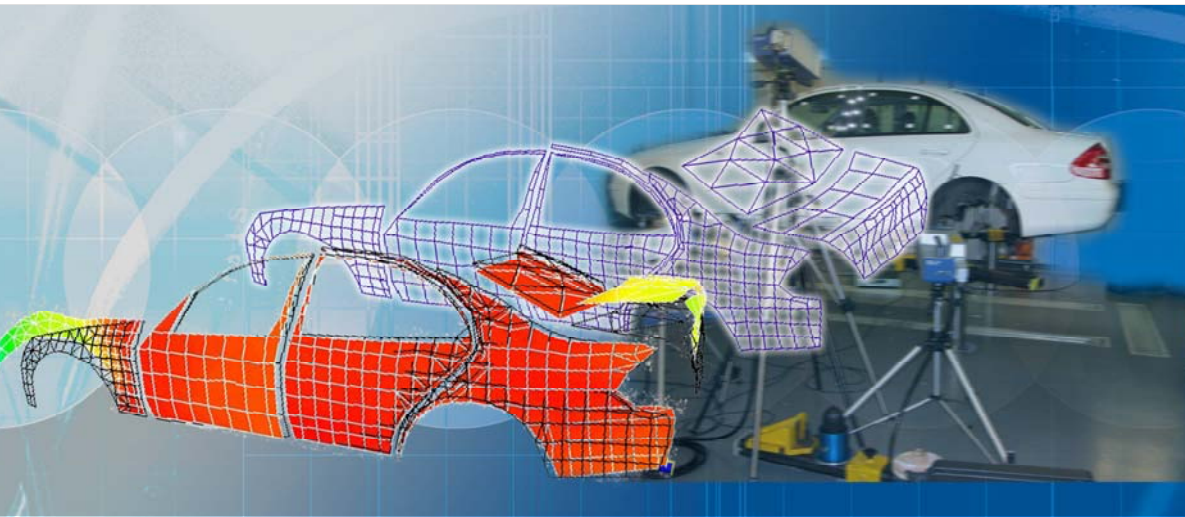


Applikationsnote VIB-C-01



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

3D-Strukturdynamik-Messungen an Kraftfahrzeugkarosserien mit dem PSV-400-3D Scanning Vibrometer

Die DaimlerChrysler AG in Sindelfingen hat das Polytec PSV-400-3D Scanning Vibrometer zur Messdatengewinnung für die experimentelle Modalanalyse an einer Autokarosserie im Rahmen eines umfangreichen Testprojektes erfolgreich eingesetzt. Die Ergebnisse sind sehr positiv. Das PSV-400-3D ermöglicht im Vergleich mit Accelerometer-Systemen bedeutende Zeiteinsparungen und nutzt dabei alle Vorteile der Laser Scanning Vibrometrie, wie hohe Punktdichten, berührungsloses Messen und einfache Handhabung. Dieser Artikel beschreibt die Messungen und stellt die Ergebnisse dar.

Einleitung

Hochauflösende strukturdynamische Tests von Kraftfahrzeugkarosserien sind, wenn sie mit Beschleunigungsaufnehmern durchgeführt werden, aufwändig und zeitbeanspruchend. Die Accelerometer müssen sorgfältig angebracht, in ihrer räumlichen Ausrichtung bestimmt und mit dem Datenerfassungssystem verbunden werden.

Für räumlich hochauflösende Messungen wird eine große Anzahl von Aufnehmern benötigt. Ein solcher Test lässt sich praktisch nie in einem einzigen Durchgang realisieren, da das Front-End des Datenerfassungssystems nur eine begrenzte Anzahl von Erfassungskanälen zur Verfügung stellt. Aus diesem Grund wird dann in einem ersten Durchgang nur eine Teilmenge aller Messpunkte gemessen. An den nicht gemessenen Punkten werden Dummy-Massen angebracht, damit bei sämtlichen Teilmessungen an den Messpunkten exakt die gleiche Massenverteilung vorliegt.

Im darauffolgenden Durchgang werden dann die Accelerometer im nächsten Segment positioniert. Diese Vorgehensweise ist sehr zeitaufwändig, es kommt immer wieder zu Beschädigungen der Beschleunigungsaufnehmer. Darüber hinaus verursachen die Verkabelung, Kennzeichnung und Überprüfung bei vielen Sensoren einen sehr hohen Aufwand. Ein schwerwiegender Nachteil ist auch die Veränderung der Massenverteilung des Testobjektes durch die aufgebrachten Aufnehmer und Kompensationsmassen, die bei der Auswertung rechnerisch berücksichtigt werden muss.

Das PSV-400-3D Scanning Vibrometer vereinfacht aufgrund des berührungslosen Messprinzips die Vorbereitung der Messung erheblich, beschleunigt die Durchführung und ermöglicht räumlich hochauflösende Messungen ohne Beeinflussung der Massen- und Steifigkeitsverteilung des Testobjektes.

Polytec GmbH
Lasermesssysteme
Applikationsnote
VIB-C-01

Juni 2005

Testumgebung

Die für eine nachfolgende Modalanalyse benötigte Erfassung strukturdynamischer Messdaten wurde in einem Testlabor bei der DaimlerChrysler AG in Sindelfingen durchgeführt.

Messaufbau für strukturdynamische Untersuchungen

Das Untersuchungsobjekt war eine vollständige, weiß lackierte Karosserie einer Mercedes E-Klasse-Limousine, ohne Motor, Antriebsstrang und Achsen. Aufgrund der hohen Empfindlichkeit des Messverfahrens war eine spezielle Oberflächenbehandlung für die optische Messung der Strukturdynamik nicht erforderlich.

Das Messobjekt wurde durch einen einzelnen Shaker, der an den Längsträger angekoppelt wurde, in vertikaler Richtung angeregt. Um die Karosserie von der Halterung zu

entkoppeln, wurde sie auf einem Luftfeder-system montiert. Mittels einer Hubvorrichtung konnte die optimale Höhe eingestellt werden. Diese Hubvorrichtung ermöglicht außerdem Messungen an der Fahrzeugunter-seite. Messpunkte auf dem Dach konnten mit Hilfe eines Kranauslegers erreicht werden. Auf die vollständigen, umfangreichen Mess-ergebnisse von der Fahrzeugunter- und -ober-seite wird im folgenden nicht eingegangen.

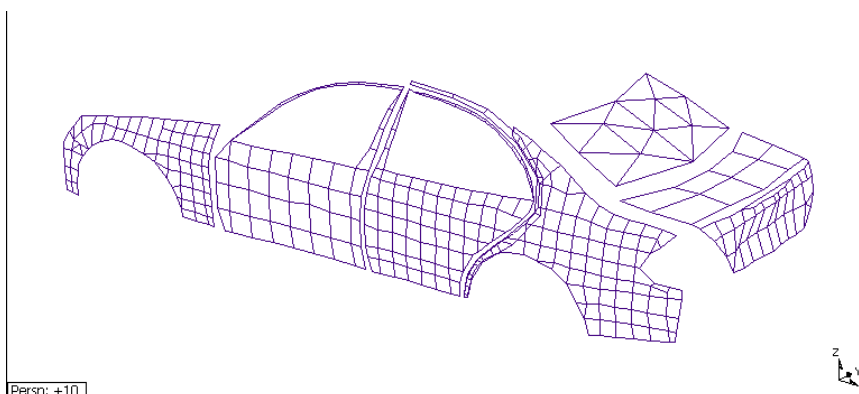
Während der Untersuchungen wurden Mes-sungen an der gesamten linken Seite sowie am Heck der Karosserie durchgeführt. Die Messfläche wurde dazu in 5 Segmente unter-teilt:

- Kotflügel vorne links
- Linke Vordertür
- Linke Hintertür
- Kotflügel hinten links
- Fahrzeugheck

Bild 1:
Ansicht des
Versuchs-
aufbaus zur
Messung des
linken hinte-
ren Karosse-
rieabschnitts.



Bild 2:
Messgitter
(gesamt 472
Scanpunkte)



Die Messdaten der Teilmessungen der einzelnen Segmente wurden in einer einzigen globalen Ergebnisdatei zusammengefügt (Stitching). Diese Funktion steht ab Release 8.3 der PSV Software zur Verfügung. Im Verlauf der weiteren Messungen stellte sich heraus, dass für die vollständige Erfassung der vorliegenden Karosserie 3 verschiedene Positionen des Messsystems in Bezug auf das Testobjekt ausreichen.

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 muss ein einheitliches, globales Koordinatensystem für alle Messungen verwendet werden. In diesem Fall wurde das Standard-Koordinatensystem von DaimlerChrysler eingesetzt. Sein Koordinatensprung liegt in der Mitte der Vorderachse, die x-Koordinate entgegen der Fahrtrichtung, die y-Achse zeigt vom Fahrzeugmittelpunkt nach rechts und die z-Achse nach oben.

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

Vorgaben

Zur Erfassung aller interessierenden Frequenzen wurde eine Bandbreite von 500 Hz mit einer Frequenzauflösung von 0,625 Hz gewählt (Tabelle 1).

Zur Messung der sehr kleinen resultierenden Oberflächengeschwindigkeiten wurde ein hochauflösender, digitaler VD-07 Decoder mit seinem empfindlichsten Messbereich von 1 mm/s/V (10 mm/s peak) eingesetzt.

In einer Voruntersuchung wurden verschiedene Anregungssignale getestet. Da die Struktur ein nahezu lineares Verhalten zeigt, wurde schließlich ein Pseudo Random-Signal ausgewählt. Pseudo Random und Periodic Chirp haben den Vorteil, dass in der Polytec Software eine Amplitudenkorrektur des Anregungssignals durchgeführt werden kann, um Resonanzen der angewendeten Kraft abzuschwächen. Weiterhin eignen sich diese Signale besser für Messungen mit Mittelungen aus relativ wenigen Einzeldaten (je ca. 10, s.u.).

Schließlich wurde Pseudo Random der Vorzug vor Periodic Chirp gegeben, weil damit höhere Kräfte angewandt werden konnten,

ohne die Klebung des Kraftumwandlers zu beeinflussen.

Mit dem Ziel, die Messzeit zu minimieren, wurden Messungen bei Tage auf 10 Werte je Mittelwert limitiert, bei Nacht auf 30 Werte je Mittelwert. Für die genaue Messung eines Segments an 100 Punkten mit jeweils 10 Werten werden etwa 30 Minuten benötigt.

Tabelle 1: Voreinstellungen

Decoder und Messbereich	VD-07, 1 mm/s/V
Frequenzbereich	0 – 500 Hz
Frequenzauflösung	0.625 Hz (800 FFT-Linien)
Anregungssignal	Pseudo Random
Anregungskraft bei 150 Hz	500 mN
Messwerte für Mittelwertbildung	10 tagsüber, 30 bei Nacht

Arbeitsablauf

Um den Ablauf der Messungen mit dem PSV-400-3D zu veranschaulichen, wird im folgenden eine typische Prozedur beschrieben.

1. **Ausrichten** der Messköpfe auf ihren Stativen, um die gewünschte Messfläche zu erfassen. Dazu sind folgende Punkte zu beachten:
 - Bei allen Messköpfen darf ein maximaler Scanwinkel von $\pm 20^\circ$ nicht überschritten werden.
 - Der Arbeitsabstand sollte so gering wie möglich sein, um das Signal-/Rauschverhältnis zu optimieren. Dieses hängt außerdem von den Rückstreuungseigenschaften der Oberfläche und vom Ausmaß der Schwingung ab. Als Faustregel gilt ein maximal sinnvoller Abstand von einer weißen Fläche zwischen 3 und 5 m.
 - Ausreichende Winkelabstände der optischen Achsen der Messköpfe (optimale Anordnung wäre ein gleichseitiges Dreieck). Typischerweise beträgt der Winkel der Messköpfe zwischen 10° und 20° gegenüber der Oberflächennormalen, abhängig vom Streuverhalten der Oberfläche.
2. **2D-Alignment**, um die Kamerakoordinaten mit den Scanwinkeln abzugleichen

3. **3D-Alignment** zur Bestimmung von Position und Orientierung der Messköpfe in einem gemeinsamen Koordinatensystem.
 - Der Laserstrahl des Messkopfes mit der Geometrie-Scaneinheit wird nacheinander auf 3 bekannte Punkte der Karosserie gerichtet. Damit ist die Position und Orientierung des sogenannten TOP-Messkopfes im Koordinatensystem des Messobjektes bekannt.
 - Anschließend werden die Koordinaten von 4-7 Punkten des Messobjektes mit der Geometrie-Scaneinheit bestimmt und dann die beiden anderen Messköpfe (LINKS und RECHTS) nacheinander auf diese Punkte ausgerichtet.
4. **Messgitterdefinition**
(Alternative: Import einer Geometrie-Datei im Universal File Format, dann Punkt 5 überspringen)
5. **Geometrie-Scan**, um die 3D-Koordinaten der Messpunkte zu bestimmen (Alternative: manuelles Bestimmen der Abstände)
6. **Fokus-Einstellung**: Automatische Bestimmung der optimalen Fokuseinstellungen (Autofokus)
7. **A/D-Einstellungen** des Messsystems (Frequenzbereich und -Auflösung, Anregungssignal, Fenster, Anzahl der Einzelwerte für Mittelwertbildung etc.)
8. **Messung durchführen**: automatischer Scan der ausgewählten Punkte
9. **Daten-Visualisierung** Darstellung der Schwingformen in der PSV Software

10. **Daten-Export** in kundeneigene Modalanalyse-Software

Ergebnisse

In den folgenden Abschnitten werden einige der während der Messungen bei Daimler-Chrysler erzielten Ergebnisse dargestellt.

Stitching der Segmente

Zur Kombination der einzelnen Messdateien in eine einzige PSV-Datei wurde die Stitching-Software verwendet. Die Gesamt-Schwingformen für drei verschiedene Frequenzen, zu sehen in Bild 3 - 5, können dann anschaulich dargestellt werden.

Die einzelnen Segmente passen gut zusammen, sowohl was die Geometrie betrifft als auch im Hinblick auf die Schwingformen, dies sich oft über mehr als ein Segment erstrecken. Für die interessierenden Frequenzen wurde eine hervorragende 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 auf einer kompletten Fahrzeugoberfläche), sodass auch höherfrequente Schwingungsmuster im Detail aufgelöst werden können.

Dieser Punkt ist möglicherweise für Akustik-Untersuchungen besonders interessant, weil diese in der Regel auch höhere Frequenzen umfassen als Modaltests.

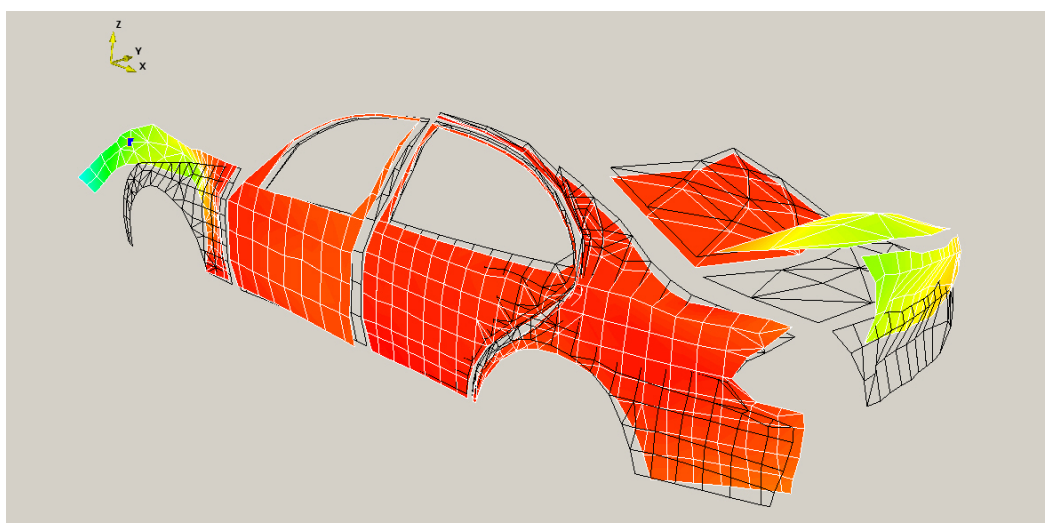


Bild 3: Schwingform 1. Vorderer Kotflügel und Klappbewegung des Kofferraumdeckels

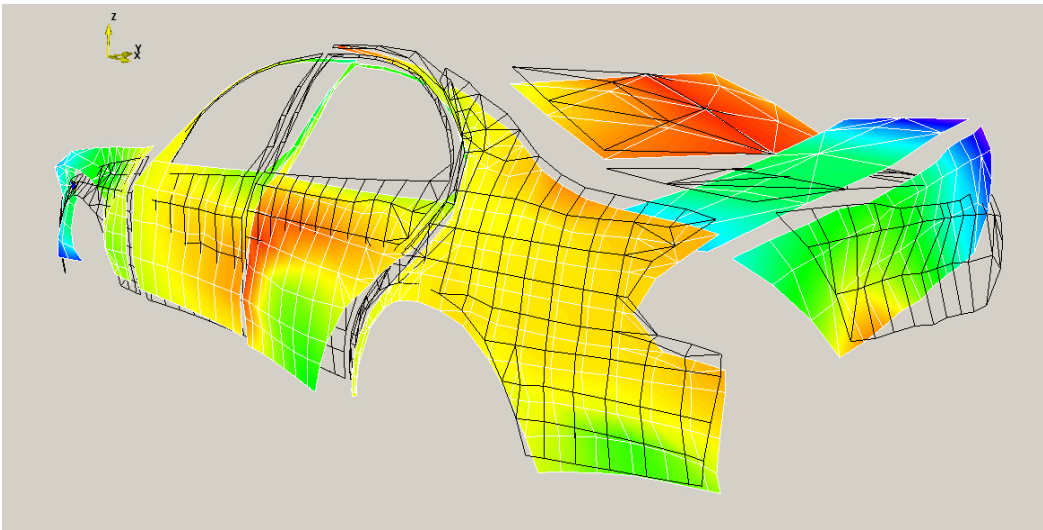


Bild 4: Schwingform 2. Türen und Torsionsschwingung des Kofferraumdeckels

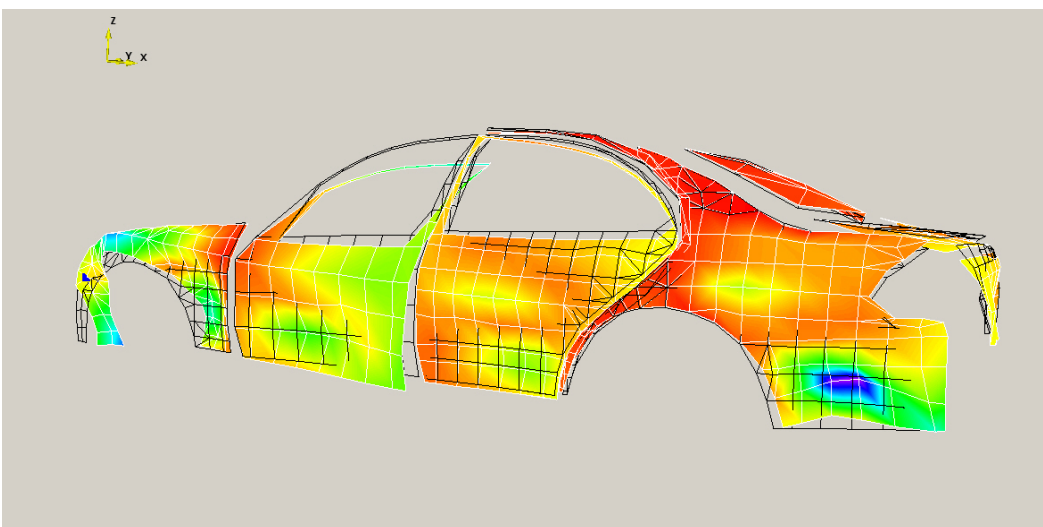


Bild 5: Schwingform 3. Vordertür, vorderer und hinterer Kotflügel

Versuchsdauer

Für die gesamten Messungen wurden 6 – 7 Stunden benötigt, einschließlich des Basis-Setups bei der Vorbereitung und der Setup- und Messzeiten für die einzelnen Segmente (s. Tabelle 2).

Tabelle 2: Messzeiten	
Basis-Setup	1 h
Setup je Segment	30 – 40 min
Messzeit für jedes Segment	30 min

Die für die einzelnen Segmente erforderlichen Messzeiten hängen von den Messparametern ab, die wie folgt gewählt wurden:

- 100 auf dem Videobild definierte Messpunkte
- 10 Einzelwerte je Mittelwert, Frequenzauflösung: 0,6 Hz

Voraussetzung dafür ist, dass für jedes Segment 3 Punkte mit bekannten Koordinaten in der Struktur markiert werden. Falls solche Punkte nicht bekannt sind, wird für ihre Bestimmung mit Hilfe der Geometrie-Scaneinheit eine weitere Stunde benötigt.

Die Gesamtzeit hängt natürlich vom ausgewählten Segment ab. Wenn die Oberfläche gut zugänglich ist, eine „einfache“ geometrische Form und gute Rückstreuungseigenschaften aufweist, wird die Setup-Zeit kürzer sein als im Fall einer kompliziert geformten, schlecht streuenden Oberfläche mit verborgenen Messpunkten. Die oben genannte Schätzung gilt für ein typisches Messsegment an der Flanke oder Rückseite einer Autokarosserie.

Die Zeitersparnis im Vergleich mit Beschleunigungsaufnehmern ist beträchtlich. Noch bedeutender wird der Unterschied dann, wenn die Zahl der gleichzeitig messenden Accelerometer die Zahl der Eingangskanäle übersteigt. In diesem Fall müssten die Aufnehmer und die Dummy-Massen während des Messvorgangs versetzt werden.

Bei höheren Messpunktdichten profitiert man ebenfalls von einer nahezu gleichbleibenden Setup-Zeit, während lediglich die Messzeit entsprechend der Zahl der Messpunkte zunimmt.

Vorteile für die FEM/Test-Korrelation

Bei FEM-Rechnungen kommen die Vorteile der mit dem PSV-400-3D erzeugten hochwertigen Daten zum Tragen: in der Modellierung müssen keinerlei Aufnehmer- und Dummy-Massen berücksichtigt werden. Die Validierung des FE-Modells wird durch die hohe räumliche Auflösung der Messwerte enorm verbessert.

Dies ist insbesondere dann wichtig, wenn in dem FE-Strukturmodell Simulationen bei höheren Frequenzen durchgeführt werden.

Außerdem kann das PSV-400-3D System die Oberflächengeometrie aus einem FE-Modell im Universal File Format importieren. Das ermöglicht Messungen an allen Knoten an der Oberfläche des FE-Modells. Damit entfällt die geometrische Zuordnung der Knoten im Test- und FE-Modell.

Wir bedanken uns bei der DaimlerChrysler AG für die gute Zusammenarbeit und die Zustimmung, diese Information zu drucken und zu verbreiten.

Weitere Informationen über Anwendungen der PSV-400 Produktfamilie finden Sie auf unserer Internetseite www.polytec.de/psv400, oder lassen Sie sich durch unsere Produktspezialisten beraten.

Zusammenfassung

Das PSV-400-3D hat sich als hervorragendes Instrument zur Datenerfassung für strukturdynamische Untersuchungen an Autokarosserien erwiesen. Die wesentlichen Vorteile im Vergleich mit konventionellen Beschleunigungsaufnehmern sind

- Signifikante Zeitersparnis
- Höhere Punktdichte ermöglicht genauere Messungen
- Durch Geometrie-Import werden Messungen exakt auf den Koordinaten des FE-Modells möglich
- Keine Beeinflussung der Struktur (Massen- oder Steifigkeitsänderung), 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
- Einfache Bedienung von System und Software
- Geringere Wartungskosten – nur ein einziger Sensor zu rekalisieren



Polytec GmbH
Polytec-Platz 1-7
76337 Waldbronn
Tel. + 49 (0) 7243 604-0
Fax + 49 (0) 7243 69944
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