

# Untersuchungen zur Bestimmung der Spiegelschallquellen aus der richtungsabhängigen Impulsantwort

Ingo Stichler

Institut f. Nachrichtentechnik, Fachhochschule Köln, Email: Ingo.Stichler@web.de

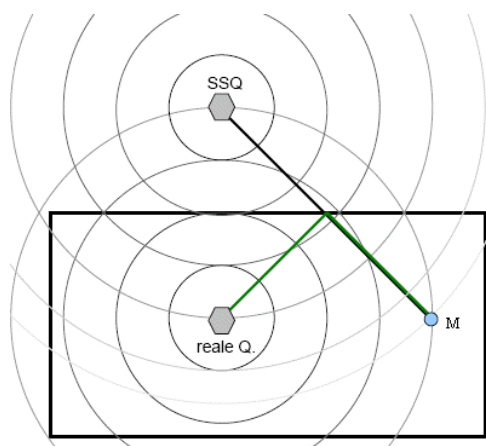
## Einleitung

Für die akustische Planung von Räumen stehen verschiedene Raumsimulationssysteme zur Verfügung. Diese simulieren aufgrund der Raumgeometrie und der Oberflächeneigenschaften der Wandbegrenzung das akustische Verhalten des Raumes. Ergänzend zu diesen Simulationsprogrammen wurden Untersuchungen gemacht, inwieweit gemessene Raumimpulsantworten (RIR) genutzt werden können, um die Positionen von Spiegelschallquellen (SSQ) zu bestimmen, welche in der geometrischen Akustik jeweils eine Reflexion beschreiben. Hierbei enthalten die RIR alle Informationen über den Raum (Geometrie, Oberflächenparameter). Diese werden so aufbereitet, dass hinreichend genaue Aussagen über die Positionen der SSQ getroffen werden können.

## Grundidee des Verfahrens

Mittels einer messtechnischen Erfassung des Schalldrucks auf einer geschlossenen Kugeloberfläche, kann das Schallfeld im gesamten Außenbereich berechnet werden, sofern der Innenbereich quellenfrei ist. Bei dem hier vorgestellten Verfahren erfolgt die Abtastung über ein schwenkbares Mikrofonarray [1].

Somit wird es auch möglich, das Schallfeld so zu betrachten, als wenn die Rückwürfe des Schalls an der Wandbegrenzung von Schallquellen außerhalb des Raumes hervorgerufen werden. Diese virtuellen Quellen werden in der geometrischen Akustik auch als Spiegelschallquellen bezeichnet, die jeweils eine Reflexion beschreiben.



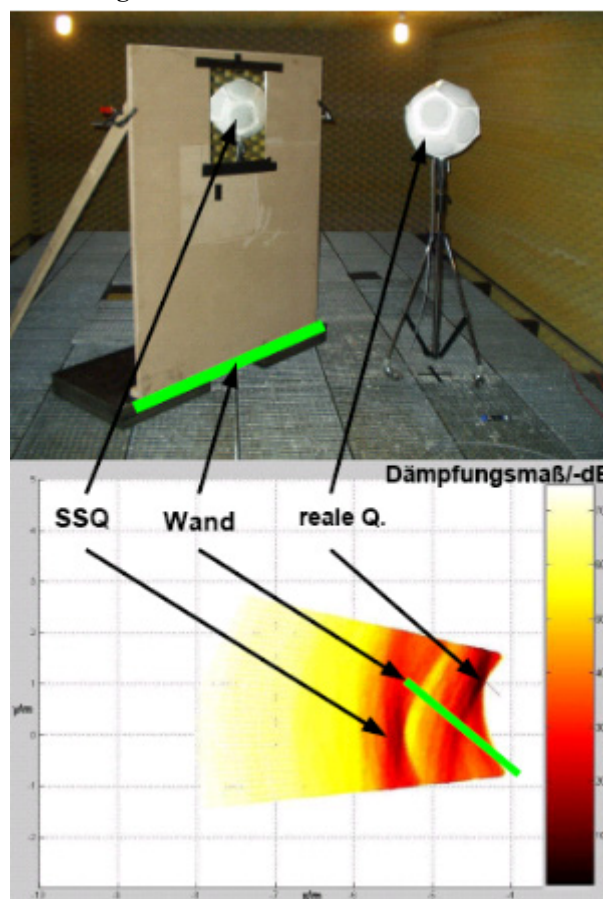
**Abbildung 1** : Reflexion erster Ordnung. Dargestellt ist der Pfad (grün) von der Direktschallquelle (reale Q.) zum Mikrofon (M). Diese Reflexion kann durch die SSQ beschrieben werden.

## Beschreibung des Verfahrens

### Erfassung des Schallfeldes

Mit Hilfe eines Lautsprechers (statische Position) wird der Raum mit einem breitbandigen Signal angeregt. Das sich ausbreitende Signal wird an den Begrenzungsflächen des Raumes reflektiert und trifft zu unterschiedlichen Zeitpunkten an den verschiedenen Mikrofonpositionen eines Arrays ein. In einer anschließenden Berechnung werden für alle Mikrofonpositionen die RIR bestimmt [2].

### Bestimmung der RIR und des Schallfeldes



**Abbildung 2:** Das obere Bild zeigt einen Messaufbau im reflexionsarmen Raum. Die Reflexion, die das Schallfeld an der Wand erfährt, kann durch die SSQ (Spiegelbild) beschrieben werden. Im unteren Bild ist das Ergebnis der überlagerten RIR zu sehen. Die Direktschallquelle (reale Q.) und die SSQ werden durch je ein Maximum repräsentiert.

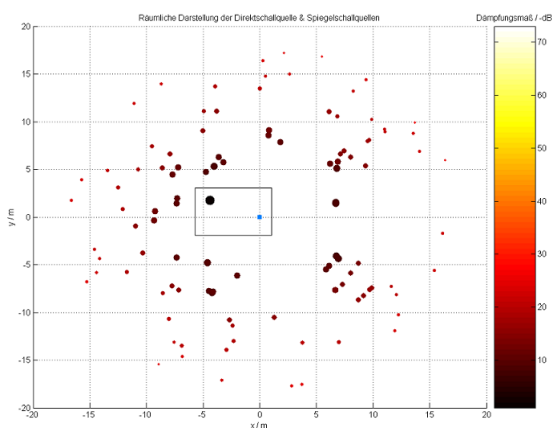
Zur Bestimmung der RIR wird bei den Messungen ein schwenkbares Mikrofonarray verwendet. Dabei werden acht in einer Linie angeordnete Mikrofone auf einer Kreisbahn

bewegt. Daraus ergibt sich für das abgetastete Schallfeld die Fläche einer Zylinderhülle.

Mittels Beamforming werden die RIR überlagert. Damit ist es nicht nur möglich eine Aussage über die Position der Direktschallquelle zu treffen, sondern auch über die SSQ. Hierfür müssen die RIR für Punkte überlagert werden, die außerhalb der Raumhülle liegen. Für die Positionen der SSQ ergibt sich ein relatives Maximum.

### Bestimmung der Spiegelschallquellen (SSQ)

Nachdem das Schallfeld mit Hilfe der RIR einer Messung in einem realen Raum berechnet wurde, ist es erforderlich, aus der hohen Anzahl der Messdaten auf geeignete Weise die Positionen der Spiegelschallquellen zu extrahieren. Die Fokuspunkte, die das Schallfeld beschreiben, sind ausgehend von der Direktschallquelle in einer Datenstruktur abgelegt. Diese wird mit einer nicht überlappenden Fensterfunktion ausgewertet, welche die Maximalwerte herausschreibt (Abb. 3). [3]



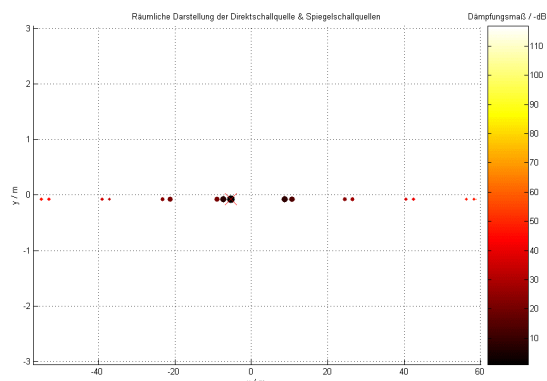
**Abbildung 3:** Gefensterteres Ergebnis eines realen Quaderraumes. Die Wandbegrenzung ist durch das Rechteck gekennzeichnet. Außerhalb des Raumes sind Regionen zu sehen, die je eine SSQ repräsentieren sowie Ghost-Images, die keiner SSQ zugeordnet werden können.

### Grenzen des Verfahrens

Bei der Detektion der Spiegelschallquellen muss beachtet werden, dass diese mit zunehmendem Abstand von der Schallquelle einen immer geringeren Signal-Rauschabstand aufweisen. Auch treten in Abhängigkeit von der Anordnung der Mikrophone, so genannte Ghost-Images der einzelnen Schallquellen auf, die möglichst nicht als SSQ detektiert werden sollen. Schließlich nimmt die räumliche Ausdehnung der SSQ höherer Ordnung zu. Dies liegt zum einen darin begründet, dass aufgrund von diffusen Reflexionen der Rückwurf nicht mehr durch einen scharfen Punkt gekennzeichnet wird, zum anderen hat die zylindrische Anordnung des Mikrofonarrays Auswirkungen auf die (gemessene) Ausdehnung der SSQ.

Bei der folgenden Messung wurden zwei parallele Reflektoren im reflexionsarmen Raum aufgebaut. Dadurch ergeben sich theoretisch unendlich viele SSQ's auf einer Achse. Der Messaufbau wird 40 Sekunden mit einem breitbandigen Signal angeregt. Dabei tasten acht Mikrofone

auf dem Stab das Schallfeld an 36 Positionen auf einer Kreisbahn ab. Das berechnete Schallfeld beruht somit auf der Überlagerung von 288 RIR. Um die SSQ's im reflexionsarmen Raum zu bestimmen, wurde ein zweiter Ansatz gewählt. Hierbei werden die richtungsabhängigen Impulsantworten, die das Schallfeld beschreiben, einzeln betrachtet. Jede wird von dem entferntesten Punkt den diese Impulsantwort repräsentiert bis zur Direktschallquelle durchlaufen, und nur Punkte herausgeschrieben, deren Dämpfungsmaß kleiner ist, als das bis zu dieser Distanz zur Direktschallquelle gefundene Dämpfungsmaß. [3]



**Abbildung 4:** Berechnete Positionen der SSQ's für zwei parallele Wände im reflexionsarmen Raum. Die Direktschallquelle ist mit X gekennzeichnet, das Array befindet sich im Ursprung. Mit 40s Anregungssignal und 288 RIR werden SSQ's in 60m geortet, diese beschreiben Reflexionen der ersten 175ms; mit  $v_{\text{Schall}} = 340\text{m/s}$ .

### Zusammenfassung und Ausblick

In ersten Messreihen an der Fachhochschule Köln konnte gezeigt werden, dass eine Ortung von SSQ höherer Ordnung mit hinreichender Genauigkeit mit den vorgestellten Verfahren möglich ist.

Wie in Abb.2 zu sehen ist, bildet sich um die Positionen der SSQ eine Region aus. Dies erschwert die punktgenaue Positionsbestimmung in realen Räumen. Verschiedene Lösungsansätze für diese genaue Positionsbestimmung müssen noch geprüft werden. Weiterhin wird erwogen, das Berechnungsverfahren dadurch zu beschleunigen, das im Rahmen der Berechnung von homogenen ebenen Wellen anstelle von Kugelwellen ausgegangen wird

### Literatur

- [1] Berkhout, A.J., Vries, D. d., Sonke, J.J., (1997). "Array Technologies for Acoustic Wave Field Analysis in Enclosures", J. Acoust. Soc. Am., 93, pp. 2757-2770.
- [2] Pörschmann, C. (2007). „Messtechnische Analyse der richtungsabhängigen Eigenschaften eines Raumes“, in: Fortschritte der Akustik – DAGA 2007, DEGA e.V., D – Oldenburg.
- [3] Stichler, I. (2007). „Untersuchungen zur Ermittlung der Position von Spiegelschallquellen unter Verwendung eines schwenkbaren Mikrofonarrays“, Diplomarbeit, FH-Köln