

# Automobil Konstruktion

Fachwissen für Entwicklungsingenieure

**Schwerpunkt**

## Testen und Prüfen

**Antrieb**

Hochleistungsdichtungen für GDI-Systeme

**Fahrwerk**

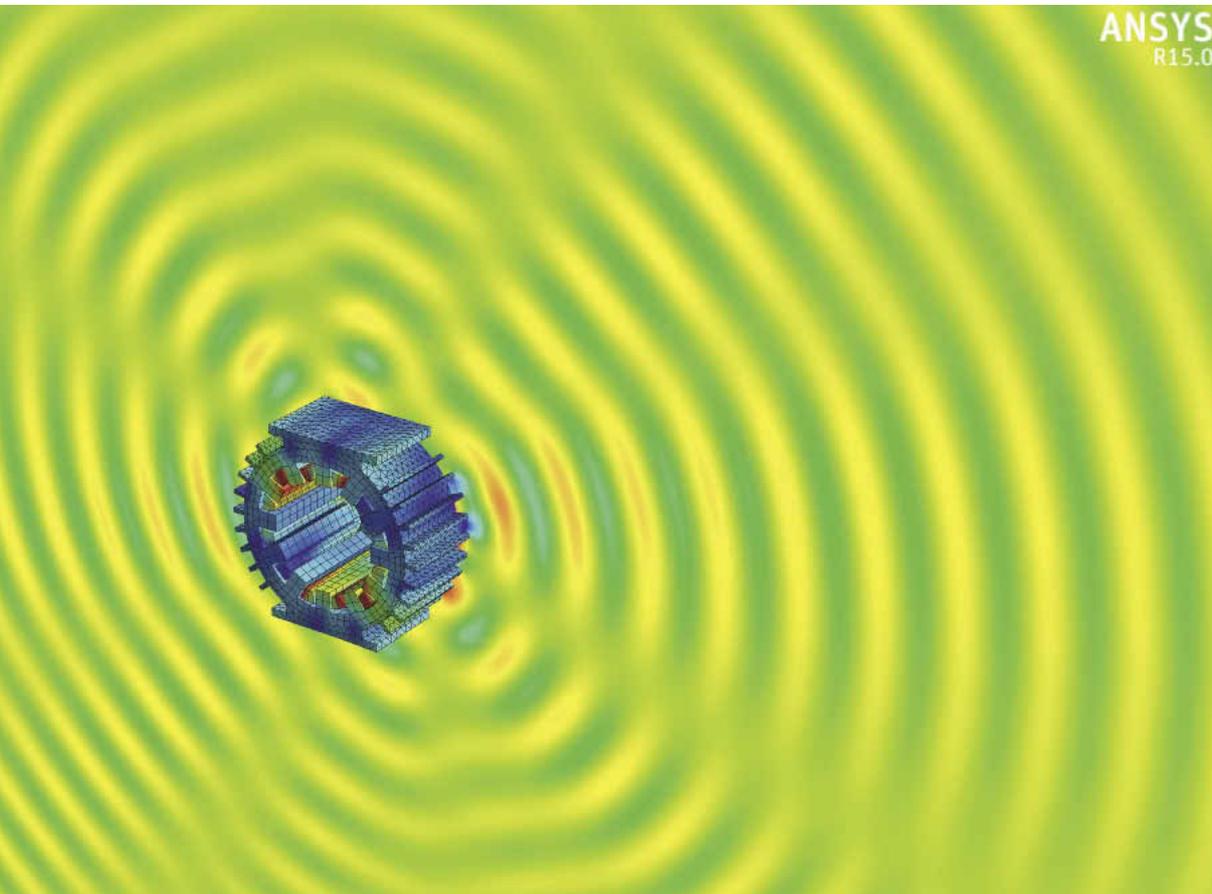
Leichtbauwerkstoffe für den Fahrzeugunterboden

**Serie: Entwicklungen im Pkw**

Sicherheit für Pkw-Insassen und Fußgänger

# Den richtigen Ton treffen

Akustik-Simulation: Durch CAE-Lösung zum geräuschoptimierten Produkt



Akustik-Simulation für einen Elektromotor

Bild: Cadfem

**Ob Klang, Lärm oder Vibration – immer dann, wenn Produkte hör- oder spürbar werden, sind die Entwickler gefragt, um das Phänomen einzugrenzen, zu verstehen und zu optimieren. Dazu leisten die Simulationstechnologien einen wichtigen Beitrag, um frühzeitig eventuelle Schwachstellen zu erkennen und diese mit alternativen Varianten zu beseitigen.**

Schall begegnet uns in unterschiedlichen Formen und erreicht uns auf verschiedenen Wegen. Mal entsteht er als Strömungsgeräusch, durch Wirbelablösung und Turbulenz, als sogenannte Aero- oder Hydroakustik, mal durch Vibration von Körpern, der sogenannten Vibroakustik. Der Schall breitet sich z. B. in Gebäuden oder Fahrzeugen zunächst als Körperschall aus, bevor er von den Oberflächen in das umgebende Medium abgestrahlt wird. Durch die Kombination dieser Erscheinungsformen wurde der Begriff NVH – Noise, Vibration and Harshness – geprägt. Meist erreicht uns der Schall jedoch durch die Luft als Luftschall. Auf beiden Wegen hat der Ingenieur die Möglichkeit, die Schallwellen zum einen zu detektieren, zum anderen auch, sie zu beeinflussen oder zu dämpfen. So kann auf dem Prüfstand die Vibration durch Beschleunigungsaufnehmer gemessen und – möglichst in einem reflexionsarmen Raum – der Schalldruck über Mi-

krofone aufgezeichnet werden. Um Aussagen über Herkunft, Verteilung und Schallleistung zu treffen, muss dabei mit einer hohen Anzahl von Mikrofonen und speziellen Auswerteverfahren gearbeitet werden. Akustische Messungen zur Bestimmung des Schalldrucks und Schallleistungspegels erfordern daher in der Produktentwicklung oft hohen Zeit- und Kostenaufwand. Mithilfe der Simulation erhält der Ansys-Anwender schnell einen tiefen Einblick in das akustische Feld, der mit traditionellen Messungen, wenn überhaupt, nur mit erheblichem Aufwand erzielt werden kann.

## Beispiel Instrumentenbau

Die große Bandbreite möglicher Aufgabenstellungen in der Akustik erstreckt sich über fast alle physikalischen Disziplinen. Eine Herausforderung, die mit der Ansys Workbench Umgebung gut gemeistert werden kann, beispielsweise im Instrumentenbau: Der Klang eines

Die Autoren: Steffen Peters, Cadfem GmbH, Leinfelden-Echterdingen, und Ricardo Hermann, Dr.-Ing. Jochen Neher, beide MAN Diesel & Turbo SE, Augsburg

Konturen des Schalldrucks und Frequenzgang des Schalleistungspegels für eine ausgewählte MAN-Motorkomponente

Bild: MAN Diesel & Turbo

klassischen Musikinstrumentes basiert auf Resonanzen von Struktur und Luftvolumina, die gut aufeinander abgestimmt sein wollen. Eine Kombination aus modaler und harmonischer Analyse in Ansys Mechanical ermöglicht dem Instrumentenbauer, sich bei gleichem Klang von klassischen Instrumentenformen zu lösen oder bekannte Formen weiterzuentwickeln. Ein Hörgerät arbeitet meist mit sehr dünnen Kanälen, die den Schall in das Ohr transportieren. Die viskothermischen Verluste in diesen Kanälen können durch Simulation bestimmt und optimiert werden. Die Lärmentwicklung an einem Pkw-Außenspiegel aufgrund der Umströmung lässt sich mit Ansys CFD analysieren. Dabei werden die akustischen Quellen mithilfe von LES (Large Eddy Simulation) Turbulenzmodellen bestimmt.

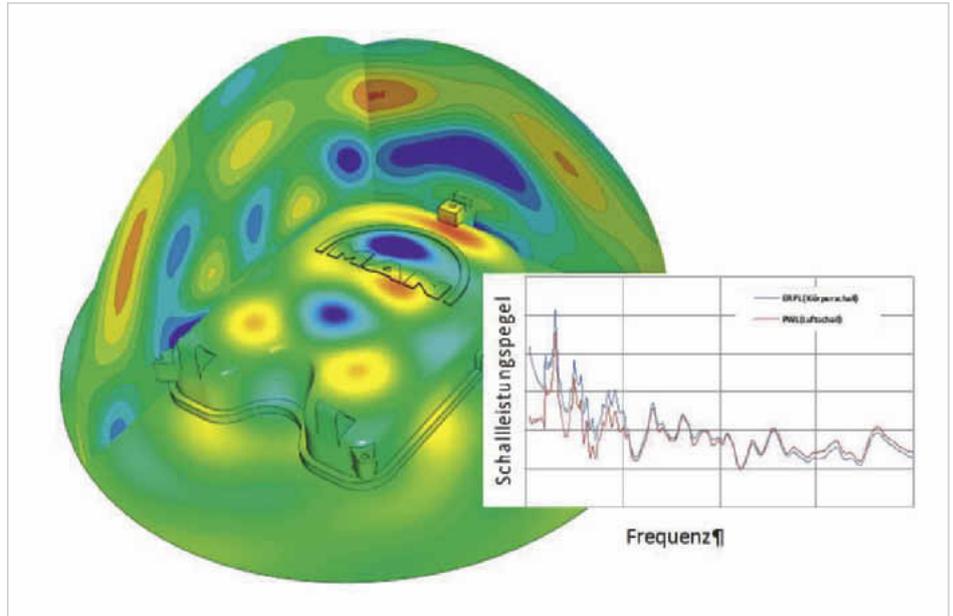
**Beispiel Elektromotor**

Bei einem Elektromotor führt die Anregung durch elektromagnetische Kräfte zur Strukturvibration und schließlich zur Schallemission. Nachdem die elektromagnetischen Kräfte in Ansys Maxwell ermittelt wurden, werden diese in Ansys Mechanical auf die Struktur aufgebracht und anschließend in die akustische Ausbreitungsrechnung übertragen. Der Prozess bildet den gesamten Weg von der elektronischen Ansteuerung bis hin zum Schalleistungspegel ab und bietet die Möglichkeit, diesen gezielt zu reduzieren.

Erwünscht ist dagegen die Schallerzeugung in einem Lautsprecher. Das Zusammenspiel von elektromagnetischem Treiber, Membran, Gehäuse und Dämmmaterial kann ebenfalls durch die Simulation analysiert und verbessert werden. Zusätzlich lässt sich die Software Optislang zur parametrischen Sensitivitätsanalyse und multidisziplinären Optimierung nutzen.

**Anwendungsfall: MAN-Dieselmotoren**

Das Unternehmen MAN Diesel&Turbo setzt bei der Simulation bereits seit langem auf die Lösungen von Cadfem und Ansys. Um die Wirkung von Ansaugschalldämpfern von Groß-Dieselmotoren zu verbessern, wurden verschiedene Varianten durch akustische Simulationen untersucht. Die Auswahl geeigneter poröser Materialien, z. B. Vliese oder Schäume, in



Kombination mit perforierten Abdeckblechen ist ein entscheidender Faktor für die erreichbare Schallreduzierung. Neben ihrer akustischen Eignung müssen diese Materialien auch den harten Einsatzbedingungen an einem Groß-Dieselmotor gewachsen sein. Ausgeklügelte Techniken für poröse und perforierte Medien sorgen dabei für möglichst kleine Simulationsmodelle und unterstützen so die frühzeitige Auswahl geeigneter Absorbermaterialien sowie eine effiziente Untersuchung einer Vielzahl unterschiedlicher Designvarianten. Eine weitere akustisch interessante Komponente sind die Hauben, die den Kipphebelkasten des Dieselmotors abdecken. Die Simulation der Schallabstrahlung dieser schwingenden Strukturen erforderte ein zweistufiges Vorgehen: Eine Schwingungsanalyse der Struktur wurde durch eine Einweg-Kopplung (one-way) mit einer anschließenden akustischen Analyse verbunden. Um zu einer realistischen Beschreibung des Schalldruckpegels zu kommen, musste der umgebende Luftraum bezogen auf die Geräuschfrequenzen hinreichend genau aufgelöst werden. Zur Beschleunigung des Simulationsprozesses wurde ein automatisiert wiederholbarer Arbeitsablauf innerhalb von Ansys Workbench realisiert. Anstatt nur ein einziges akustisches Modell zu verwenden, wurden mehrere Modelle, jeweils für ein enges Frequenzband, automatisch generiert. Abhängig von der betrachteten Wellenlänge erfolgte eine parametrische Anpassung sowohl der Größe des Luftvolumens als auch der Netzfeinheit. Darüber hinaus konnte durch die Nutzung der neuen Ansys HPC Parametric Pack Lizenzie-

rung, mit der gleichzeitig 16 Jobs mit jeweils vier Kernen lauffähig sind, die Wirtschaftlichkeit erheblich erhöht werden. Damit ließ sich die Berechnungszeit für die Schallabstrahlungsanalyse um 93 % reduzieren.

**Kundennutzen durch die Simulation**

Für die Simulation der akustischen Abstrahlung von schwingenden Strukturen wurde im o. g. Beispiel so ein zuverlässiger Arbeitsablauf geschaffen. In Kombination mit der konsequenten Verwendung der Ansys HPC-Technologie ermöglicht dies den MAN-Ingenieuren:

- akustische Entscheidungen bereits in der frühen Entwurfsphase eines Motors zu treffen
- die Durchführung von systematischen Parameterstudien, um den Lärmbeitrag von Motorkomponenten zu erfassen
- Maßnahmen, die den Geräuschpegel senken (z. B. Dämpfungsschicht, Rippen, Entkopplung ...), festzulegen
- Zeit und Geld zu sparen, indem die Anzahl realer Prototypen reduziert wird.

Der Einsatz der Simulation schon in der Designphase eines Produktes ermöglicht es, sein dynamisches und akustisches Verhalten schon vor dem ersten Prototyp zu bewerten und zu optimieren. Ebenso lassen sich Schwachstellen von bestehenden Produkten erkennen und beseitigen.

Cadfem,  
Tel.: 08092 7005-0,  
info@cadfem.de