

Zusammenfassung des Vortrags von Dr. Alfred Svobodnik auf der 135. Internationalen AES Convention:

Virtuelle Entwicklung von Audio-Systemen – Anwendung von CAE-Methoden

Die Anwendung von CAE-Methoden in der Entwicklung von Fahrzeugkonzepten ist längst fest in den Arbeitsprozessen bei den Automobilentwicklern verankert. Ihr Einsatz fördert die effiziente und effektive Entwicklung neuer ausgereifter Konzepte, was sich letztlich auch in der zunehmenden Modell- und Variantenvielfalt bei zugleich kürzeren Produktlebenszyklen zeigt.

CAE-Methoden bilden ebenso die Schlüsseltechnologie in der virtuellen Entwicklung von Audio-Systemen. Sie ermöglichen die Erprobung akustischer Eigenschaften am virtuellen Modell lange bevor der erste reale Prototyp entsteht.

Essentiell für die Entwicklung von Audio-Systemen sind die Analyse und das Verständnis über das komplette Audiosystem inklusive aller Subsysteme, wie Lautsprecher, Lautsprechergehäuse, Hörraum und aller Randbedingungen. Dr. Svobodnik demonstrierte auf der 135. International AES Convention in New York am 17. Oktober 2013 Matrix-basierte CAE-Methoden, die für die multiphysikalische Simulation von Lautsprechern, Lautsprechergehäusen (z. B. auch Türen, Hutablage etc.) sowie Fahrzeugkabine verwendet werden und zeigt das Prozessmodell **M-voiD (Multidisciplinary virtually optimized industrial Design)** auf. M-voiD liefert eine vollständig virtualisierte Produkt-Entwicklungsumgebung, um realistische Simulationen zu erzeugen. Erst diese ganzheitliche Betrachtung ermöglicht es, die für den Entwicklungsprozess notwendigen Schlüsseltechnologien zu identifizieren.

Herausforderung Audio-Simulation

Zu Beginn nahezu aller Simulationsprozesse besteht die große Herausforderung darin, das zu untersuchende System mit den wesentlichen Eigenschaften und physikalischen Domänen sowie den Systemgrenzen zu definieren. Was zunächst als leichte Aufgabenstellung erscheint, kann bei genauerer Betrachtung komplizierte Problemstellungen aufdecken: denken wir einerseits an das physikalische Verhalten der verschiedenen Subsystemen, wie Lautsprecher, Lautsprechergehäuse oder Hörraum und andererseits an die Grenzen des Gesamtsystems. In diesem Kontext ist letztlich das menschliche Gehirn zu nennen, das die Wahrnehmung erst ermöglicht.

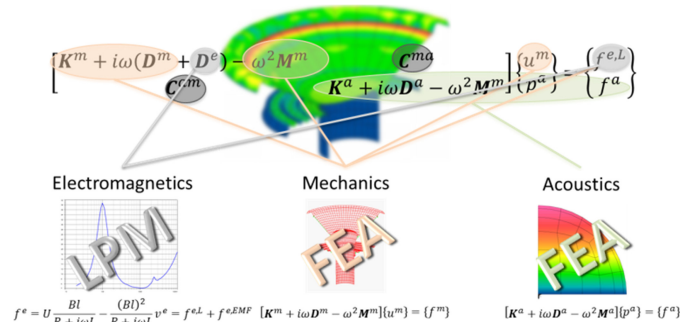
Grundsätzlich ist bei der Definition eines Audio-Systems eine ganzheitliche Betrachtung aller Subsysteme, ihrer akustischen Eigenschaften und Randbedingungen sowie die jeweiligen Interaktionen untereinander notwendig. Folglich handelt es sich nicht mehr ‚nur‘ um elektro-akustische Problemstellungen, für die eine Lösung gesucht werden muss. Vielmehr geht es um eine *multiphysikalische und multidisziplinäre* Betrachtung.

Für die Betrachtung kompletter Systeme liefert das Simulationsprozessmodell M-voiD effektive Lösungen. M-voiD ist ein mehrstufiger Prozess, der sämtliche elektro-mechanisch-akustischen Charakteristiken miteinander verknüpft, basierend auf einer ganzheitlichen Betrachtung und Zugrundelegung adäquater numerischer Schemata. Das Ergebnis ist eine vollständig virtualisierte Produkt-Entwicklungsumgebung, um realistische Simulationen zu erzeugen. Hörbereiche sind messbar und können am virtuellen Modell optimiert werden.

Wie ist das möglich? Zur Untersuchung des Gesamtsystems wird zunächst ein mehrstufiges Skalenmodell angelegt, das die jeweilige virtuelle Umgebung aufzeigt. M-voiD integriert dabei folgende Systemebenen:

- Antriebssystem: Lumped Parameter Model (Finite Element Model für Antriebssystementwicklung)
- Mechanisches Schwingensystem: Finite Element Model
- Akustisches System: Finite Element Model

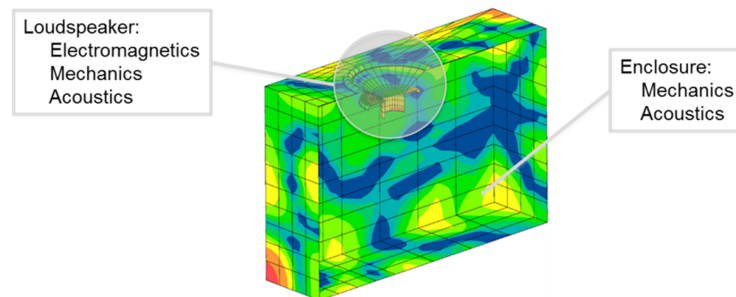
Die nachfolgende Abbildung veranschaulicht beispielhaft den Prozess für ein lineares (Lautsprecher)-Modell:



Dieses bidirektional gekoppelte multiphysikalische Simulationsmodell liefert äußerst präzise und somit realistische Voraussagen über die Leistung der Lautsprecher über den gesamten hörbaren Frequenzbereich.

Simulation Subsystem Lautsprecher/Gehäuse

Naturgemäß benötigen Lautsprecher ein Resonanzvolumen, um eine optimale Leistungsfähigkeit zu erzielen. Ein adäquates akustisches Gehäuse bietet beste Möglichkeiten zur Leistungssteigerung. Besonders im Automobilbau bestehen diese Gehäuse jedoch aus einer äußerst komplexen Geometrie, so dass umfangreiche Randbedingungen zu berücksichtigen sind. Die Gehäuse erfordern daher eine Erweiterung in der mechanischen und akustischen Domäne. Um präzise Werte über den Lautsprecher einschließlich der Gehäuse (= Subsystem Lautsprecher/Gehäuse) zu erhalten, empfehlen sich demnach auch hier Matrix-basierte CAE-Methoden.



Das multiphysikalische Modell eines Lautsprechers kann um Randbedingungen erweitert werden (Erweiterung der mechanischen und akustischen Domäne)

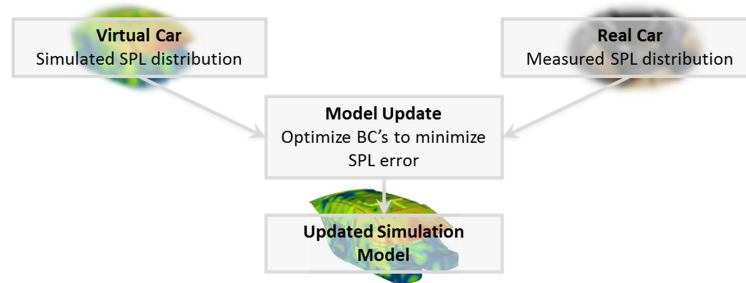
Ganzheitliche Simulationssysteme

Um ein ganzheitliches Simulationsmodell aufzuzeigen, ist selbstverständlich der Hörraum im Fahrzeug, also die Fahrzeugkabine, ebenso in die Untersuchung mit einzubeziehen.

Die Darstellung der Fahrzeugkabine erfordert folglich die zusätzliche Erweiterung der akustischen und mechanischen Domäne des Simulationsmodells. Ergänzend zur Geometrie des Lautsprechers und des jeweiligen Gehäuses ist die Geometrie der Fahrzeugkabine demnach zu berücksichtigen. Während im unteren und mittleren Frequenzbereich (typischerweise bis zu 1 kHz) Finite Elemente verwendet werden, müssen hier für höhere Frequenzbereiche (über 1 kHz) Methoden der geometrischen Akustik (Ray- und Cone-Tracing) angewendet werden.

Aufgrund der äußerst komplexen Gegebenheiten der Fahrzeugkabine stellt dieses Simulationsmodell eine besondere Herausforderung dar. Oberflächen des Innenraums brechen und reflektieren akustische Wellen, die mittels eines speziellen Impedanz-Modells modelliert werden. Daher werden Messungen an realen Fahrzeugen in die Untersuchungen mit einbezogen (hybrider Simulationsansatz mittels Model-Update).

Die nachfolgende Abbildung verdeutlicht den Prozess:



Die Ergebnisse dieses ganzheitlichen Simulationsmodells liefern Voraussagen über das akustische Verhalten von Audio-Systemen. Die Auswertungen werden verwendet, um charakteristische Performancewerte zu ermitteln und dienen den Entwicklern und Ingenieuren der Automobilhersteller gleichzeitig als neue Geometrie-Varianten für optimale Entwicklungsfortschritte.

Der Simulationsprozess M-voID findet bisher in der Automobilindustrie und Unterhaltungselektronik Anwendung. Unternehmen profitieren von dem Modell dadurch, dass sie **optimale Entwicklungsentscheidungen bereits am virtuellen Modell treffen** können, sich dadurch **Entwicklungszyklen verkürzen**, sich das **Projektrisiko verringert** und gleichzeitig **Entwicklungs- und Projektkosten reduziert** werden.

Das komplette Redemanuskript steht Ihnen unter http://www.konzept-x.com/2013_AES_135_Convention.pdf zur Verfügung. Weiterführende Informationen finden Sie in früheren Publikationen unter <http://www.konzept-x.com/html/publikationen.html>.

Konzept-X GmbH
Dr. Alfred Svobodnik

31.10.2013