

Sonderdruck
aus Automotive
Engineering
Partners
9-10/2005
Friedr. Vieweg &
Sohn Verlags-
gesellschaft mbH,
Wiesbaden

AUTOMOTIVE ENGINEERING PARTNERS

www.all4engineers.com



3D-VIBROMETRIE

Schneller zum NVH-optimierten Fahrzeug

SCHNELLER ZUM NVH-OPTIMISIERTEN FAHRZEUG

Hochauflösende Schwingungsmessungen für die experimentelle Modalanalyse an Fahrzeugkomponenten erfordern ein dichtes Messgitter mit einer entsprechend hohen Anzahl von Messpunkten. Der klassische Ansatz taktiler Messtechnik stößt bei zunehmender Messpunktzahl schnell an die Grenzen der Praktikabilität und motiviert den Einsatz berührungsloser optischer Messtechnik. Bei der Daimler-Chrysler AG in Sindelfingen wurden deshalb die hier beschriebenen Untersuchungen an einer Karosserie mit einem 3D-Polytec-Vibrometer durchgeführt. Der Artikel beschreibt die Messungen und stellt die Ergebnisse dar.

Die frühzeitige messtechnische Charakterisierung der strukturdynamischen Eigenschaften eines Prototypen hat in der Kraftfahrzeugentwicklung einen herausragenden Stellenwert. Heutzutage besitzen zwar die mit aktuellen CAE-Tools durchgeführten FE-Modellierungen eine bemerkenswert hohe Vorhersagekraft, dennoch ist die Korrelation der CAE-Modelle mit experimentell basierten Modellen ein wichtiges Instrument für den Erfahrungsaufbau und zur Erzielung verlässlicher Vorhersagen durch die Simulation.

Am Testfahrzeug ermittelte Schwingungsmessdaten dienen einerseits zur Lokalisierung von Zonen unerwünschter Schwingungsamplituden, um frühzeitig Designänderungen zur Optimierung des Fahrkomforts und der NVH-Eigenschaften einfließen zu lassen. Andererseits dienen die bei ausreichend hoher Messpunktdichte aus den Messdaten gewonnenen modalen Parameter zur Validierung und Anpassung der strukturdynamischen FE-Modelle.

Das Laser-Doppler-Scanning-Verfahren ermöglicht eine sehr schnelle, hochgenaue und berührungslose (kein Masseeffekt) Erfassung von optisch zugänglichen Strukturmesspunkten.

KOMPLEXE AUFGABENSTELLUNG

Hochauflösende strukturdynamische Tests von Kraftfahrzeugkarosserien sind, wenn sie

mit Beschleunigungsaufnehmern durchgeführt werden, aufwändig und zeitbeanspruchend. Die Aufnehmer müssen sorgfältig appliziert, in ihrer räumlichen Lage und Ausrichtung bestimmt und mit dem Datenerfassungssystem verkabelt werden.

Für räumlich hochauflösende Messungen, die beispielsweise für vibroakustische Fragestellungen aufgrund des zu betrachtenden Frequenzbereiches zwingend sind, wird eine große Anzahl von Messstellen benötigt. Ein solcher Test lässt sich praktisch nie in einem einzigen Durchgang realisieren, da das Datenerfassungssystem nur eine begrenzte Anzahl von Erfassungskanälen besitzt und oftmals auch nicht genügend Sensoren zur Verfügung stehen. Aus diesem Grund wird dann in einem ersten Durchgang nur eine Teilmenge aller Messpunkte gemessen. An den nicht gemessenen Punkten werden Ersatzmassen angebracht, damit bei sämtlichen Teilmessungen auf dem Test-Objekt exakt die gleiche Massenverteilung vorliegt.

Mit diesem Hintergrund wurde im vorliegenden Projekt aus Effizienzgründen der berührungslosen Messtechnik der Vorzug gegeben. Das 3D-Scanning-Vibrometer vereinfacht aufgrund des berührungslosen Messprinzips die Vorbereitung der Messung an den optisch zugänglichen Messpunkten erheblich, beschleunigt die Durchführung und ermöglicht räumlich hochauflösende

AUTOREN

Dr. rer. nat. Jo-chen Schell ist Applikationsingenieur bei der Polytec GmbH in Waldbronn.

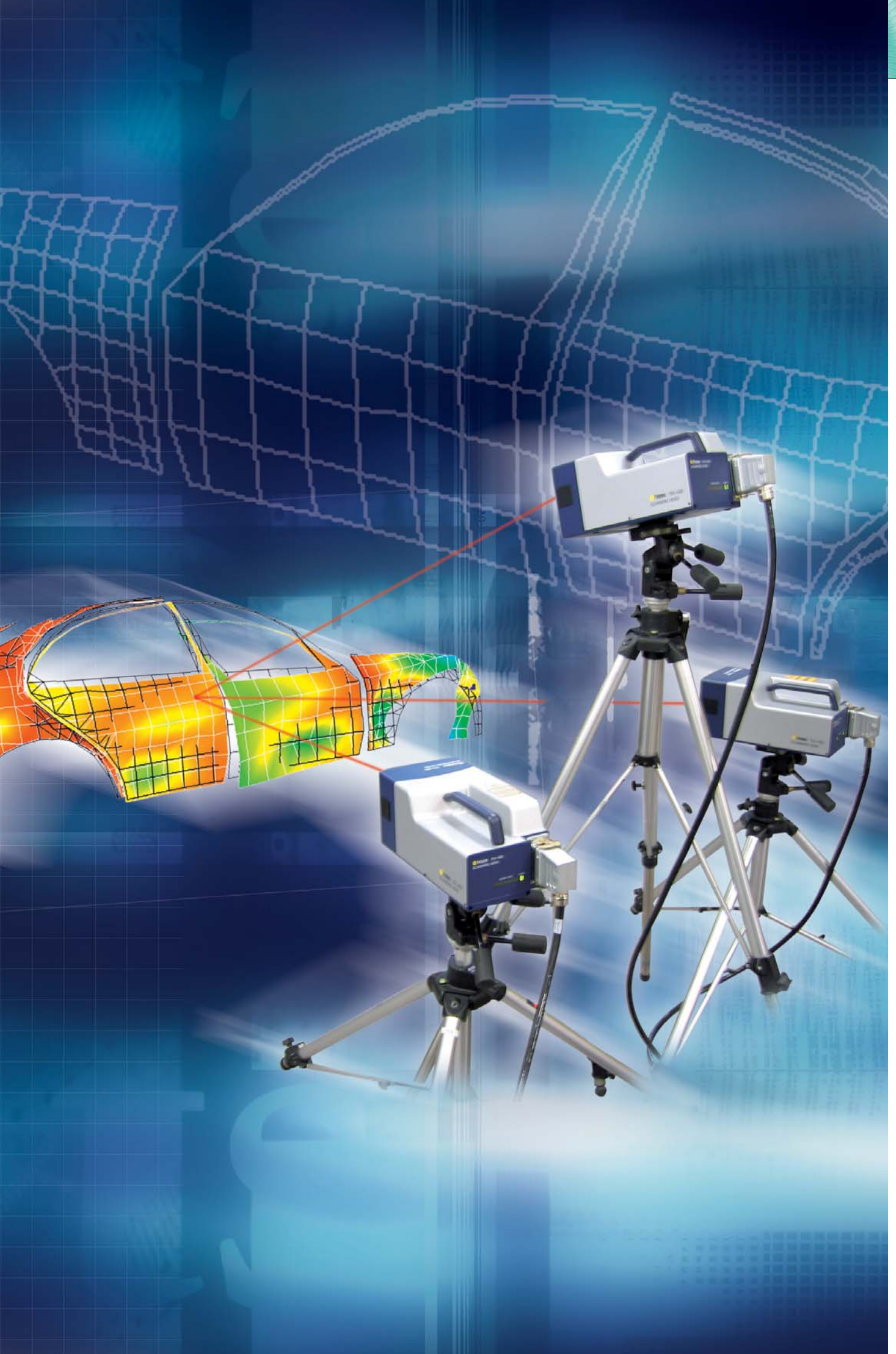


Dr. rer. nat. Heinrich Steger ist Produktmanager bei der Polytec GmbH in Waldbronn.



Dipl.-Ing. Eric Winkler ist Leiter Vertrieb Europa, Geschäftsbereich Lasermesssysteme, bei der Polytec GmbH in Waldbronn.







Laser-Scanning-Vibrometrie

Das 3D-Laser-Doppler-Scanning-Vibrometer ist ein komplettes Messsystem zur schnellen, einfachen, berührungslosen und rückwirkungsfreien Erfassung von dreidimensionalen Schwingungen komplexer Strukturen. Es liefert räumlich aufgelöst wichtige dynamische Strukturinformationen (Übertragungsfunktionen, Resonanzfrequenzen, Schwingformen, Steifigkeitsanalyse). Es besteht neben der Datenerfassungseinheit und der Controller-Elektronik aus drei linear unabhängigen Vibrometer-Messköpfen, die aus unterschiedlichen Richtungen das Schwingungsverhalten an den einzelnen Messpunkten jeweils synchron bestimmen.

Messaufbau eines 3D-Laser-Doppler-Scanning-Vibrometers

Messungen ohne Beeinflussung der Massen- und Steifigkeitsverteilung des Testobjekts.

EINFACHER MESSAUFBAU

Die im Folgenden beschriebene Erfassung strukturdynamischer Messdaten wurde in einem Testlabor bei der Daimler-Chrysler AG durchgeführt. Als Messdaten wurden Übertragungsfunktionen für eine nachfolgende experimentelle Modalanalyse erfasst. Das Messobjekt war eine vollständige, weiß-lackierte Karosserie einer Mercedes-E-Klasse-Limousine, ohne Motor, Antriebsstrang und Achsen. Aufgrund der hohen Sensitivität des Messverfahrens war eine spezielle Oberflächenbehandlung für die optische Messung des Schwingungsverhaltens nicht erforderlich.

Die drei Messköpfe des 3D-Scanning-Vibrometers wurden so positioniert, dass sie aus unterschiedlichen Richtungen mit ihren

Messstrahlen das auf dem Messobjekt definierte Messgitter synchron abtasten und in jedem Messpunkt eine 3D-Schwingungsmessung (Übertragungsfunktion) durchführen.

Die Karosserie wurde durch einen an den Längsträger angekoppelten Shaker angeregt. Dabei wurde die eingeleitete Kraft mittels einer Kraftmesszelle als Phasenreferenz erfasst. Um die Karosserie von der Umgebung zu entkoppeln, wurde sie auf einem Luftfedersystem montiert.

Für die nachfolgende experimentelle Modalanalyse wurde in jedem Antwortmesspunkt die Übertragungsfunktion zwischen Kraftsignal und Schwinggeschwindigkeit ermittelt. Während der Untersuchungen wurden Messungen an der gesamten linken Seite sowie am Heck der Karosserie durchgeführt. Die Messfläche wurde dazu in fünf Segmente unterteilt:

- Kotflügel vorne links
- linke Vordertür
- linke Hintertür
- Kotflügel hinten links
- Fahrzeugheck.

Zwischen den Messungen der einzelnen Segmente wurden die Messköpfe jeweils in ihre neuen Positionen gebracht. Für die Zusammenfassung der einzelnen Messdateien in eine globale Datei wird ein einheitliches, globales Koordinatensystem für alle Messungen verwendet. Dieses entspricht dem Fahrzeugkoordinatensystem des FE-Modells. Ein Vergleich von FE-Knoten mit Messpunkten wird damit vereinfacht.

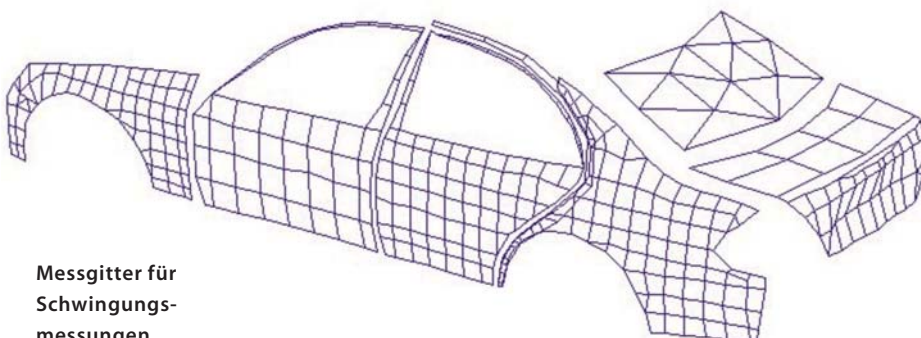
Insgesamt wurden 472 Scanpunkte vermessen, jeder mit seiner x-, y- und z-Schwingungskomponente, das ergibt 1416 Freiheitsgrade. Dies ist ausreichend für die experimentelle Modalanalyse auf den hier gewählten Oberflächen für Frequenzen bis 200 Hz.

SCHWINGFORMEN

Die Messdaten der Teilmessungen der einzelnen Segmente werden in einem globalen Datensatz kombiniert (Stitching). Die Gesamt-Schwingformen für die verschiedenen Frequenzen können dann anschaulich dargestellt werden.

Die einzelnen Segmente passen erwartungsgemäß sehr gut zusammen, sowohl was die Geometrie betrifft als auch im Hinblick auf die globalen Schwingformen. Für die interessierenden Frequenzen wurde eine hohe räumliche Auflösung erreicht, ohne störenden Einfluss auf die Schwingungseigenschaften der Struktur.

Die räumliche Auflösung kann sehr einfach weiter gesteigert werden (eine nachfolgende Untersuchung arbeitete mit 5000 Messpunkten an einem Gesamtfahrzeug mit Unterboden, so dass auch höherfrequente Schwingungsmuster im Detail auf-



Messgitter für Schwingungsmessungen

gelöst werden können. Dies ist für Akustik-Untersuchungen besonders wichtig, da diese Körperschallmessungen einen höheren Frequenzbereich erfordern.

VERSUCHSDAUER

Für die gesamten Messungen wurden sechs bis sieben Stunden benötigt, einschließlich des Basis-Setups bei der Vorbereitung und der Setup- und Messzeiten für die einzelnen Segmente. Die für die einzelnen Segmente erforderlichen Messzeiten hängen von den Messparametern ab, die wie folgt gewählt wurden:

- rund 100 auf dem Videobild definierte Messpunkte
- 10 Einzelspektren je Mittelung, Frequenzauflösung: 0,625 Hz.

Die Zeitersparnis im Vergleich mit taktilen Messverfahren ist beträchtlich. Die Zeitersparnis wird umso bedeutender, je mehr die Zahl der zu messenden Messpunkte (Freiheitsgrade) die Zahl der zur Verfügung stehenden Messkanäle übersteigt. In diesem Fall müssten die Aufnehmer und die Ersatzmassen während des Messvorgangs versetzt werden.

Die Laser-Doppler-Vibrometrie ist ein ideales Verfahren, die optisch zugänglichen Messpunkte sehr schnell und genau zu erfassen; zusätzlich versteckte Messstellen können mit taktilen Sensoren erfasst werden.

VORTEILE FÜR DIE FEM/TEST-KORRELATION

Bei FEM-Berechnungen kommen die Vorteile der mit dem 3D-Scanning-Vibrometer erzeugten hochgenauen Daten zum Tragen: in der Modellierung müssen keinerlei Aufnehmer- und Ersatzmassen berücksichtigt werden. Die Validierung des FE-Modells wird durch die hohe räumliche Auflösung der Messpunkte vereinfacht.

Dies ist insbesondere dann wichtig, wenn mit Hilfe des FE-Modells Akustiksimulationen bei höheren Frequenzen durchgeführt werden.

Alternativ kann das Vibrometer-System die Oberflächengeometrie aus einem FE-Modell im Universal-File-Format importieren. Das ermöglicht Messungen an den Oberflächenknoten des FE-Modells. Damit werden Fehler durch die Zuordnung geometrisch weit auseinander liegender Punkte vermieden.

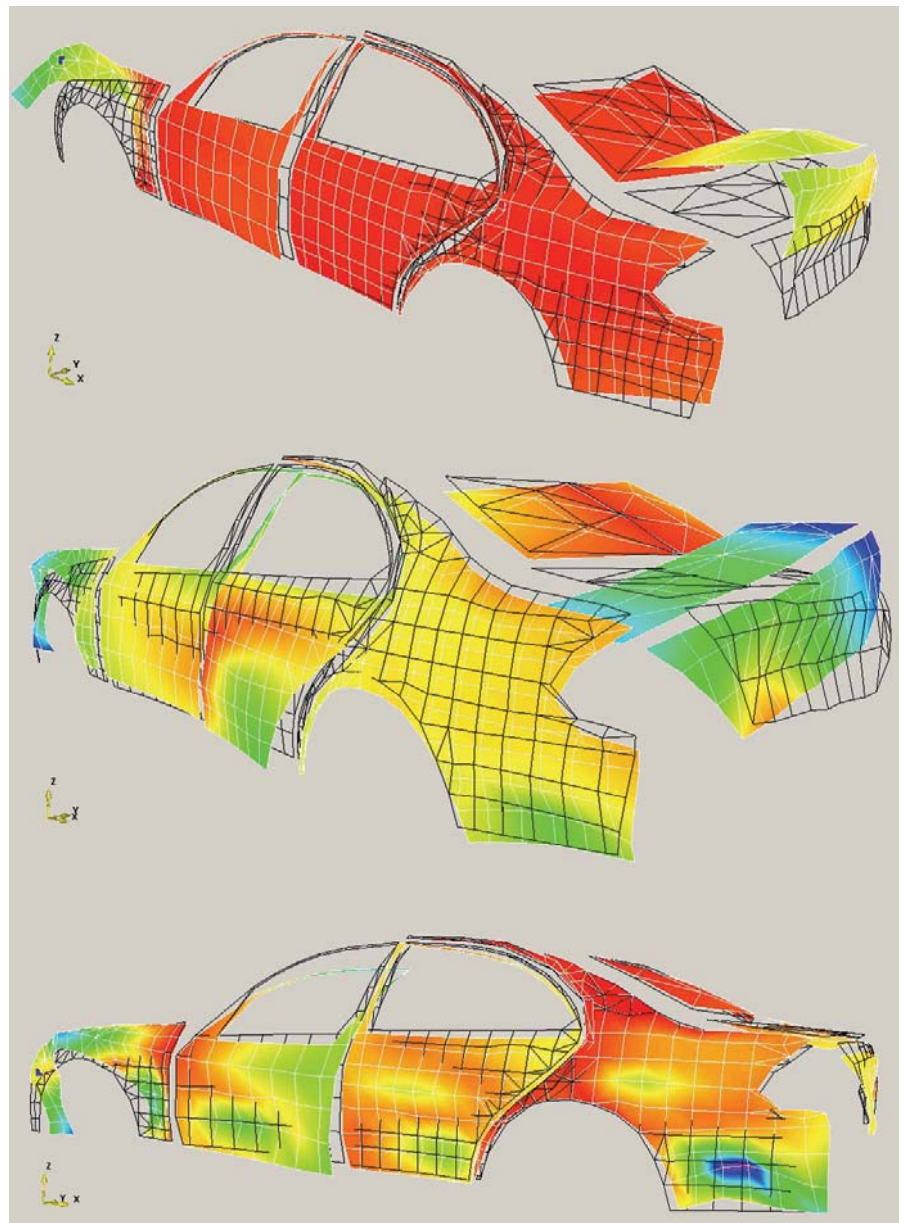
Das 3D-Scanning-Vibrometer hat sich als hervorragendes Instrument zur Datenerfassung für strukturdynamische Untersuchungen an Fahrzeugkarosserien erwiesen. Die wesentlichen Vorteile im Vergleich zu den taktilen Messverfahren sind:

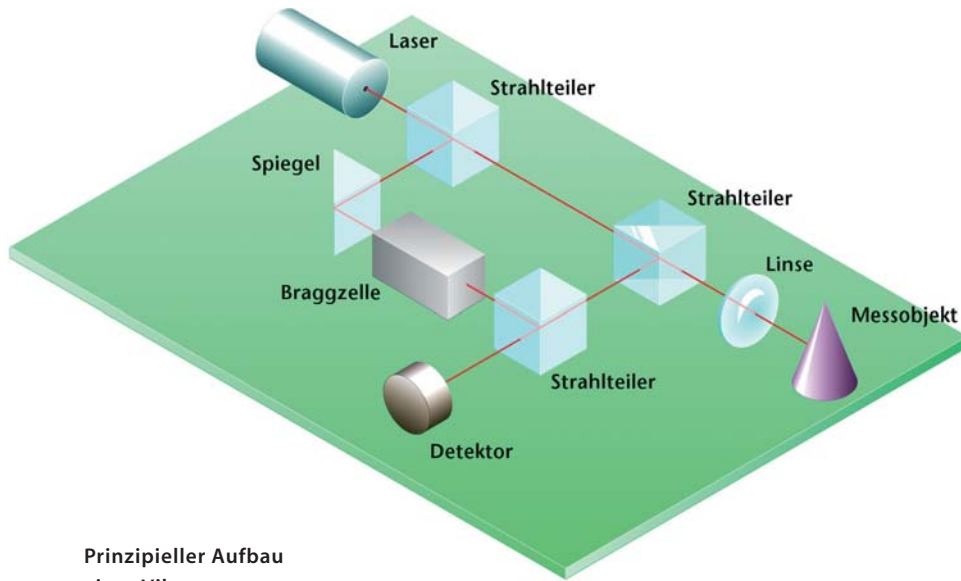
Polytec | High-Tech aus Waldbronn

Die Polytec GmbH in Waldbronn bei Karlsruhe produziert weltweit führende High-Tech-Lösungen für die Automobilindustrie, die Luft- und Raumfahrtindustrie, sie entwickelt Mikrosystemtechnik sowie Schienenfahrzeugtechnik und arbeitet für die Stahlindustrie, den Maschinenbau und die wissenschaftliche Forschung. Polytec genießt in der Fachwelt eine hervorragende Reputation für seine laser-basierten Schwingungs-, Geschwindigkeits- und Längenmesssysteme. Das global agierende Unternehmen ist mit Niederlassungen in Europa, den Vereinigten Staaten von Amerika und Japan vertreten.

Weitere Informationen: www.polytec.com

Verschiedene Betriebsschwingformen





**Prinzipieller Aufbau
eines Vibrometers**

- signifikante Produktivitätssteigerung
- höhere Messpunktdichte dank aussagekräftigeren Messungen
- durch Geometrie-Import werden Messungen exakt auf den Koordinaten des FE-Modells möglich
- keine Beeinflussung der Struktur (Massenänderung), daher einfachere und bessere FEM-Korrelation
- einfaches Setup (kein Verkabeln und Kennzeichnen von Sensoren)
- Fehlerprüfung an Kabelsträngen entfällt
- Aufwand für Versetzen von Aufnehmern und Dummy-Massen entfällt
- Aufwand für Messung der Geometrie und der Sensorwinkel entfällt
- einfache Bedienung von System und Software
- hohe Zuverlässigkeit und geringere Wartungskosten.



WEITERE INFORMATIONEN:

Polytec GmbH
 Polytec-Platz 1–7
 76337 Waldbronn
 Tel.: 07243/603-0
 Fax: 07243/699 44
 info@polytec.de
 www.polytec.com