

Verwendung von Stimme, Gesang und Musikinstrumenten zur Bestimmung raumakustischer Parameter

R.Machner¹, K.Heutschi², M.Blau³

¹ *Fachhochschule OOW, 26122 Oldenburg, Deutschland, Email: r.machner@web.de*

² *EMPA, 8600 Dübendorf, Schweiz, Email: kurt.heutschi@empa.ch*

³ *Institut für Hörtechnik und Audiologie, 26122 Oldenburg, Deutschland, Email: matthias.blau@fh-oldenburg.de*

Einleitung

Dieser Beitrag berichtet über die Möglichkeit raumakustische Parameter auf Basis der Anregung eines Raumes durch Stimme, Gesang oder Musikinstrumente zu ermitteln. Durch diese Methode, erstmals erwähnt 1975 von Siebrasse und Gawron [1], ist der Einfluss der Publikumsabsorption während einer musikalischen Darbietung berücksichtigt. Konventionelle Verfahren arbeiten üblich in einem Raum im unbesetzten Zustand, wodurch der Einfluss durch die anwesenden Personen auf die Raumübertragung nicht mitbeachtet wird.

Es werden die Grenzen des Verfahrens auf der Signalebene sowie in der Praxis aufgezeigt. Das Verfahren wurde in ersten Testläufen mit einer konventionellen Methode zur Bestimmung raumakustischer Parameter verglichen und die Qualität der Ergebnisse diskutiert. Voraussetzungen zur Schätzung des Quellsignals, Einflüsse durch umstehende Störquellen sowie die Eignung der verschiedenen Anregungssignale in der Praxis wurden in verschiedenen Untersuchungen verdeutlicht.

Beschreibung des Verfahrens

Das neue Verfahren nutzt den Zusammenhang, dass die Kreuzkorrelationsfunktion $R_{xy}(\tau)$ zwischen Eingangs- und Ausgangssignal gleich der Systemimpulsantwort $h(t)$, gefaltet mit der Autokorrelation $R_{xx}(\tau)$ des Anregungssignals, ist (Gl.1)

$$R_{xy}(\tau) = h(t) * R_{xx}(\tau) \quad (1)$$

Der Eingang des Systems wird durch ein Referenzmikrophon im Nahfeld einer Quelle auf der Bühne geschätzt. Durch ein weiteres Mikrophon im Bereich des Publikums ist der Systemausgang registriert. Aufgrund des bekannten spektralen Verhaltens nichtstationärer Quellen (Sprache, Gesang und Musikinstrumente) wurde eine angepasste Verarbeitung ermittelt.

Es bedarf bestimmter Anforderungen an den Signalgeber, um als Anregungssignal dienen zu können. Zum einen muss er eine ausreichende Energie über den gesamten interessierenden Frequenzbereich liefern und möglichst ungerichtet in den Raum abstrahlen. Die genaue Positionierung des Mikrophons im Nahfeld der Quelle ist für eine optimale Schätzung von hoher Wichtigkeit. Grundlage hierfür ist die Kenntnis der Richtcharakteristik der verschiedenen Quellen sowie einer Signalverarbeitung mit Störgeräuschunterdrückung.

Grenzen und Voraussetzungen des Verfahrens

Das neue Verfahren stellt unterschiedliche Anforderungen an die Quelle sowie die Schätzung des Quellsignals. Der Ort, an dem das Anregungssignal mit dem Mikrophon abgenommen wird ist entscheidend für mögliche Störeinflüsse. Der Direktschallanteil am Quellenmikrophon muss möglichst groß im Vergleich zu diskreten Reflexionen sein. Hinweis hierfür gibt der Hallradius eines Raumes, welcher den Grenzabstand von einer Quelle angibt, innerhalb dessen der Direktschall den reflektierenden Anteils überwiegt.

Messungen bestätigten, dass nur für Abstände von Quelle und Quellenmikrophon innerhalb des halben Hallradius eines Raumes nachvollziehbare Ergebnisse für die raumakustischen Parameter resultieren. Außerhalb dieser Distanz ist mit einer zu hohen Ungenauigkeit der Resultate zu rechnen.

Durch die Schätzung des Systemeins- und Ausgangs mittels eines Mikrophons kann es zur Störgeräuschbeeinflussungen an beiden Positionen durch weitere Akteure auf der Bühne oder des Publikums kommen. Diesen Störungen kann jedoch durch eine angepasste Signalverarbeitung entgegengewirkt werden. Untersuchungen bestätigten die Theorie, dass auf umliegende Störquellen der Anregungsquelle geachtet werden muss und unkorrelierte Störungen am Systemausgang toleriert werden. Dabei zeigte sich anhand der Ergebnisse, dass die Nachhallzeit hierbei empfindlicher reagiert als die Energiemaße.

Aufgrund theoretischer Bestimmung des Frequenz und Abstrahlverhaltens verschiedener Quellen in einer Musikdarbietung resultieren die besten Eigenschaften für die Anregung durch die menschliche Sing- und Sprechstimme sowie für den Konzertflügel. Spektral sind diese Anregungsarten durchaus für raumakustische Messungen oberhalb von 250Hz geeignet.

Praktische Messungen der verschiedenen Anregungen bestätigten diese Aussage für die Sing- und Sprechstimme. In Abb.1 werden die Ergebnisse für die Nachhallzeit T_{20} nach männlicher und gemischter Gesangsdarbietung sowie einer Sprachdarbietung, ermittelt durch das neue Verfahren, im Vergleich zu einer konventionellen Messung mit DIRAC gezeigt. Die konventionelle Messung nach dem MLS-Verfahren mit Dirac ist mit den Grenzen der subjektiven Wahrnehmungsgrenzen skizziert.

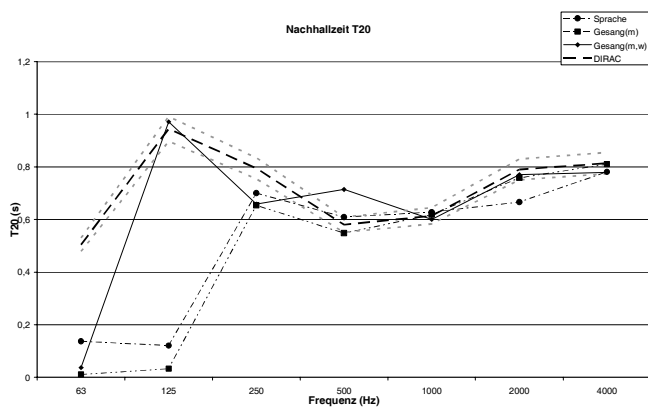


Abbildung 1: Ergebnisse der neuen Methode mit Anregung durch zwei verschiedene Gesangsdarbietungen sowie Sprache im Vergleich mit einer konventionellen Messung des Systems DIRAC.

Die Ergebnisse zeigen deutlich für alle drei Anregungen eine gute Übereinstimmung zur konventionellen Methode oberhalb der 250Hz Oktave. Bis auf kleine Abweichungen bewegen sich die gemessenen Werte innerhalb des subjektiv nicht spürbaren Wahrnehmungsbereichs. Bei der gemischten Gesangsdarbietung konnte sogar in der 125Hz Oktave ein übereinstimmender Wert gezeigt werden. Für die beiden anderen Anregungen resultieren unterhalb dieser Oktave aufgrund schlechter Energieverhältnisse keine verwertbaren Ergebnisse. Die positiven Resultate greifen ebenfalls für die EDT sowie der Energiemaße (nicht abgebildet). Auch hier wurden für alle drei Anregungsquellen sehr gute Werte in Verbindung zur konventionellen Methode oberhalb von 250Hz ermittelt. Die lediglich leichten Abweichungen in bestimmten Frequenzbereichen oberhalb von 250Hz resultieren aus ortsbedingten Unterschieden, da keine globalen Messungen durchgeführt wurden, sondern nur zwei Empfängerpositionen im Raum gewählt wurden. Eine nach DIN 3382 durchgeführte Messung mit darin genannter Positionierung der Empfängermikrophone steht noch aus.

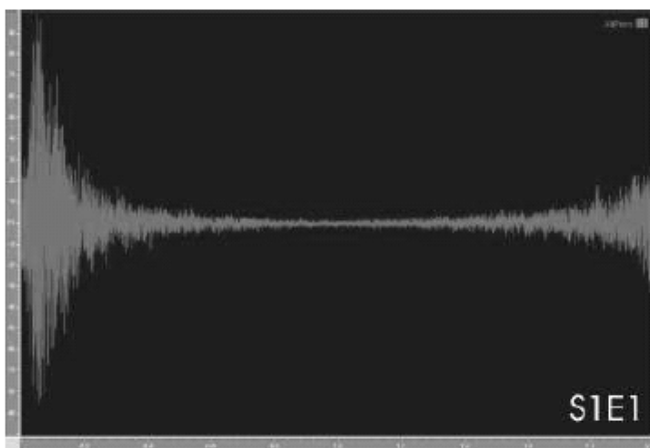


Abbildung 2: Impulsantwort eines Raumes nach Anregung durch einen Konzertflügel mit definierter Empfänger-Senderposition S1E1.

Bei der Verwendung des Konzertflügels als Signalgeber zeigte sich nach theoretisch guter Eignung eine Besonderheit in der praktischen Anwendung. Alle

ermittelten Impulsantworten zeigten einen charakteristischen Verlauf nach Abb.2 an, wobei sie zum Ende hin, entgegen der Theorie, ansteigt. Erklärung durch Simulation mit kontrollierten Parametern in MatLab:

Die Impulsantwort des Raumes (Gl.1) resultiert durch die Gegebenheiten zwischen Quelle und Quellmikrophon sowie zum Empfängermikrophon nach der Vorschrift:

$$H(\omega) = \frac{Y(\omega)}{X(\omega)} \cdot G(\omega)^{-1} \quad (2)$$

Hierbei steht $G(\omega)$ für die Übertragungsfunktion zwischen Quelle und Quellenmikrophon, $Y(\omega)$ für das gemessene Ausgangsspektrum und $X(\omega)$ für das wahre Eingangsspektrum. Es konnte in verschiedenen Testreihen gezeigt werden, dass nach einem zufälligen Muster in der Inversen von $G(\omega)$ starke Überhöhungen bei bestimmten diskreten Frequenzen auftreten. Diese Frequenzkomponente kann in der Systemimpulsantwort in Funktion der Verstärkung in einer Art Trägerfrequenz wieder gefunden werden. Das Auftreten dieses Effektes kann nur bei Anwesenheit von frühen, diskreten Reflexionen sowie Diffusanteil festgestellt werden. Je früher das Eintreffen dieser Komponenten, desto ausgeprägter ist das ansteigende Verhalten sichtbar.

Bei der Verwendung des Konzertflügels als Anregungsquelle kommt es durch die Positionierung des Quellenmikrophons nahe der Begrenzungsflächen, des Flügeldeckels, zu den genannten starken, diskreten Reflexionen sowie einem ausgeprägten Abklingverhalten. Wie bereits bei großen Abständen von Quellenmikrophon und Quelle bei Schätzung des Eingangssignals zeigt sich dann, dass $G(\omega)$ nicht mehr minimalphasig ist und damit keine stabile und kausale Inverse existiert. Dies führt in der Gesamtimpulsantwort zu der beschriebenen Beeinflussung.

Zusammenfassung und Ausblick

Es konnte gezeigt werden, dass das neue Verfahren zur Ermittlung raumakustischer Parameter mit Berücksichtigung der Publikumsabsorption mit Anregung durch Sprache und Gesang durchaus funktioniert.

Durch die genannten Probleme bei der Verwendung des Konzertflügels als Anregungsquelle ist nach Maßnahmen zur Reduktion der ansteigenden Impulsantwort durch Verbesserung der Mikrophonierung sowie evtl. einer Dämpfung früher Reflexionen zu suchen.

Aufgrund der guten Ergebnisse für Messpositionen zur Schätzung des Anregungssignals innerhalb des halben Hallradius wären weitere Testreihen in einem Raum mit höherer Nachhallzeit als des Verwendeten mit ca. 0.7sec notwendig, um diese Aussage zu bekräftigen.

Literatur

[1] Siebrasse, K. F. und Gawron, H. J. (1975). Die Messung von objektiven akustischen Parametern in besetzten Konzertsälen. Fortschritte der Akustik - DAGA'75, 75:463 - 466.