

# Bewertung eines Systems zur aktiven Schallunterdrückung anhand von Hörbeispielen und psychoakustischen Messgrößen

MATTIAS TRIMPOP \*, DETLEF KRAHÉ \*\*,

\*Institut für Lärmschutz, Düsseldorf, \*\*Bergische Universität Gesamthochschule Wuppertal

## 1. Einleitung

Bei der Bewertung von Lärminderungssystemen werden diese meist durch Messwerte der maximalen Dämpfung, Reaktionszeit und anderen charakteristischen Messgrößen beschrieben. Auch das hier betrachtete System wurde bereits ausführlich in den letzten Jahren anhand dieser Größen vorgestellt. Was Messwerte wie die mittlere Dämpfung jedoch weniger ausdrücken können ist die wahrgenommene Verbesserung durch das menschliche Gehör. Daher wurden in einer Simulation des Systems verschiedene primäre Schallsignale (künstliche Signale und Alltagsgeräusche), deren Geschallfelder und Dämpfungsfelder berechnet.

## 2. Konzept

Bei diesem System wird ein von Primärquellen erzeugtes Schallfeld an der Umrandung eines definierten Feldbereiches erfasst (Mikrofonkreis) und durch Sekundärquellen, die sich ebenfalls in der Nähe der Umrandung (Lautsprecherkreis) befinden, minimiert. Die Berechnung basiert auf dem allgemeinen Kirchhoff-Integral [1]. Das Schallfeld wird in der dritten Dimension (Höhe) als konstant angenommen. Die Betrachtung kann daher im zweidimensionalen Feld durchgeführt werden, wobei die Punktschallquellen im idealen Fall durch Linienquellen ersetzt werden.

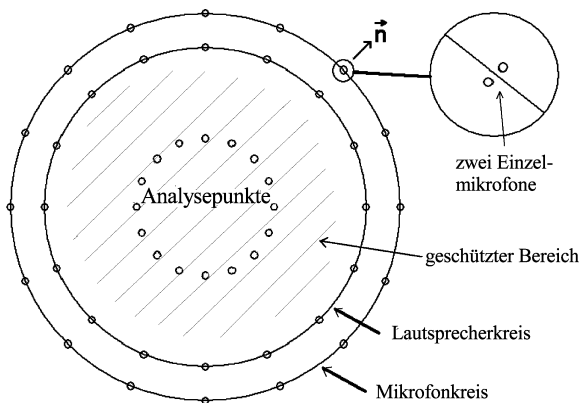


Abb. 1: Simulationsaufbau mit 16 Sekundärquellen

An den Mikrofonpositionen wird der Schalldruck und die Normale des Gradienten zum Mikrofonkreis bestimmt [2]. Unter Nutzung der Analysepunkte werden die Sekundärquellen so angesteuert, dass das Schallfeld im zu schützenden Bereich minimiert wird.

Für die Simulation wurden die Parameter entsprechend dem Prüfstand gesetzt, der z.Z. in der Entwicklung ist. Dabei ist die Anzahl der Sekundärquellen auf 9 festgelegt. Die Abtastrate beträgt 8 kHz, der Durchmesser des Mikrofonkreises 0,7m.

Bereits in den Veröffentlichungen [3], [4] und [5] wurden die physikalischen Grundlagen des hier untersuchten Antischallsystems ausführlich beschrieben. Nun soll auf die psychoakustischen Eigenschaften eingegangen werden.

## 3. Simulation

Mithilfe eines Simulationsprogramms wurden synthetische und natürliche Signale untersucht. Anschließend wurden die Analyse- und überlagerten Differenzsignale auf ihre physikalischen und psychoakustischen Parameter hin untersucht.

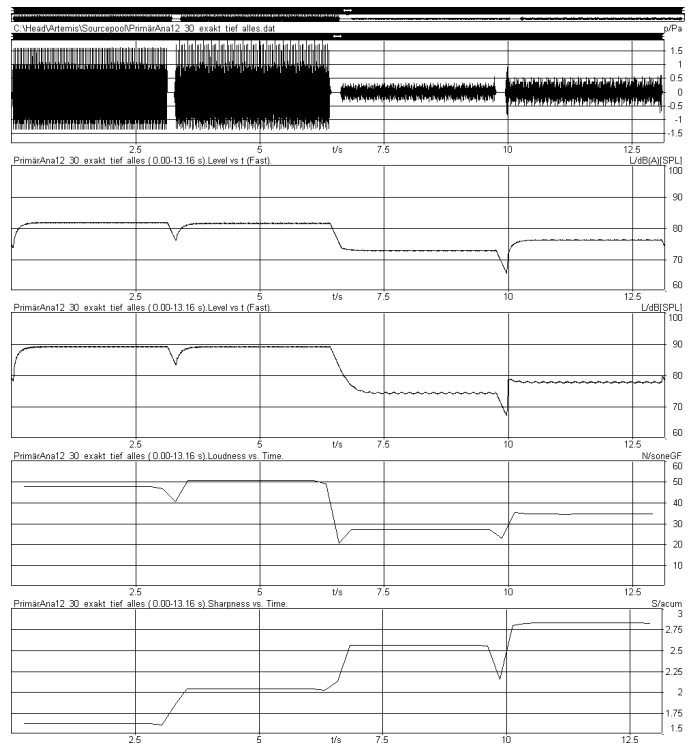


Abb.2: Zeitverläufe AC-Signal, LAFmax, LLFmax, Lautheit und Schärfe eines tiefenbetonten synthetischen Signals.

Das in Abb. 2 gezeigte tiefenbetonte Signal besteht aus vier Teilabschnitten: dem Primärsignal, dem Analysesignal, dem Differenzsignal von Primär- und Analysefeld und dem Differenzsignal zwischen Primär- und Sekundärfeld. Obwohl der physikalische Pegel gleich bleibt, steigt die Lautheit etwas an und die Schärfe nimmt zu. Auch bei den Ergebnissen der nächsten zwei Verarbeitungsschritte nimmt die Schärfe zu. Die Lautheit des überlagerten Feldes ist bei dem Sekundärfeld größer als bei dem Analysefeld. Diese Tendenz ist bei Signalen mit mehr Hochtonanteil noch größer und führt im Extremfalle dazu, dass die Lautheit des Differenzsignals zwischen Primär- und Sekundärfeld größer als die des Primärfeldes ist.

Um die Fehler durch Einschwingvorgänge bei instationären Signalen zu untersuchen, wurde danach ein mit halber Grundfrequenz moduliertes, tiefenbetontes Signal untersucht. Wie erwartet stieg die Lautheit um ca. 3 Sone bei gleichem Pegel LLFmax. Auch das Differenzsignal zwischen Primär- und Sekundärfeld zeigt hierbei eine größere Lautheit im Vergleich zum unmodulierten Signal, wobei die Schärfe ähnlich bleibt.

Betrachtet man nun realistische Geräusche wie das Motorengeräusch eines LKW (tonal und Rauschsignal), so ist die Erkennung des Signals sehr effektiv. Auch bei diesen ist eine Zunahme der Schärfe und der Lautheit wie bei den vorherigen Untersuchungen festzustellen.

In Tabelle 1 sind die Ergebnisse im Detail vorgestellt.

|  | LLFmax | LAFmax | Lautheit | Schärfe |
|--|--------|--------|----------|---------|
| <b>Hochfrequentes synthetisches Signal</b> |        |        |          |         |
| Primärsignal                               | 90     | 91     | 54       | 2,45    |
| Analyse-signal                             | 90     | 90     | 62       | 3,2     |
| Differenz Primär-Analyse                   | 85     | 85     | 50       | 3,35    |
| Differenz Primär-Sekundär                  | 88     | 89     | 58       | 3,35    |
| <b>Tieffrequentes synthetisches Signal</b> |        |        |          |         |
| Primärsignal                               | 89     | 82     | 48       | 1,62    |
| Analyse-signal                             | 89     | 82     | 50       | 2,05    |
| Differenz Primär-Analyse                   | 75     | 73     | 27       | 2,55    |
| Differenz Primär-Sekundär                  | 78     | 75     | 35       | 2,82    |
| <b>Tieffrequentes moduliertes Signal</b>   |        |        |          |         |
| Primärsignal                               | 92     | 80     | 35       | 1,2     |
| Analyse-signal                             | 92     | 80     | 39       | 1,55    |
| Differenz Primär-Analyse                   | 75     | 64     | 19       | 2,15    |
| Differenz Primär-Sekundär                  | 89     | 75     | 36       | 2,6     |
| <b>Fahrzeug1</b>                           |        |        |          |         |
| Primärsignal                               | 92     | -      | 63       | 2,25    |
| Analyse-signal                             | 92     | -      | 72       | 3,2     |
| Differenz Primär-Sekundär                  | 83     | -      | 46       | 3,65    |
| <b>Fahrzeug2</b>                           |        |        |          |         |
| Primärsignal                               | 88     | -      | 41       | 2       |
| Analyse-signal                             | 88     | -      | 48       | 2,65    |
| Differenz Primär-Sekundär                  | 75     | -      | 32       | 3,1     |

Tab. 1: Einzelwerte der physikalischen und psychoakustischen Auswertung (Pegel sind relativ)

Als weiteres wurde die Reaktion des Systems auf impulshaltige Signale (G3-Schuss) untersucht. Der Geschosknall zu Beginn des Signals ist hochfrequent, daher wird dieser noch verstärkt, der Mündungsknall jedoch enthält auch tieffrequente Anteile und wird gedämpft (ca. 10-15dB). Der maximale Gewinn hängt von der verwendeten Fensterbreite der Fourieranalyse ab. Dabei wurden für verschiedene Impulse unterschiedliche optimale Fensterbreiten gefunden.

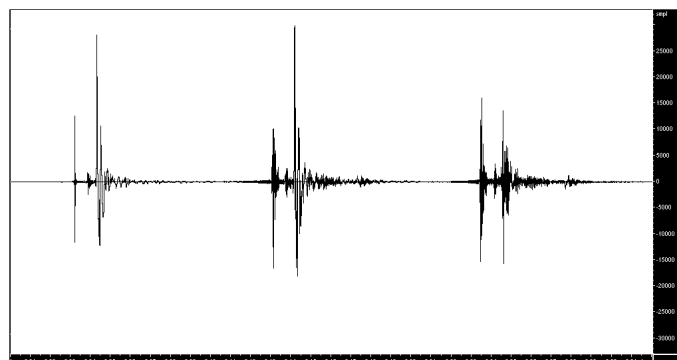


Abb. 3: Primär-, Analyse- und Differenzsignal eines G3-Gewehrschusses

Auch weitere Untersuchungen an bewegten Quellen (10-20m/s im Abstand 10m) führten dazu, dass eine Dämpfung von ca. 10-15dB erreicht werden kann. Die Werte für Lautheit und Schärfe entsprechen dabei etwa denen der modulierten synthetischen Signale.

Da das System für tiefe Frequenzen besser geeignet ist, kann man den Arbeitsbereich durch Vergrößerung der Abtastrate bei linear ansteigender Erhöhung des Rechenaufwandes steigern.

#### 4. Zusammenfassung

Das System dämpft die untersuchten Primärfelder bei Verwendung des Analysesignals um 5-15 dB im LLFmax-Pegel. Der Gewinn hängt maßgeblich vom Anteil der höherfrequenten Komponenten ab. Die Lautheit nimmt nicht unbedingt in dem Maße ab, wie es die Pegelabnahme erwarten lässt. Dies ist besonders bei Signalen mit verstärktem Anteil bei höheren Frequenzen zu beobachten. Dies liegt zum einen an der verringerten Effizienz des Verfahrens in diesem Frequenzbereich, zum zweiten nimmt bei der Bedämpfung der tieferen Frequenzanteile deren Verdeckung zu höheren Frequenzen hin ab. Durch den gleichen Mechanismus nimmt die Schärfe der Signale zu. Schärfe und Lautheit sind Basisgrößen für die Lästigkeit, so dass es sinnvoll wäre, den Einfluss auf die Lästigkeit einmal in einem Hörtest zu untersuchen. Weitere denkbare Auswirkungen auf die Lästigkeit könnte von einer Modulation des Restsignals ausgehen, die dadurch entstehen kann, dass die Dämpfung des Primärsignals in dem abgegrenzten Bereich nicht homogen ist und bei einer Bewegung -des Hörers und/oder der Primärquelle - variiert wird. Ein Effekt dieser Art konnte aber bisher in den Simulationen noch nicht festgestellt werden. Möglicherweise ist er gering und wird durch andere Effekte verdeckt.

Durch die psychoakustische Betrachtung wird deutlich, dass die gewählte Abtastrate von 8kHz gerade in dem Frequenzbereich, der die Lautheit wesentlich beeinflusst, zu schlechteren psychoakustischen Ergebnissen in der Synthese des Sekundärfeldes führt, als dieses durch die physikalischen Größen erwartet wurde. Neben einer Erhöhung der Abtastrate scheint auch eine Erhöhung der Anzahl der Lautsprecherpositionen sinnvoll, was ebenfalls die Effizienz bei höheren Frequenzen verbessert. Positiv ist festzuhalten, dass das Verfahren sich aufgrund der Feedforward-Methode auch für impulshaltige Geräusche gut eignet.

#### 5. Ausblick

Im weiteren Verlauf der Arbeit sollte nun die Anwendung verschiedener Fensterfunktionen auf die Fourieranalyse untersucht werden, um die Auslöschung des Primärfeldes weiter zu optimieren. Die Routinen sollten dahingehend untersucht werden, ob nicht nur in den kritischen Routinen des Systems ein Oversampling eingeführt werden kann, um den Arbeitsbereich zu erweitern und Fehler in einen für die Lautheit nicht so wichtigen Frequenzbereich zu schieben. Des weiteren soll untersucht werden, wie sich diese Änderungen auf die Schärfe auswirken.

#### Referenzen

- [1] Nelson, P.A.; Elliott, S.J.: *Active Control of Sound*; Academic Press, London, 1992
- [2] Trimpop, M.; Krahe, D.: *Contemplations about the numeric transposition of the generalised Kirchhoff Integral with the intention of active noise reduction*; DAGA 99, Berlin, 1999
- [3] Trimpop, M.; Krahe, D.: *Simulations and their results of the reduction of broadband noise in a two dimensional field*; ACTIVE 99, Fort Lauderdale, 1999
- [4] Trimpop, M.; Krahe, D.: *Simulation der aktiven Schallunterdrückung von monofrequenten und breitbandigen Geräuschen in einem Freifeld nach dem Feedforward-System*; DAGA 99, Oldenburg, 2000
- [5] Krahe, D.; Trimpop, M.: *Nachbildung eines zweidimensionalen Schallfeldes in einem begrenzten Volumen mit einer minimierten Anzahl von Schallquellen*; DAGA 2000, Oldenburg, 2000