

# Ein 2D-ANC-System zur Anwendung im Emissionsschutz

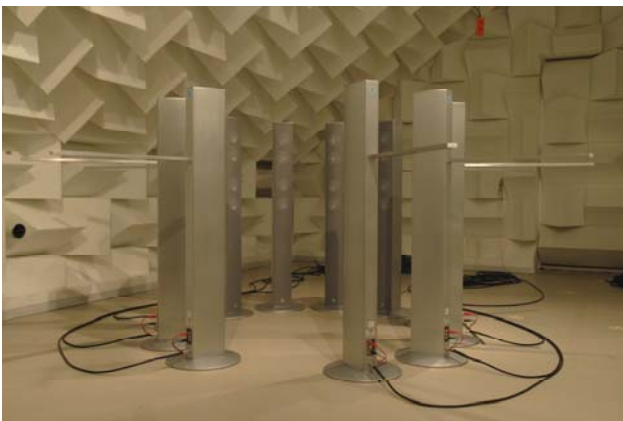
Arndt Niepenberg<sup>1</sup>, Detlef Krahe<sup>2</sup>

Bergische Universität Wuppertal, 42119 Wuppertal, Deutschland

<sup>1</sup>Email: arndt@soundstepstudio.com, <sup>2</sup>Email: krahe@uni-wuppertal.de

## Einleitung

Bereits in früheren DAGA-Beiträgen wurde von den Autoren ein Active Noise Control (ANC) - System vorgestellt, das innerhalb eines aus zwölf Lautsprechern gebildeten Kreises wirkt und als Immissionsschutz eingesetzt werden kann. Zu diesem Zweck nehmen zwölf Mikrofonpaare, die in einem größeren, zum Lautsprecherkreis konzentrischen Kreis angeordnet sind, den von außen einfallenden Lärm auf. Ein DSP-System berechnet aus den Mikrofonsignalen die für die Erzeugung des Gegenschallfelds erforderlichen Lautsprecher-signale, so dass die Superposition beider Schallfelder im Inneren des Lautsprecherkreises zu einer destruktiven Interferenz und damit zu einer Dämpfung des Lärm-schalls führt [1][2][3][4]. In Abbildung 1 ist der Prototyp eines 2D-ANC-Systems dargestellt.

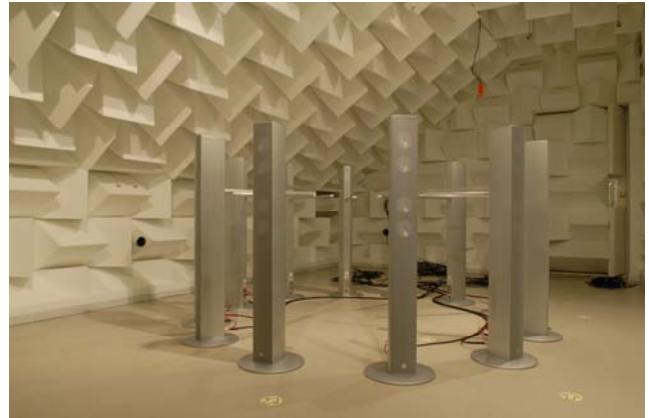


**Abbildung 1:** Prototyp eines 2D-ANC-Systems zur Anwendung im Immissionsschutz. Lärm-schall dringt von außen in den Kreis ein und wird innerhalb des Lautsprecherkreises gedämpft.

Zum Einsatz im Emissionsschutz soll der Lärm einer Schallquelle, die sich im Inneren des 2D-ANC-Systems befindet, außerhalb des Lautsprecherkreises gedämpft werden. Zu diesem Zweck sind die Positionen der Lautsprecher mit denen der Mikrofone zu vertauschen, sodass sich die Mikrofone auf dem inneren und die Lautsprecher auf dem äußeren Kreis befinden. Abbildung 2 zeigt einen entsprechenden Aufbau des Prototyps, bei dem gegenüber dem Aufbau als Immissionsschutz die einzelnen Lautsprecher-Mikrofon-Module um 180° gedreht wurden.

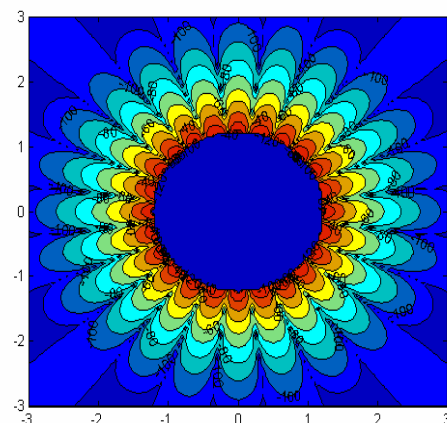
## Simulation

Eine in MATLAB erstellte Simulation soll klären, ob das System eine Dämpfung außerhalb des Lautsprecherkreises bewirken kann, wenn es wie in Abbildung 2 dargestellt aufgebaut ist. Hierzu wird das Schallfeld einer virtuellen Punktschallquelle mit dem nach dem 2D-ANC-Verfahren simulierten Sekundärschallfeld überlagert.



**Abbildung 2:** Aufbau des Prototypen als Emissionsschutz. Die Mikrofone befinden sich innerhalb des Lautsprecherkreises und nehmen das Primärschallfeld auf. Außerhalb des Lautsprecherkreises soll das ANC-System durch Überlagerung von Primär- und Sekundärschallfeld wirken.

Nicht ideale Randbedingungen, wie Toleranzen der Schallwandler und Ungenauigkeiten des geometrischen Aufbaus bleiben zunächst unberücksichtigt. Der resultierende Dämpfungspegel wird graphisch für alle Punkte, die außerhalb des Lautsprecherkreises auf einer 3m x 3m großen Fläche in Höhe der Lautsprecher liegen dargestellt. Abbildung 3 zeigt die Simulationsergebnisse exemplarisch für eine harmonische Anregung mit einer Frequenz von  $f = 100\text{Hz}$ .



**Abbildung 3:** Dämpfung in dB auf der Lautsprecherebene für eine harmonische Anregung mit  $f = 100\text{Hz}$ . Schallquelle bei (0,0).

Die Schallquelle befindet sich im Mittelpunkt des Lautsprecherkreises (Punkt 0,0) und der Lautsprecherkreis besitzt einen Radius von 1,35m. Die Höhenlinien grenzen die Flächen gleicher Dämpfung voneinander ab und sind mit den entsprechenden Pegelwerten beschriftet. Im Nahfeld der Sekundärquellen wird nur eine geringe Dämpfung erreicht,

im Fernfeld hingegen ergeben sich Dämpfungen von mehr als 100dB. Das System ist also prinzipiell für den Einsatz im Emissionsschutz geeignet.

### Schallfeld innerhalb des Kreises

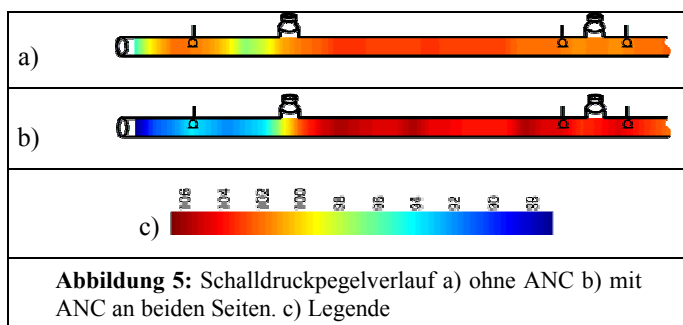
In der Simulation wird das Verhalten nach außen betrachtet. Innerhalb des Lautsprecherkreises ergeben sich jedoch Zusammenhänge, die nicht ohne weiteres durch eine Simulation erfasst werden können. Die Erzeugung des Sekundärfelds durch Kugelstrahler lässt den Lautsprecherkreis als schallweichen Abschluss für das Primärfeld erscheinen: Eine Wellenfront des Primärfeldes löst am Ort der Sekundärquellen eine um 180° phasengedrehte Wellenfront aus, die nicht nur nach außen, sondern auch in das Innere des Kreises wandert. Es entstehen also Reflexionen des Primärfeldes an der Innenseite des Lautsprecherkreises, die wiederum zu Reflexionen auf der gegenüberliegenden Seite des Lautsprecherkreises führen, sodass es vermutlich zu Mehrfachreflexionen kommt. Als Konsequenz wird die Schalleistungsdichte innerhalb des Lautsprecherkreises bei dauerhafter Energiezufuhr durch eine Schallquelle asymptotisch zunehmen und dadurch eine Übersteuerung des 2D-ANC-Systems verursachen können, sodass die Grenzen des Systems bei Anwendung im Emissionsschutz schnell erreicht sind.

Die Zusammenhänge im Inneren des Lautsprecherkreises soll ein Experiment klären. Das Problem wird auf eine Dimension beschränkt, indem zwei Feedforward-ANC-Systeme an die beiden Enden eines Rohres auf ein Primärfeld wirken, welches in der Mitte des Rohres durch einen Lautsprecher als Primärschallquelle erzeugt wird (siehe Abbildung 4).



**Abbildung 4:** Versuchsaufbau mit zwei Feedforward-ANC-Systemen links und rechts und einer Primärschallquelle in der Mitte. Durchmesser des Rohres: 10cm. (Zeichnung maßstabgerecht)

An der Primärschallquelle wird ein bandbegrenzt Rauschen im Frequenzbereich von 100Hz bis 500Hz ausgegeben. Der Verlauf des Schalldruckpegels innerhalb des Rohres wird zuerst bei ausgeschalteten, dann bei eingeschalteten ANC-Systemen gemessen. Abbildung 5 illustriert die Messergebnisse. Aufgrund der Symmetrie zur Mitte genügt die Betrachtung der linken Seite.



Durch Einschalten der ANC-Systeme erhöht sich der Schalldruck innerhalb des Rohres um 3dB. Dies deutet auf eine Überlagerung des hin- und zurücklaufenden Schalls hin.

Die ANC-Systeme wirken nach außen mit Dämpfungen von etwa 14dB und werden nicht übersteuert. Grundsätzlich ist es also möglich, den Lärmschall durch eine Anordnung von ANC-Systemen einzuschließen, selbst wenn fast keine Schallenergie das System verlassen kann. In weiteren Experimenten ist allerdings zu prüfen, welche Schalldruckerhöhung bei Verwendung einer Schallquelle mit höherer Strahlungsimpedanz eintritt.

### Fazit und Ausblick

Simulationen bestätigen, dass sich ein wie zuvor beschriebenes 2D-ANC-System prinzipiell zum Einsatz im Emissionsschutz eignet: Der Schall einer sich im Lautsprecherkreis befindlichen Quelle wird außerhalb des Kreises unter zunächst idealen Bedingungen stark gedämpft.

Ferner kann an einem eindimensionalen Aufbau, bei dem sich die Primärquelle zwischen zwei Sekundärquellen befindet gezeigt werden, dass die erwarteten Mehrfachreflexionen zwischen den beiden Sekundärquellen nicht zu einer Instabilität des ANC-Systems führen müssen. Der Schalldruck in diesem Zwischenbereich steigt nur moderat an, während die Abstrahlung nach außen deutlich gedämpft werden kann.

Die weiteren Schritte sollen darin bestehen, den kurz vor der Fertigstellung stehenden Prototyp entsprechend Abbildung 2 in Betrieb zu nehmen und das Verhalten bei Variation der Primärquellen zu untersuchen. Begleitet werden sollen diese Untersuchungen durch realitätsnahe Simulationen (nicht ideales Übertragungsverhalten, geometrische Ungenauigkeiten etc.) um die in der Realität zu erwartenden Abweichungen von den in Abbildung 3 dargestellten Ergebnissen in ihren Ursachen einschätzen zu können. Zur Minderung dieser Abweichungen und damit zur (zumindest teilweisen) Kompensation des nicht idealen Verhaltens soll das bisher verwendete 2D-ANC-Verfahren um adaptive Algorithmen erweitert werden.

Dieses Projekt wird unterstützt durch Fördermittel des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) und des Europäischen Sozialfonds (ESF).

### Literatur

- [1] M. Trimpop, D. Krahe, Contemplations about the numeric transposition of the generalised Kirchhoff integral with the intention of active noise reduction, DAGA '99, Berlin
- [2] D. Krahe, M. Trimpop, Considerations on the Realtime Realisation of a 2D-Feedforward-ANC-System, Part 1+2, DAGA '04, Strasbourg
- [3] D. Krahe, Messtechnische Untersuchung an einem 2D-ANC-System, DAGA '05, München
- [4] A. Niepenberg, D. Krahe, Messtechnische Untersuchungen an einem 2D-ANC-System im Echtzeitbetrieb, DAGA '06, Braunschweig