

# Messtechnische Untersuchung an einem 2D-ANC-System

Detlef Krahe

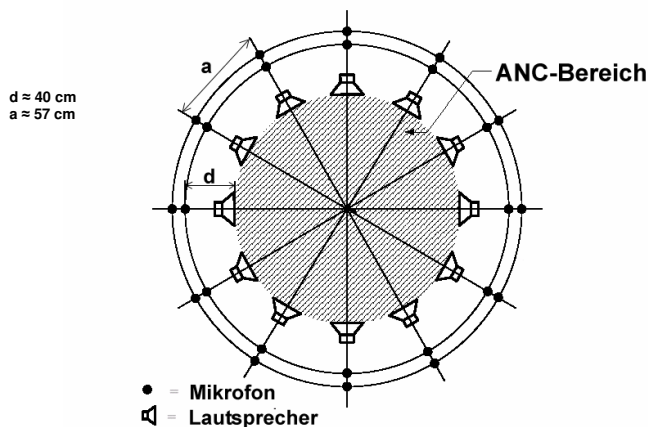
Universität Wuppertal, 42119 Wuppertal, Deutschland, Email: krahe@uni-wuppertal.de

## Einleitung

In verschiedenen früheren DAGA-Beiträgen wurde vom Autor ein System zur Aktiven Lärmkontrolle (Active Noise Control) vorgestellt, das innerhalb eines Bereiches in zwei Dimensionen wirkt. In diesen Beiträgen wurden die Untersuchungen meist auf Basis von Berechnungen und Simulationen durchgeführt, die zunächst grundlegender Natur waren, später aber auch realitätsnahe Rahmenbedingungen einschlossen. Messtechnische Untersuchungen beschränkten sich bisher auf Schlüsselexperimente, mit denen die prinzipielle Funktionsfähigkeit des Systems überprüft wurde. Mit einem Messaufbau bestehend aus 24 Mikrofonen und 12 Lautsprechern werden jetzt den früheren Simulationen entsprechende messtechnische Untersuchungen durchgeführt. Von besonderem Interesse ist dabei, ob die in den Simulationen prognostizierten Dämpfungswerte gehalten werden.

## Messaufbau

Folgend soll kurz der Aufbau des Systems beschrieben werden. Weitere Details sind [1] [2] zu entnehmen.



**Abbildung 1:** Konfiguration des Systems bestehend aus einem äußeren Kreis von 12 Mikrofonpaaren und inneren Kreis (Ø ca. 1.3m) 12 Lautsprechern (Zeichnung nicht proportional)

Eine oder mehrere von außen kommende ebene, horizontale Wellen (Primärfeld) werden in Schalldruck und radialer Schalldruckänderung von den Mikrofonen erfasst. Aus den 24 Mikrofonensignalen werden die 12 Lautsprechersignale abgeleitet, die das Sekundärfeld erzeugen, das sich mit dem Primärfeld so überlagert, dass die beiden Felder sich gegenseitig auslöschen oder zumindest stark dämpfen. Da zwischen jedem Mikrofon und jedem Lautsprecher eine eigene Übertragungsfunktion besteht, sind insgesamt 288 Übertragungsfunktionen parallel zu realisieren.

## Verarbeitung im Zeitbereich

Die Bestimmung der erreichbaren Dämpfung innerhalb des Lautsprecherkreises wurde in früheren Arbeiten (z.B. [2][3]) vornehmlich im Orts-/Frequenzbereich vorgenommen. In der vorliegenden Untersuchung waren die Signale, wie später im realen Betrieb vorgesehen, im Zeitbereich zu verarbeiten. Deshalb wurden die ursprünglich im Frequenzbereich bestimmten Übertragungsfunktionen in die entsprechenden Impulsantworten transformiert, mit denen dann die Mikrofonensignale gefaltet wurden.

Im weiteren Vorgehen wurden zwei Wege besritten: Zum einen wurden eine realitätsnahe Simulation vorgenommen, zum anderen eine Messung im Offline-Modus, um in der Gegenüberstellung der Ergebnisse die Validität der Simulation einschätzen zu können und andererseits darüber die Einflussgrößen bei der Messung besser einordnen zu können. Der Offline-Modus ist zur Zeit noch ein Ersatz für den Echtzeitbetrieb, bringt aber identische Ergebnisse, wenn Gegebenheiten wie Kausalität, Rechenkapazität und Rechengenauigkeit beachtet werden. Er stellt sich wie folgt dar:

- Primärsignal aus Lautsprecher in ca. 5 m Abstand
- Aufnahme des Primärschalls
- Berechnung der Sekundärsignale offline
- Gleichzeitige Wiedergabe des Primärsignals und der Sekundärsignale
- Messung der überlagerten Wellenfelder

Bei der Messung wurde die Kreisanordnung auf den Boden des Halbraums gelegt, um Einflüsse durch ungewünschte Bodenreflexionen zu vermeiden. Abbildung 2 zeigt die Anordnung.

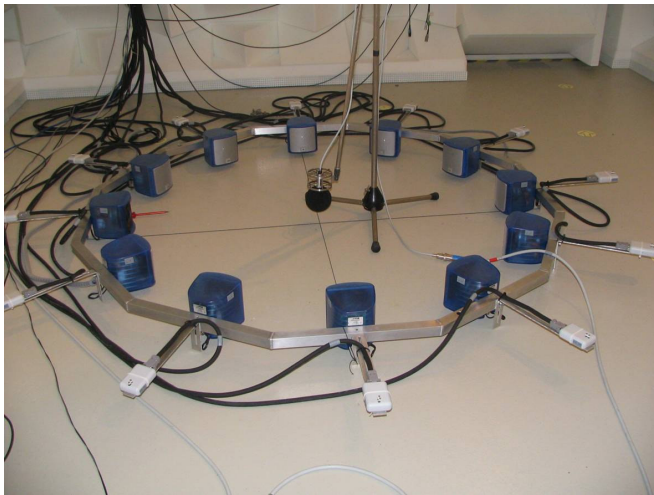
In der realitätsnahen Simulation wurden gegenüber dem Offline-Betrieb neben

- Kausalität der Impulsantworten
- Verzögerung durch Hardware
- Impulsantworten mit begrenzter Länge (100)

zusätzlich noch

- Fehler von  $\pm 2\text{dB}$ ,  $\pm 5^\circ$  in den Übertragungsfunktionen Mikrofon / Lautsprecher
- Richtcharakteristik der Lautsprecher

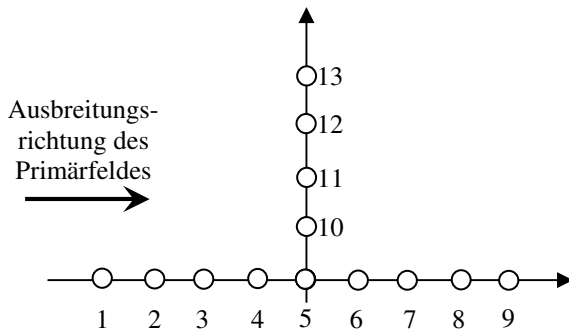
berücksichtigt.



**Abbildung 2:** Messanordnung bestehend aus Mikrofon- und Lautsprecherkreis. Das Mikrofon im Kreis diente zur Messung der überlagerten Felder.

## Ergebnisse

Berechnet bzw. gemessen wurden die Dämpfungswerte auf dem in Abbildung 2 innerhalb des Lautsprecherkreises sichtbaren Achsenkreuz in Punkten, deren Lage und kennzeichnende Nummer in Abbildung 3 wiedergegeben sind:



**Abbildung 3:** Lage und Nummerierung der Mess- bzw. Kalkulationspunkte. Der Abstand zwischen benachbarten Punkten betrug 10cm. Auf die Darstellung der unteren Hälfte der Vertikalen wird aus Symmetriegründen verzichtet

Die nachfolgende Tabelle 1 zeigt die in der Simulation gerechneten sowie die gemessenen Dämpfungswerte bei den Frequenzen 200, 300 und 400 Hz. Damit wird ein Frequenzbereich überdeckt, der nach unten hin durch die Eigenschaften des Messraumes, nach oben hin durch den Versuchsaufbau selbst begrenzt ist, da aufgrund des Abstandes zwischen benachbarten Mikrofonen bzw. Lautsprechern (soll kleiner sein als  $\lambda_{\min}/2$ ) die Dämpfungswirkung oberhalb ca. 350Hz rapide abnimmt.

Beim Blick auf die Tabellenwerte ist zunächst festzuhalten, dass die gerechneten Werte weitgehend mit früheren, im Orts-/Frequenzbereich bestimmten Ergebnissen [2][3] übereinstimmt. Typisch ist u.a. auch dort, dass die der Einfallrichtung zugewandten Seite des Kreises i.d.R. schlechtere Dämpfungswerte aufweist.

Des Weiteren ist festzustellen, dass auch die gemessene Dämpfung mit deutlichen Werten überrascht, die bisweilen sogar über den berechneten liegen. Für die Abweichungen

Dämpfung in dB						
Freq.	200Hz		300Hz		400Hz	
Nr.	ger.	gem.	ger.	gem.	ger.	gem.
1	13,1	5,7	13,6	14,4	-3,2	-2,8
2	13,1	10,0	15,1	14,3	0,6	2,9
3	16,0	15,2	12,8	14,7	5,4	12,6
4	16,9	21,2	13,9	17,8	13,9	21,3
5	23,2	25,4	14,5	25,2	15,3	22,8
6	26,4	24,7	14,3	26,2	15,1	26,4
7	29,9	20,0	17,7	23,7	10,7	21,3
8	24,0	14,9	18,7	25,1	9,1	15,9
9	20,0	11,4	21,9	20,7	9,8	17,9
10	22,8	19,8	14,5	25,7	18,1	18,5
11	23,0	15,9	14,8	23,9	24,9	11,8
12	23,0	12,6	14,9	23,7	15,7	7,1
13	22,4	9,5	15,2	22,2	16,6	6,3

**Tabelle 1:** Gerechnete und gemessene Dämpfungswerte bei verschiedenen Frequenzen an den Punkten nach Abb.3

zwischen gerechneten und gemessenen Werten können verschiedene Ursachen maßgeblich sein. Bei 200Hz ist das Systemverhalten eigentlich unkritisch. Hier ist es wohl der Messraum, der durch noch vorhandene Reflexionen an Decke und Wänden zu den deutlichen Abweichungen führt.

Bei 300Hz sind die gemessenen Werte durchweg besser als die gerechneten. Möglicherweise wurde bei der Realitätsnähe übertrieben und zu starke Übertragungsfehler eingerechnet. Zwar können die o.g. Fehler als typisch für die verwendeten Lautsprecher angesehen werden, der Fehler kann aber auch einmal kleiner sein. Aufwendige Messungen an den Lautsprechern, um dies zu eruieren, wurden nicht unternommen.

Bei 400Hz zeigen die beiden Spalten in sich schon starke Schwankungen, da bei dieser Frequenz die Primärwelle schon etwas unkontrolliert in den Kreis eindringt. Aber bis auf die Punkte Nr. 1 und 2 besteht auch hier noch eine merkliche Dämpfungswirkung.

## Fazit

Mit den Messungen konnte nachgewiesen werden, dass die bei früheren Simulationen erhaltenen Dämpfungswerte durchaus realistisch sind und gehalten werden können. Die weiteren Aktivitäten werden sich jetzt auf die Fertigstellung eines Echtzeitsystems konzentrieren, von dem erwartet wird, dass mit ihm ähnlich gute Dämpfungswerte erreicht werden.

## Literatur

- [1] M. Trimpop, D. Krahe: Contemplations about the numeric transposition of the generalised Kirchhoff integral with the intention of active noise reduction;DAGA99, Berlin
- [2] D. Krahe, M. Trimpop, Considerations on the Realtime Realisation of a 2D-Feedforward-ANC-System, Part 1+2, Proceedings of the DAGA 2004, Strasbourg
- [3] D. Krahe, Performance of a 2D-ANC-System under Realtime Condition, Active 04, Williamsburg