

Messtechnische Analyse der richtungsabhängigen 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 bei der akustischen Planung von Räumen sowie bei der Anpassung der Raumakustik von bereits bestehenden Räumen dar [1]. Verschiedene Raumsimulationssysteme sind kommerziell verfügbar, die meistens ermitteln auf der Grundlage der geometrischen Akustik die grundlegenden raumakustischen Eigenschaften aus den geometrisch vorgegebenen Raumdaten.

Allerdings weisen diese Verfahren eine Reihe von Ungenauigkeiten und Simulationsfehler auf oder sind nur in Teilbereichen aussagekräftig [2]. Für die Optimierung der Raumakustik bestehender Räume ist es als alternative oder ergänzende Vorgehensweise sinnvoll, Verfahren zur messtechnischen Erfassung der akustischen Eigenschaften von Räumen einzusetzen. Im besten Fall erfordern diese Verfahren keine Konstruktion eines geometrischen Rechnermodells und werden nicht von den obengenannten Ungenauigkeiten beeinflusst.

Grundidee des Verfahrens

Die Wellenfeldanalyse stellt das Pendant zur Wellenfeldsynthese dar, bei der durch eine Umkehrung des Huygen'schen Prinzips die Verfahren der Wellenfeldsynthese verwendet werden [3]. Über die Erfassung des Schalldrucks auf einer geschlossenen Oberfläche kann das Schallfeld im gesamten (quellenfreien) Außenbereich berechnet werden.

Die in der Praxis eingesetzten Verfahren erfassen den Schalldruck mit Hilfe von Mikrophonarrays. Unter der Randbedingung, dass die Abstände zwischen den Mikrophonen klein gegenüber der Wellenlänge des Schalls sind, ist eine Ermittlung des Schallfeldes aus den mit Hilfe von Mikrophonarrays gemessenen Daten möglich.

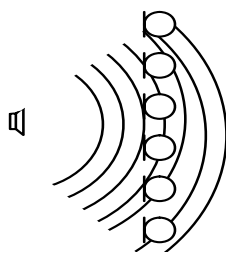


Abbildung 1: Grundprinzip der Wellenfeldanalyse: Das Schallfeld (hier punktförmige Schallquelle) wird mit Hilfe eines Mikrophonarrays abgetastet. In dem hier dargestellten Fall sind alle Mikrophone auf einer Linie angeordnet.

Im Rahmen des hier vorgestellten Verfahrens wird ein messtechnischer Ansatz zur Ermittlung der Raumakustik verfolgt. Mit Hilfe der Wellenfeldanalyse wird das Schallfeld eines bestehenden Raumes analysiert und daraus die Eintreffrichtungen und -zeitpunkte des Schalls beliebiger punktförmiger Quellen beim Empfänger ermittelt [4]. Im Rahmen dieses Vorhabens stellen die unterschiedlichen Quellen den Direkt-

schall sowie die als Spiegelschallquellen auftretenden Rückwürfe dar. Mittels dieser Analyse der Raumakustik ist es möglich – genau wie bei der geometrischen Simulation – sowohl Eintreffzeitpunkte als auch die Eintreffrichtungen des Direktschalls und der Rückwürfe zu bestimmen. Ein solcher Einsatz von Verfahren zur Wellenfeldanalyse für die Ermittlung der Raumakustik bietet die Möglichkeit, die Rückwürfe eines realen Raumes messtechnisch zu erfassen.

Beschreibung des Verfahrens

Erfassung des Schallfeldes des Raumes

Mit Hilfe eines Lautsprechers wird an einer Position im Raum ein breitbandiges Anregungssignal abgestrahlt. Der sich im Raum ausbreitende Schall wird an den Begrenzungsflächen reflektiert und erreicht auf unterschiedlichen Ausbreitungswegen die Mikrophone, die an verschiedenen Positionen im Raum platziert sind, bzw. nacheinander an verschiedene Positionen bewegt werden. Zwischen dem Anregungssignal und den an unterschiedlichen Orten aufgenommenen Mikrophonensignalen werden in einem ersten Berechnungsschritt die Impulsantworten berechnet.

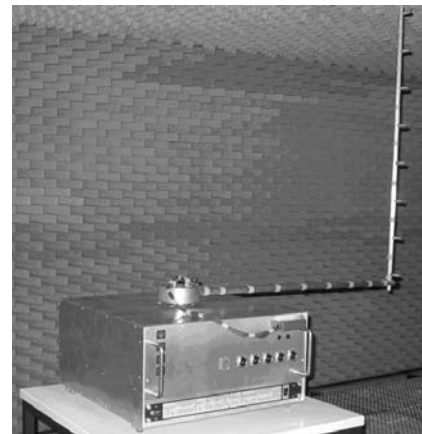


Abbildung 2: Messsystem eines beweglichen Mikrophonarrays. Die Abtastung erfolgt auf einer Kreisbahn mit einem Radius von 0.87 m.

Mit Hilfe eines auf einer Kreisbahn drehbaren Mikrophonarrays wird das Schallfeld auf einer Zylinderoberfläche erfasst (s. Abbildung 2). Kreisförmige Arrays zur Wellenfeldanalyse wurden bereits systematisch untersucht [5].

Berechnung richtungsabhängiger Raumimpulsantworten

Aus der Überlagerung der Impulsantworten für die einzelnen Mikrophonpositionen kann das Schallfeld nach der Methode der Wellenfeldanalyse oder mit Hilfe von Beamforming in dem gesamten Raum berechnet werden [4]. Diese Berechnung kann sowohl im Zeit- als auch im Frequenzbereich durchgeführt werden. Im Folgenden wird hierzu ein Ansatz im Zeitbereich gewählt und die an den Mikrophonen eintreffenden Signale nach dem Prinzip des Beamforming auf eine beliebige Position im Raum zurückgerechnet. Für die Be-

rechnung werden Punkte auf den von dem Mittelpunkt des Arrays in unterschiedliche Richtungen ausgehende Strahlen betrachtet. Jeder Strahl kennzeichnet somit den in Abhängigkeit von der Zeit im Mittelpunkt des Arrays eintreffenden Schall einer Richtung; jeder Strahl bildet eine richtungsabhängige Impulsantwort des Raumes.

Berechnung der Positionen der Spiegelschallquellen

In dem Schallfeld eines Raumes kann ein Rückwurf des Schalls von einer Wand durch eine Spiegelschallquelle, also eine virtuelle Schallquelle 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 zu erkennen.

Durch geeignete Auswertgorithmen werden die einzelnen Rückwürfe aus dem Schallfeld extrahiert und kategorisiert. Damit wird es auch möglich, unterschiedliche Typen von Rückwürfen zu erkennen und z.B. zu analysieren, inwieweit eine Reflexion geometrisch bzw. diffus erfolgt.

Pilotuntersuchungen, die an der Fachhochschule Köln durchgeführt wurden, zeigen die prinzipielle Einsetzbarkeit dieser Methode. Rückwürfe des Schalls können bezogen auf

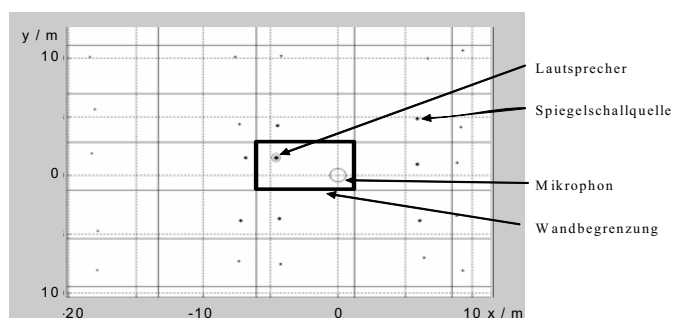


Abbildung 3: Aus den Messdaten berechnete Positionen der Spiegelschallquellen eines nahezu rechteckförmigen Raumes (Seminarraum an der FH Köln)

ihren Eintreffzeitpunkt und ihre Eintreffrichtung mit Erfolg versprechender Genauigkeit bestimmt werden.

Allerdings ist der Rechenaufwand für die Detektion der Spiegelschallquellen hoch und eine Trennung zwischen Spiegelschallquellen und aufgrund der Mikrofonanordnung auftretender Ghost-Images erforderlich. Weiterhin ist die räumliche Ausdehnung der Spiegelschallquellen von der Anordnung des Mikrofonarrays abhängig. Eine quantitative Auswertung und eine Optimierung des Verfahrens sind Teil der aktuellen Forschungstätigkeiten. Detaillierte Ergebnisse der Messungen und der Beschreibung des Verfahrens zum Auffinden der Spiegelschallquellen finden sich in [6].

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 Spiegelschallquelle berücksichtigt werden. Diese Vorteile tragen dazu bei, dass das Verfahren ein Hilfsmittel zur Analyse und Optimierung der Raumakustik von bestehenden Räumen darstellen kann.

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 einem (zylindrischen) Mikrofonarray 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 prinzipiell für ein beliebiges 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 eines Raumes in ihrer Planungsphase deutlich vereinfacht werden kann.

Zusammenfassung und Ausblick

Das vorgestellte Verfahren ermöglicht die messtechnische Erfassung der akustischen Eigenschaften von Räumen. Die akustischen Eigenschaften eines Raumes werden maßgeblich durch die Wandreflexionen gekennzeichnet.

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 vorgenommen werden können.

Literaturverzeichnis

- [1] Krokstad, A., Strøm, S., Sørsdal, S. (1968). „Calculating the Acoustical Room Response by the use of a Ray-tracing Technique,” *J. Sound Vib.* 8, pp. 118-125.
- [2] Bork, I. (2002). „Bericht vom 3. Ringvergleich zur Raumakustischen Simulation,” in: *Fortschritte der Akustik – DAGA 2002*, DEGA e.V., D – Oldenburg.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] Hulsebos, E., Vries, D. d., Bourdillat, E. (2001). „Improved Microphone Array Configurations for Auralization of Sound Fields by Wave Field Synthesis,” 110th AES Convention, Amsterdam.
- [6] Stichler, I. (2007). „Untersuchungen zur Bestimmung der Spiegelschallquellen aus der richtungsabhängigen Impulsantwort,” in: *Fortschritte der Akustik – DAGA 2007*, DEGA e.V., D – Oldenburg.