

# Das Schallfeld in einem KfZ-Motorraum

## Vergleich zwischen Simulation und Messung an einem vereinfachten 1:2-Modell

Tobias Kellert\*, Oliver Strauch\*, Roland Sottek\*\*

\*Institut für Technische Akustik, RWTH Aachen; Email: [Kellert@akustik.RWTH-Aachen.de](mailto:Kellert@akustik.RWTH-Aachen.de)

\*\*HEAD acoustics GmbH, Herzogenrath

### Einleitung

In der Automobilindustrie hat das akustische Verhalten der Fahrzeuge bei der Entwicklung eine zentrale Bedeutung. So ist der „Klang“ eines Fahrzeug sowohl für den Komfort als auch für die Frage nach der Markenidentität der Herstellers bedeutend.

Die binaurale Transferpfadanalyse und –synthese (BTPA/BTPS) haben sich in den letzten Jahren als gängige Methode zur Untersuchung der Luftschallübertragung vom Antriebsstrang zu den Ohren der Insassen etabliert. Da es sich um eine messtechnische Methode handelt, lässt sie sich nur nutzen, wenn ein Fahrzeug vorhanden ist, in dem gemessen werden kann.

Da die Entwicklungszeiten für neue Fahrzeuge immer kürzer werden, haben die Hersteller ein großes Interesse daran, möglichst früh im Entwicklungszyklus aussagekräftige Daten über die Eigenschaften des neuen Fahrzeugs zu erhalten. An dieser Stelle bieten sich numerische Simulationen als ein leistungsstarkes Werkzeug zur Unterstützung der Entwicklungsarbeit an.

In diesem Projekt wird untersucht, inwieweit zur Untersuchung der Luftschallübertragung vom Antriebsstrang in den Innenraum numerische Verfahren einen Beitrag leisten können.

### Luftschallübertragung

#### Luftschall

Da es keinen direkten Luftschallweg vom Motor in den Innenraum eines PKW's gibt, geschieht die Übertragung von „Luftschall“ immer durch Struktur. Auf dem Hauptübertragungsweg durch die Stirnwand, auf den Nebenflanken durch andere Blechstrukturen oder Scheiben (Abb. 1).

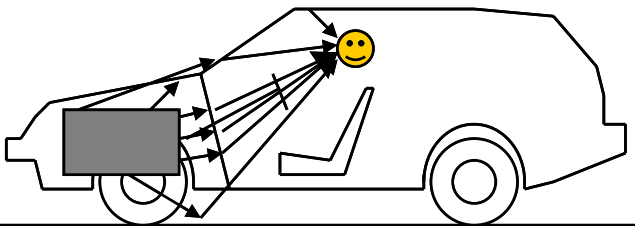


Abbildung 1: Luftschallübertragung vom Motor in den Innenraum; verschiedene Übertragungswege

#### Motorraum

Das erste Glied der Übertragungskette ist für alle Übertragungswege das gleiche: der Motorraum. Der Versuch, das Schallfeld des Motors numerisch zu ermitteln, ist somit naheliegend und erscheint sehr interessant. In der vorliegenden Arbeit wird anhand eines Modells untersucht, inwieweit es möglich ist, das Schallfeld in einem Motorraum zu simulieren.

#### Das 1:2-Modell

Es wurde von einem Motorraum ein 1:2-Modell gebaut. Als Material kam 19 mm dicke MDF-Platten zum Einsatz. (Abb.2). Auch der Motorblock wurde nachgebaut und auf separaten Stützen gela-

gert, um ihn schwingungstechnisch vom Motorraum zu trennen und nur die Luftschallabstrahlung zu erfassen. Zur Anregung wurden auf der Vorder- und Rückseite des Motorblocks zwei Lautsprecher eingebaut. Die Schallabstrahlung der Lautsprecher kann mit Hilfe eines Laservibrometers ermittelt werden, um so die Ergebnisse zu normieren. Zum Messen wurden an vier verschiedenen Stellen der Stirnwand Messmikrofone eingeschoben. Diese Anordnung ermöglicht verschiedene Einschubtiefen. Es wurden auch jeweils an vier unterschiedlichen Positionen untersucht.

### Simulation

Für eine aussagekräftige Simulation muss neben den geometrischen Abmessungen und der Anregung auch der Absorptionsgrad der Oberflächen bekannt sein. Dieser lässt sich in diesem Fall aus der Nachhallzeit des Motorraumes ermitteln. Die Untersuchung ergab einen Absorptionsgrad, der frequenzabhängig zwischen 2 und 5 % liegt. Für die Simulation wurde ein Absorptionsgrad von 3 % angenommen.

Der Motorraum wurde mit einem Tetraeder-Volumenmesh diskretisiert. Das Mesh hat etwa 20000 Knoten, 85000 Elemente und einen maximalen Knotenabstand von 20 mm. Damit hat das Mesh eine theoretische obere Grenzfrequenz von ca. 2,5 kHz<sup>[1]</sup>. Gerechnet wurde in 1 Hz-Schritten von 100 Hz bis 1,6 kHz. Die Berechnungen wurden mit der institutseigenen Simulationssoftware Soundsolve<sup>[2]</sup> durchgeführt.



Abbildung 2: Das Motorraummodell mit Motorblock



Abbildung 3: Einschub der vier Messmikrofone durch die Stirnwand

## Vergleich Simulation und Messung

Aus den 16 verschiedenen Mikrofonpositionen und den zwei verschiedenen Anregungsorten ergeben sich 32 verschiedene Messungen, die mit den Ergebnissen der Simulationen verglichen wurden. Beispielhaft werden hier zwei Vergleiche betrachtet; ein Schallfeld, das mit der Anregung durch den hinteren Lautsprecher erzeugt wurde und ein Schallfeld, das von dem vorderen Lautsprecher generiert wurde. Sie sind in den Abb. 4 und 5 dargestellt.

Die beiden Abbildungen zeigen, dass die Messwerte und die Simulationen gut korrelieren. Über den gesamten Frequenzbereich weisen sie gute Übereinstimmungen in den Resonanzfrequenzen und Pegelverläufen, eine vergleichbare Modenverteilung und auch ähnliche Güten aus. Vorhandene Differenzen lassen sich auch auf die Näherung, die im Absorptionsgrad gemacht wurde zurückführen. Würden hier die Eingabedaten verbessert werden, ließen sich auch die Ergebnisse weiter verbessern.

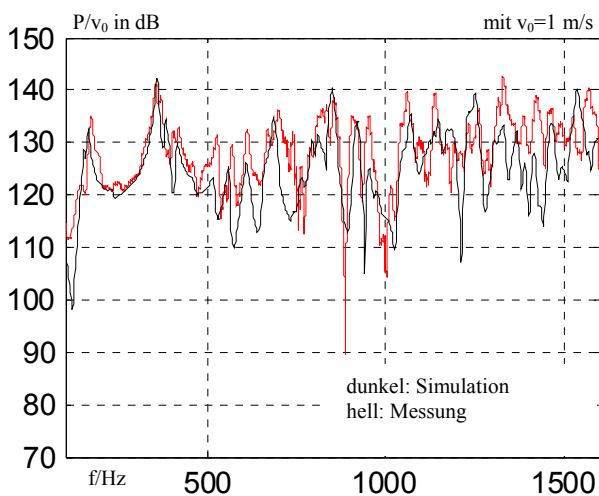


Abbildung 4: Vergleich: Simulation und Messung: Anregung Lautsprecher hinten, Mikrofon: oben rechts, Position 1

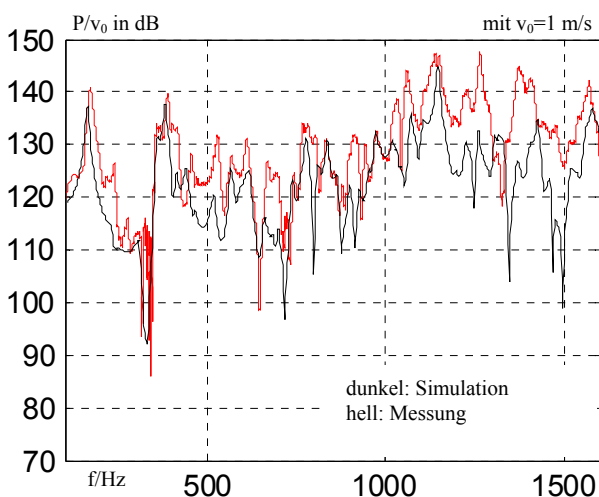


Abbildung 5: Vergleich: Simulation und Messung: Anregung Lautsprecher vorne, Mikrofon: unten rechts, Position 1

## Weitere Möglichkeiten

Die erfolgreiche Simulation des Schallfeldes im Motorraum eröffnet eine ganze Reihe weiterer Möglichkeiten, die Methode der

Simulationen zu nutzen, um Untersuchungen zu machen und um weitere Erkenntnisse zu gewinnen.

## Betrachtung der räumlichen Verteilung

In den numerischen Ergebnissen lässt sich recht einfach die räumliche Feldverteilung und die Bedingungen auf den Randflächen ablesen. So kann ohne großen Aufwand die Schallfeldverteilung im Luftraum oder auch die Schalldruckverteilung auf begrenzenden Flächen ermittelt werden. Dies ermöglicht gezielte Verbesserungen.

## Parameterstudien

In einem Computermodell ist es relativ einfach möglich, gezielt den Einfluss baulicher Veränderungen auf das Schallfeld oder etwa auf den Schalldruckbelag auf der Stirnwand zu untersuchen. Dies ermöglicht es, in einem frühen Entwicklungsstadium wertvolle Erkenntnisse zu gewinnen.

Als ein Beispiel wurde in dieser Arbeit der Motorraum durch die Verschiebung der Schottwand um 100 mm vergrößert. Diese Veränderung ist an dem Modell einfach zu realisieren. In Abb. 6 werden die Schalldruckverläufe der Simulationen an einem Raumpunkt verglichen. Die Auswirkungen der Veränderung sind sehr schön zu sehen.

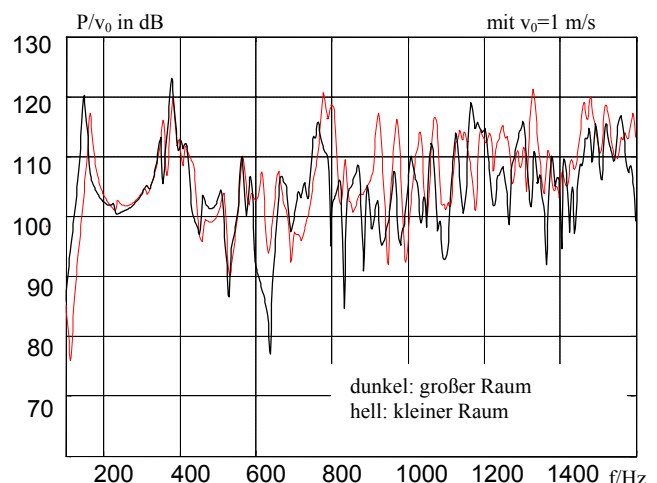


Abbildung 6: Parameterstudie: Vergrößerung des Motorraumes, Anregung vorne, Mikrofon: oben links, Position 1

## Zusammenfassung und Ausblick

Der Vergleich der Simulationen mit den Messungen zeigt, dass die Simulationen zuverlässige Ergebnisse liefern. Die Qualität der Ergebnisse hängt von der Qualität der Eingangsdaten ab. Werden die Simulationen mit hochwertigen Daten durchgeführt, liefern sie auch sehr gute Ergebnisse. Damit ergibt sich ein wichtiger Arbeitsschwerpunkt für die Zukunft: eine genauere Beschreibung des Motorraumes (z.B. durch die Ergänzung von Nebenaggregaten, Einbringung von Öffnungen, Einbringung von Absorptionsmaterial) oder eine bessere Beschreibung der Anregung. Ein weiterer Schritt wäre der Übergang vom Modell zu einem realen Motorraum mit einem realen Motor.

<sup>1</sup> Silvester, Peter, Ferrari, Ronald. Finite elements for electrical engineers - Cambridge 1996

<sup>2</sup> Franck, Andreas. Modale und direkte Finite-Elemente-Methoden in der Akustik: Ein Vergleich, Fortschritte der Akustik, DAGA 2003, Aachen 2003