verwendung sämtlicher sieben Lautsprecher und 29 Fehlermikrophone wurde eine mittlere NR von  $-18\text{dB}/20\mu\text{Pa}$  im Kontrollvolumen im Frequenzbereich von  $80\text{Hz}$  bis  $480\text{Hz}$  berechnet (siehe Abbildung 3). Die minimale und maximale NR betragen jeweils  $-22\text{dB}/20\mu\text{Pa}$  und  $-14\text{dB}/20\mu\text{Pa}$ . Mit sieben Lautsprechern wurden abschließend die Anzahl und die Positionen der Fehlermikrophone sequentiell optimiert. Aus Abbildung 4 ist zu erkennen, dass bei 18 deaktivierten Fehlermikrophonen (11 aktivierte Fehlermikrophone) eine mittlere NR von  $-17,5\text{dB}/20\mu\text{Pa}$  erreicht werden kann. Die Positionen der 11 optimierten Fehlermikrophone sind aus Abbildung 1 zu entnehmen.



**Abbildung 3:** Mittlere NR über 29 Fehlermikrophone in Abhängigkeit von der Anzahl der Lautsprecher, deren Positionen mit einer sequentiellen Optimierung bestimmt wurden.

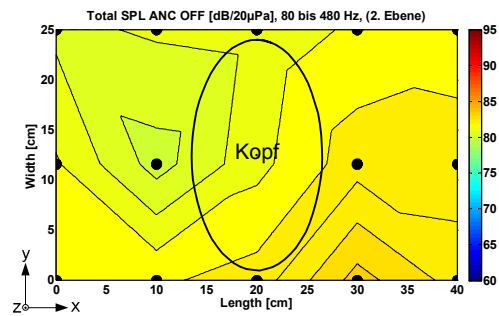


**Abbildung 4:** Mittlere NR über 29 Mikrophone in Abhängigkeit von der Anzahl deaktivierter Fehlermikrophone bei Verwendung sämtlicher sieben Lautsprecher

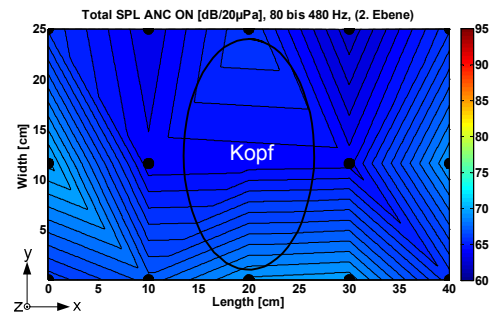
## Experimenteller Nachweis

Um die berechnete NR messtechnisch nachzuweisen, wurden die 11 optimierten Fehlermikrophone- und die sieben optimierten Sekundärlautsprecherpositionen im HR aufgebaut. Das Referenzsignal wurde im RAR mit einem Mikrophon gemessen. Als Regler wurde eine  $1 \times 7 \times 11$ -Konfiguration (1 Referenzsignal, 7 Sekundärlautsprecher, 11 Fehlermikrophone) eines Filtered-x LMS [2] auf einem Rapid Prototyping System (dSpace 1006) implementiert. Es wurde eine mittlere NR von  $-14\text{dB}/20\mu\text{Pa}$  im Kontrollvolumen erreicht, wobei die maximale und minimale NR jeweils  $-9,3\text{dB}/20\mu\text{Pa}$  und  $-19,1\text{dB}/20\mu\text{Pa}$  betragen. Als

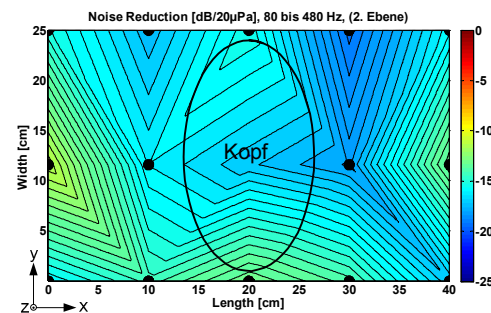
Primärsignal wurde bandbegrenzt weißes Rauschen ( $80\text{Hz}$  bis  $480\text{Hz}$ ) verwendet. In den Abbildungen 6 bis 8 ist die Druckverteilung für den unregulierten, geregelten Fall und die Schalldruckpegelreduktion in der zweiten Ebene gezeigt.



**Abbildung 6:** Primärsignal in der 2.Ebene (ANC off)



**Abbildung 7:** Geregelter Druck in der 2.Ebene (ANC on)



**Abbildung 8:** Noise Reduction in der 2.Ebene

## Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde die potentielle, akustische Energie in einem Kontrollvolumen minimiert bei gleichzeitiger Berücksichtigung von Anzahl und Positionen der Lautsprecher und Mikrophone. Es wurden die Frequenzantworten zwischen sämtlichen Lautsprechern und Mikrophen gemessen. Mit einer sequentiellen Suche wurden Anzahl und Positionen der Audiokomponenten bestimmt, mit denen die größtmögliche NR im Monitorvolumen erreicht werden kann. Der experimentelle Nachweis mit Echtzeit-Regelung lieferte eine mittlere NR von  $-14\text{dB}/20\mu\text{Pa}$  im Kontrollvolumen.

## Literatur

- [1] Kletschkowski, T., Simanowski, K., Sachau, D.: Aktive Lärminderung in Wohn- und Schlafräumen, Abschlussbericht, Hamburg, Juli 2008
- [2] Elliott, S.: Signal Processing for active control, Academic Press, London, 2001