

# Simulation der aktiven Schallunterdrückung von monofrequenten und breitbandigen Geräuschen in einem Freifeld nach dem Feedforward-System.

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

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

## 1. Einleitung

Ein von Primärquellen erzeugtes Schallfeld wird 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. 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.

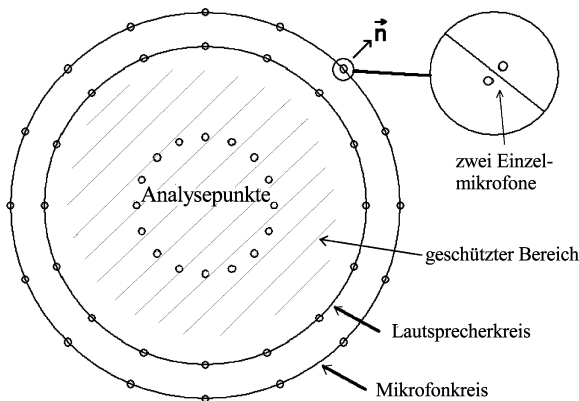


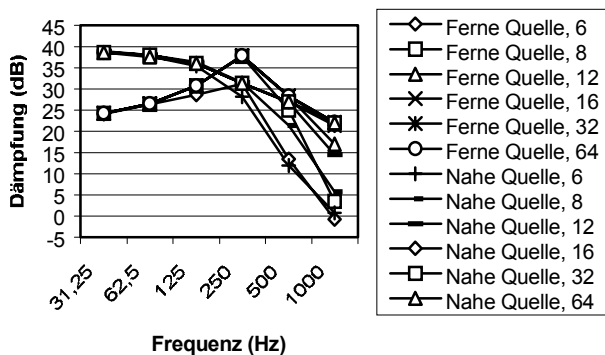
Abb. 1: Simulationsaufbau mit 16 Sekundärquellen

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.

## 2. Simulation

Für die Simulationen wurden folgende Randbedingungen festgelegt:

- es wird ein Frequenzbereich von 100 Hz bis 1 kHz untersucht,
- die Abtastrate beträgt 8 kHz,
- der Durchmesser des Mikrofonkreises beträgt 0,75 m,
- der Durchmesser des Lautsprecherkreises beträgt 0,7 m,
- der Durchmesser des Analysekreises beträgt 0,3 m.



Als erstes wird die Anzahl der Sekundärquellen im monofrequenten Fall untersucht. Dazu wird für eine nahe (1m) und eine ferne (100m) Primärquelle die Anzahl der Sekundärquellen variiert.

Abb. 2: Dämpfung über Frequenz bei unterschiedlicher Anzahl von Sekundärquellen für nahe und ferne Primärquellen

Bei kleinen Frequenzen beeinflusst die Entfernung der Primärquellen Dämpfung stark. Das liegt an den kleinen Änderungen des Schalldruckgradienten für tiefe Frequenzen, die zu numerischen Fehlern in den Matrixoperationen führen. Bei hohen Frequenzen bestimmt hauptsächlich die Anzahl der Sekundärquellen die Dämpfung.

In Abbildung 3 ist zu erkennen, wie der Schall durch die breiten Abstände der Sekundärquellen hindurchdringen kann.

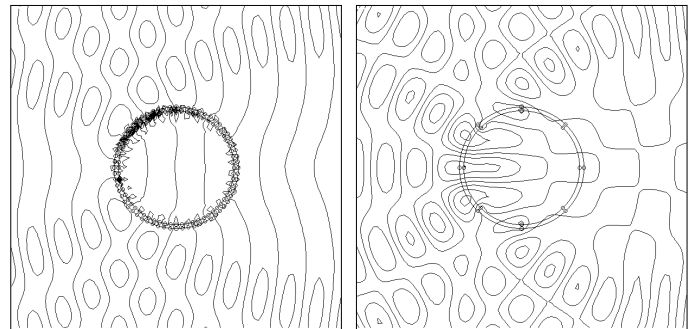


Abb. 3: Überlagertes Schallfeld bei 64 und 8 Sekundärquellen, f=1kHz

Um die Simulation in die Praxis zu überführen, d.h. in Echtzeit betreiben zu können, ist es wichtig, die benötigte Rechenleistung abschätzen zu können. Bei n Sekundärquellen steigt der Berechnungsaufwand mit  $n^2$ , da die Berechnung auf einer  $n \times n$  Matrix beruht [3]. Da die Anzahl der Sekundärquellen linear mit dem Umfang des geschützten Bereiches steigt, steigt der Rechenaufwand bei gleichbleibender oberer Grenzfrequenz in Kreisanordnungen mit dem Quadrat des Radius.

Werden die als Linienquellen angenommenen Sekundärquellen durch verschiedene Kombinationen von Punktquellen ersetzt, ergeben sich die in Abbildung 4 gezeigten Dämpfungswerte.

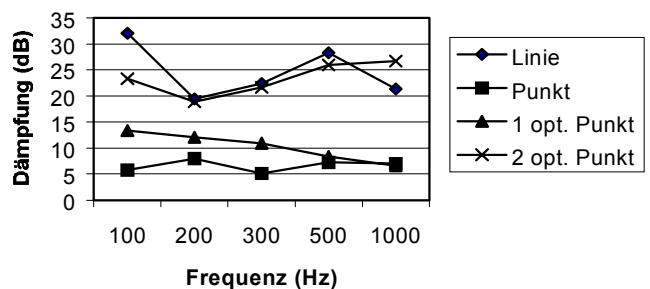


Abb. 4: Dämpfung über Frequenz bei Linie- / Punkt- / optimierte 1-Punkt, optimierte 2-Punkt Quellen und 16 Sekundärquellen

In der Praxis werden hauptsächlich Punktschallquellen eingesetzt. Daher ist es nötig, die nötigen Linienschallquellen durch Punktschallquellen anzunähern. Wird die Linienquelle durch eine einfache Punktquelle in der gleichen Ebene ersetzt, reduziert sich die Dämpfung von über 20 dB auf ca. 5 dB. Wird diese Punktquelle zur Ebene des Feldbereichs versetzt und dabei Phase und Abstand der Quellen zur betrachteten Ebene optimiert [4], so kann die Dämpfung für kleine Frequenzen auf ca. 18 dB gesteigert werden. Für hohe Frequenzen jedoch sind mindestens zwei Punktquellen erforderlich, um ähnliche Dämpfungen wie im idealen Fall zu erreichen. Dies gilt

jedoch nur für die optimierte Ebene. Je weiter man sich von dieser Ebene entfernt, desto größer wird damit auch der Fehler zur idealen Linienquelle [5].

Bisher wurden die Primärquellen als ideale Linienquellen angenommen. Nun wird der Fehler untersucht, der sich durch Ersetzung der primären Linienquellen durch primären Punktquellen ergibt. Wie in Abbildung 5 zu sehen ist, ist der Unterschied der Dämpfung bei kleinen Abständen der Primärquelle zum betrachteten Feldbereich sehr groß. Die Dämpfung für hohe Frequenzen hat bei 4m (also ca. 3-fachem Lautsprecherkreisdurchmesser) und für tiefe Frequenzen bei 16 m etwa wieder die Dämpfungswerte der primären Linienquellen erreicht.

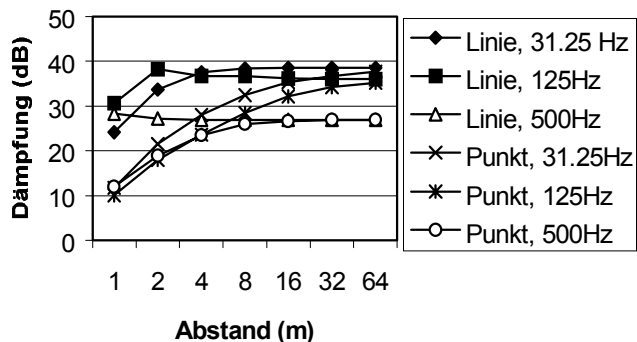


Abb. 5: Dämpfung über Abstand für primäre Linien- und Punktquelle bei verschiedenen Frequenzen

Im Anschluss an diese Betrachtungen werden Breitbandsignale untersucht. Dazu wird vor der Berechnung der einzelnen Frequenzkomponenten eine Fourieranalyse eingefügt. Nach erfolgter frequenzdiskreter Berechnung der Lautsprechersignale werden die Signale wieder addiert. Als Beispiel wird hier ein Ausschnitt eines Schalldrucksignals einer LKW- Vorbeifahrt gezeigt.

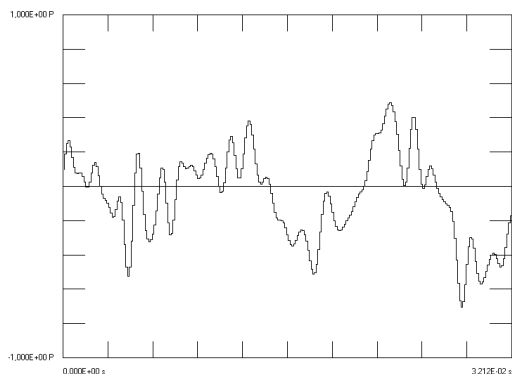


Abb. 6. Primäres Zeitsignal eines LKW- Geräusches

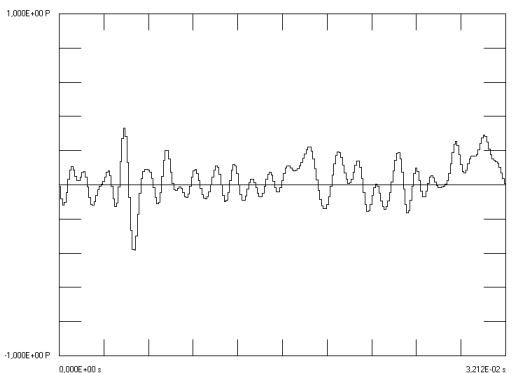


Abb.7. Gedämpftes Zeitsignal des LKW- Geräusches

Ebenso wie dieses Signal wurden andere Signale untersucht. Die erreichte Dämpfung nimmt ab, je höher der Rauschanteil im Signal ist.

Bei unkorrelierten Signalen wie dem weißen Rauschen ist die Dämpfung schließlich über die Fläche betrachtet Null. Durch die Verwendung der Fourieranalyse kommt es zu Einschwingvorgängen. Die Fourieranalyse 'erkennt' die Fourierkomponenten eines Zeitsignals erst vollständig, wenn das Signal den Bereich schon passiert hat. Durch die Festlegung der unteren Grenzfrequenz kann die Fourierfensterbreite und damit die Antwortzeit der Filter je nach Art der Signale optimal eingestellt werden [6]

### 3. Zusammenfassung

Die Simulation zeigt, dass eine Dämpfung des einfallenden Schallfeldes in Abhängigkeit von der Konfigurationen bis zu 40 dB erreicht werden kann. Wichtigster Parameter ist die Anzahl der Sekundärlautsprecher, die in direktem Zusammenhang mit der gewünschten Grenzfrequenz ist. Für Anwendungen, bei denen die Primärquellen Punktquellen sind, sollte ein Mindestabstand vom 4fachen des zu dämpfendem Kreisdurchmessers für hohe Frequenzen und dem 12fachen für niedrige Frequenzen eingehalten werden. Die Untersuchung zeigt, dass das System für tonale Signale ideal arbeitet und je höher der Rauschanteil wird, desto schlechter wird die Dämpfung.

### 4. Ausblick

Da die erforderliche Rechenleistung mit der Anzahl der Sekundärquellen bzw. der Größe des Feldes stark steigt, ist es vor allem wichtig, die Algorithmen weiter zu optimieren. Als weiterer wichtiger Punkt muss noch untersucht werden, wie sich eine Bewegung der Primärquelle auf die Dämpfung auswirkt. Es ist zu erwarten, dass bei größeren Geschwindigkeiten der Einfluss ähnlich dem der unkorrelierten Signale ist. Durch die Weiterentwicklung der internen Routinen ist es gelungen, die Dämpfungen unempfindlicher gegenüber den Mikrofonfehlern zu gestalten. Dies sollte bei der Umsetzung in die Praxis zu deutlich stabileren Ergebnissen führen, als die ersten Algorithmen [2].

### Referenzen

[1] Nelson, P.A; Elliott, S.J.: *Active Control of Sound*; Academic Press, London, 1992

[2] Trimpop, M.; Krahé, 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.; Krahé, D.: *Simulations and their results of the reduction of broadband noise in a two dimensional field*; ACTIVE 99, Fort Lauderdale, 1999

[4] Krahé, D.; Trimpop, M.: *Nachbildung eines zweidimensionalen Schallfeldes in einem begrenzten Volumen mit einer minimierten Anzahl von Schallquellen*; DAGA 2000, Oldenburg, 2000

[5] Krahé, D.; Trimpop, M.: *Minimizing a three-dimensional loudspeaker array for reconstructing a two dimensional soundfield*; ACTIVE 99, Fort Lauderdale, 1999

[6] Trimpop, M.; Krahé, D.: *Betrachtungen über einen neuen Ansatz zur aktiven Schallunterdrückung nach dem Feedforward-System*; DAGA 98, Zürich, 1998