

# Untersuchung des dreidimensionalen Einflusses auf das zweidimensionale Feedforward-System zur aktiven Schallunterdrückung im Freifeld

D. Krahe \*, M. Trimpop \*\*

\* Bergische Universität Wuppertal; Email: krahe@uni-wuppertal.de

\*\* Institut für Lärmschutz, Düsseldorf; Email: mtrimpop@ifl-acoustics.de

## Einleitung

Basierend auf dem allgemeinen Kirchhoff-Integral wird ein gegebenes Schallfeld (Primärfeld) an der Umrandung eines begrenzten Feldbereiches erfasst und durch ein zweites Feld (Sekundärfeld), das durch Schallquellen (Sekundärquellen) in der Nähe der Umrandung erzeugt wird, mittels Überlagerung gedämpft. Die bereits früher vorgestellten Untersuchungen [1]-[3] gingen von ein oder mehreren horizontal verlaufenden, ebenen Wellen aus, die zu einem Wellenfeld führten, das in der Höhe konstant war, sodass nur eine zweidimensionale Abhängigkeit bestand. Die Betrachtungen sollen jetzt ins Dreidimensionale erweitert werden, wo z.B. Vorgaben wie der Elevationswinkel der Primärquellen und deren Abstand in Kombination mit der Quellenart zu berücksichtigen sind. Auch die Ausbildung der Sekundärquellen in der dritten Dimension sind von Einfluss, denn für ein Feld, das in der Höhe konstant ist, sind vertikale Linienquellen die beste Wahl, wohingegen in anderen Situationen Kugelquellen zu einem besseren Resultat führen. Alle diese Umstände sind per Simulation des in [1]-[3] vorgestellten Systems durchgeführt worden, wobei verschiedene Primärfelder vorgegeben und die entsprechenden Sekundärfelder sowie die sich daraus ergebende Dämpfung berechnet wurden. In diesem Zusammenhang konnte der bisherige Algorithmus verbessert werden, sodass eine beachtliche Steigerung der Dämpfung erreicht werden konnte.

## Simulationen

### Abstand der Primärquelle

In früheren Simulationen wurden die Primärquellen so weit in der horizontalen Ebene entfernt angenommen, dass unabhängig von der Quellenart von einer ebenen Welle in dem zu schützenden Bereich ausgegangen werden konnte. Für kürzere Abstände ist diese Annahme nicht richtig, denn das Wellenfeld einer nahegelegenen Punktquelle ist nicht konstant in der Höhe. Damit verringert sich die Dämpfung beim Gebrauch von vertikalen Linienquellen als Sekundärquellen. Deshalb wird zunächst der Einfluss des Abstandes einer primären Punktquelle untersucht, die in der horizontalen

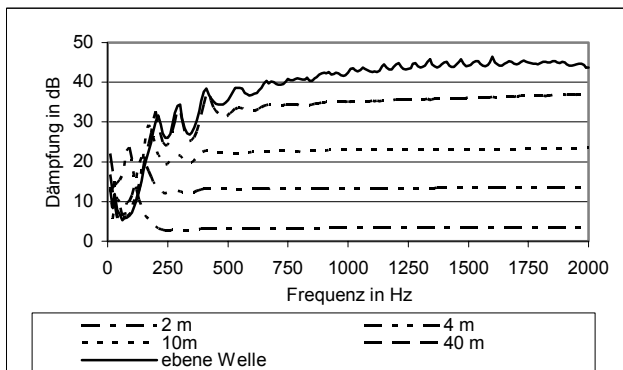


Abbildung 1: Mittlere Dämpfung bei verschiedenen Abständen der primären Punktschallquellen vom Mittelpunkt des kreisförmigen Schutzbereiches (Ø1,5m)

Ebene (XY-Ebene) liegt. Als Sekundärquellen werden Linienquellen zugrundegelegt.

Wie in Abb. 1 zu sehen ist, ist die Reduzierung der Dämpfung bei der nächstgelegene Punktquelle als Primärquelle am größten. Die Frequenz hat dabei nur wenig Einfluss. Bei einem Abstand der punktförmigen Primärquelle von ca. 10 m ist die Dämpfung wieder in einem Bereich oberhalb 20 dB, ab 40 m oberhalb 35 dB.

### Elevationswinkel

Im Dreidimensionalen ist der Elevationswinkel, unter dem die Primärquelle einwirkt, eine weitere bestimmende Größe für erreichbare Dämpfung. Im Falle eines - abweichend vom Idealfall - nicht horizontalen Schalleinfalls reduziert sich ebenfalls die erreichbare Dämpfung. Deshalb sind für verschiedene Elevationswinkel zu erreichende Dämpfung berechnet worden.

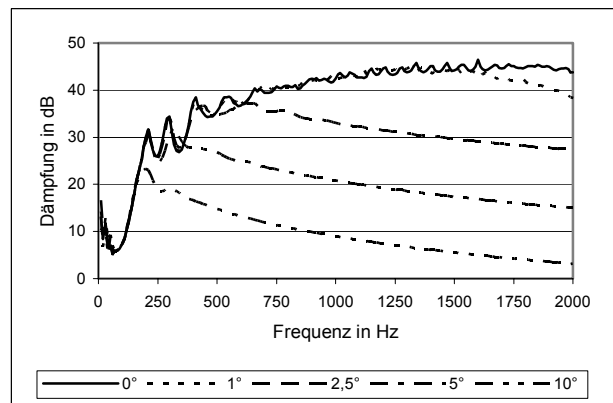


Abbildung 2: Mittlere Dämpfungswerte bei verschiedenen Elevationswinkeln einer primären ebenen Welle

Bereits bei 2,5° gibt es eine nennenswerte Reduzierung der Dämpfungen. Bei 5° Elevation hat sich die Dämpfung gegenüber den 2,5° nochmals merklich verschlechtert, und zwar um etwa 12 dB. Der Einfluss des Elevationswinkels nimmt zu tiefen Frequenzen hin ab. Diese Auswertung zeigt deutlich, dass der Ansatz des in der Höhe konstanten Schallfeldes nur verwendet werden kann, wenn das Primärfeld annähernd parallel zu der betrachteten Ebene einfällt.

### Einfluss der Sekundärquelle

Wie bereits gesagt, sind bei einem Primärfeld - in der Höhe konstant - vertikale Linienquelle als Sekundärquellen die beste Wahl [4]. Allerdings ist dies zunächst nur ein theoretischer Ansatz. In der Praxis sind die Linienquellen durch eine Anordnung von Punktquellen nachzubilden, die in einem begrenzten Höhenbereich (ähnlich) wie eine Linienquelle wirken. Dies hat ebenfalls eine Reduzierung der Dämpfung gegenüber dem Idealfall zur Folge. Da die optimalen Punktquellenpositionen in der Anordnung von der Frequenz abhängen, praktisch aber nur fixe Positionen zu realisieren sind, beruhen die in Abb. 3 gezeigten Ergebnissen auf einem über dem Frequenzbereich von 200 Hz bis 1 kHz gemittelten Optimum.

Die Kurven zeigen die Ergebnisse für verschiedene Sekundärquellen: eine Linienquelle, eine Punktquelle, sowie die beschränkte Nachbildung einer Linienquelle durch zwei und drei Punktquellen. Für nähere Details siehe [5].

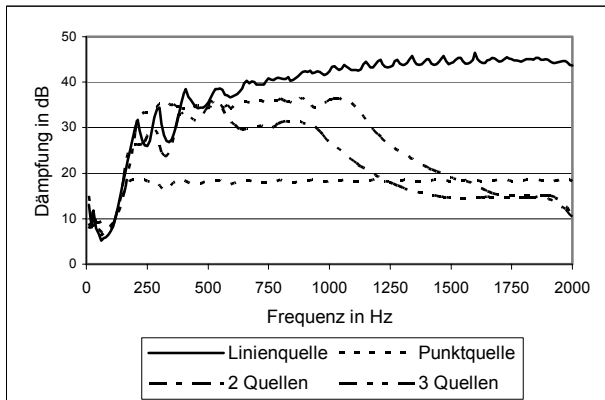


Abbildung 3: Mittlere Dämpfung bei verschiedenen Sekundärquellen

Offensichtlich fällt die Dämpfung bei nur einer Punktquellen über einen breiten Frequenzbereich stark ab, während für zwei und drei Punktquellen die erreichte Dämpfung im Bereich bis 1 kHz noch der bei der Linienquelle ähnlich ist. Für Frequenzen ab 1 kHz sinkt die zu erreichende Dämpfung für zwei und drei Quellen, bis die Dämpfung sogar unter der bei einer einfachen Punktquelle liegt. Bemerkenswert ist, dass selbst bei Ersetzung der Linienquelle durch eine einfache Punktquelle eine Dämpfung von über 18 dB erreicht werden kann.

In Folgendem wird die Dämpfung für verschiedene Höhen über der Optimierungsebene, für die die optimalen Quellenparameter bestimmt wurden, untersucht. Bei drei Punktquellen führen die Berechnungen für verschiedene Höhen oberhalb der Optimierungsebene zu den in Abb. 4 gezeigten Dämpfungsverläufen.

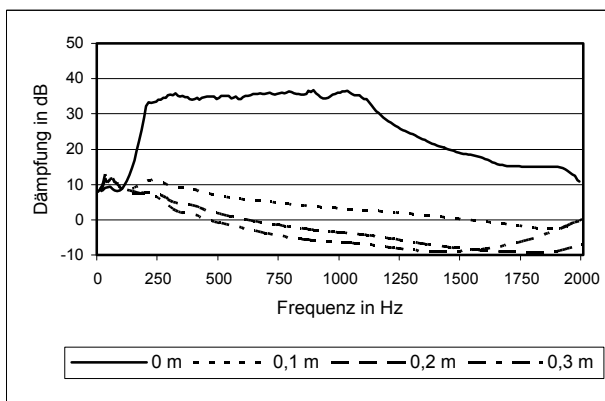


Abbildung 4: Mittlere Dämpfung in verschiedenen Höhen über der Bezugsebene (Optimierung bezüglich dieser Ebene)

Bereits eine Abweichung von 0,1 m aus der Ebene bewirkt eine dramatische Reduzierung der Dämpfung um 30 bis 40 dB. Daher ist für ein praxistaugliches System nicht die Optimierung bezüglich einer Ebene, sondern eher die innerhalb einer Schicht gegebener Dicke anzustreben. Wird auf eine Schicht von  $z = -0,15$  m bis  $z = +0,15$  m optimiert, so steigt die Dämpfung außerhalb der Ebene  $z = 0$  erheblich an (Abb. 5), und zwar innerhalb der optimierten Schicht im Frequenzbereich von 150 Hz bis ca. 1 kHz auf etwa 10 bis 22 dB. Selbst bei einer Abweichung in der Höhe von 0,3 m, also

noch 0,15 m außerhalb der Schicht, wird im Frequenzbereich bis 500 Hz eine Dämpfung von über 10 dB erreicht. Da oberhalb 1 kHz die Optimierung an Stabilität verliert, ist diese Untersuchung auf den Bereich bis 1 kHz begrenzt worden.

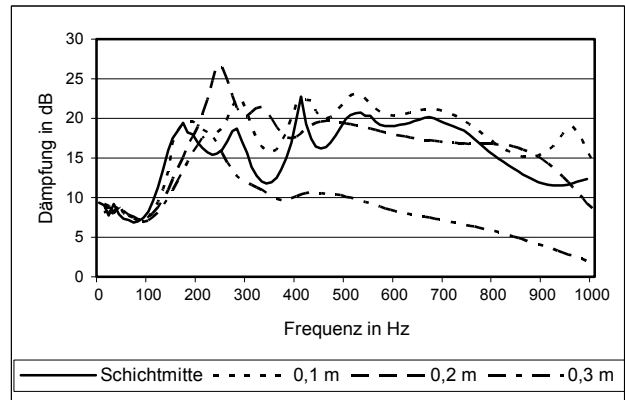


Abbildung 5: Mittlere Dämpfung bei Optimierung über eine Schicht von  $\pm 0,15$  m in versch. Höhen über der Schichtmitte

Gegenüber Abb. 4 ist die Dämpfung relativ zu der in der Ebene erreichten Dämpfung zwar deutlich geringer, aber bereits 10 cm außerhalb der Ebene ist die schichtoptimierte Dämpfung wesentlich besser. In einer Schichtdicke bis ca. 40 cm sind für Frequenzen von 125 Hz bis etwa 900 Hz Dämpfungen von über 15 dB erreichbar. Gemessen an einem Aufwand von nur drei Lautsprechern pro Sekundärquelle ist das ein durchaus guter Wert.

### Zusammenfassung

Die Annahme eines Schallfeldes, das in der Höhe konstant ist, führte in der Vergangenheit zu einer Systemauslegung, in die nur zweidimensionale Rahmenbedingungen eingingen. Ist diese Annahme nicht erfüllt, so müssen die Gegebenheiten in der dritten Dimension berücksichtigt werden, da sonst die erreichbare Dämpfung drastisch abnimmt. Hierzu genügt bei einer nicht horizontal einfallenden Schallwelle schon ein Elevationswinkel von  $2,5^\circ$ . Dagegen ist die Entfernung der Primärquelle nicht von so großem Einfluss: Bereits bei einer Entfernung einer primären Punktquelle von 10 m liegt die Dämpfung oberhalb 20 dB.

Eine Möglichkeit das Systemverhalten zu optimieren, besteht darin, die Dämpfung nicht bezüglich einer Ebene, sondern innerhalb einer Schicht mit einer gewissen Dicke zu maximieren. Schon mit Sekundärquellen, bestehend aus je drei Punktquellen, lassen sich hier annehmbare Werte erzielen. Weitere Verbesserungen werden einer Erfassung des Primärfeldes in der dritten Dimension und deren Umsetzung bei der Generierung des Sekundärfeldes bedürfen.

- [1] Trimpop, M.; Krahe, D.: Contemplations about the numeric transposition of the generalised Kirchhoff Integral with the intention of active noise reduction; – DAGA 99, Berlin
- [2] Trimpop, M.; Krahe, D.: Simulations and their results of the reduction of broadband noise in a two dimensional field–ACTIVE 99, Fort Lauderdale
- [3] Trimpop, M.; Krahe, D.: Simulation der aktiven Schallunterdrückung von monofrequenten und breitbandigen Geräuschen in einem Freifeld nach dem Feedforward-System– DAGA 99
- [4] Krahe, D.; Trimpop, M.: Nachbildung eines zweidimensionalen Schallfeldes in einem begrenzten Volumen mit einer minimierten Anzahl von Schallquellen– DAGA 2000, Oldenburg, 2000
- [5] Krahe, D.; Trimpop, M.: Erzeugung eines zweidimensionalen Schallfeldes mittels eines minimierten Lautsprecherarrays - Untersuchungen zur Realisierbarkeit– DAGA 2001, Hamburg