

# Vereinfachtes Messobjekt zur Untersuchung von Unsicherheitsfaktoren bei der Transferpfadanalyse und -synthese

Pascal Dietrich<sup>1</sup>, Bruno Masiero<sup>1</sup>, Michael Vorländer<sup>1</sup>, Sylvio Bistafa<sup>2</sup>, Samir N.Y. Gerges<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Institut für Technische Akustik, RWTH Aachen, 52056 Aachen, Germany*

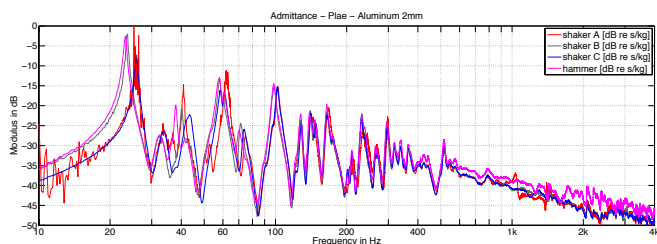
<sup>2</sup> *Escola Politécnica, USP, São Paulo, Brasilien*

<sup>3</sup> *LVA, UFSC, Florianópolis, Brasilien*

*Email: pdi@akustik.rwth-aachen.de*

## Einleitung

Bei der Transferpfadanalyse und Synthese werden Messdaten und ein Modell der Übertragungsstrecke verwendet um z.B. einen Schalldruckpegel einer Situation vorherzusagen oder diese Situation zu auralisieren. In Abhängigkeit des gewählten Modells und der Eingangsdaten stimmen Synthese und Realität mehr oder weniger gut überein. Unterschiedliche Messmethoden und unterschiedliches Equipment liefern teilweise große Differenzen in den Ergebnissen, obwohl sich das Messteam nicht ändert, wie Abb. 1 aufzeigt.



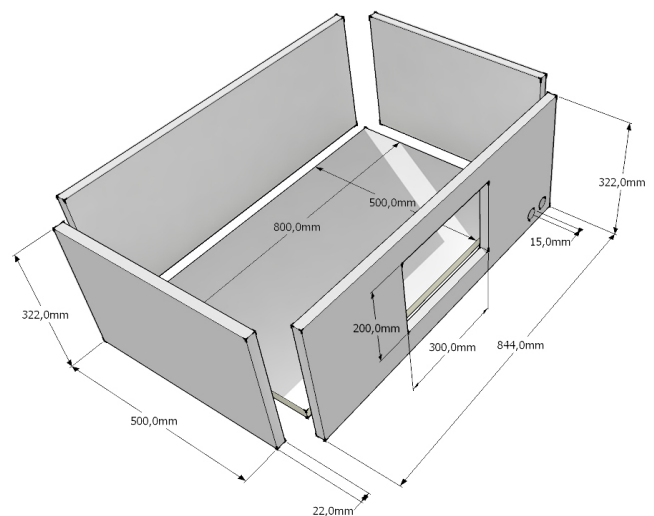
**Abbildung 1:** Admittanz der Deckplatte der Box an gleicher Stelle mit unterschiedlichem Equipment gemessen [1].

Um die Unsicherheiten der akustischen Vorhersage durch die zugrunde liegenden Messungen und durch vorgenommene Vereinfachungen am Modell genauer zu untersuchen, wurde basierend auf einem bereits existierenden Messaufbau [2] ein neuer, vereinfachter Messaufbau entwickelt. Problematisch an der bereits existierenden Lösung ist ihre räumliche Größe und die verwendete Körperschallquelle. Der neue Messaufbau soll aus akustischer Sicht möglichst einfach und daher auch leicht verständlich sein. Abweichungen sollen kontrolliert anbringbar sein, um die Auswirkungen auf die Messung direkt analysieren zu können. Auf der anderen Seite soll er repräsentativ für übliche Transferpfadszenarien sein. Es wird daher eine einfache Box und ihre Konstruktion vorgestellt. Basierend auf Simulationen und Messungen von bestimmten Luftschalltransferpfaden wird versucht den Prototypen und zwei unabhängig hergestellten Kopien zu charakterisieren. Es handelt sich nicht um ein skaliertes Modell, sondern lediglich um ein Modell was stellvertretend für kleine Produkte, wie etwa Haushaltsgeräte, genutzt wird.

## Konstruktion

Als Kompromiss zwischen vielseitiger Anwendbarkeit und leicht überschaubarem akustischen Verhalten wur-

de ein Reckeckraum mit austauschbarem Deckel gewählt. Der Raum hat die Innenabmessungen  $800 \times 500 \times 300 \text{ mm}^3$  und ist in Abb. 2 dargestellt. Als Material wurde aus Gründen der Verarbeitung und Verfügbarkeit 20 mm starkes MDF-Holz gewählt. Das eingelassene Fenster der Größe  $20 \times 30 \text{ mm}^2$  ist lediglich zur Einsicht in die geschlossene Box vorgesehen. Zur Auflage der Deckplatte wurde eine eingelegte Moosgummidichtung vorgesehen, die aus Gründen der Dichtigkeit in der aktuellen Version durch eine kommerziell verfügbare selbstklebende Fensterrahmendichtung ersetzt wurde. Zur Durchführung der notwendigen Kabel für Sensoren und Actuatoren sind spezielle Kabelführungen entwickelt worden. Somit ist sichergestellt, dass keine Undichtigkeiten entstehen.

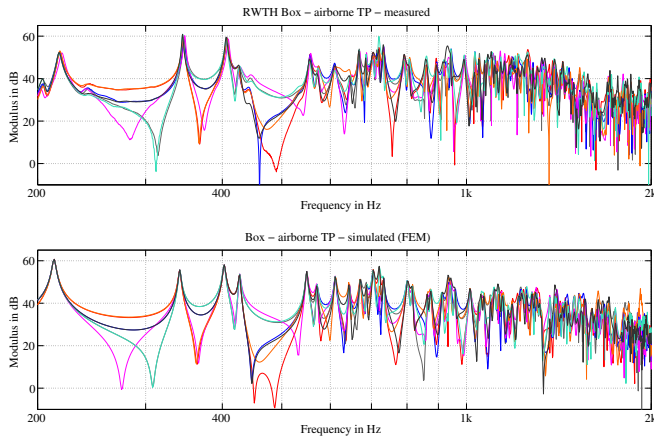


**Abbildung 2:** Bemaßung der Grundbox mit kleinem Sichtfenster und Kabelführungen.

## Vergleich – Messung und Simulation

Zur Evaluierung wird eine Messung des entwickelten Prototypen mit einer FEM Simulation im Frequenzbereich von 200 – 2000 Hz verglichen. Als Randbedingung für die Simulation wird eine bekannte Wandimpedanz von MDF angesetzt. Es werden eine omnidirectionale Quelle mit einem Abstand von 50 mm von den Seitenwänden und Mikrofone mit einem Abstand von 5 mm zu den Seitenwänden platziert. Diese Anordnung ist besonders in der Praxis leicht reproduzierbar, da man lediglich die Quelle und die Empfänger möglichst weit in den Ecken platzieren muss. Gemessen wurde mit dem am Institut entwickelten kleinen Dodekaeder-Lautsprecher für den Hochtonbereich mit einem Durchmesser von ca. 100 mm. Dieser

kann im angestrebten Frequenzbereich noch betrieben werden und hat bis ca. 2000 Hz eine sehr omnidirektionale Richtcharakteristik. Als Mikrofone kommen kleine Elektretkapseln zum Einsatz. Die Mikrofone, der Lautsprecher sowie alle weiteren Übertragungselemente der Messkette wurden kalibriert. Durch die Bezugsgröße für die Quellenkalibrierung ergibt sich die Einheit 1/m für Luftschall-Transferfunktionen.

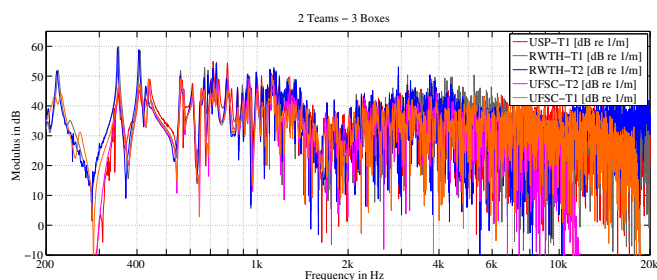


**Abbildung 3:** Akustische Transferfunktionen in den sieben Ecken, oben: Messung unten: Simulation (FEM).

Die Simulations- und Messergebnisse sind in Abb. 3 abgebildet. Es ist zu erkennen, dass die sieben Transferfunktionen gut übereinstimmen. Und somit der Innenraum der Box hinreichend durch Kenntnis der Geometrie und des Materials simuliert werden kann. Eigenschwingungen der MDF-Seitenwände werden in der Simulation nicht berücksichtigt.

## Vergleich – Unterschiedliche Boxen

Der Prototyp und zwei weitere Kopien der Box, die nach Bauanleitung bei den beiden Partnerinstituten gefertigt wurden, sind von zwei Messteams des Instituts mit ähnlichem, kalibriertem Equipment (unterschiedlicher Dodekaeder-Lautsprecher) vermessen worden.



**Abbildung 4:** Vergleich zweier Messteams (ITA) für einen bestimmten Luftschallpfad der verschiedenen Boxen.

Die Spektren für den Luftschallübertragungspfad sind in Abb. 4 dargestellt und stimmen in erster Näherung überein. Die Größenordnung der Übertragungsfunktion ist aufgrund der Kalibrierung gleich. Im Bereich von 200 – 400 Hz ist allerdings zu erkennen, dass die Güten der Resonanzen nicht gut korrelieren.

Bei genauerer Betrachtung der Messobjekte in Abb. 5 ist

erkennbar, dass die Dichtung zur Deckplatte nicht exakt nach den Vorgaben (rechts) realisiert wurden. Dadurch ist eine höhere Dämpfung bei den Boxen der Partner erklärbar. Die Realisierung der Dichtung wurde daher vereinfacht.



**Abbildung 5:** Fertiggestellte und vermessene Boxen (links: UFSC, mitte: USP, rechts: ITA, Vorlage).

## Zusammenfassung und Ausblick

Es wurde ein einfaches Messobjekt entwickelt und hinsichtlich des Luftschallpfades simulativ und messtechnisch überprüft, wobei Messung und Simulation gut übereinstimmen. Es wurden drei Exemplare angefertigt und von 2 Messteams vermessen. Abweichungen der Messungen konnten erklärt werden und es wurden die Konstruktionshinweise angepasst. Die Ergebnisse der beiden Messteams liegen im Vergleich zu den Unterschieden der Box nahe beieinander. Es folgen entsprechend Auswertungen der Körperschallpfade, ergänzt durch Simulation der Box mit Deckelplatte. Bei ersten Untersuchungen scheint die gewählte Aluminiumplatte zu weich und zu resonant. Daher wird eine dünne MDF Deckplatte zusätzlich eingesetzt. Vergleichsmessungen der Partner folgen ebenfalls. Die Konstruktionsvorlage und die Beschreibung der auszuführenden Messungen, sowie in dem Projekt entstehende, ausgewählte Mess- und Simulationsergebnisse sollen zukünftig im Internet verfügbar sein [3]. Bei Interesse der Kooperation in diesem kleinen Ringversuch stehen die Autoren gerne zur Verfügung.

## Danksagung

Für Messungen, Datenimport und Auswertung wurde die ITA-Toolbox für MATLAB eingesetzt. Die Kooperation wird gefördert durch das DAAD/CAPES Probral Projekt. Dank gilt Markus Müller-Trapet für Unterstützung bei der Simulation, sowie Matthias Lievens und Christoph Höller für das Bereitstellen von Messdaten.

## Literatur

- [1] M. Lievens and C. Höller, "Die Bedeutung der transversalen Anregung für die Charakterisierung von Körperschallquellen in Gebäuden," in *Fortschritte der Akustik - DAGA*, 2010.
- [2] M. Lievens and P. Dietrich, "Prediction of the sound radiation from a plate excited by a structure-borne sound source," in *Noise and Vibration: Emerging Methods - NOVEM*, 2009.
- [3] Institut für Technische Akustik. (2010, Februar) [www.akustik.rwth-aachen.de/openTPA](http://www.akustik.rwth-aachen.de/openTPA).