

# Model Updating



## Anwendungsgebiete

- A Luft- und Raumfahrt
- B Audio & Akustik
- C Automobilentwicklung**
- D Datenspeicher
- G Vibrometrie Allgemein
- M Mikrostrukturen/-systeme
- P Fertigungsprüfung
- S Wissenschaft & Medizin
- T Strukturuntersuchungen
- U Ultraschalltechnik

Der Hinterachsträger ist als Verbindung zwischen dem Differenzial und den Rädern die zentrale Komponente der Hinterachskonstruktion bei den heckgetriebenen BMW-Fahrzeugen. Die Konstruktion des Trägers wurde mit einem Finite-Elemente-Modell optimiert. Dieser Beitrag beschreibt die Validierung des FE-Modells mithilfe einer experimentellen Modalanalyse. Die Messungen wurden mit einem 3D-Scanning Vibrometer von Polytec durchgeführt.

### Einführung

Messungen mit dem 3D-Scanning Vibrometer haben den Vorteil, dass die Struktur nicht, wie bei der Anwendung von taktilen Sensoren, mit zusätzlichen Massen und Steifigkeiten belastet wird. Es können bei geringem experimentellen Aufwand (da keine Aufnehmer angebracht werden müssen) sehr viele Punkte gemessen und damit eine hohe räumliche Auflösung erzielt werden. Eine typische Messung nutzt insgesamt 500 Messpunkte (1500 FRFs) für die Validierung.

### Experimenteller Aufbau

Der in einem Rahmen frei aufgehängte Träger (Bild 1) wird mit dem Shaker angeregt, der so ausgerichtet wird, dass in allen Raumrichtungen (x, y, z) in etwa dieselbe Anregungsenergie wirkt. Dadurch können die räumlichen Moden mit einer einzigen Quelle angeregt werden. Der Shaker wurde mit einem Pseudo-Random-Signal mit einer Bandbreite von

100 Hz bis 1000 Hz betrieben und die Antwort mit einer Abtastrate von 2560 Hz und einer Blocklänge von 4096 Samples aufgenommen.

### Ergebnisse

Die Messdaten wurden aus der PS Software im Universal File Format in die Structural Dynamics Toolbox (SDT) übernommen. Die SD Toolbox basiert auf Matlab und ermöglicht alle möglichen dynamischen Analysen einschließlich fortgeschrittener Optimierungsalgorithmen, die eine genaue Identifizierung der modalen Parameter erlauben. Bild 2 zeigt die 500 Punkte auf dem Hinterachsträger, die mit dem Vibrometer vermessen wurden. Das verwendete Modell basiert auf Normalmoden und enthält niedrige und höhere Residuen. Nach der Wahl geeigneter Parameter wurde das Modell berechnet und die Pole und Residuen wurden bestmöglich angepasst. In der SD Toolbox wird die Fehlerminimierung mithilfe einer nicht-linearen Regression bewerkstelligt.

Polytec GmbH  
Optische Messsysteme  
Applikationsnote  
VIB-C-05

Juni 2008

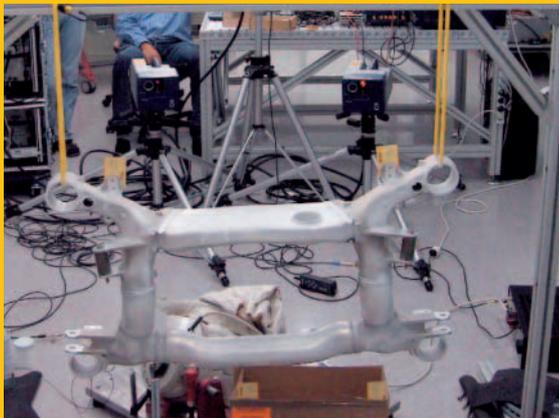


Bild 1: Versuchsaufbau mit dem Hinterachsträger, Shaker (oben) und den 3D-Scanning Messköpfen (unten)



Bild 4: FE-Modell des Trägers

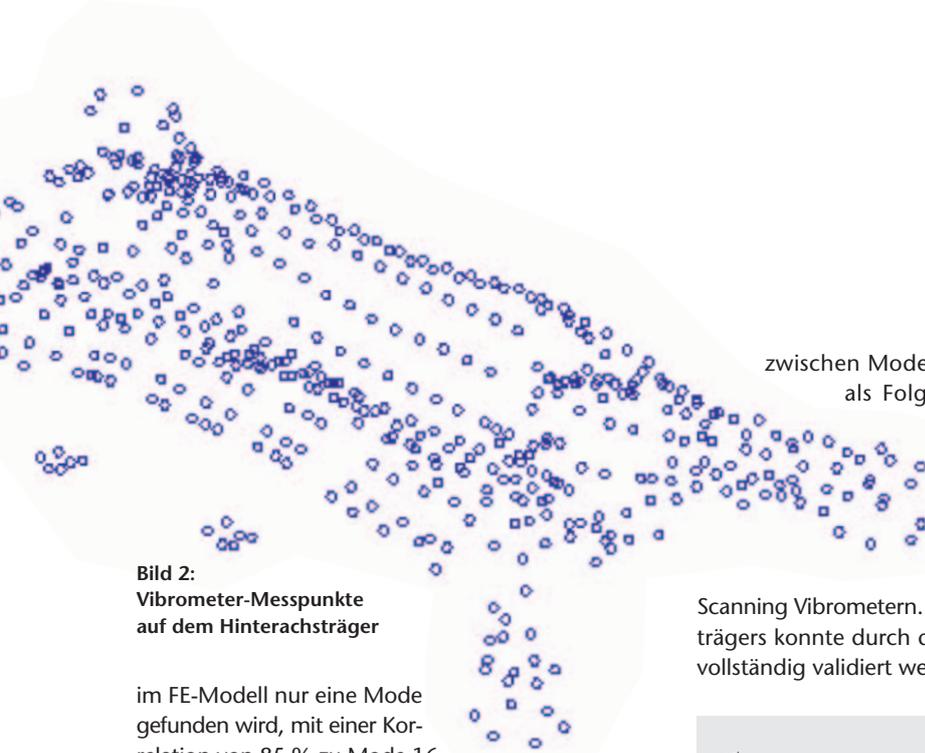
Die mit diesem Modell erhaltene Anpassung ist in Bild 3 für eine ausgewählte Transferfunktion dargestellt. Die berechnete Kurve passt gut mit den Messdaten zusammen, insbesondere im Bereich der Resonanzpeaks. Im höheren Frequenzbereich ist allerdings zwischen den Resonanzen deutliches Rauschen bemerkbar.

### Beschreibung des Finite-Elemente-Modells

Das FE-Modell des Hinterachsträgers wurde mit der Medina Software erstellt. Die Geometrie wurde aus einem CAD-Modell importiert. Das Gitter besteht aus Doppeltetraedern, und das resultierende Modell (Bild 4) weist insgesamt 1,3 Millionen Freiheitsgrade auf. Das FE-Modell wurde anschließend einer Modalanalyse in NASTRAN mit einem iterativen Lanczos-Algorithmus unterworfen. Die Rechnung ergab 17 Eigenfrequenzen im Bereich bis 1000 Hz.

### Validierung des FE-Modells

Die gemessenen Eigenfrequenzen wiesen zunächst Abweichungen von der FE-Analyse um 2 % auf. Eine detailliertere Aussage über die Güte des Modells kann allerdings mit der nachfolgend beschriebenen MAC-Analyse (Modal Assurance Criterion) gewonnen werden. Um die berechneten und gemessenen Eigenschwingungsformen mithilfe der MAC-Analyse korrelieren zu können, müssen die Moden bei beiden Verfahren an denselben Gitterpunkten diskretisiert werden. Dazu wurde die UFF-Exportdatei aus der Messung in das FE-Modell importiert und so das Messpunktgitter auf das FEM-Gitter überlagert. Anschließend wurden 124 Punkte aus dem FE-Modell ausgewählt, die mit Messgitterpunkten übereinstimmten, sodass die Struktur des Hinterachsträgers vollständig wiedergegeben wurde. Die MAC-Analyse in der SD Toolbox ergab die in Bild 5 dargestellten Resultate. Die Übereinstimmungen der ersten acht Moden waren hervorragend und auch die Moden 10, 12, 13, 15, 16 und 18 korrelierten mindestens zu 85 %. Die MAC-Werte der Moden 9, 11, 14 und 17 waren allerdings niedrig. Vermutlich wurden die Moden 9, 11 und 14 bei der Messung unzureichend angeregt. In Bild 6 ist zu sehen, dass diese Moden eine geringe Amplitude aufweisen. Außerdem sind die Moden 13 und 14 wegen der beschränkten Auflösung bereits hoch korreliert, was sich auch in Bild 5 (rechts) zeigt, wo die beiden FE-Moden zum Teil aufeinander abgebildet werden. Schließlich scheint die Mode 17 ein Artefakt aus der Versuchsanordnung zu sein. Vermutlich sind die Moden 16 und 17 eigentlich identisch, werden jedoch durch eine geringe Asymmetrie der Struktur aufgespalten und ergeben somit zwei getrennte Moden. Diese Erklärung wird dadurch erhärtet, dass



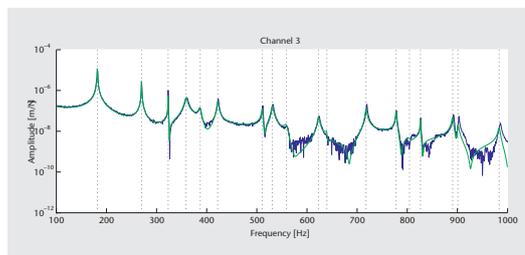
**Bild 2:**  
Vibrometer-Messpunkte  
auf dem Hinterachsträger

im FE-Modell nur eine Mode gefunden wird, mit einer Korrelation von 85 % zu Mode 16, aber nur 50 % zu Mode 17. Insgesamt ist die Korrelation zwischen der FE-Modellrechnung und der Experimentellen Modalanalyse sehr gut, soweit man sich auf die wesentlichen Peaks in Bild 6 beschränkt. Alle wichtigen Schwingungsmuster sind in beiden Modellen vorhanden.

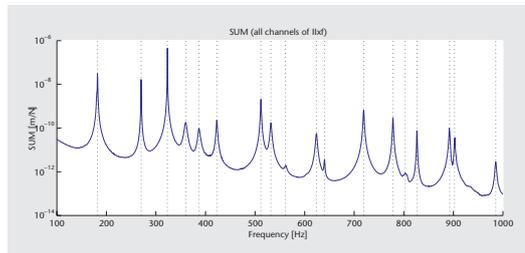
### Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse der Experimentellen Modalanalyse stimmen sehr gut mit den FEM-Simulationen überein. 12 der 17 Eigenmoden weisen eine Korrelation von mindestens 90 % auf, davon 10 sogar über 95 %. Die gemessenen Eigenfrequenzen waren im Allgemeinen etwas höher als die berechneten Frequenzen, vermutlich infolge von Fertigungstoleranzen der Träger sowie Einflüssen aus der Versuchsanordnung und Ungenauigkeiten beim Materialansatz des FEModells. Nur drei der Eigenschwingungsformen zeigten eine eher geringe Übereinstimmung. Die Abweichungen

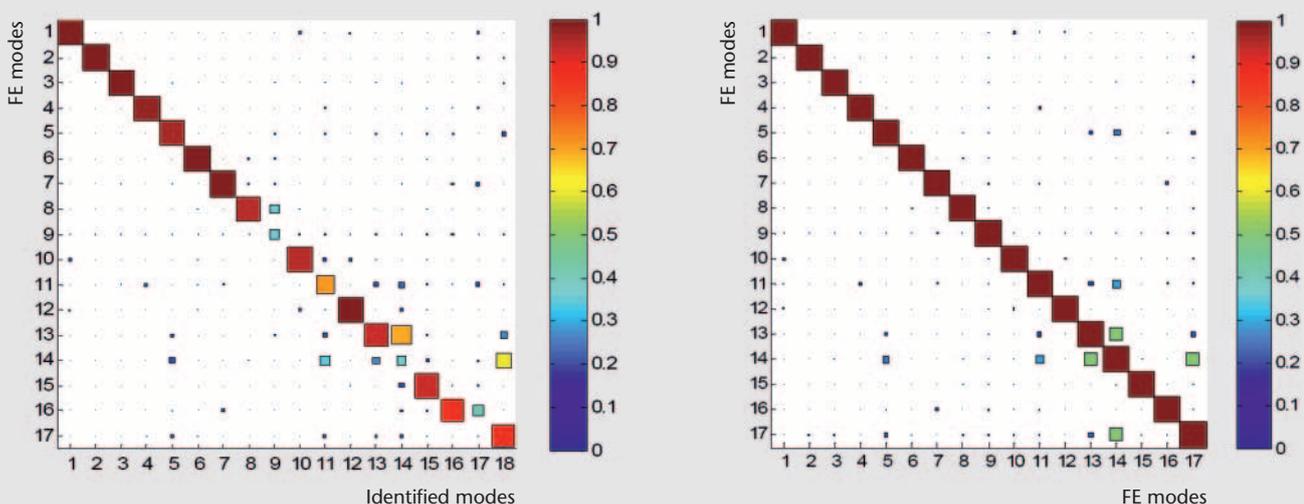
zwischen Modell und Messung konnten alle als Folge der Messmethodik erklärt werden, z. B. durch ungenügende Anregung oder Aufspaltung von Moden. Die Analyse zeigt das hohe Potenzial berührungsloser Messungen mit 3D-Scanning Vibrometern. Das FE-Modell des Hinterachsträgers konnte durch die Ergebnisse der Messungen vollständig validiert werden.



**Bild 3: Anpassungskurve mit realen Residuen (Kanal 3)**



**Bild 6: Anpassungskurve mit realen Residuen (alle Kanäle)**



**Bild 5: Ergebnisse der MAC-Analyse für alle Punkte (links) und nur für FE-Moden (rechts)**

## Polytec 3D-Schwingungsmesstechnik



Räumliche Schwingungsmessung – ganz automatisch

### RoboVib Structural Test Station

Die RoboVib Structural Test Station besteht aus einem 3D-Scanning Vibrometer als Messwerkzeug und einem KUKA-Industrieroboter. Durch diese intelligente Verknüpfung ist es erstmals möglich, einen Modaltest komplett in das CAE-Datenmanagement zu integrieren. Die Messpunkte werden dabei aus dem Finite-Elemente-Modell abgeleitet und auf das Messobjekt referenziert. Die Ergebnisse stehen wiederum an den Knotenpunkten des FE-Netzes zur Verfügung. Damit ist ein sehr genauer und zeitsparender Abgleich des Simulationsmodells mit den experimentellen Daten möglich. Eine Fahrzeugkarosserie ist in wenigen Stunden komplett durchgemessen.

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

### PSV-400-3D Scanning Vibrometer

Das PSV-400-3D Scanning Vibrometer ist das ideale Messsystem zur schnellen, berührungslosen und rückwirkungsfreien Erfassung dreidimensionaler Schwingungsdaten. Es bietet eine intuitive 3D-Animation der Messergebnisse und Datenschnittstellen zu Modalanalyse- und FEM-Software.

[www.polytec.de/psv3d](http://www.polytec.de/psv3d)



Weitere Informationen über das PSV-400-3D Scanning Vibrometer und vielfältige Anwendungen in der Automobilentwicklung finden Sie auf unseren Internetseiten [www.polytec.de/psv3d](http://www.polytec.de/psv3d) und [www.polytec.de/automotive](http://www.polytec.de/automotive), oder lassen Sie sich durch unsere Produktspezialisten beraten.

Wir bedanken uns bei D. de Klerk, M.Sc. und S. N. Vermeeren, B. Sc. (Delft University of Technology) für diesen Beitrag, veröffentlicht in Polytec InFocus Ausgabe 2/2007.

**Polytec GmbH**  
Polytec-Platz 1-7  
76337 Waldbronn  
Tel. +49 (0) 7243 604-0  
Fax +49 (0) 7243 69944  
[info@polytec.de](mailto:info@polytec.de)

**Polytec GmbH**  
**Vertriebs- und**  
**Beratungsbüro Berlin**  
Schwarzschildstraße 1  
12489 Berlin  
Tel. +49 (0) 30 6392-5140  
Fax +49 (0) 30 6392-5141