

# Fahrzeuginnengeräuschsimulation VINS als serienentwicklungsbegleitendes Werkzeug

Peter Genender<sup>1</sup>, Klaus Wolff<sup>1</sup>, Fabienne Pichot<sup>1</sup>, Georg Eisele<sup>1</sup>

<sup>1</sup> FEV Motorentechnik GmbH, 52074 Aachen, Deutschland, Email: genender@fev.de

## Einleitung und Zusammenfassung

Kurze Entwicklungszeiten bei steigenden Zielwertanforderungen und wachsender Anzahl von Fahrzeugvarianten erfordern im heutigen Automobilentwicklungsprozess die Nutzung effektiver Technologien und Prozesse. Ein innovatives Werkzeug, welches von der FEV Motorentechnik erstmalig strategisch in der NVH-Entwicklung eines neuen Fahrzeuges angewendet wurde, ist die Vehicle Interior Noise Simulation „VINS“. VINS basiert auf einer analytischen Methode, das gesamte Fahrzeuginnengeräusch matrixartig einerseits in abhörbare Geräuschanteile verschiedener Pfade und andererseits nach dem akustischen Prinzip in Geräuschquelle und mehrgliedrige Transferfunktion aufzuteilen [1], [2].

Die VINS bildet im gesamten Entwicklungsprozess über Konzeptphase, Modulentwicklung und Problembhebung eine leistungsfähige Plattform für eine innengeräuschorientierte und dezidierte Bewertung von Berechnungs- und Messergebnissen, Maßnahmen, Ziel- und Vergleichswerten. Die Systematik der VINS ist auf eine Vielzahl von auftretenden NVH-Optimierungsaufgaben in Entwicklungsprozessen anwendbar und steht derzeit zum Beispiel auch als Fahrzeugaußengeräuschsimulationen VENS und zur Untersuchung von fahrbahninduzierten Innengeräuschen als CHASSIS-VINS zur Verfügung.

## NVH-Entwicklungsprozess

Der Entwicklungsprozess moderner Fahrzeuge nimmt etwa 3 Jahre in Anspruch. Besondere Meilensteine sind dabei die verschiedenen Fahrzeuggenerationen vom „Vorgängerfahrzeug“ über „Aggregateträger“, welcher im alten Blechkleid bereits neue Technik erprobt, „Prototypfahrzeug“ und „Vorserienfahrzeug“ bis zum „Serienfahrzeug“. Innerhalb dieses Entwicklungsprozesses wird das NVH-Verhalten überwiegend als Querschnittsfunktion mit Zugang zu allen notwendigen Projektgremien verantwortet.

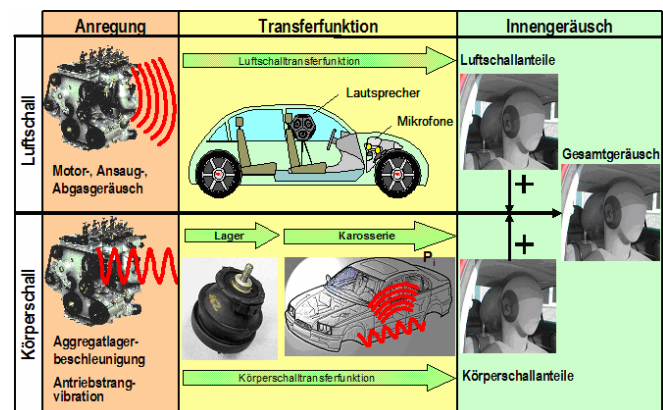
In der frühen Entwicklung werden in der Konzeptphase fahrzeugbezogene Ziele im Lastenheft festgelegt. Dabei wird zur Zielfindung neben der Evolution des Vorgängerfahrzeugs eine Wettbewerberbeobachtung durchgeführt. Zur Überprüfung von Konzepten kommen in der Vorentwicklung neben Modifikationen am Vorgängerfahrzeug vorwiegend Berechnungsansätze zum Einsatz, welche heute in vielen akustischen Teildisziplinen sehr aussagekräftige Ergebnisse liefern. Mit Hilfe der VINS können diese bis in das Innengeräusch betrachtet werden.

Die fahrzeugbezogenen Ziele werden dann auf einzelne Module und Komponenten (z.B. Karosserie, Motor, Triebstrang, Fahrwerk, Ladungswechselorgane) diversifiziert und meist mit hoher Eigenverantwortung der Zulieferer entwickelt.

In der Phase der Problemanalyse und -behebung gilt es ab Fahrzeugverfügbarkeit vermehrt, die Gesamtfahrzeugakustik als komplexes Zusammenspiel vieler Bauteile und Fahrzeugeigenschaften zu betrachten. Einzelne Akustikeigenschaften treten erst aufgrund physikalischer Interaktionen im Gesamtfahrzeug auf und sind nicht durch einfaches Zusammensetzen der definierten Moduleigenschaften beschreibbar. Diese sind, priorisiert nach ihrem Störgehalt, weiter zu verbessern. Im Akustikfreigabeprozess werden die Bauteile und das Gesamtfahrzeug in fahrzeugumfangreicheren Feldbeobachtungen bis zum Serienanlauf begleitet. In allen Entwicklungsphasen ist die VINS erfolgreich anwendbar.

## Fahrzeuginnengeräuschsimulation VINS

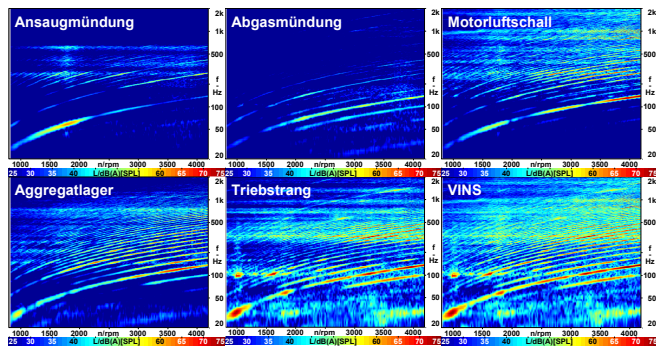
Die Vehicle Interior Noise Simulation VINS teilt das gesamte Innengeräusch matrixartig in der Vertikalebene in Geräuschanteile verschiedener Pfade und in der Horizontalebene entsprechend der Wirkungskette in Geräuschquelle und mehrgliedrige Transferfunktion auf, Abbildung 1. Während die Luftschallanteile meist nur eine eingliedrige Luftschalltransferfunktion  $p_{Innen} / p_{Quelle}$  besitzen, ergibt sich die Körperschalltransferfunktion  $p_{Innen} / a_{Quelle}$  aus der Verkettung von Lagerübertragungsmaß  $a_{Karosserie} / a_{Quelle}$ , scheinbarer Masse  $F_{Karosserie} / a_{Karosserie}$  und Karosserie-transferfunktion  $p_{Innen} / F_{Karosserie}$ .



**Abbildung 1:** Prinzip der VINS als phasengerechte und abhörbare Summe aus einzelnen, luft- und körperschallgetragenen Transferpfaden

Durch VINS können dominante Geräuschanteile ermittelt sowie eine Transferpfadanalyse hinsichtlich diskreter Geräuschprobleme durchgeführt werden. Damit werden Problemverursacher direkt zugeordnet. Darüber hinaus findet eine Überprüfung der akustischen Schnittstellengrößen im Sinne der Modulentwicklung statt. Ergebnis einer

VINS ist immer ein hörbares Innengeräusch sowie hörbare Innengeräuschanteile der verschiedenen Quellen.



**Abbildung 1:** VINS-Innengeräuschanteile an einem Prototypenfahrzeug mit turboaufgeladenem Vierzylinderdieselmotor als Farbspektrogramm über Drehzahl und Frequenz bei Vollast. Die Einzelteile der Ansaugmündung, der Abgasmündung, des Motorluftschalls als luftschallgetragene Anteile und der Aggregatlager und Antriebsstranglager als körperschallgetragene Anteile werden dem gesamten Innengeräusch „VINS“ als Summe dieser Einzelteile gegenübergestellt.

Die Abbildung 2 zeigt die Aufteilung des Geräusches in fünf primäre Gruppen. Für die weitergehende Analyse erfolgt die Aufteilung des Geräusches nun in weiterer Detaillierung, so werden z.B. die Aggregatlager einzeln nach Motorlager rechts, links, und Getriebelager unterteilt und dann in die einzelnen Raumrichtungen x,y,z aufgespalten. Sind kritische Pfade erkannt, werden die Ursachen in der Anregung oder in den zugehörigen Transferfunktionen schnell offensichtlich und – auch über den Vergleich zu Streuband- oder Zielwerten – quantitativ bestimmt. Diese Transparenz der Geräuschzusammensetzung und die hohe Prognosegenauigkeit von Optimierungen liefert in Projektentscheidungsgremien eine belastbare Entscheidungsgrundlage.

Die moderne NVH-Entwicklungsarbeit beinhaltet die gezielte Vernetzung von Berechnungs- und Versuchsmethoden und bringt durch Nutzung derer spezifischen Stärken die gesamte Aufgabenstellung zur Lösung. Mit der Mehrkörpersimulation werden der Triebstrang und mit eindimensionaler Fluidynamikberechnung die Mündungsgeräusche optimiert. Strukturberechnungen nach der Finite-Element-Methode beschreiben mit nachgeschalteten Karosserieabstrahlberechnungen das akustische Karosserieverhalten. Das Einbeziehen von spezifischen Anregungs- oder Transferfunktionen der VINS ermöglicht dann auch eine Betrachtung bis in das Innengeräusch.

### Zielwertdefinition und -erreichung

Die akustischen Zielwerte eines Fahrzeuges objektiv zu beschreiben ist eine große Herausforderung. Sie ist jedoch in der frühen Entwicklungsphase zwingend, um Randbedingungen für die Entwicklung der einzelnen Module und Komponenten – auch im Hinblick auf die Nominierung von Zulieferern und Entwicklungspartnern – zu setzen. Die meist als Grenzwerte oder Linien über Frequenz oder Drehzahl vorliegenden Zielwerte können dabei auf verschiedene

Weise gewonnen werden. Liegen bereits Zielwerte des Vorgängerfahrzeuges vor, werden diese übernommen und im Sinne einer Evolution um ein bestimmtes Maß angehoben. Liegt ein Zielgeräusch im Innenraum vor, so wird versucht, dieses in die Zielwerte für Anregungen und Transferfunktionen herunterzubrechen. Alternativ werden Grenzwerte an dem orientiert, was mit einem bestimmten Modul oder Komponente zur Zeit als technisch machbar gilt. Alle Vorgehensweisen weisen Schwächen auf, da sie der Relativität und Komplexität der Akustik kaum Tribut zollen. Das verkettete Zusammenwirken verschiedener Transferfunktionen sowie Maskierungseffekte verschiedener Geräuschanteile seien als zwei Beispiele genannt. Ein zu stringentes Entwickeln an den Zielwerten führt entweder zu einem akustischen Overengineering in vielen Bereichen, mit dem Nachteil in Kosten, Gewicht und Package, oder aber zu einem Übersehen der tatsächlichen Fahrzeugschwächen. Vielmehr gilt es im Entwicklungsprozess, wie ein Dirigent das Zusammenspiel aller Geräuschquellen so einzustellen, das es für den Fahrzeuginsassen angenehm ist. Dazu liefert die VINS den entscheidenden Beitrag, da sie die Geräuschanteile hörbar und dirigierbar macht.

In den projektentscheidenden Gremien werden die einzelnen Komponenten, Module oder Fahrzeugeigenschaften dann aus der VINS heraus abstrahiert über die einfachen Ampelfarben rot, gelb oder grün bewertet. Diese Bewertung setzt beim Verantwortlichen ein gesundes Maß an „Engineering-Judgement“ voraus.

Auch die Subjektivbewertung bei Testfahrten ist ein sehr produktives Werkzeug, zumal das Ohr in seiner Leistungsfähigkeit auch heutigen Messinstrumenten überlegen ist. Erfahrene Akustiker können sehr schnell Schwachstellen ausmachen und aus dem Klangbild dem Verursacher zuordnen. Ergänzend liefern Erprobungsfahrten realistische Informationen über Dosis, Betriebshäufigkeit, Reproduzierbarkeit, Umweltbedingungsabhängigkeit und die Kundenrelevanz akustischer Phänomene. Sie sind daher auch in Zeiten eines steigenden virtuellen Entwicklungsaufwandes unverzichtbar. Subjektivbewertungen sind daher ein leistungsfähiges, aber nicht redundantes und nicht alleinig einsetzbares Werkzeug.

### Literatur

- [1] WIEHAGEN, N.  
Beeinflussung des Klangcharakters motorinduzierter Fahrzeuginnengeräusche, Dissertation RWTH Aachen Aachen, 1997
- [2] ALT, N.; WIEHAGEN, N., SCHLITZER, M.  
Fahrzeug-Innengeräusch-Simulation zur Beurteilung des Prototypenaggregats im Serienfahrzeug, ATZ 103 (2001), Nr. 5,6 Wiesbaden, 2001