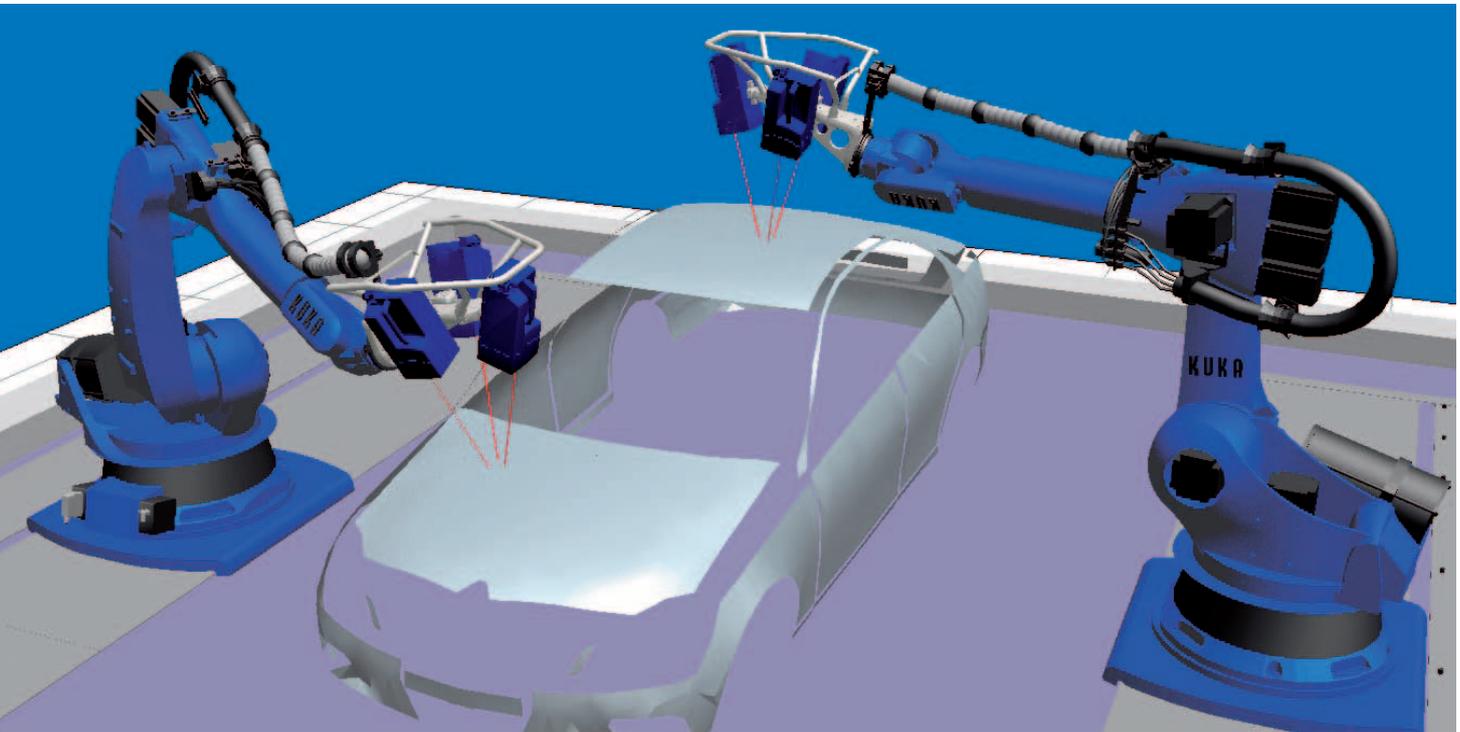


# Datenlücke geschlossen!

Verbesserte FE-Modell-Validierung durch automatisierten Modaltest mit RoboVib®

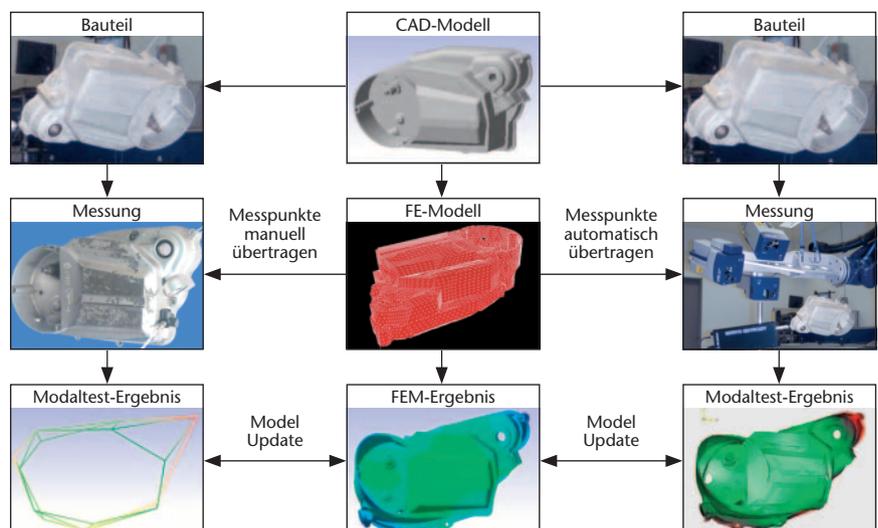


Während der ANSYS Conference & 28. CADFEM User's Meeting 2010 in Aachen wurde ein neuer Ansatz für den experimentellen Modaltest vorgestellt, der es erlaubt, die Lücke in der Datenkette zwischen CAE (Computer Aided Engineering) und dem Test zu schließen. Er nutzt die Eigenschaften des PSV-400-3D Scanning Vibrometers in Kombination mit einem Industrieroboter zur Testvorbereitung mit CAE-Daten. Die Fähigkeit, mit importierten Geometriemodellen und Koordinatensystemen aus der CAE-Welt zu arbeiten und die darin enthaltenen Knoten als Messpunkte direkt mit dem Laser automatisch abzutasten, ist dabei der entscheidende Vorteil bei der Korrelation der Modelle.

## Fallstudie: optische vs. konventionelle Messung

Diese Studie vergleicht den automatisierten optischen Ansatz mit der konventionellen Methode (Bild 1). Als Testobjekt wurde dabei die Getriebeabdeckung eines Motorrads aus Aluminiumguss verwendet. Der Schwerpunkt lag dabei weniger auf der Steigerung der Effizienz im Test als auf dem Nutzen für die Korrelation mit dem Finite Elemente-(FE-)Modell.

**Bild 1:** Vergleich zweier Ansätze für die FE-Modell-Validierung.  
Mitte: Generierung des FE-Modells;  
links: Modaltest mit Beschleunigungsaufnehmern; rechts: RoboVib®-Modaltest



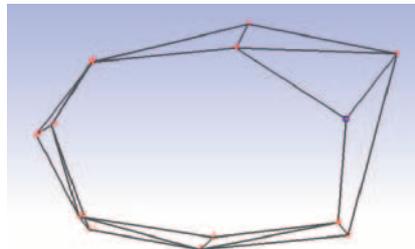
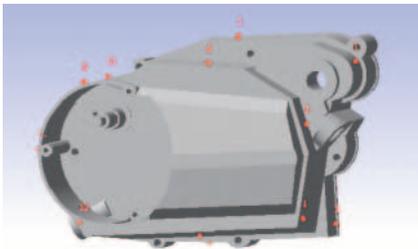


Bild 2: CAD-Modell mit Messpunkten und sich daraus ergebendes Drahtmodell

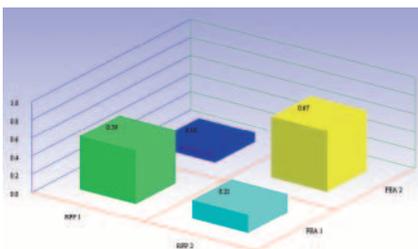


Bild 5: MAC – Vergleich der Ergebnisse aus FE-Berechnung und Beschleunigungsaufnehmer-Messung

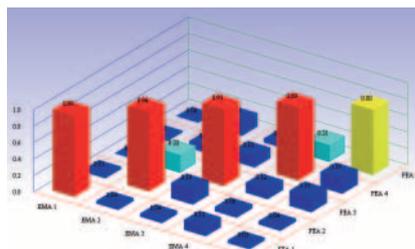


Bild 6: MAC – Vergleich von FE-Berechnung und RoboVib®-Messung

Das zugehörige FE-Modell war in einem tetraedrischen Mesh-Typ angelegt mit 69019 Elementen und 19994 Knoten.

■ **Beschleunigungsaufnehmer**

Die Getriebeabdeckung wurde mittels eines Impulshammers zu Schwingungen angeregt. Die Messung erfolgte an 14 Messpunkten (Bild 2), die zuvor manuell mit Hilfe des FE-Modells definiert wurden.

■ **RoboVib® Test Station**

Optische Methoden erlauben es, direkt mit aus dem FE-Modell abgeleiteten Messgittern zu arbeiten. Da man bei Verwendung des Lasers nicht durch fest montierte Sensoren eingeschränkt ist, entfallen sofort zwei entscheidende Nachteile der konventionellen Methode: die niedrige räumliche Auflösung durch eingeschränkte Sensorenanzahl sowie

der Masseinfluss der Sensoren auf das Ergebnis. Dadurch verbessern sich auch die MAC (Modal Assurance Criterion)-Werte beim Vergleich der Moden aus der FE-Berechnung und den synthetisierten Moden aus dem Test. Die höhere Datenqualität verbessert auch das anschließende Model Updating. Für die Messung wurde das importierte FE-Gitter um den Faktor 10 vergrößert, was aber immer noch 100 mal mehr Messpunkte im Vergleich zu der konventionellen Methode ergab.

Um die Abdeckung vollständig von allen Seiten zu messen, wurden dem Roboter eine Reihe unterschiedlicher Messpositionen eingelesen. Nach der Vorbereitung lief dann die Messung an 1630 Messpunkten während der Nacht programmgesteuert ab (Bild 3). Zur Analyse wurden

die Ergebnisse aller Roboterpositionen am Ende automatisch zu einem gemeinsamen Datensatz vereinigt. Mit dem VMAP Modalanalyse-Softwarepaket von TechPassion wurden dann die Moden und die modalen Parameter extrahiert. VMAP bietet hierzu eine direkte binäre Software-Schnittstelle zu den PSV Schwingungsdaten.

In Bild 4 sind die beiden ersten Moden im Vergleich dargestellt: Links die berechnete Mode, in der Mitte die RoboVib®-Ergebnisse mit dem importierten Gitter und rechts die Ergebnisse der Messung mit Beschleunigungsaufnehmern.

**MAC-Analyse**

Eine der wichtigsten Aufgaben von RoboVib® ist es, Vergleichsdaten für die Validierung von FE-Modellen zu liefern. Die mit VMAP extrahierten Moden wurden in einer MAC-Analyse mit den berechneten Moden verglichen (Bild 5 und 6).

■ **Beschleunigungsaufnehmer**

Die Modalanalyse konnte nur für die beiden ersten Moden bei 592 Hz und 933 Hz durchgeführt werden. Die MAC-Werte zwischen den berechneten und den gemessenen Moden liegen bei 0,67 bzw. 0,59. Diese niedrigen Werte lassen den Schluss zu, dass einige Testparameter, z. B. die Masse der Beschleunigungsaufnehmer oder die Genauigkeit bei der Bestimmung des Ortes und der Orientierung der Sensoren, die Qualität der Messung einschränken.

■ **RoboVib® Test Station**

Da in diesem Fall eine 100-fach größere räumliche Auflösung der Messpunkte vorlag, konnten auch Moden bei höheren Frequenzen ermittelt werden. Die MAC-Werte lagen für die ersten vier Moden nahe dem optimalen Wert von 1 (Bild 6).

1. Mode  
592,1 Hz

2. Mode  
932,5 Hz

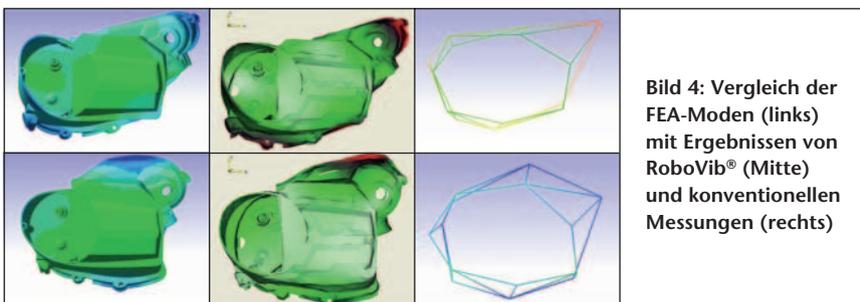


Bild 4: Vergleich der FEA-Moden (links) mit Ergebnissen von RoboVib® (Mitte) und konventionellen Messungen (rechts)



Bild 3: Schwingungsmessung an der Getriebeabdeckung mit RoboVib®

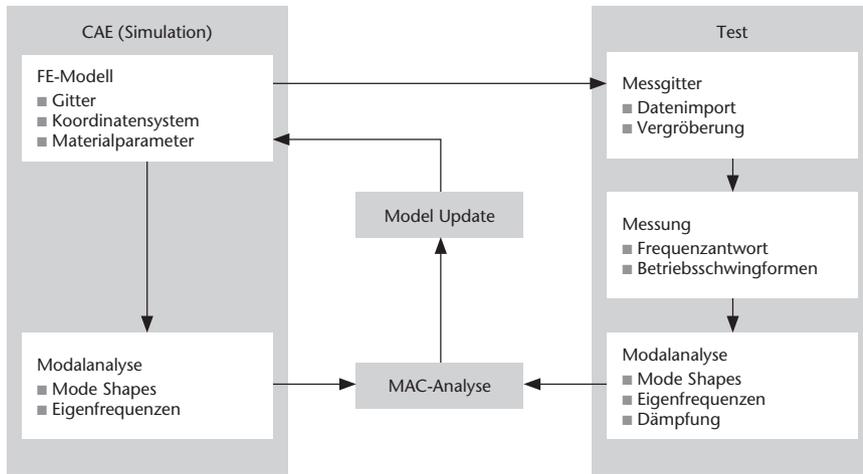


Bild 7: CAE-Test-Workflow

Die Nebendiagonalen zeigten sehr niedrige Werte, was eine eindeutige Zuordnung zu den berechneten Moden erlaubt.

**Verbesserung der „Incompleteness Ratio“**

Ein FE-Modell als Abbild des späteren Prototypen dient dazu, die Parameter der Strukturdynamik und der Betriebsfestigkeit unter vorgegebenen Bedingungen vorherzusagen. Die errechneten Modalparameter (Eigenwerte, Eigenvektoren) werden dann durch einen experimentellen Modaltest validiert (Bild 7).

FE-Modelle enthalten in der Regel viele Tausend Knoten. In der Praxis werden nur kleine Teilmengen für die Validierung herangezogen. Mit anderen Worten, die Messung ist unvollständig (incomplete). Als Maß für diese „Unvollständigkeit“ kann die so genannte „Incompleteness Ratio“  $i_r$  gebildet werden:

$$i_r = \frac{n}{N}$$

Hierbei ist  $n$  die Zahl der gemessenen Knoten und  $N$  die Zahl der Knoten im FE-Gitter. Andere Autoren haben gezeigt,

dass die Qualität des FE Model Updates stark von  $i_r$  abhängt. Beispielsweise konstatiert Grafe: „The real challenge of updating large FE models is not so much the size of the models, as these can be solved by ever more powerful computers, but rather small incompleteness ratios“ (Doctoral thesis, University of London, 1998). Das heißt, die Zahl der gemessenen Knoten muss ausreichend hoch sein, um das Modell zu optimieren. Die drastische Reduzierung der Unvollständigkeit durch den automatisierten Ansatz in der Modalanalyse mit RoboVib® ist deshalb ein wichtiger Schritt hin zu einem optimierten Model Updating.

**Autoren · Kontakt**

Dipl.-Ing. Jörg Sauer<sup>a</sup>,  
Dhanushkodi Mariappan<sup>b</sup>,  
Dipl.-Ing. (FH) Matthias Schüssler<sup>a</sup>,  
Dipl.-Ing. (FH) Arend von der Lieth<sup>c</sup>,  
Michael Stone<sup>c</sup>  
**oms@polytec.de**

<sup>a</sup> Polytec GmbH; <sup>b</sup> TechPassion Technologies Pvt. Limited, Chennai, Indien; <sup>c</sup> Polytec Inc., Dexter, MI, USA  
Dieser Artikel basiert auf der gleichlautenden Publikation bei der ANSYS Conference & 28<sup>th</sup> CADFEM Users' Meeting, 3.–5. Nov. 2010, Aachen, zum Download unter [www.polytec.de/fe-test](http://www.polytec.de/fe-test).

**RoboVib® Structural Test Station**  
Vollautomatisierte 3D-Schwingungsmesstechnik



RoboVib® überwindet viele Beschränkungen traditioneller Messmethoden mit berührenden Sensoren. Durch Kombination eines 3D-Scanning Vibrometers mit einem Industrieroboter ermöglicht RoboVib® eine automatisierte Messung von komplexen Komponenten. So können alle optisch zugänglichen Messpunkte einer Fahrzeugkarosserie getestet werden, wo vorher allein mit der Vorbereitung des Modaltests Tage oder Wochen vergingen. RoboVib® verwendet Messpunkte, die mit hoher räumlicher Auflösung aus dem Finite-Elemente-Modell abgeleitet werden. Der Zeitaufwand und die Fehlerquellen speziell in der experimentellen Modalanalyse reduzieren sich signifikant.

[www.robovib.de](http://www.robovib.de)