

# Hybrider Ansatz zur interaktiven Auralisierung des Antriebstrangs mittels gemessener und berechneter Anregungsdaten

Daniel Riemann, Christian Nettelbeck und Roland Sottek

HEAD acoustics GmbH, 52134 Herzogenrath, Deutschland, Email: Daniel.Riemann@head-acoustics.de

## Einleitung

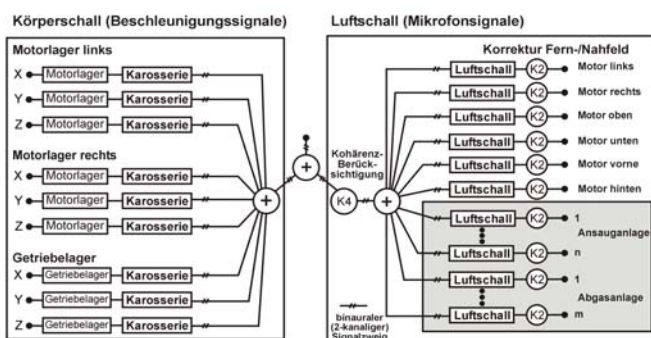
Durch zunehmende Verkürzung des Fahrzeugentwicklungsprozesses bei gleichzeitig höheren Ansprüchen hinsichtlich des Geräusch- und Schwingungskomforts steigt der Bedarf, frühzeitig Aussagen über die zu erwartende NVH-Qualität neuer Motorentwicklungen machen zu können.

Das Verfahren der Binauralen Transferpfad Analyse und Synthese (BTPA/BTPS, [1] [2]) erlaubt eine Vorhersage des Innengeräusches sowie des Schwingungsverhaltens z.B. am Sitz und am Lenkrad basierend auf Motorprüfstandsmessungen, d.h. ohne den entsprechenden Motor ins Fahrzeug einbauen zu müssen. Mit Hilfe eines akustischen Fahrsimulatorsystems [2] können diese Daten interaktiv und kontextbezogen erfahrbar gemacht werden, um damit eine umfassende Bewertung des Antriebsstrangs zu ermöglichen. Liegt ein neuer Motor noch nicht in Hardware vor, so können Simulationsdaten verwendet werden, um die Messungen zu ergänzen oder zu ersetzen. Dabei ist auf eine phasenrichtige Synchronisation der Simulations- mit den Messdaten zu achten, um eine korrekte Vorhersage des Geräusch- und Schwingungsverhaltens sicherzustellen, da sich letztlich das Innengeräusch aus einer Überlagerung von den Beiträgen auch teilweise kohärenter Teilquellen ergibt.

Die beschriebene Vorgehensweise wird im Folgenden insbesondere hinsichtlich der Einbindung von Simulationsdaten anhand eines Beispiels erläutert.

## Binaurale Transferpfad Synthese

Abbildung 1 zeigt schematisch die Vorgehensweise zur Berechnung des Innengeräusches ausgehend von gemessenen Beschleunigungen an den Lageranbindungspunkten sowie vom abgestrahlten Luftschall des Motors, der Ansaugung und der Abgasmündung.



**Abbildung 1:** Schematische Darstellung der Vorgehensweise bei der BTPS zur Berechnung des Innengeräusches ausgehend von gemessenen Beschleunigungen am Motor bzw. von Luftschallanregungen im Motorraum.

Durch Filterung der gemessenen Eingangsdaten mit den in der BTPA zuvor ermittelten Übertragungsfunktionen (Lagerübertragungsfunktionen und Akustische Transferfunktionen der Karosserie bzw. Luftschallübertragungsfunktionen) können die Beiträge der einzelnen Transferpfade berechnet werden. Die Summation dieser einzelnen Beiträge ergibt schließlich das gesamte Innengeräusch [1].

Die Messung der Eingangsdaten kann im Fahrzeug z.B. auf einem Rollenprüfstand erfolgen. Alternativ ist auch die Verwendung von Motorprüfstandsdaten möglich. Durch eine synthetische Veränderung einzelner Transferpfade oder Anregungen können die Auswirkungen von Modifikationen der Geräuschquellen oder Übertragungswege auf das zu erwartende Innengeräusch ohne aufwendige Hardwaretests vorhergesagt werden.

## Einbindung von Simulationsdaten

Bei der Addition der verschiedenen Innengeräuschbeiträge ist die Berücksichtigung der exakten Phasenbezüge Voraussetzung für eine korrekte Summenbildung. Dies wird durch eine simultane Aufnahme aller Eingangskanäle in einer Messung sichergestellt.

Sollen Simulationsdaten in den Syntheseprozess eingebunden oder verschiedene Messungen kombiniert werden, ermöglicht eine hochgenaue Drehzahlerfassung die präzise Darstellung der Phasenbezüge. Mit Hilfe einer von der Position der Kurbelwelle abhängigen Abtastratenwandlung erfolgt die Durchführung einer winkelbezogenen Ordnungsanalyse. Es können dann Betrag und Phase der einzelnen Motorordnungen präzise ausgewertet werden.

Es bestehen zwei Möglichkeiten, die Beträge und Phasen von Ordnungen zu verändern:

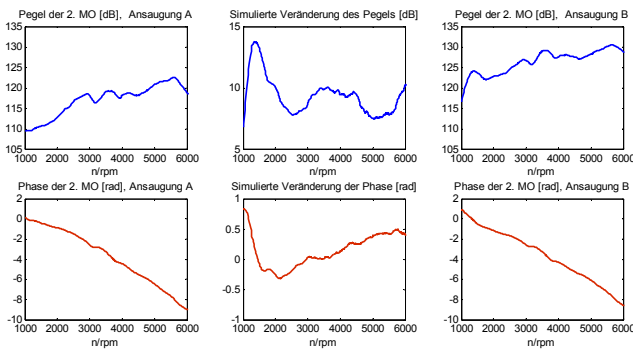
1. Modifikation bestehender Ordnungen: Dieses Verfahren eignet sich vor allem, um Simulationsergebnisse präzise in die Messungen einzubinden, da gängige kommerzielle Simulationsprogramme insbesondere eine genaue Vorhersage von Veränderungen z.B. durch Modifikation von Bauteilen erlauben.
2. Ordnungen herausnehmen und durch neue ersetzen: Ist eine genaue Vorhersage absoluter Beträge und Phasen möglich (z.B. bei gemessenen Daten), so lassen sich diese Absolutwerte direkt zur Erzeugung neuer Ordnungen verwenden.

Die so veränderten Daten können nach einer geeigneten Resynthese für die Berechnung des Innengeräusches mit Hilfe einer BTPS eingesetzt werden. Dieses Verfahren erlaubt eine detaillierte Nachbildung der Feinstruktur der Ordnungen inkl. der Drehzahlschwankungen und damit eine korrekte phasenrichtige Einbindung in den BTPS-Prozess.

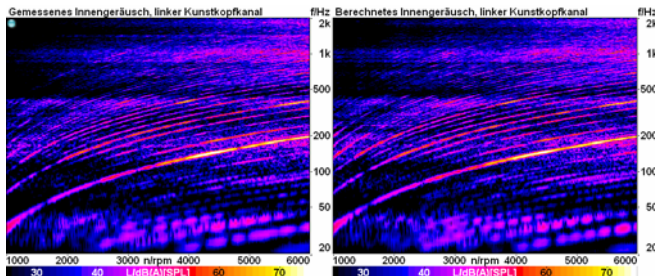
## Anwendungsbeispiel

Das linke Diagramm in Abbildung 2 zeigt exemplarisch den gemessenen Ordnungspegelverlauf (oben: Betrag, unten: Phase) einer Ansaugung mit einem Durchmesser A. Simulationen ergaben für einen variierten Durchmesser B die im mittleren Diagramm gezeigten Änderungen von Betrag und Phase. Mit der beschriebenen Methode wurden diese auf die gemessenen Daten aufgeprägt (Abbildung 2 rechts) und eine Synthese des zu erwartenden Innengeräusches durchgeführt.

Beide Varianten der Ansaugung wurden zur Validierung des Verfahrens parallel in Hardware realisiert und gemessen. Der Vergleich mit den berechneten Daten ergibt eine gute Übereinstimmung (Abbildung 3, Vergleich Variante B).



**Abbildung 2:** Pegel (oben) und Phase (unten) der 2. Motorordnung des gemessenen Mündungsgeräusches einer Ansaugung A (links), simulierte Veränderung bei Variation des Durchmessers (Mitte), Pegel und Phase der 2. Motorordnung des resynthetisierten Mündungsgeräusches der Ansaugung B (rechts).

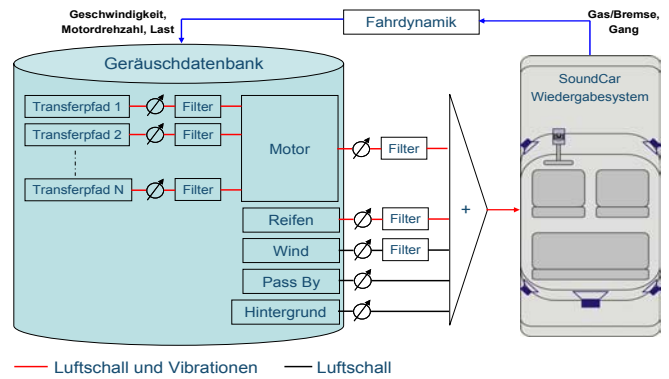


**Abbildung 3:** Vergleich der Spektrogramme des gemessenen (links) und berechneten (rechts) Innengeräusches (linker Kunstkopfkanaal) für einen Vollast Hochlauf.

## Akustisches Fahrsimulatorsystem

Das akustische Fahrsimulatorsystem [2] ermöglicht die interaktive Simulation von Motor-, Wind-, Reifen- sowie weiteren Fahrzeug- und Hintergrundgeräuschen. Vibrationsanregungen von Sitz und Lenkrad verstärken im Wiedergabesystem SoundCar zusätzlich zur Darbietung des Luftschalls über Lautsprecher und Subwoofer den realistischen Eindruck der wiedergegebenen Szenarien. Abbildung 4 zeigt eine schematische Darstellung des Systems.

In einer interaktiven Umgebung berechnet ein realistisches Fahrdynamikmodell jederzeit den aktuellen Fahrzustand in Abhängigkeit von der Gaspedalstellung, dem eingelegten Gang und der Motordrehzahl. Die akustische Umgebung wird kontinuierlich berechnet und mit Hilfe einer Geräuschdatenbank wiedergegeben.



**Abbildung 4:** Schema des akustischen Fahrsimulatorsystems

Sämtliche Schallquellen und Vibrationen lassen sich während des Betriebs separat steuern und durch Filter interaktiv verändern. Um aussagekräftige A/B-Vergleiche zu ermöglichen, kann zwischen mehreren Motortypen oder auch Reifen- und Wind-Datensätzen unmittelbar gewechselt werden.

Grundlage für die Motorgeräuschdatenbank sind gemessene oder synthetisierte Innengeräusche und Vibrationen bei sämtlichen relevanten Gaspedalstellungen und Motordrehzahlen. Üblicherweise werden langsame Hochläufe (>120s) bei etwa 15 verschiedenen Laststufen verwendet. Werden zur Erzeugung der Motorgeräuschdatenbank mittels BTPS synthetisierte Innengeräusche basierend auf gemessenen oder simulierten Anregungssignalen eingesetzt, so ist zusätzlich eine interaktive Modifikation der einzelnen Transferpfade möglich. Neben reinen Pegeländerungen stehen auch beliebige Manipulationen einzelner Geräuschbeiträge mit Hilfe von Filtern zur Verfügung.

## Zusammenfassung

Durch die Erweiterung und Kombination von bewährten Verfahren wie der Binauralen Transferpfad Synthese und des akustischen Fahrsimulatorsystems steht dem NVH Motorenentwickler ein leistungsfähiges Tool zur Optimierung der NVH-Qualität bereits in einem sehr frühen Stadium der Produktentwicklung zur Verfügung. Vorteile dieses Verfahrens sind u.a.:

- Beurteilung der Motorgeräusche in realitätsnaher Umgebung inkl. Wiedergabe von Wind- und Reifengeräuschen sowie Vibrationen.
- Das System ist interaktiv – relevante Fahrzustände können gezielt angefahren und beurteilt werden.
- Es kann beliebig zwischen verschiedenen Geräuschszenarien gewechselt werden. So sind Vergleiche zum Vorgänger oder zwischen Modifikationen sehr effektiv möglich.

## Literatur

[1] C. Nettelbeck, K. Genuit, K. T. Kang, Y. W. Lee, Binaural Transfer Path Analysis and Interior Noise Simulation for Vehicle Testbench Measurements, InterNoise 2003, Korea, 2003

[2] W. Krebber, H.W. Gierlich, K. Genuit, "Auditory Virtual Environments: Basics and Applications for Interactive Simulations," Signal Processing, Sonderausgabe DPS, Juli 1999