

Ermittlung der Spiegelschallquellenpositionen aus den messtechnisch bestimmten Eigenschaften eines Raumes

Christoph Pörschmann

Institut f. Nachrichtentechnik, Fachhochschule Köln, Email: Christoph.Poerschmann@fh-koeln.de

Einleitung

Raumsimulationssysteme stellen seit geraumer Zeit ein wichtiges Hilfsmittel für die akustische Planung von Räumen sowie bei der Anpassung der akustischen Eigenschaften bereits bestehender Räume dar. Die meisten kommerziell verfügbaren Raumsimulationssysteme berechnen auf Grundlage der geometrischen Akustik verschiedene raumakustische Eigenschaften. Diese Verfahren weisen jedoch eine Reihe von Ungenauigkeiten und Simulationsfehlern auf oder sind nur in Teilbereichen aussagekräftig [1]. Für die Optimierung der Raumakustik ist es entweder alternativ oder ergänzend sinnvoll, Verfahren zur messtechnischen Erfassung der akustischen Eigenschaften einzusetzen. Im besten Fall erfordern diese Verfahren keine Konstruktion eines geometrischen Rechnermodells und werden nicht von den obengenannten Ungenauigkeiten beeinflusst.

Im Rahmen der Arbeit wird ein System, das auf eine messtechnische Erfassung der akustischen Eigenschaften eines Raumes ausgelegt ist, dazu verwendet, um die Rückwürfe des Schalls von den Wänden zu identifizieren und zu klassifizieren. Im Folgenden werden die Vorgehensweise zur Bestimmung der Spiegelschallquellen erläutert sowie die Ergebnisse von realen Messungen vorgestellt und bewertet. Es wird gezeigt, in welchen Bereichen gute Übereinstimmungen zwischen dem messtechnisch bestimmten Schallfeld und den Ergebnissen einer Simulation bestehen.

Grundidee des Verfahrens

Mit Hilfe eines drehbaren linienförmigen Mikrofonarrays ist es möglich, das Schallfeld eines Raumes mit einer geringen Anzahl von Mikrofonen durch eine sequentielle Abtastung einzelner Drehwinkel zu erfassen. Mit Hilfe des Arrays wird das Schallfeld auf einer Zylinderoberfläche abgetastet. Die Vorgehensweise hierzu wurde bereits in vorhergehenden Arbeiten beschrieben [4, 5]. Aus der für jedes Mikrofon und jede Winkelposition des Arrays ermittelten Raumimpulsantwort kann das Schallfeld in dem Raum berechnet werden [2,3]. Die Berechnung kann entweder im Zeitbereich oder im Frequenzbereich erfolgen. Sie liefert das Schallfeld an den berechneten Positionen, die auf vom Mittelpunkt des Arrays ausgehenden Strahlen liegen. Jeder Strahl kann als eine richtungsabhängige Impulsantwort des Raumes betrachtet werden (Abbildung 1). Im Schallfeld eines Raumes kann ein Rückwurf des Schalls von einer Wand durch eine Spiegelschallquelle abgebildet werden. Betrachtet man die berechneten richtungsabhängigen Raumimpulsantworten, so sind sowohl die Positionen des Direktschalls als auch die der frühesten Spiegelschallquellen in den richtungsabhängigen Impulsantworten als Maxima des Betrags zu erkennen.

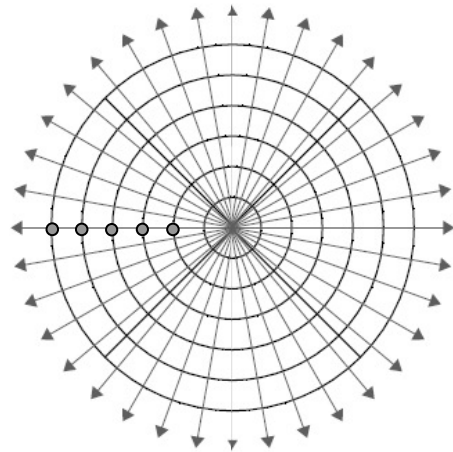


Abbildung 1: Mit Hilfe der Wellenfeldanalyse berechnete Rückwürfe. Diese liegen auf vom Mittelpunkt des Arrays ausgehenden Strahlen.

Berechnung der Spiegelschallquellen

Aus den sich ergebenden Betragsmaxima werden durch geeignete Auswertelgorithmen Positionen und Amplituden der Direktschallquellen und der Rückwürfe ermittelt. Das derzeit realisierte Verfahren zur Identifikation der Rückwürfe soll im Folgenden vorgestellt werden. Gemäß Abbildung 2 wird eine Unterteilung der richtungsabhängigen Impulsantwort in Sektoren vorgenommen, die verschiedene Zeitbereiche der Impulsantwort und unterschiedliche Winkelbereiche kennzeichnen. Für jeden dieser Sektoren werden in einem ersten Schritt der Betrag, der Winkel und die Richtung des Betragsmaximalwerts bestimmt.

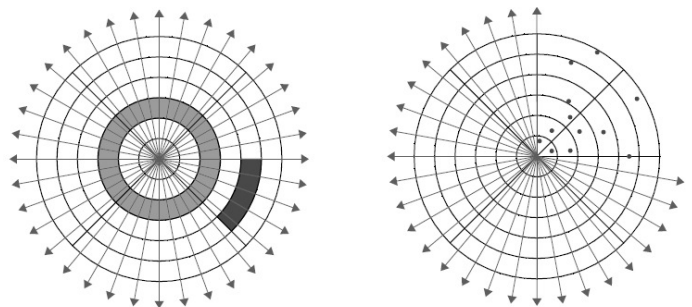


Abbildung 2:

Links: Unterteilung der richtungsabhängigen Impulsantwort in Sektoren. In der Abbildung nicht dargestellt ist die Einteilung in verschiedene Elevationswinkel. Rechts: In jedem der Sektoren werden die Richtung und der Zeitpunkt des Betragsmaximalwerts bestimmt.

Aus dieser Liste mit potentiellen Spiegelschallquellen werden in einem nächsten Verarbeitungsschritt die relevanten Spiegelschallquellen ermittelt. Hierzu werden die ermittelten Maximalwerte der einzelnen Sektoren mit den Werten der benachbarten Sektoren verglichen. Als Rückwürfe werden nur solche Maxima identifiziert, deren Pegel nicht gravierend kleiner als der der umgebenden Maxima ist. Die Schwellwerte, die für diese Identifikation verwendet werden, werden aus den Ergebnissen von Verdeckungsexperimenten abgeleitet. Beispielhaft sind die Ergebnisse einer solchen Berechnung in den Abbildungen 3 und 4 dargestellt. Die gefundenen Rückwürfe wurden hinsichtlich ihres Pegels und Eintreffzeitpunkts analysiert und mit einem Raumsimulationssystem verglichen. Dabei ergaben sich für die frühen Rückwürfe gute Übereinstimmungen. Für die Rückwürfe oberhalb von ca. 200 ms finden sich jedoch Fehlidentifikationen. Aktuelle Arbeiten konzentrieren sich auf eine Optimierung der Algorithmen zu Identifikation der Spiegelschallquellen basierend auf perzeptiven Modellen.

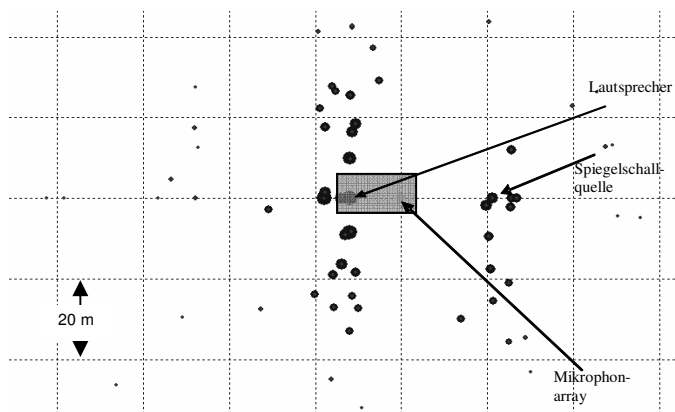


Abbildung 3: Berechnete Positionen der Spiegelschallquellen eines nahezu rechteckigen Raumes (Seminarraum FH Köln) projiziert auf die Horizontalebene. Die Abmessungen des Raumes sind in grau dargestellt. Die Durchmesser der Spiegelschallquellen sind proportional zu ihrer Amplitude

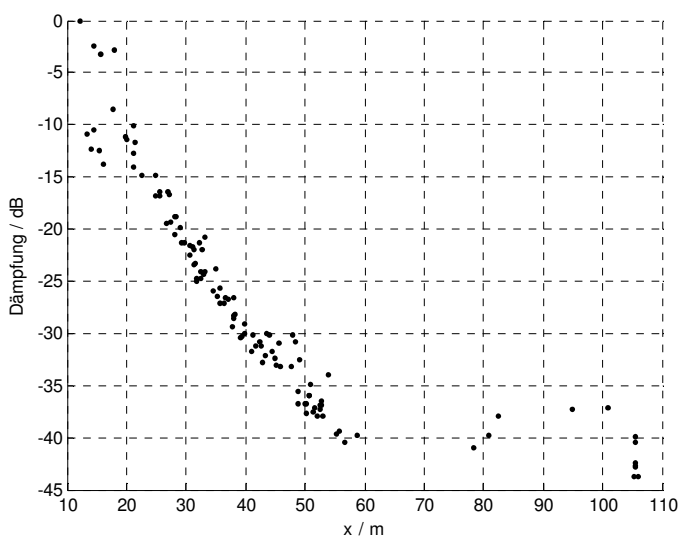


Abbildung 4: Darstellung der Dämpfung der Rückwürfe über dem Weg (Seminarraum FH Köln)

Hilfsmittel zur akustischen Planung bestehender Räume

Grundsätzlich ermöglicht das Verfahren eine Unterstützung bei der raumakustischen Auslegung eines bestehenden Raumes. Es kann ergänzend zu „klassischen“ Raumsimulationsverfahren eingesetzt werden. Es erfasst geometrische und diffuse Reflexionen automatisch korrekt; die bei „klassischen“ Raumsimulationen oft nur sehr grobe Einteilung in diffuse und geometrische Reflexionen erfolgt durch das Messverfahren automatisiert und kann z.B. in Form der Ausdehnung der Spiegelschallquellen berücksichtigt werden.

Hörbarmachung und Modifikation der Messergebnisse

Die mit dem Verfahren gewonnenen Messergebnisse können zusätzlich für die Hörbarmachung eines Raumes mit Hilfe einer virtuellen Umgebung genutzt werden. Durch die Abtastung des Schallfeldes auf einer zylindrischen Oberfläche mit einer hohen Anzahl von Mikrofonen kann das Schallfeld in einem bestimmten Bereich um den Empfänger komplett berechnet werden. Dadurch ist eine Umsetzung der Messdaten für ein beliebiges kopfhörer- oder lautsprecherbasiertes Wiedergabesystem möglich.

Weiterhin ist es bei dem hier vorgestellten Verfahren problemlos möglich, geeignete Rückwürfe hinzuzufügen oder zu eliminieren und damit die Wiedergabe zu beeinflussen. Auf Basis der gewonnenen Messdaten wird ein „Hineinhören“ in einen zielgerichtet akustisch modifizierten Raum möglich, wodurch die raumakustische Anpassung in ihrer Planungsphase deutlich vereinfacht werden kann.

Zusammenfassung und Ausblick

Das vorgestellte Verfahren ermöglicht die messtechnische Erfassung der akustischen Eigenschaften von Räumen und die Bestimmung der zugehörigen Spiegelschallquellen eines Raumes. In einem weiteren Schritt wird angestrebt, dass eine Person virtuell in den vermessenen Raum hinein versetzt werden kann, und dass sogar gezielt Veränderungen an den akustischen Raumeigenschaften hörbar gemacht werden können.

Literaturverzeichnis

- [1] Bork, I. (2002). „Bericht vom 3. Ringvergleich zur Raumakustischen Simulation,“ in: *Fortschritte der Akustik – DAGA 2002*, DEGA e.V., D – Oldenburg.
- [2] 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.
- [3] Vries, D. d., Boone, M. (1999). „Wave Field Synthesis and Analysis using Array Technology,“ in: *Proc. IEEE Workshop on Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics*, New Paltz, New York.
- [4] Pörschmann, C. (2007). „Messtechnische Analyse der richtungsabhängigen Eigenschaften eines Raumes“, In: *Fortschritte der Akustik – DAGA 2007*, DEGA e.V., D – Oldenburg, pp. 881-882.
- [5] Stichler, I. (2007). „Untersuchungen zur Bestimmung der Spiegelschallquellen aus der richtungsabhängigen Impulsantwort,“ in: *Fortschritte der Akustik – DAGA 2007*, DEGA e.V., D – Oldenburg, pp. 891-892.