

# Einsatz der Wellenfeldsynthese an Intensitätsprüfständen zur zielgerichteten Anregung

Dejan Arsić, Matthias Pohl

Müller-BBM VibroAkustik Systeme GmbH, 82152 Planegg,  
E-Mail: [darsic@muellerbbm-vas.de](mailto:darsic@muellerbbm-vas.de), [mpohl@muellerbbm-vas.de](mailto:mpohl@muellerbbm-vas.de)

## Abstract

Zur akustischen Untersuchung von passiven Komponenten und der Beurteilung der Dämmung bzw. Durchlässigkeit werden traditionell Intensitätsmessungen an Fensterprüfständen durchgeführt. Hierbei wird das Objekt in einem Fenster zwischen Senderraum, in dem eine Anregung stattfindet, und Empfangsraum eingespannt. Die beschallte Fläche wird nun entweder manuell oder mit einem Roboter abgescannt und die abgestrahlten Intensitäten der einzelnen Teilschallflächen bestimmt. Zur Beschallung werden üblicherweise Dodekaeder in einem Hallraum verwendet und es wird angenommen, dass die Oberfläche des Prüflings gleichmäßig beschallt wird. Es hat sich gezeigt, dass dies aufgrund des Raumeinflusses nicht ideal ist und das beobachtete Schallfeld sich als ungleich verteilt darstellt. Daher wird nun ein Array aus einer Vielzahl an Lautsprechern vor das zu beschallende Objekt gestellt. Mit der Annahme des Huygensschen Prinzip, jede Quelle wird als Punktquelle betrachtet, und der Wellenfeldsynthese kann nun ein gleichmäßiges Schallfeld kreierte werden. So kann bei der Bestimmung des Schalldämmmaßes eine höhere Genauigkeit bei geringer Abhängigkeit von der Senderraumgeometrie erzielt werden. Da in realen Anwendungen das Schallfeld in Frequenz und Amplitude sehr inhomogen ist, z. B. strahlen die einzelnen Komponenten des Motors unterschiedlich ab, erscheint es sinnvoll, mittels des Arrays und der Wellenfeldsynthese, die reale Anregung zu simulieren, um damit die Dämpfungseigenschaften für den operativen Einsatz zu simulieren.

## Motivation

Ziel der Untersuchung von passiven Komponenten ist es, eine hochauflösende örtliche Kartierung der Dämmeigenschaften der Komponente zu erreichen. Hierfür wird diese in einen Fensterprüfstand, wie in Abbildung 1 schematisch dargestellt, eingespannt. Im Senderraum wird versucht, mit einem oder mehreren Lautsprechern ein möglichst diffuses Schallfeld zu erzeugen. Mit Hilfe einer Intensitätssonde kann die Schallintensität gemessen und die Schalleistung sowie das Schalldämmmaß bestimmt werden [1]. Je nach Anforderung an die Ortsauflösung, ist gegebenenfalls eine hohe Anzahl an diskreten Messpunkten erforderlich. Um eine aufwändige manuelle Messung zu vermeiden, wird ein Roboter eingesetzt. Dieser erstellt zunächst vollautomatisch ein 3D-Oberflächen-Modell des eingespannten Testobjekts. Hierbei wird mittels einer 3D-Kamera, basierend auf Time-of-Flight (ToF), das Objekt gescannt und anschließend werden die zu messenden Flächen bestimmt. Abschließend werden die

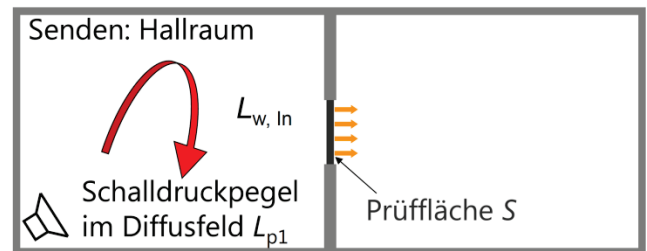


Abbildung 1: Prinzipaufbau Fensterprüfstandskonfiguration

tatsächlichen Messpunkte, also Punkte mit gleichem Abstand von der Messfläche, berechnet und eine Route für den Roboter geplant. Ein mögliches Messsetup mit einer 3D-Intensitätssonde und Ergebnissen einer Messung an einem Vorderwagen sind in Abbildung 2 dargestellt.

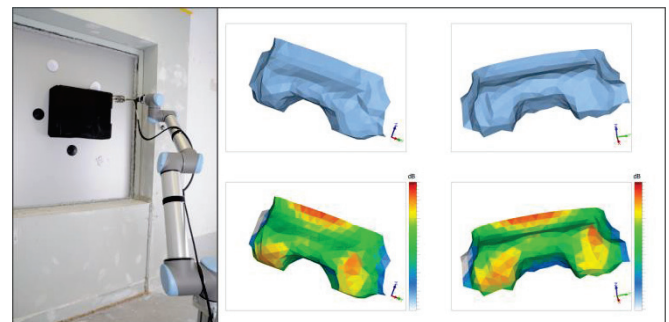


Abbildung 2: Roboter mit 3D-Schallintensitätssonde im Empfangsraum, Beispiel Pegelkartierung einer Fahrzeugbaugruppe

Zur Durchführung der Messung ist ein möglichst uniformes Schallfeld am Testobjekt erforderlich. Allerdings ist dies aufgrund der Raumeigenschaften des Senderraumes nicht immer möglich. Ferner beeinflusst die zu messende Komponente durch Reflexionen und Absorption das Schallfeld ebenfalls. Das resultierende Schallfeld ist daher nicht gleichmäßig und der anliegende Schalldruck weist, wie in Abbildung 3 dargestellt, an unterschiedlichen Koordinaten deutlich, teilweise gravierend, unterschiedliche Werte auf. Die Messergebnisse sind daher nicht falsch, spiegeln allerdings nicht zwingend die Realität wider. Es könnte beispielsweise die Annahme getroffen werden, dass das Dämpfungsverhalten an einer Stelle sehr gut ist, auch wenn das nur an mangelhafter Anregung liegt.

Daher ist es notwendig, eine Methode zu entwickeln, die eine uniforme Anregung an der Komponente gewährleistet.

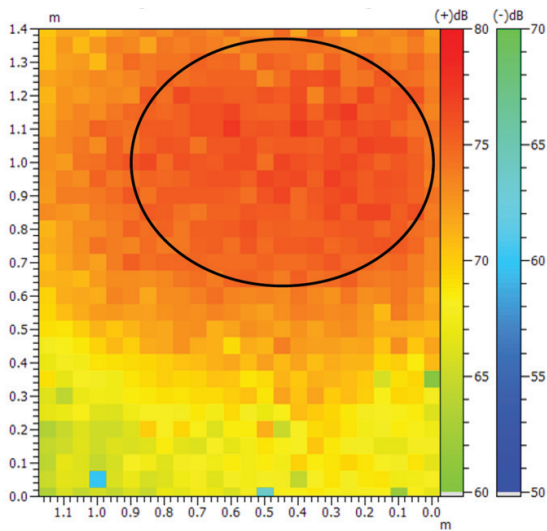


Abbildung 4: Beispiel für eine ungleichmäßige Beschallung eines Fensters am Fensterprüfstand

### Wellenfeldsynthese mit einem Lautsprecher-Array

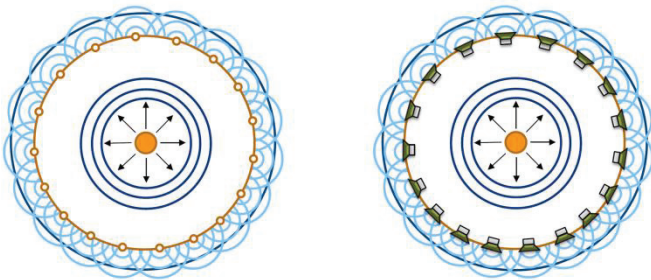


Abbildung 5: Huygens-Prinzip

Bisher wird im Senderraum einfach auf allen im Hallraum verteilten Dodekaedern Rauschen abgespielt. Es wird ein ideales Diffusfeld angenommen und auftretende, örtlich lokale Extremwerte vernachlässigt. An dieser Stelle kommt die sogenannte Wellenfeldsynthese zum Einsatz, die das Ziel hat, ein den Zielvorgaben entsprechendes Schallfeld zu erzeugen. Hierbei werden Wellenfronten, die von einem virtuellen Punkt ausgehen, synthetisiert. Wie in Abbildung 4 dargestellt, macht sich die Wellenfeldsynthese das Huygens-Prinzip zunutze. Dies beruht auf der Annahme, dass sich jede beliebige Wellenfront aus einer Überlagerung von Elementarwellen darstellen lässt. Hierfür wird ein, wie in Abbildung 5 dargestelltes, Lautsprecher-Array verwendet. Um das gewünschte Schallfeld zu erzeugen, kann jeder einzelne Lautsprecher über eine Software in Amplitude und Phase angesteuert werden.



Abbildung 7: Lautsprecher-Array am Fensterprüfstand

### Ergebnisse

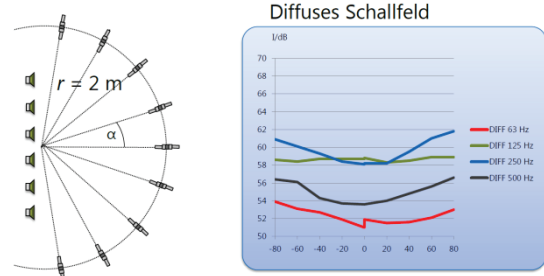


Abbildung 3: Bestimmung der Abstrahlcharakteristik des Lautsprecher-Arrays für ein diffuses Schallfeld

Abbildung 6 zeigt erste Ergebnisse für die winkelbezogene Verteilung der Schallintensitätspegel bei der Erzeugung eines diffusen Schallfeldes. Im Abstand von zwei Metern wurden bei verschiedenen anregerelevanten Frequenzen die Pegel bestimmt. Es lässt sich beobachten, dass der Pegel bei unterschiedlichen Winkelpositionen über die beobachteten Frequenzen relativ konstant ist.

Im Zuge der Implementierungsphase wurde zusätzlich mit ebenen Wellen experimentiert. Dies erscheint sinnvoll, um beispielsweise Teile einer Struktur gezielt mit Schall anzuregen. In Abbildung 7 sind die Ergebnisse für eine Anregung mit einer ebenen Welle dargestellt. Die Welle hat bei 0° ihr Maximum und fällt wie gewünscht in beide Richtungen ab.

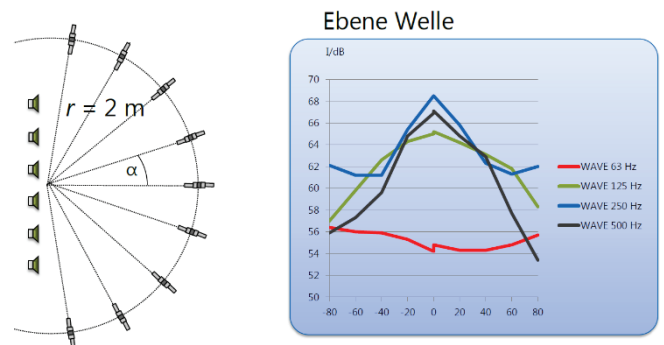


Abbildung 6: Bestimmung der Abstrahlcharakteristik des Lautsprecher-Arrays für ebene Wellen

### Zusammenfassung

Das Ziel, eine uniforme Anregung in einem Fensterprüfstand, kann mit einem Lautsprecher-Array und der Wellenfeldsynthese erreicht werden. Sowohl für ein diffuses Schallfeld als auch eine ebene Welle wurden vielversprechende Ergebnisse erreicht. Um deutlich realere Anregungen zu erreichen, ist der nächste Schritt, aktive Komponenten in ihrer Abstrahlcharakteristik nachzubilden.

### Literatur

- [1] Schröder, E.: Anregung der Intensität mit der Wellenfeldsynthese, PAK-Tag der Müller-BBM VibroAkustik Systeme GmbH, München, 2014