



GERÄUSCHE IM VISIER

Neue Produkte, starke Partner, innovative Lösungen

Alles bewegt sich im Automobil – Räder und Antriebswellen drehen sich, Federn schwingen, Kolben heben und senken sich. Das, was schwingt und rotiert, macht auch Geräusche – in der Regel unangenehme Schalleindrücke, die das Fahrerlebnis merklich beeinträchtigen. Schalldämmung ist daher ein ganz wichtiges Thema im Automobilbau. Noch besser ist aber, den Ursachen der Geräusche auf die Spur zu kommen und durch konstruktive Veränderungen die Entstehung und Ausbreitung der Schallwellen zu reduzieren.

Um herauszufinden, warum genau Bremsen quietschen, haben Forscher der Robert Bosch GmbH die Schwingungseigenschaften von Bremsscheiben untersucht. Dies war nur mit Hilfe der dreidimensionalen Messtechnik des Polytec PSV-3D Scanning Vibrometers möglich und führte zu interessanten Ergebnissen (Seite 8), die nun eine gezielte Optimierung erlauben.

Welchen Weg nimmt der Schall vom schwingenden Bauteil bis zum Ohr? Die Akustik-Spezialisten von HEAD acoustics wissen Dank einer ausgeklügelten Versuchsanordnung und ihrer Messungen mit dem Polytec PSV Scanning Vibrometer genau über die Transferpfade Bescheid und damit auch, an welcher Stelle Gegenmaßnahmen am effektivsten sind. Lesen Sie dazu mehr auf Seite 10.

INHALT

SEITE

Polytec Nachrichten	2
Produktneuheiten	3
- Generationswechsel bei Polytec - Das neue PSV-400 Scanning Vibrometer - PSV-400-3D: Räumliche Vorstellung - Neue modulare Vibrometer Produktlinie - Software-Neuigkeiten	
Aus der Praxis	8
Titel: Dem Bremsenquietschen auf der Spur Schwingende Flächen hörbar gemacht - Geschwindigkeits- und Dickenmessung integriert - Die neue Kraftstoß-Kalibriereinrichtung der PTB - Qualitätssicherung beim Dickdrahtbonds - Bauteilprüfung mit nichtlinearer Laservibrometrie	
Veranstaltungen	22
- Veranstaltungs-Highlights 2003 - Messen und Events 2004	
Einhefter: Grundlagen der Velocimetrie	

EDITORIAL



Sehr geehrte/r Leser/in,
„Bleibe wie Du bist und
ändere Dich täglich“ –
diesen anspruchsvollen
Wunsch möchten wir Ihnen
und uns für das neue Jahr
mit auf den Weg geben.

Michael Frech



Auch in 2004 werden Sie
wieder von der bewährten
Polytec Qualität, dem
kompetenten Service und
unserer langjährigen Erfah-
rung profitieren, wobei wir
zur Sicherung unserer Markt-
präsenz auf eine neue strate-
gische Partnerschaft bauen.

Dr. Helmut Selbach

Viele unserer Produkte haben wir
konsequent weiterentwickelt, um die
Lasermesstechnik für Entwicklung
und Produktion noch leistungsfähiger
und bedienungsfreundlicher zu
machen.

Auch unser Erscheinungsbild ver-
ändert sich: Alle neuen Geräte, vom
IVS-300 Digital Industrial Sensor bis
zum PSV-400 Scanning Vibrometer,
erhalten ein innovatives und funk-
tionelles Design. Besuchen Sie unseren
neuen Internetauftritt www.polytec.de,
wo neu gestaltete, detaillierte Produkt-
informationen für Sie bereit stehen.

Dies alles finden Sie in dieser Aus-
gabe von LM INFO Special, dazu viele
neue und interessante Anwendungs-
beispiele für unsere Laser-Vibrometer
und -Velocimeter.

Viel Spaß beim Lesen!

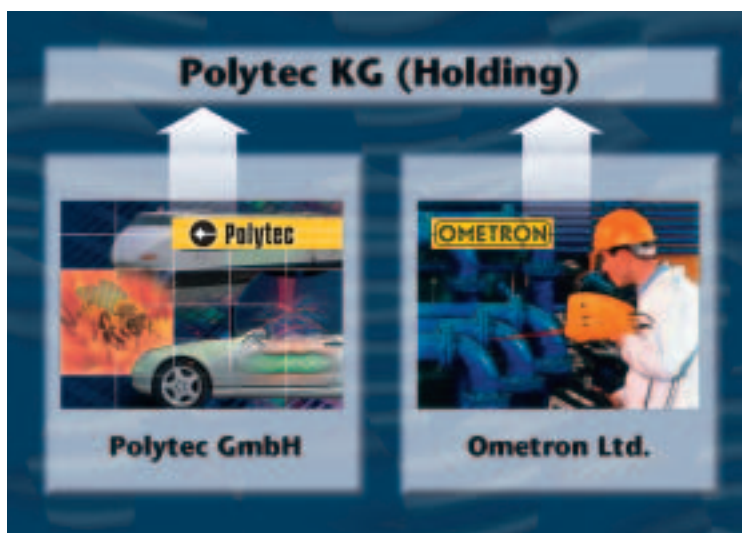
Michael Frech

Leiter des Geschäftsbereichs
Lasermesssysteme

Dr. Helmut Selbach

Geschäftsleitung Polytec GmbH

POLYTEC und OMETRON



Strategische Allianz auf europäischer Ebene

Zur Sicherung ihrer gemeinsamen Marktposition als führende Unter-
nehmen im Bereich Laser-Vibrometrie arbeiten die Polytec GmbH und
Image Automation Ltd. (Ometron) nun in einer strategischen Allianz
zusammen. Die Aktivitäten von Polytec und Ometron werden unter dem
Dach der Polytec Holding (Polytec GmbH & Co. KG) zusammengefasst.
Beide Unternehmen handeln weiterhin unabhängig voneinander, werden
jedoch die Synergie aus einer gemeinsamen, effizienteren Verwertung
von Ressourcen nutzen, um so ihre Kunden besser bedienen zu können.
Dieser Zusammenschluss erleichtert die hohen Investitionen, die in
diesem Hochtechnologie-Umfeld zur langfristig erfolgreichen Erfüllung
wachsender anspruchsvoller Kundenwünsche benötigt werden. Der zu-
sätzlich investierte Aufwand ermöglicht die Freisetzung neuer Potenziale
innerhalb der Gruppe. Neue und interessante Produkte sind sowohl
bei Ometron als auch bei Polytec in Planung. Die Ometron-Produkte
werden weiterhin über die dänische Firma Brüel & Kjær vertrieben.

www.polytec.de

Unsere neue Webpräsenz

Die Polytec GmbH hat ihren Internetauftritt völlig neu gestaltet und
strukturiert. Im neuen Jahr finden Websurfer und Interessierte unter
dieser Adresse aktuelle Informationen über Produkte und Leistungen
von Polytec. Technische Details stehen in Form abrufbarer Dokumente
zur Verfügung.



www.polytec.de ist eine sehr
lebendige Website. Der Einsatz
eines effizienten Redaktionssystems
ermöglicht es den Produktspezialisten
aller Polytec Geschäftsbereiche,
brandneue Informationen innerhalb
weniger Minuten vom Schreibtisch
aus ihren Kunden online verfügbar
zu machen.

Frische Ware



Die neuen Polytec Vibrometer und Velocimeter

Generationswechsel bei Polytec: Innovative Technik im modernen Design

IVS-300 Digital Industrial Sensor

Das IVS-300 ist ein Komplettsystem, das alle für eine Laser-Schwingungsmessung notwendigen Komponenten in einer Einheit integriert. Geringe Abmessungen, ein robustes nach IP64-Standard geschütztes Gehäuse und die ausschließlich softwaregesteuerte Bedienung prädestinieren das Gerät für die Integration in industrielle Prüfstandssysteme.

Das IVS-300 weist durch seine innovative, digitale Signalverarbeitung ein exzellentes Signal-Rausch-Verhältnis im gesamten Frequenzbereich von 0,5 Hz bis 22 kHz auf und ist daher für praktisch alle Materialien, auch mit schwach streuenden Oberflächen, einsetzbar.

LSV-6200 Velocimeter Controller

Laser Surface Velocimeter bestimmen berührungslos die Geschwindigkeit und Länge von bahnförmigen Produktionsgütern, beispielsweise Stahlblech, Strangguss, Papier oder Textilien. Der neue Velocimeter Controller LSV 6200 zeichnet sich durch state-of-the-art DSP Prozessor-Technologie aus und ermöglicht in Verbindung mit dem LSV Sensorkopf besonders schnelle und zuverlässige Messungen. Dank der berührungslosen Technik wird das Ergebnis nicht mehr durch Schlupf, Zunderablagerungen oder Lagerschäden beeinflusst, wie es bei den sonst eingesetzten Messrollen häufig der Fall ist.

Wie ein LSV genau funktioniert, erfahren Sie im Einhefter „Grundlagen der Laser Surface Velocimetrie“ in diesem Heft.

OFV-505/OFV-5000

Modulare Vibrometer Produktlinie

Mit dem neuen Vibrometer Controller OFV-5000 und dem ebenfalls neuen Vibrometer Messkopf OFV-505 behauptet Polytec einmal mehr seine Spitzenposition auf dem Gebiet der berührungslosen Schwingungsmesstechnik. Mehr auf Seite 7.

PSV-400 Scanning Vibrometer

Das völlig neu entwickelte PSV-400 Scanning Vibrometer ist ein schlüsselfertiges Gesamtsystem, das die Vorteile der berührungslosen vibrometrischen Schwingungsmessung mit einem schnellen, hochgenauen Rastermessverfahren und einem darauf abgestimmten Datenverarbeitungs- und Visualisierungssystem kombiniert. Mehr dazu auf Seite 4/5.

PSV-400-3D Scanning Vibrometer

Für anspruchsvollste Messaufgaben bei der Bestimmung dreidimensionaler Schwingungen wurde das PSV-400-3D Scanning Vibrometer entwickelt. Lesen Sie mehr auf Seite 6.

Neue Software Releases

Die PSV Software Version 8.1 für das PSV-400 und PSV-400-3D ist jetzt noch flexibler, leistungsfähiger und komfortabler geworden. Das Vibsoft Release 4.1 für Einzelpunktmessungen unterstützt alle Funktionen des neuen OFV-5000 Vibrometer Controllers. Mehr dazu auf Seite 13.

MEHR INFO?

Einen Überblick über unser Gesamtspektrum gibt Ihnen unsere Broschüre „Laser Vibrometers“. E-mail: Lm@polytec.de oder www.polytec.de

Neue Generation: *Das PSV-400 Scanning*



Berührungslose Schwingungsmessungen auf Flächen von mm² bis m²

Das völlig neu entwickelte PSV-400 Scanning Vibrometer von Polytec stellt auf höchstem technologischem Niveau berührungslos arbeitende Messtechnik für die Analyse von Strukturschwingungen zur Verfügung.

Vorteile

Das PSV-400 Scanning Vibrometer ergänzt in einem schlüsselfertigen Gesamtsystem die Vorteile der berührungslosen vibrometrischen Schwingungsmessung um eine schnelle, hochgenaue Rastermessmethode und ein darauf abgestimmtes Datenverarbeitungs- und Visualisierungsverfahren. Der Anwender erhält im Vergleich zur zeitaufwändigen Verfahren zahlreicher taktiler Einzelsensoren sehr schnell eine transparente, leicht verständliche und genaue Darstellung der globalen Schwingungseigenschaften einer Struktur.

Das System

Das PSV-400 Scanning Vibrometer umfasst state-of-the-art Hard- und Software-Komponenten. Dies sind auf der einen Seite ein kompakter Messkopf mit integrierter Scanning-Einheit, der darauf abgestimmte Vibrometer Controller und das Datenerfassungs- und -managementsystem. Auf der anderen Seite werden diese Komponenten durch ein leistungsfähiges Softwarepaket für die Steuerung des Scanvorgangs und der Datenaufnahme sowie zur Messdatenverarbeitung und Visualisierung ergänzt. Mehr dazu auf Seite 13. Das neue Scanning Vibrometer basiert auf dem ebenfalls neuen modularen OFV-5000 Vibrometer Controller und dem neuen Hochleistungs-Einpunkt-Messkopf OFV-505. Die hoch entwickelte Optik mit Autofocus-Funktion in Verbindung mit dem optionalen Entfernungsmesser erlaubt sehr qualifizierte und präzise Messungen bei einfachster Handhabung. Der Controller kann für die verschiedenen Einsatzzwecke mit unterschiedlichen, auch digitalen Signaldecoderkombinationen ausgerüstet werden.



Vibrometer



Anwendungen

Polytec Scanning Vibrometer Systeme werden zur Bestimmung mechanischer Schwingungsgrößen in der Automobilindustrie, der Luft- und Raumfahrtindustrie, im elektrischen Anlagen- und Gerätebau sowie vielfältig im Forschungs- und Entwicklungsbereich eingesetzt.

Das PSV-400 ist ideal für flächenhafte Schwingungsmessungen an Strukturen im Größenbereich zwischen wenigen mm² und einigen m². Da der Laserstrahl große Arbeitsabstände erlaubt, sind beispielsweise auch Messungen an großflächigen Objekten ohne weiteres möglich.

Dabei sind Frequenzen bis 20 MHz und Schwinggeschwindigkeiten bis zu 20 m/s erfassbar. Für entsprechende Messungen auf Mikrostrukturen bietet Polytec das MSV-300 Microscope Scanning Vibrometer und den MMA-300 Micro Motion Analyzer an.

Der modulare Ansatz bietet optimale Adaptierbarkeit bei größtmöglicher Flexibilität und Zukunftssicherheit. Das PSV-400 kann beispielsweise auf einem vorhandenen OFV-5000 Controller aufgebaut und bis zum voll ausgestatteten, 3-dimensional messenden Polytec Scanning Vibrometer PSV-400-3D erweitert werden (lesen Sie dazu mehr auf Seite 6 dieser Ausgabe).

Leistungsmerkmale

- Schnelles, berührungsloses und rückwirkungsfreies Messverfahren
- Einfache und intuitive Bedienung
- Messung auf einem vorgegebenen oder interaktiv definierbaren Messgitter
- Individuell definierbare und abspeicherbare Fokusposition für jeden Messpunkt
- Optional integrierbarer Entfernungsmesser zur Geometriedatenerfassung
- MIMO (Principal Component Analysis)
- User Defined Datasets für erweiterte, benutzerdefinierte Auswertungsmöglichkeiten
- Design auf Basis des OFV-5000 Vibrometer Controllers und des OFV-505 Vibrometer Messkopfes
- Erweiterbar zum 3-dimensional messenden Scanning Vibrometer PSV-400-3D

MEHR INFO?

Für weitere Informationen fordern Sie bitte unser Datenblatt „PSV-400 Scanning Vibrometer“ an.

E-mail: Lm@polytec.de oder www.polytec.de

PSV-400-3D: Räumliche Vorstellung



3D-Schwingungen intuitiv messen und visualisieren mit dem neuen PSV-400-3D Scanning Vibrometer

Das neue Polytec PSV-400-3D Scanning Vibrometer ist das ideale Messsystem zur schnellen, berührungslosen und rückwirkungsfreien Erfassung 3-dimensionaler Schwingungsdaten komplexer Strukturen. Die Flexibilität des Systems sowie die einfache Bedienbarkeit und Geschwindigkeit des Verfahrens leisten einen signifikanten Beitrag zur Verkürzung der Produktentwicklungszeiten.

Aufbauend auf der Verlässlichkeit des bewährten, 1-dimensional messenden PSV-Systems, eröffnet das PSV-400-3D völlig neue Möglichkeiten für die Modal- und Schwingungsanalyse. Durch die Verwendung dreier unabhängiger Scanning-Vibrometer-Messköpfe und -Controller werden Schwinggeschwindigkeitsmessungen aus drei unterschiedlichen Richtungen gleichzeitig für den jeweiligen Messpunkt durchgeführt. Die Steuerung aller drei Sensoren erfolgt zentral über die PSV Mess- und Steuer-Software.

Die Fähigkeit, während eines einzigen Scans den dreidimensionalen Schwin-

gungsvektor an jedem Messpunkt der Oberfläche zu bestimmen, reduziert den Aufwand für eine dreidimensionale Schwingungsmessung zur Modalanalyse signifikant. Der neu entwickelte Geometrieimport vereinfacht die Messvorbereitung und bietet die Möglichkeit, auf Koordinaten zu messen, die aus einem FEM-Modell stammen.

Die Visualisierung der Schwingform innerhalb der neuen PSV-Software (Seite 13) erfolgt in animierter Präsentation mit zahlreichen anschaulichen Darstellungsmöglichkeiten. Es besteht Auswahl zwischen Scanpunkt- oder Isoliniendarstellung, zweidimensionaler

und dreidimensionaler Farbwiedergabe. Hervorzuheben ist hier besonders die Möglichkeit der simultanen Darstellung der Messergebnisse in X-, Y- und Z- Richtung, also der 3D-Schwingform überlagert mit der 3D-Geometrie. Bildbeispiele dazu finden Sie auf Seite 8/9.

Zusätzliche Darstellungs- und Auswertungsmöglichkeiten ergeben sich durch den Export der Messdaten im Universal-File-Format zur weiteren Verarbeitung in externen Softwarepaketen, wie beispielsweise ME'Scope, LMS oder IDEAS.

Wie mit dem 3D Scanning Vibrometer die Ursachen des Bremsenquietschens erforscht wurden, lesen Sie im Bericht auf Seite 8.



Bild 1: Darstellung der Scanpunkte auf einer Bremsscheibe

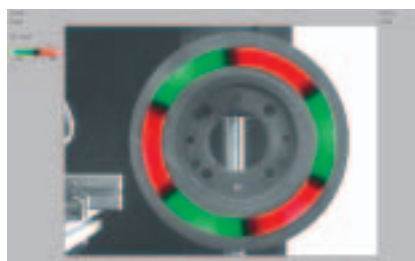


Bild 2: 2D-Falschfarbendarstellung der Schwingform

MEHR INFO?

Für weitere Informationen fordern Sie bitte unser Datenblatt „PSV-400-3D Scanning Vibrometer“ an. E-mail: Lm@polytec.de oder www.polytec.de

Unschlagbares *Doppel*



Neue modulare Vibrometer Produktlinie für die berührungslose Schwingungsanalyse

Das modular aufgebaute OFV Vibrometer System wächst mit seinen Aufgaben und bietet eine Vielzahl herausragender Neuerungen, welche die Schwingungsanalyse noch präziser, einfacher und flexibler machen.

Alles unter Kontrolle

Der OFV-5000 Vibrometer Controller dient zur Ansteuerung der Polytec Vibrometer-Messköpfe und zur Geschwindigkeits- und Weg-Demodulation des Messsignals. Die wichtigsten messtechnischen Eigenschaften des Vibrometers werden dabei durch die installierten Signaldecoder bestimmt. Unterschiedliche Decoder-Optionen in analoger oder digitaler Technologie decken lückenlos den gesamten Bereich technischer Schwingungen bis zu Spitzengeschwindigkeiten von 10 m/s und einer maximalen Frequenz von 20 MHz ab. Für jede Anwendung, ob es sich um Messungen im Automobil- und Akustikbereich handelt, um mikromechanische Objekte oder um Ultraschallprozesse im Hochfrequenzbereich, gibt es eine optimale Decoderkonfiguration. Durch Kombination mit einem geeigneten Laser-Messkopf entsteht ein komplettes Vibrometer Messsystem. Der OFV-5000 Controller kann, abhängig von der gewünschten Anwendung, mit unterschiedlichen Sensoren ausgerüstet werden.

Der Sensor – das Auge des Systems

Glanzstück der neuen Produktreihe ist der neue OFV-505 Vibrometer Messkopf, der sich durch eine exzellente optische Empfindlichkeit auszeichnet. Die Fokuspersion des Messstrahls lässt sich per Schrittmotor variieren, wobei abgespeicherte Positionen reproduzierbar wieder angefahren werden können. Eine Autofokusfunktion sowie eine Verriegelungsmöglichkeit der Fokuspersion sorgen für eine stets einfache Handhabbarkeit unter verschiedenen Betriebsbedingungen.

Der OFV-5000 Controller unterstützt alle Eigenschaften des neuen OFV-505 Messkopfes und des OFV-503 Basismodells. Genauso gut arbeitet er mit den bewährten faseroptischen Sensoren zusammen, dem OFV-511 mit Einzelfaseroptik oder dem OFV-512 mit zwei Fasern für differentielle Messungen.

Wollen Sie mehr?

Das Messsystem auf Basis des OFV-5000 Controllers ist so flexibel, dass es bei steigenden Anforderungen durch Hinzunahme und Austausch von Komponenten zu einem Scanning Vibrometer System erweitert werden kann. Ausbaustufen vom PSV-400 Scanning Vibrometer bis hin zum dreidimensional messenden PSV-400-3D sind möglich (lesen Sie dazu die Artikel auf Seite 4 und 6 in dieser Ausgabe). Auch die Microscope Scanning Systeme basieren auf der OFV-Produktfamilie.

MEHR INFO?

Für weitere Informationen fordern Sie bitte unsere Datenblätter „OFV-5000 Vibrometer Controller“, „OFV-505/503 Vibrometer Messkopf“ und „VD/DD Decoder Guideline“ an. E-mail: Lm@polytec.de oder www.polytec.de

Dem Bremsenquietschen *auf der Spur*



Flächenhafte 3D-Vibrometrie an Bremsscheiben macht Ursachen sichtbar

Die Optimierung des Geräuschverhaltens moderner Kraftfahrzeuge ist zu einem vorrangigen Entwicklungsziel geworden. Forscher der Robert Bosch GmbH sind mit innovativer Messtechnik von Polytec den Ursachen der störenden Quietsch-Geräusche beim Bremsvorgang auf die Spur gekommen.

Moderne Bremssysteme im Pkw sind leistungsfähiger denn je und zeichnen sich durch eine Funktionsvielfalt aus, die vor einiger Zeit noch unmöglich erschien. Damit trotz gesteigerter Komplexität alle Komponenten einer Bremsanlage bestmöglich zusammenarbeiten, ist ein hohes Maß an Systemwissen erforderlich. Bosch stellt alle wesentlichen Komponenten selbst her und kann dem Automobilhersteller somit Komplettlösungen aus einer Hand anbieten.

Bei der Entwicklung von Bremssystemen optimiert Bosch nicht nur die Funktion der einzelnen Komponenten. Ein Schwerpunkt liegt auch auf deren Zusammenwirken als System und auf den Schnittstellen mit dem gesamten Fahrzeug. Fundiertes Wissen über das Schwingungsverhalten ihrer Produkte

ermöglicht es den Bosch-Ingenieuren beispielsweise, das Risiko von Quietschen und Rubbeln der Bremsen zu vermindern, was den Komfort weiter erhöht. Als weltweit größter Hersteller von Brems- und Bremsregelsystemen bietet Bosch den Automobilherstellern die vollständige Entwicklung und Lieferung kompletter Bremsanlagen. Hierzu gehören u.a. auch Erzeugnisse der Fahrzeugsicherheit, wie das Antiblockiersystem (ABS), die Antriebs-schlupfregelung (ASR) und das Elektronische Stabilitätsprogramm (ESP).

Aufgabenstellung

Zweck einer Bremse ist der möglichst wirkungsvolle und gleichmäßige Abbau der Bewegungsenergie des Fahrzeugs. Dies geschieht durch Umwandlung in Wärmeenergie, die bei der Reibung zwischen Bremsbelägen und Brems-

scheibe entsteht. Bei bestimmten Betriebsparametern können während des Bremsvorgangs hochfrequente Schwingungen der Bremsscheibe angeregt werden. Diese zum Teil erheblichen Strukturschwingungen der Bremse, die übrigens keinen Einfluss auf die eigentliche Bremswirkung haben, koppeln an den Luftschall an. Ein Teil der Energie wird dadurch als störendes, akustisch wahrnehmbares Bremsenquietschen abgestrahlt.

Physikalisch verantwortlich für die Schallemission der Bremsscheibe beim Quietschen sind die so genannten Out-of-plane Schwingungen. Hierbei schwingt die Reibringfläche der Bremsscheibe senkrecht zur Scheibenebene. Die verzögernde Bremskraft zwischen Belägen und Bremsscheibe wirkt jedoch in der Scheibenebene.

Über diese Krafteinleitung werden also auch primär Schwingungen in dieser Ebene (In-plane) angeregt.

Die Bosch-Forscher stellten sich nun die interessante Frage, welcher Zusammenhang zwischen der In-plane-Anregung infolge der Einwirkung der Bremskraft und den für die Schallemission verantwortlichen Out-of-plane-Schwingungen besteht.

Schnell wurde klar, dass für diese herausfordernde Untersuchungsaufgabe besondere messtechnische Verfahren benötigt werden. Diese müssen gleichzeitig sowohl In-plane- als auch Out-of-plane-Komponenten der Schwingbewegung mit hoher Frequenzauflösung an einer Vielzahl von Messpunkten auf der Bremse messen können.

In-plane und Out-of-plane

Von der Wechselwirkung zwischen In-plane- und Out-of-plane-Schwingungen kann man sich leicht mit einem kleinen Versuch überzeugen. Hierzu regt man einen schwingfähig, z. B. auf der Fingerspitze, gelagerten Teller mit einem Löffel einmal von der Seite und einmal von oben zu Schwingungen an. In beiden Fällen werden die gleichen Moden angeregt, allerdings bei der In-plane-Anregung mit abgeschwächter Amplitude. Man hört also in beiden Fällen denselben Ton, der jedoch wesentlich leiser klingt, wenn man den Teller von der Seite anschlägt.

Messtechnische Aufgabenstellung

Die bislang etablierten Messverfahren zur Analyse von Strukturschwingungen reichten für die Beantwortung der Frage nicht aus. Polytec, als langjähriger Partner im Bereich berührungsloser Messtechnik, entwickelte deshalb auf Anregung von Bosch und in enger Kooperation mit den Initiatoren ein scannendes, 3-dimensional messendes Laser-Vibrometer.

Im Gegensatz zu einem herkömmlichen, 1-dimensional arbeitenden Scanning Vibrometer, welches nur die in Richtung des Laserstrahls orientierte Komponente der Schwingbewegung

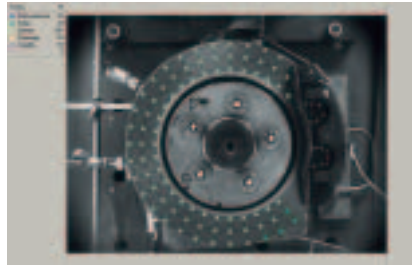


Abbildung: Bremsscheibe im Prüfstand

messen kann, verwendet das Polytec Scanning Vibrometer PSV-400-3D drei separate Scanning Vibrometer-Messköpfe, die zum selben Zeitpunkt aus unterschiedlichen Raumrichtungen die Schwingbewegung an einem Punkt der Oberfläche des Messobjektes erfassen.

Durch das synchron scannende Verfahren erfasst das Gesamtsystem schnell, berührungslos und rückwirkungsfrei das gesamte 3-dimensionale Schwingverhalten an allen optisch zugänglichen Punkten des Testobjektes. Aus den Rohsignalen der drei Messköpfe berechnet die Software durch eine Koordinatentransformation die vektoriellen Komponenten der Schwingbewegung in einem kartesischen Koordinatensystem. Die folgende Abbildung zeigt verschiedene Ansichten ein- und derselben Betriebsschwingform als Ergebnis einer PSV-3D-Messung an einer Bremsscheibe. Im linken Teilbild ist perspektivisch die Gesamtbewegung dargestellt. In der Mitte ist deutlich der starke Anteil der Out-of-plane-Komponente erkennbar, während das rechte Bild klar den In-plane-Anteil der Bewegung zeigt.

Mit dem neuartigen Messverfahren gelang es den Bosch-Forschern, die Wechselwirkungen zwischen Bremsbelägen und Bremsscheiben, die für das Bremsenquietschen verantwortlich sind, eindeutig zu charakterisieren. Die Untersuchungen zeigten, dass es bei bestimmten Kombinationen der Betriebsparameter wie Bremsdruck, Temperatur und Momentangeschwindigkeit zu einer Wechselwirkung von miteinander gekoppelten In-plane- und Out-of-plane-Eigenschwingungen kommt, die das gefürchtete Quietschgeräusch hervorruft.

Fazit:

Die mit dem Polytec Scanning Vibrometer PSV-3D gewonnenen Erkenntnisse versetzen die Bosch-Forscher und Ingenieure zukünftig in die Lage, bei der Konstruktion der Bremse durch gezielte Variation der Bauteilgeometrien und Materialparameter das Risiko für unerwünschtes Bremsenquietschen weiter zu reduzieren.

DIE AUTOREN

Dr.-Ing. Michael Fischer
Dr. Karl Bendel

Zentralabteilung
Forschung und Vorausbildung
Angewandte Physik

Robert Bosch GmbH FV/FLP

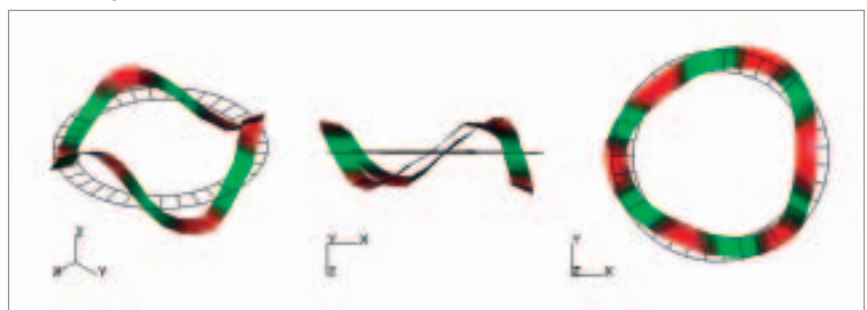
Telefon +49 (0) 711 811-6529

E-mail:

Michael.Fischer2@de.bosch.com

www.bosch.com

Abbildung: Drei Ansichten einer Schwinform einer Bremsscheibe



Schwingende Flächen hörbar gemacht



mit Laser Scanning Vibrometrie und binauraler Transferpfad-Analyse

Was für ein Geräusch entsteht eigentlich, wenn die Fläche eines Bauteils vibriert?

Auf welchem Weg gelangt der Schall zum Ohr? Welche Bauteilschwingung stört am meisten?

Mit diesen Fragen beschäftigen sich derzeit die Mitarbeiter von Polytec und HEAD acoustics im Rahmen einer Kooperation.

Die Laser Scanning Vibrometrie ist in vielen Bereichen der Industrie und Forschung zu einem etablierten Werkzeug für die Analyse von Schwingungen geworden. In typischen Anwendungsfällen geht es dabei neben der Untersuchung der Bauteilstatik (Festigkeit, Struktur) immer häufiger auch um Akustik. Im Mittelpunkt steht dabei die Frage, ob und wo störende Geräusche am Bauteil entstehen und an welchen Stellen Gegenmaßnahmen am effektivsten ansetzen können. Die alleinige Kenntnis des Schwingungsverhaltens reicht jedoch nicht aus, um die Akustik des Bauteils hinreichend genau zu beschreiben, da der Grad der Schallabstrahlung, die Übertragung des Geräusches zum Ohr (die so genannte Luftschallübertragungsfunktion) sowie die Struktur des Geräusches (wichtig für die psychoakustische Wirkung auf den Menschen), bisher in der Regel nicht adäquat berücksichtigt werden. Es kann in der Praxis also vorkommen, dass zwar schwingungstechnische Maßnahmen am Bauteil ergriffen werden, das Geräusch aber

gar nicht hörbar reduziert wird. Es bleiben also die Fragen: Welche Vibrationen erzeugen das Geräusch? An welchen Stellen wirken Gegenmaßnahmen am besten?

Ziele der Kooperation

Mitarbeiter der Firmen Polytec und HEAD acoustics haben sich das Ziel gesetzt, diese Fragen zu beantworten und ein Bindeglied zwischen Schwingungsanalyse einerseits und erzeugtem Geräusch andererseits zu formen. Die Kompetenz von Polytec in Fragen der Laser Vibrometrie und Schwingungsanalyse verbindet sich hierbei mit der akustischen Kompetenz von HEAD acoustics bezüglich der Auralisation (Hörbarmachung) von Schallquellen in idealer Weise. Ziel dieser Kooperation ist es, den Synergieeffekt der Firmen zu nutzen und gemeinsam ein Werkzeug zu entwickeln, mit dem der Anwender akustische Aufgabenstellungen zukünftig in einer kompakten Messung effizient und zielorientiert bearbeiten kann.

HEAD acoustics GmbH

Die HEAD acoustics GmbH ist weltweit eines der führenden Unternehmen auf den Gebieten der akustischen und schwingungstechnischen Mess- und Analysetechnologie sowie der Sprachverständlichkeit. Für alle Anwendungen vom Sound Design bis hin zum akustischen Umweltschutz bietet HEAD acoustics Hard- und Softwarelösungen, die sich auf die gehör-richtige Aufnahme und Wiedergabe, Messungen und Analysen, das Jurytesting sowie das virtuelle Engineering erstrecken. Zu den verschiedenen, von führenden Anwendern weltweit geschätzten Dienstleistungen gehört auch die Binaurale Transferpfad-Analyse. Nicht zuletzt dank seiner eigenen, intensiven Forschungs- und Entwicklungsarbeit und der engen Verbindung zu staatlichen und industriellen Forschungseinrichtungen setzen die Produkte von HEAD acoustics immer wieder Standards. Seit der Gründung 1986 blickt das Unternehmen auf mehr als 30 nationale und internationale Patente und 400 wissenschaftliche Veröffentlichungen zurück.

Das neue Untersuchungsverfahren

Ausgehend von einer vibrierenden Oberfläche pflanzt sich der abgestrahlte Schall durch die Luft fort und erreicht schließlich das Ohr des menschlichen „Opfers“ in Form von Geräuschen.

Mit Hilfe der etablierten Transferpfad-Analyse (Genuit, K. & Bray, W. R., Sound & Vibration Juli 2002) kann der Weg des Schalls experimentell ermittelt werden. Als Erweiterung des Verfahrens bestimmt HEAD acoustics die Luftschallpfade typischerweise binaural (Sottek, R., Sellerbeck P., Klemenz M., SAE Konferenz 2003). Damit wird die Gestalt des Kopfes in die Analyse mit einbezogen. Dies ermöglicht die Auralisation (also die Hörbarmachung) von Teilschallquellen.

Wie bestimmt man nun in der Praxis die Luftschallübertragungsfunktionen binaural? Zu diesem Zweck kann man auf das Reziprozitätsprinzip zurückgreifen und die Luftschallübertragungspfade reziprok mit Hilfe eines binauralen Schallsenders messen (siehe Erläuterung in der Info-Box auf Seite 12).

Körperschall- und Luftschallmessungen

Das neue Verfahren erlaubt, Laser-Vibrometer-Messungen mit reziproken Luftschallmessungen zu verknüpfen. Bei der visuellen Darstellung der Bauteilschwingung wird beispielsweise statt der direkt mit dem Laser Vibrometer gemessenen Schwingungsamplitude nun die mit der reziprok gemessenen Luftschallübertragungsfunktion gewichtete Amplitude angegeben.

Diese Darstellung ist somit ein Maß für die Luftschallrelevanz der Bauteiloberfläche und gibt an, ob und wie stark einzelne Bereiche für das verursachte Geräusch am Ohr verantwortlich sind. Dem Akustikingenieur werden direkt die Stellen angezeigt, an denen akustische Maßnahmen eingeleitet werden müssen.

User Defined Datasets

Technische Basis für die Verknüpfung der Körperschalldaten mit den Transferpfad-funktionen sind die so genannten User Defined Datasets, die als neue Option für die Polytec PSV-Software 8.1 verfügbar sind. Die User Defined Datasets erlauben dem Anwender, über eine Standard-Schnittstelle beliebige mathematische Transformationen auf die Messdaten anzuwenden und die Ergebnisse direkt in der PSV-Software zu visualisieren.

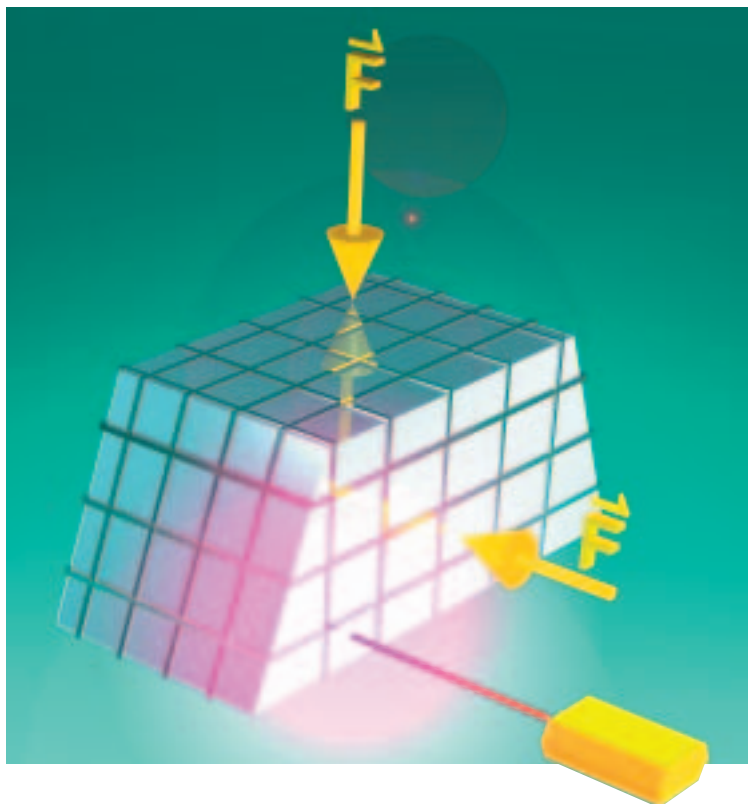
Erweiterungen zu dieser Softwareoption sind in Planung und sollen in Zukunft auch die Darstellung von nichtstationären Ereignissen ermöglichen. Gemeint ist damit die Möglichkeit, das akustische Verhalten eines Bauteils auch unter beliebigen, nichtstationären Betriebsbedingungen visuell darzustellen und die beispielsweise in der Automobilindustrie typische Fragestellung bezüglich Motorgeräuschen zu beantworten: Bei welcher Motordrehzahl ist welche Fläche eines Bauteils für das Geräusch verantwortlich? Erreicht werden soll dies, indem mit akustischen Übertragungsfunktionen gefilterte Zeitverläufe visualisiert werden. Eine entsprechende Softwareoption wird zur Zeit erarbeitet und für erste Consult-Anwendungen demnächst zur Verfügung stehen.

Erste Testanwendungen

Im Rahmen der Untersuchungen wurde das Verfahren anhand einer Modellstruktur getestet, die im Titelbild dieses Artikels zu sehen ist.

Bitte umblättern





Das Modell besteht aus einem Stahlrahmen, auf dem Metallflächen von unterschiedlicher Größe montiert sind. Zwei Shaker sorgen für die Schalleinleitung. Die experimentell bestimmten Transferpfade beschreiben den Schallweg von der Krafteinleitung an den Shakern zu den Ohren der Testperson im Inneren des Modells. Wie im Titelbild zu sehen ist, wird die Testperson messtechnisch, durch einen Kunstkopf bzw. durch einen binauralen Schallsender repräsentiert. Die ermittelten Transferpfade können prinzipiell mit beliebigen Zeitdaten verknüpft werden. So wurden zum Beispiel Zeitdaten an den Krafteinleitungspunkten der Motorlager eines Fahrzeugs unter Betriebsbedingungen aufgenommen und anschließend mit den Schall-Transferpfaden des Modells verknüpft. Das entstehende Geräusch im Innenraum des Modells setzt sich aus den Schallbeiträgen der einzelnen Teilflächen zusammen, die man sich auch separat anhören kann. Da das Verfahren binaural arbeitet, erhält man ein Stereosignal, das einen räumlichen Höreindruck ermöglicht und eine Lokalisierung der jeweiligen Schallquelle zulässt, so als würde man selbst im Innenraum sein.

Die PDF-Version dieses Artikels sowie weitere Informationen finden Sie auf der Internetseite von Polytec unter www.polytec.de bzw. HEAD acoustics unter www.head-acoustics.de.

Das Reziprozitätsprinzip

Die Übertragungsfunktion zwischen Schallquelle und Empfangsort ändert sich nicht, wenn Schallquelle und Empfangsort miteinander vertauscht werden. Dies gilt unter der Voraussetzung, dass

- a) die Abstrahlcharakteristik des Senders gleich der Empfangscharakteristik des Empfängers ist und
- b) nur lineare Systeme und Messgrößenpaare wie z.B. Schalldruck und Volumenfluss betrachtet werden.

Wenn der Empfänger also ein menschlicher Kopf ist, muss folgerichtig der Schallsender ebenfalls die Form eines menschlichen Kopfes haben. Außerdem ist es zwingend notwendig, den vom Schallsender abgestrahlten Volumenfluss zu kennen.

Sind diese Voraussetzungen gegeben, so gilt die Reziprozität in jeder Umgebung unabhängig von den Raumeigenschaften.

DER AUTOR

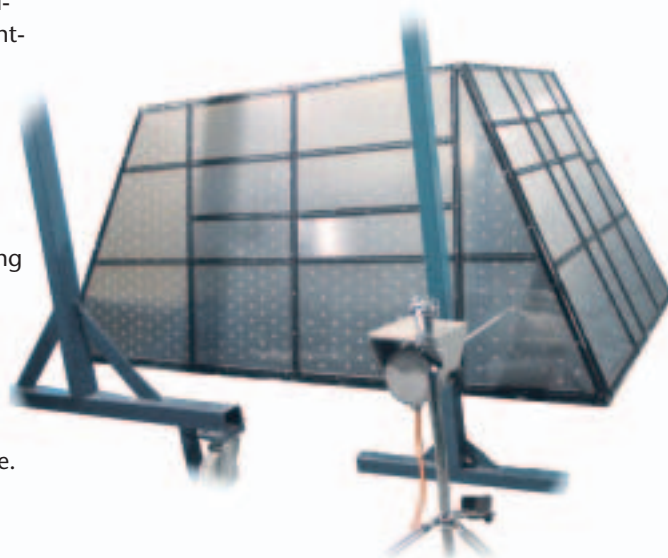
Dr. Oliver Wolff

HEAD acoustics GmbH

Telefon +49 (0) 2407 577-110

E-mail oliver.wolff@head-acoustics.de

www.head-acoustics.de



Grundlagen der Velocimetrie



FÜR EINSTEIGER UND ERFAHRENE ANWENDER

Laser Doppler Velocimeter sind berührungslos arbeitende Messsysteme zur Geschwindigkeits- und Längenmessung an bewegten Oberflächen, wie z.B. Stahlblechen, Folien, Papier, Textilien und anderen Bahnwaren.

Das berührungslose und rückwirkungsfreie optische Messverfahren ermöglicht sehr hohe Genauigkeiten und die Anwendung in anspruchsvollen Messaufgaben, die mit berührenden Sensoren nur sehr schwer oder gar nicht zu erfüllen sind, wie z.B. Messungen an glühenden Objekten. So ersetzen Laser Doppler Velocimeter in Stranggießanlagen die dort üblicherweise eingesetzten Messrollen zur Gießlängen- und Gießgeschwindigkeitsmessung. Dank der berührungslosen Messweise haben Schlupf, Zunderablagerungen oder Lagerschäden, wie bei Messrädern, keinen Einfluss mehr auf das Messergebnis. Laser Surface Velocimeter arbeiten nach dem Laser Doppler Prinzip und werten dabei das von einem bewegten Objekt zurück gestreute Laserlicht aus. Das zugrunde liegende Heterodyn-Verfahren ist eine sehr anspruchsvolle und hoch entwickelte Methode. Im Gegensatz zu herkömmlichen berührungslosen Verfahren, die nur den Geschwindigkeitsbetrag erfassen, kann ein Polytec LSV auch Richtungsänderungen und selbst den Stillstand des Objekts messen, wobei die Messgenauigkeit nicht von der Geschwindigkeit abhängt und damit auch noch sehr kleine Bewegungen präzise erfasst werden können.

Polytec GmbH
Polytec-Platz 1-7
D-76337 Waldbronn
Tel. +49 (0) 72 43 6 04-0
Fax +49 (0) 72 43 6 99 44
Lm@polytec.de

Allgemein und für beliebige Geschwindigkeiten wurde das Doppler-Problem durch Einsteins Relativitätstheorie gelöst. Zusammengefasst lautet das Ergebnis seiner scharfsinnigen Analyse, dass sowohl ein ruhender als auch ein bewegter Beobachter (Empfänger) den gleichen Wert der Lichtgeschwindigkeit messen, dass jedoch die jeweiligen Koordinaten, die zwei Beobachter zur Beschreibung von Vorgängen verwenden, in subtiler Weise von ihrer Relativbewegung abhängen.

Der Dopplereffekt

In welcher Weise enthält zurückgestreutes Laserlicht Informationen über den Bewegungszustand des Streuobjektes? Im Folgenden wird veranschaulicht, wie sich eine Relativbewegung zwischen Quelle und Empfänger einer Lichtwelle auf die gemessene Wellenlänge bzw. Frequenz der Welle auswirkt.

Von einer ruhenden Lichtquelle geht eine ebene Lichtwelle mit Frequenz f und Wellenlänge λ aus. Ein Wellenzug der Länge λ passiert in der Zeit $T=1/f$ einen ruhenden Beobachter. Bewegt sich hingegen der Beobachter mit der Geschwindigkeit v von der Lichtquelle weg, so benötigt der Wellenzug eine etwas längere Zeit T' um den Beobachter zu passieren. Welchen Weg cT' legt die Welle in der Zeit T' zurück? Dieser Weg umfasst die Strecke λ des betrachteten Wellenzuges sowie die vom bewegten Beobachter in der Zeit T' zurückgelegte Strecke vT' .

$$cT' = \lambda + vT' \quad (c - v)T' = \lambda$$

Für den bewegten Beobachter hat die Wellenschwingung die Periodendauer T' und wegen $f' = 1/T'$ und $\lambda = c/f$ ergibt sich dann für ihn:

$$(c - v)/f' = c/f$$

und damit die Frequenz f' zu

$$f' = f(c - v)/c = f(1 - v/c)$$

Bewegt sich also der Beobachter von der Lichtquelle weg ($v > 0$), so ist die Lichtfrequenz zu kleineren Werten hin verschoben (Rotverschiebung), bei Bewegung auf die Lichtquelle zu ($v < 0$) wird eine erhöhte Frequenz gemessen (Blauverschiebung).

Die vorangehende Analyse ist eine Näherung für im Vergleich zur Lichtgeschwindigkeit kleine Geschwindigkeiten, die praktisch für alle technisch relevanten Geschwindigkeiten sehr gut erfüllt ist.

Das Differenz-Dopplerverfahren

Die Messaufgabe an den bewegten Objekten, die prinzipiell beliebig lang sein können, erfordert einen Messaufbau mit einer Beobachtungsachse des Sensors senkrecht zur Bewegungsrichtung des Messobjektes.

Polytec Velocimeter arbeiten nach dem so genannten Differenz-Dopplerverfahren. Hierbei werden 2 Laserstrahlen, die jeweils unter einem Winkel φ zur optischen Achse einfallen, auf der Oberfläche des Messobjektes überlagert. Für einen Punkt P, der sich mit der Geschwindigkeit v durch den Schnittpunkt der beiden Laserstrahlen bewegt, sind die Frequenzen der beiden Laserstrahlen gemäß der obigen Formel Doppler-verschoben. Am Punkt P des Messobjektes, das sich mit der Geschwindigkeit v bewegt, treten somit folgende Frequenzen auf:

$$f_{p1,2} = f_{1,2} (1 - \mathbf{v} \cdot \mathbf{e}_{1,2}/c)$$

$\mathbf{e}_{1,2,e}$ = Einheitsvektoren der Laserstrahlen 1 und 2 und in Richtung Detektor

$f_{1,2}$ = Frequenzen der Laserstrahlen 1 und 2

$f_{p1,p2}$ = Doppler-verschobene Frequenzen der Laserstrahlen 1 und 2 im Punkt P

Der Punkt P emittiert nun Streuwellen in Richtung des Detektors. Da sich P mit dem Messobjekt bewegt, ist die in Richtung $\mathbf{e}_e$ des Detektors emittierte Streustrahlung ebenfalls Doppler-verschoben. Für die Frequenz der Streuwellen in Richtung des Detektors gilt somit:

$$\begin{aligned} f_{e1,e2} &= f_{p1,p2} (1 - \mathbf{v} \cdot \mathbf{e}_e/c) \\ &= f_{1,2} (1 - \mathbf{v} \cdot \mathbf{e}_{1,2}/c) (1 - \mathbf{v} \cdot \mathbf{e}_e/c) \end{aligned}$$



Die Streuwellen überlagern sich auf dem Detektor. Durch Interferenz der Streuwellen aus den beiden Laserstrahlen kommt es in der Überlagerung zu verschiedenen Frequenzkomponenten. Messtechnisch ausgewertet wird die niederfrequente Schwebungsfrequenz der überlagerten Streustrahlen, die der Dopplerfrequenz f_D entspricht. Diese ergibt sich bei gleicher Frequenz (gleicher Wellenlänge) der beiden einfallenden Laserstrahlen als Differenz von f_{e2} und f_{e1} zu:

$$f_D = f_{e2} - f_{e1} \\ = f (\mathbf{v} \cdot (\mathbf{e}_1 - \mathbf{e}_2)/c) (1 - \mathbf{v} \cdot \mathbf{e}_e/c)$$

Bei senkrechter Bewegung des Punktes P in Bezug auf die optische Achse und bei gleichem Einfallswinkel φ gilt:

$$\mathbf{v} \cdot (\mathbf{e}_1 - \mathbf{e}_2) = 2v \sin \varphi \text{ und } \mathbf{v} \cdot \mathbf{e}_e = 0$$

Damit erhält man schließlich:

$$f_D = \frac{2v}{\lambda} \sin \varphi$$

Die Dopplerverschiebung ist also direkt proportional zur Geschwindigkeit. Eine anschauliche Erklärung, die zum selben Ergebnis führt, ist die folgende:

Anschauliche Darstellung des Differenz-Doppler-Messverfahrens

Die beiden Laserstrahlen überlagern sich im Messvolumen, und erzeugen in diesem Raumgebiet ein Interferenzmuster von hellen und dunklen Streifen.

Der Streifenabstand Δs ist eine Gerätekonstante, die von der Laserwellenlänge λ und vom Winkel zwischen den Messstrahlen 2φ abhängt:

$$\Delta s = \lambda / (2 \sin \varphi)$$

Bewegt sich ein Teilchen durch das Streifenmuster, so wird das von ihm zurückgestreute Licht in seiner Intensität moduliert.

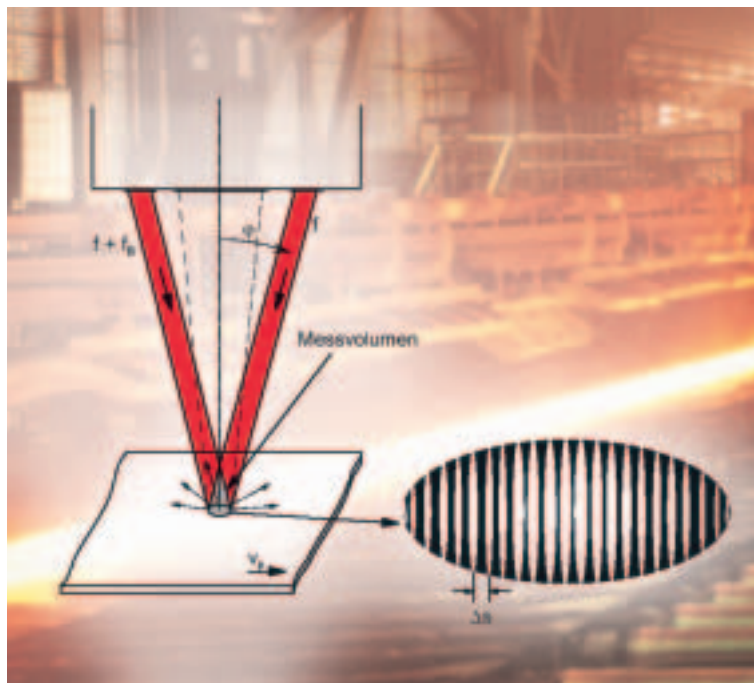
Ein Photoempfänger im Messkopf erzeugt demzufolge ein Wechselstromsignal, dessen Frequenz f_D direkt proportional zur Geschwindigkeitskomponente der Oberfläche in Messrichtung v_p ist, und es gilt:

$$f_D = v_p / \Delta s = \frac{2v}{\lambda} \sin \varphi$$

f_D = Dopplerfrequenz

v_p = Geschwindigkeitskomponente in Messrichtung

Δs = Streifenabstand im Messvolumen



Der Wert $\lambda / \sin \varphi$ bildet die Maßverkörperung für die Geschwindigkeits- und Längenmessung. Er wird für jeden Messkopf exakt gemessen und ist auf dem Identifikationsaufkleber aufgedruckt. Beim Konfigurieren des LSV-Controllers wird der Streifenabstand als Kalibrierfaktor in den nicht-flüchtigen Speicher eingeschrieben. Dort bildet er die Basis für die Berechnung der Messwerte. Wird der Messkopf ausgetauscht, muss der neue Streifenabstand mit Hilfe der LSV-Software eingetragen werden.

Das Heterodynverfahren

Polytec Laser Surface Velocimeter arbeiten im so genannten heterodyn Modus, das heißt die Frequenz einer der Messstrahlen ist um einen Offset von 40 MHz verschoben. Die Streifen im Messvolumen wandern dadurch mit einer Geschwindigkeit entsprechend der Offsetfrequenz f_b . Damit wird es möglich, die Bewegungsrichtung des Messobjektes zu erkennen, sowie bei der Geschwindigkeit Null zu messen. Die resultierende Modulationsfrequenz f_{mod} am Photoempfänger beträgt im heterodyn Modus:

$$f_{mod} = f_b + v_p / \Delta s = f_b + \frac{2v}{\lambda} \sin \varphi$$

Die Modulationsfrequenz wird im Controller durch Fouriertransformation ermittelt und in den Messwert für die Geschwindigkeit v_p umgewandelt.

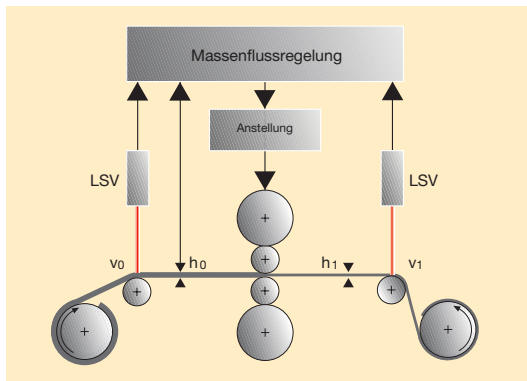
Die Längenmessung erfolgt durch Integration des Geschwindigkeitssignals.

Einsatzgebiete von Polytec Velocimetern

Ein vollständiges LSV Serie 6000 Messsystem besteht aus einem LSV-6200 Signalprozessor und wahlweise dem sehr kompakten optischen Messkopf LSV-065 oder dem flüssigkeitsgekühlten Messkopf LSV-026 für Anwendungen in rauer Industrieumgebung.

Massenflussregelung

Von der weiterverarbeitenden Industrie, besonders im Automobilbereich, werden an die Qualität der verwendeten Stahl- und Aluminiumprodukte immer höhere Anforderungen gestellt. Durch schlupf- und verschleißfreie Geschwindigkeitsmessung mit dem LSV lassen sich die Dicken-toleranzen von Kaltband erheblich verringern. Messen zwei Laser Surface Velocimeter jeweils vor und hinter dem Walzgerüst die Bandgeschwindigkeit, so lässt sich mit Hilfe der Massenfluss-beziehung die Banddicke im Walzspalt bestimmen. Die kürzere Ansprechzeit im Vergleich zur nach-führenden Regelung über die Dickenmessung vor und hinter dem Walzgerüst verkleinert die Banddickentoleranzen erheblich.



Längenmessung an Stückgut

Polytec's LSV Serie 6000 ist ideal geeignet für die Längenmessung zur Zuschnittsteuerung, für die Längenkontrolle bereits fertig zugeschnittener Werkstücke oder für die Positionierung des Werkstücks in einer Sägenstraße. Das Messsystem arbeitet zuverlässig auf allen Oberflächen, egal ob Rohre, Träger, Profile oder Schienen. Selbst Messungen an heißen Oberflächen mit Temperaturen bis zu 1200 °C sind möglich.

Hier einige Anwendungsbeispiele, wie das LSV in einem Rohrwalzwerk eingesetzt wird:

- Rohre mit einer Länge zwischen 6 und 20 m bewegen sich mit einer annähernd konstanten Geschwindigkeit zwischen 2 und 20 m/s über den Rollgang. Das LSV misst die Gesamtlänge.



- Ist die Gesamtlänge bekannt, misst ein zweites LSV dasselbe Rohr noch einmal bei niedriger Geschwindigkeit, um das Rohr in der Sägenstraße in kundenspezifische Abschnittslängen zu unterteilen.

Zur Triggerung der Längenmessung an Stückgut gibt es zwei Möglichkeiten:

1. Selbst-Trigger: Die Objekterkennung im LSV Serie 6000 startet bzw. stoppt zuverlässig die Längenmessung innerhalb von 100 µs, sobald das Objekt im Messfeld erscheint bzw. verschwindet.
2. Externer Trigger: Wird das LSV über vorhandene Triggereingänge mit externen Lichtschranken kombiniert, kann die höchste Messgenauigkeit bei der Längenmessung erreicht werden.

Durch die große Messfeldtiefe von 200 mm misst das LSV an unterschiedlichen Rohrdurchmessern, ohne dass der Abstand des LSV-065 oder LSV-026 Messkopfs zum Rollgang neu angepasst werden muss. Ein aufwendiges Traversiersystem, das den Abstand vom Messkopf zur Rohroberfläche bei sich ändernden Durchmessern konstant hält, ist nicht notwendig.

Erratum

In LM INFO Special, Ausgabe 1/2003, lautet die Formel auf Seite E2 korrekt:

$$l_{\text{tot}} = l_1 + l_2 + 2\sqrt{l_1 l_2} \cos[2\pi(r_1 - r_2)/\lambda]$$

MEHR INFO?

E-mail: Lm@polytec.de oder www.polytec.de

Software-Neuigkeiten

Neue PSV Software Version 8.1

Das neueste Release 8.1 der bekannten PSV Software unterstützt alle Funktionen der neuen PSV-400 und PSV-400-3D Plattformen und bietet erheblich erweiterte Möglichkeiten zur 3-dimensionalen Darstellung der Schwingungsdaten. Die Vorbereitung einer Messung wird jetzt noch weiter vereinfacht durch Focus-Scan und Focus-Memory zur Ermittlung und Sicherung optimaler Fokuseinstellungen für jeden einzelnen Messpunkt. Erweiterungen des 3D-Koordinatenabgleichs und der 3D-Messpunktdefinition verkürzen die Vorbereitungszeit für Messungen mit dem PSV-3D. Der 0 dB Referenz-Punkt ist nun frei festlegbar und auch invalidierte Messpunkte werden nachgemessen. Polytec File Access ist jetzt fester Bestandteil der Software. Neue Import- und Export-Funktionen erleichtern die Kommunikation mit anderen Softwaresystemen: So können nun 3D-Koordinaten des Messobjektes für 1D- oder 3D-Messungen importiert und Messergebnisse direkt an ME'Scope übergeben werden.

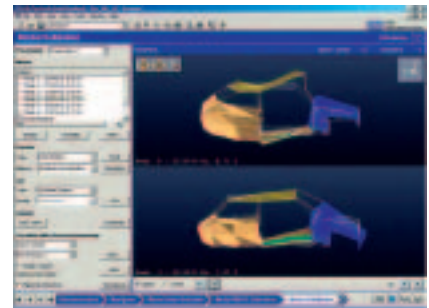


Durch nun generell verfügbare Kontextmenüs ist die Bedienung jetzt noch komfortabler. Das Look & Feel wurde an Windows XP angepasst.



Weitere Highlights der neuen Version sind:

- MIMO Option (Durchführung der Principal Component Analysis)
Dieses Software-Modul bestimmt bei Multishaker-Anregung die unterschiedlichen Anregungsbeiträge aus den gemessenen FRFs. Diese Option ist nur für das PSV-400-H4 System verfügbar.
- Benutzerdefinierte Datensätze (User Defined Datasets)
Die User Defined Datasets erlauben dem Anwender, über die Schnittstelle von Polytec File Access beliebige mathematische Transformationen auf die Messdaten anzuwenden und die Ergebnisse direkt in der PSV-Software zu visualisieren.
- Bibliothek zur Signalverarbeitung für Scripting („PolyMath“) für die Verwendung mit benutzerdefinierten Datensätzen:
Rechnen mit Vektoren, RMS, Min, Max, Mean, Standard Deviation, Window Functions, FFT, inverse FFT, Integration/Differentiation, etc.



Schnittstelle zwischen Polytec und LMS

LMS International ist einer der führenden Anbieter für NVH-Test- und multidisziplinäre CAE-Lösungen im F+E Bereich. In den LMS Analyse Softwarepaketen werden von den Anwendern häufig Messdaten verarbeitet, welche durch Schwingungsmessungen mit dem Polytec Scanning Vibrometer (PSV) gewonnen wurden. Ingenieure von Polytec und LMS arbeiten jetzt gemeinsam an einer neuen Schnittstelle, die in der LMS Test.Lab™ Umgebung mit Hilfe von Polytec File Access einen direkten Zugriff auf Geometrieparameter, Übertragungsfunktionen und andere Daten aus PSV-Dateien erlaubt.

KONTAKT

www.lmsintl.com

info@lms.be

 LMS INTERNATIONAL
Empowering Engineering Innovation

VibSoft Release 4.1

Das Vibsoft Release 4.1 für Einzelpunktmessungen unterstützt alle Funktionen des neuen OFV-5000 Vibrometer Controllers. Wie sein großer Bruder PSV 8.1 bietet es nun Kontextmenüs, ein verbessertes und erweitertes

Theorie-Handbuch, benutzerdefinierte Datensätze (über Polytec File Access), eine Bibliothek zur Signalverarbeitung und die Möglichkeit des direkten Datenexports nach ME'Scope.

Der 0 dB Referenz-Punkt ist nun frei festlegbar und im Einstellungs-Dialog kann auf der Kanalseite der A/D-Wandlung für jeden Kanal die Schwingungsrichtung angegeben werden: +X, +Y, +Z, -X, -Y, -Z. Diese Information wird dann beim Export nach UFF oder ME'Scope verwendet.



MEHR INFO?

E-mail: Lm@polytec.de
oder www.polytec.de

Geschwindigkeits- und Dickenmessung



C-Messbügel im Walzwerk mit integrierter berührungsloser Laser-Geschwindigkeitsmessung

Die weiterverarbeitende Industrie, besonders im Automobilbereich, stellt an die Maßhaltigkeit und Qualität der verwendeten Stahl- und Aluminiumprodukte hohe Anforderungen. Um die Dicken-toleranzen von gewalzten Bändern immer weiter zu verringern, werden moderne Walzwerke nach dem Masseflussprinzip geregelt. Laser Surface Velocimeter (LSV) sind leicht zu integrieren und erlauben eine zuverlässige Messung der Geschwindigkeitskomponente.

Berührungslose Banddicken- und Bandgeschwindigkeitsmessung

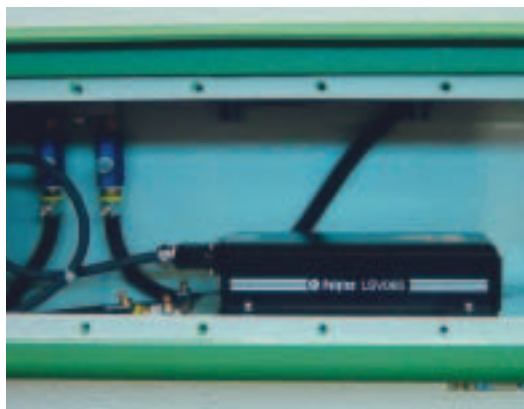
Die Masseflussbeziehung ermöglicht es, die Band-dicke im Walzspalt aus einer Geschwindigkeits-

und Dickenmessung vor dem Walzgerüst und einer Geschwindigkeitsmessung hinter dem Walzgerüst zu berechnen.

Die Banddickenmessung in Walzwerken erfolgt üblicherweise in so genannten C-Messbügeln. Die Banddicke wird dabei durch Absorption von Röntgenstrahlen bestimmt. Die Röntgenröhre und der Detektor sind im oberen und unteren Arm des C-Bügels untergebracht.

Für die berührungslose Geschwindigkeits-messung setzen sich in Walz- und Hüttenwerken immer mehr Laser Surface Velocimeter (LSVs) durch. Gegenüber der traditionellen Geschwin-digkeitsmessung mit Messrädern oder -walzen arbeitet das LSV frei von Schlupf und Verschleiß, die erhebliche Messfehler verursachen können. Der neue LSV-6200 Controller ermöglicht be-sonders schnelle und zuverlässige Messungen

Bild 1:
IMS C-Bügel
mit integriertem
Polytec LSV



– Aus zwei mach eins

(Seite 3). Lesen Sie im Sonderteil in der Heftmitte mehr zu den Grundlagen der Laser Surface Velocimetrie.

Obwohl die Banddickenmessung für die Masseflussregelung stets mit der Geschwindigkeitsmessung kombiniert wird, wurden beide Messsysteme bisher immer völlig getrennt in die Walzstraßen eingebaut.

Integration der LSV-Messköpfe in den C-Bügel

Seit Dezember 2000 arbeiten die Firmen IMS als Hersteller von C-Dickenmessbügeln und Polytec als Hersteller von Laser-Doppler-Längen- und Geschwindigkeitsmesssystemen eng zusammen. Die kompakte Bauform der LSV-065 Messköpfe und die große Flexibilität beim Arbeitsabstand (300 – 2000 mm) hat IMS bewogen, Polytec LSV-Systeme in die eigenen C-Bügel zu integrieren.

Von Polytec wurde für den Einbau der Messköpfe in die C-Bügel eine zusätzliche Kühlplatte mit Umlenkspiegel konstruiert. Der Messkopf sitzt horizontal im C-Bügel und schaut über den 90° Umlenkspiegel durch ein Fenster im Boden des oberen C-Bügelarms auf die Bandoberfläche (Bild 1).

Durch Verschieben des LSV-065 Messkopfes relativ zum Spiegel lässt sich das System leicht an unterschiedliche Passline-Positionen und C-Bügel-Maulweiten anpassen. Aufgrund der großen Messfeldtiefe tolerieren die Messköpfe Passlineschwankungen von ± 30 mm.

Vorteile von C-Bügeln mit integriertem LSV

Durch die Integration der Polytec Laser Surface Velocimeter in die C-Bügel von IMS entstehen für den Walzwerksbetreiber signifikante Vorteile. Der Mehraufwand für separate Schutz- und Haltekonstruktionen, Schaltschränke (Bild 2) und die Medienversorgung für die Laser-Geschwindigkeitsmessung entfällt.



Bild 3:
Bandgeschwindigkeit von vier in IMS C-Bügeln integrierten Polytec LSVs (in der 5-gerüstigen Tandemstraße von USS-Posco in Pittsburg, Kalifornien)

Für Servicearbeiten oder beim Einfädeln des Bandes kann der C-Bügel in eine Parkposition gefahren werden. Die C-Bügel besitzen eine große Wartungsöffnung, durch die der LSV-Messkopf sehr leicht zugänglich ist und auch innerhalb weniger Minuten ausgetauscht werden kann. Der Innenraum der IMS C-Bügel steht unter leichtem Überdruck, was eine Verschmutzung der LSV-Optik durch eindringende Walzöldämpfe sicher verhindert.

Die Verfahrenskombination wird als Komplettsystem von einem erfahrenen Team angeboten. Aufgrund der vielen Vorzüge haben sich schon viele Kunden in Europa, China oder den USA (Bild 3) für IMS C-Bügel mit integrierten Polytec Laser Surface Velocimetern entschieden.



Bild 2:
Röntgensteuergeräte (oben) und LSV-Controller (unten) in einem Schaltschrank kombiniert

MEHR INFO?

E-mail: Lm@polytec.de oder www.polytec.de

Stoßförmige Kräfte messen mit Laser-Doppler-Interferometern



Die neue Kraftstoß-Kalibriereinrichtung der PTB für Kräfte bis 20 kN

Obwohl die dynamische Kraftmessung in vielen Bereichen der Industrie eine immer größere Bedeutung erlangt, ist es nach wie vor übliche Praxis, auch bei dynamisch beanspruchten Kraftaufnehmern nur statisch zu kalibrieren. Entsprechend große Messunsicherheiten sind die Folge. Eine neue Kalibriereinrichtung der PTB mit laservibrometrischer Geschwindigkeitsmessung ermöglicht nun erstmals eine rückgeführte Kalibrierung für stoßförmige Kräfte.

Untersuchungen von Kraftaufnehmern mit sinusförmigen Kräften belegen ein frequenzabhängiges Messverhalten, das vornehmlich vom inneren Aufbau und der Art der Kraftan-
kopplung bestimmt wird. Da bei einem Stoß nicht nur eine anregende Frequenz, sondern ein kontinuierliches Frequenzspektrum vorliegt, ist die Bewertung von Kraftstoßmessungen ungleich komplexer.

Zur Analyse dieser Problematik hat sich die PTB folgende Ziele gesetzt:

- Die Untersuchung der Aussagefähigkeit von Kraftstoßmessungen: es interessieren hier insbesondere die typspezifischen Messabweichungen beim Einsatz von statisch kalibrierten Aufnehmern.
- Die Entwicklung von wissenschaftlich fundierten, aber zugleich auch praxistauglichen Kalibrierverfahren für stoßförmige Kräfte: hierbei ist die dynamische Kalibrierung zunächst als Ergänzung der etablierten statischen Kalibrierung zu betrachten.



Neue Kalibriereinrichtung der PTB

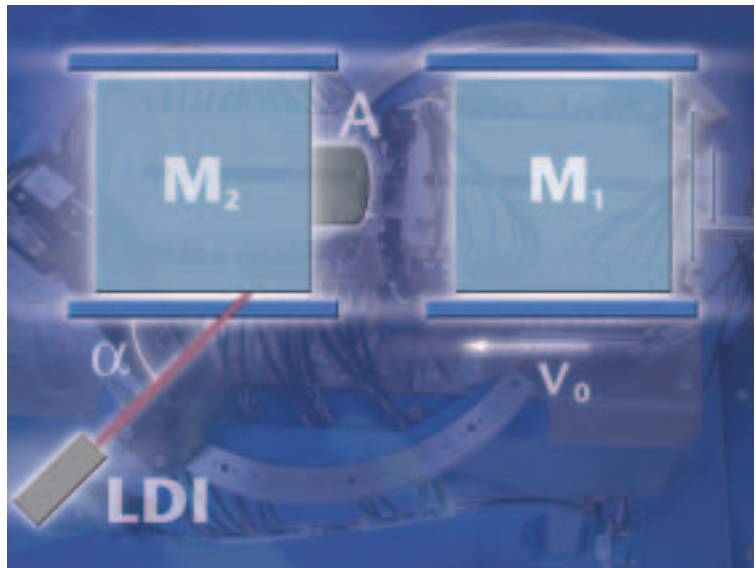
Zur Untersuchung von Kraftaufnehmern unter stoßförmiger Last wurde in der PTB eine neue Kalibriereinrichtung entwickelt, mit der sich Kraftstöße bis zu 20 kN Amplitude erstmals mit hoher Genauigkeit darstellen lassen. Die Einrichtung verwendet zwei quaderförmige Massekörper von ca. 10 kg, die über Luftlager reibungsarm geführt und mit einem dazwischen montierten Aufnehmer A zur Kollision gebracht werden (siehe Abbildung). Der zu kalibrierende Aufnehmer ist auf dem anfangs ruhenden Massekörper M_2 montiert, ein Federmechanismus beschleunigt den stoßenden Massekörper M_1 auf eine Stoßgeschwindigkeit v_0 von maximal 3 m/s. Durch Änderung von Geschwindigkeit und Nachgiebigkeit zusätzlicher Pulsformer lassen sich Amplitude und Stoßdauer variieren.

Vibrometrisches Messverfahren

Gemäß der Kraftdefinition $F(t) = m a(t)$ wird der erzeugte Kraftstoß durch Messung von Masse und Beschleunigung auf die SI-Basiseinheiten rückgeführt. Dazu wird die Geschwindigkeit der beteiligten Massekörper (z. B. von M_2) rückwirkungsfrei mittels Laser-Doppler-Interferometer (Polytec OFV-353) gemessen, die Beschleunigung ergibt sich durch numerisches Differenzieren des z. B. mit 100 kSample/s aufgezeichneten Signals.

Infolge baulicher Einschränkungen sind die in Bewegungsrichtung liegenden Stirnflächen der Stoßpartner nur bedingt zugänglich. Die Vibrometer tasten deshalb die über Langlöcher in den Luftlagern gut zugänglichen Seitenflächen an. Mit Hilfe einer Bogenführung lassen sich unterschiedliche Einstrahlwinkel einstellen. Der Laserstrahl wird dabei über Spiegel auf die Oberfläche gelenkt. Da der Messstrahl schräg zur Bewegungsrichtung verläuft, wird die in Strahlrichtung liegende Geschwindigkeitskomponente $v(t) \cos(\alpha)$ gemessen.

Die genaue Kenntnis des Einstrahlwinkels α ist daher von fundamentaler Bedeutung. Mit einem zweiten, nur zum Zweck der Winkelmessung auf die bewegte Stirnfläche ausgerichteten Vibrometer lässt sich α durch Vergleich der Streifenzähler der Vibrometer-Controller mit hoher Präzision bestimmen.



Retroreflektoren sorgen für eine ausreichende Rückstrahlung des schräg einfallenden Messstrahls. Bei Anwendung von Retroreflexfolie ist das Geschwindigkeitssignal jedoch infolge von Speckle-Rauschen relativ stark verrauscht. Eine drastische Verbesserung der Signalqualität wird mit einem Beugungsgitter in Littrow-Konfiguration erzielt, bei der ein gebeugter Strahl zum Vibrometer zurückreflektiert wird.

Ausblick

Die neue Kalibriereinrichtung für stoßförmige Kräfte wird derzeit in Betrieb genommen. In ersten Tests konnte eine Reproduzierbarkeit der Kraftamplitude von etwa 0,1% ermittelt werden. Mit der neuen Einrichtung bietet sich jetzt erstmals die Möglichkeit, das dynamische Verhalten von Kraftaufnehmern unter bekannten Stoßbeanspruchungen zu untersuchen.

DER AUTOR

Dr.-Ing. Michael Kobusch

Fachbereich 1.3 (Kinematik)

Physikalisch-Technische Bundesanstalt

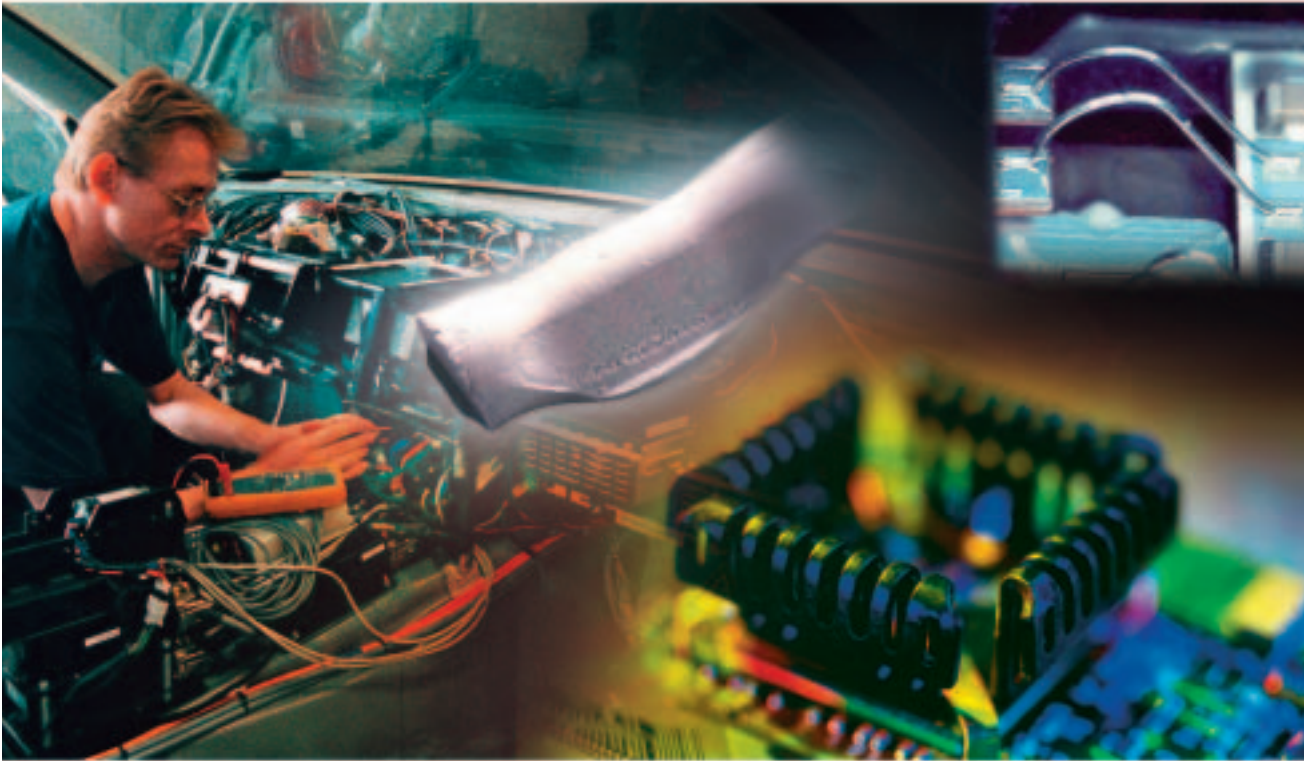
Telefon +49 (0) 531-592-1107

E-mail Michael.Kobusch@ptb.de

www.ptb.de



Laservibrometrie für eine gute Verbindung



Einsatz von faseroptischen Vibrometersystemen zur Qualitätssicherung beim Dickdrahtbonden

An die Zuverlässigkeit von Dickdraht-Aluminiumbonds, die bei der Kontaktierung von Leistungshalbleitern im Automotive-Bereich weit verbreitet sind, werden hohe Anforderungen gestellt. Laservibrometer ermöglichen eine in situ-Untersuchung des Bondprozesses und helfen dadurch entscheidend bei der Aufklärung von Qualitätsmängeln.

Anwendungsbereiche

Mikroelektronische Baugruppen, bei denen die Übertragung großer Leistungen und Ströme im Vordergrund steht (Power-Module, Automobilbereich), werden zur elektrischen Kontaktierung in großem Umfang durch das so genannte Dickdrahtbonden verarbeitet. Die elektrischen Kontakte werden durch ultraschallunterstütztes Reibschweißen mit Aluminium-Drähten bei Drahtdurchmessern im Bereich von 100 bis 600 µm hergestellt (Bild 1).

Dieses Verfahren benutzt man zur Kontaktierung zwischen Halbleiter und der nächsten Verdrahtungsebene, beispielsweise einer Hybridkeramik.



Bild 1:
Dickdraht-
Bondkontakt

Ein weiteres großes Anwendungsgebiet ist die elektrische Verbindung von den Substratträgern zu kunststoffumspritzten Kupfer-Formteilen (Bild 2), welche im Automobilbereich komplexe Gehäuse mit Steckkontakten bzw. Kupfer-Stromschienen bilden.

Bild 2:
Verbindung vom Substrat zum Gehäusepad



Herausforderungen

Effekte, die beim Bonden auftreten und sich bei späterer Belastung der Bauteile auswirken können, sind zahlreich. So können die Halbleiter durch das Bondwerkzeug mechanisch beschädigt werden („Cratering“). Kontaminationen oder zu große Rauigkeiten an der Oberfläche verursachen schlechte Verschweißungen. Zuverlässigkeitsprobleme entstehen auch durch ungünstige Loopgeometrien. Ein spezieller Effekt von mit Kunststoff umspritzten Kupfer-Stanzteilen ist das Mitschwingen der Pads beim Bondprozess.

Der Bondprozess

Beim Dickdrahtbonden wird der Verschweißungsprozess durch Aufbringen einer Kraft und das Einleiten von Ultraschall in die Verbindungszone realisiert. Dies bedeutet, dass das Bondwerkzeug den Draht mit einer Frequenz von 60 kHz und einer Schwingungsamplitude von etwa 5 μm über die Padoberfläche bewegt. Gerade in den ersten Millisekunden der ultraschallinduzierten Schwingung (die so genannte „Reinigungsphase“) ist eine starke Relativbewegung zwischen Draht und Substratoberfläche nötig, um die Oxidschichten an der Aluminiumoberfläche aufzubrechen. Dadurch werden Kontaminationen zumindest teilweise aus der Verbindungszone transportiert, um schließlich eine elementare Annäherung des Aluminium-Drahtes an die Oberfläche der Pads zu ermöglichen.

Wenn nun das eingespritzte Pad wegen ungünstiger Geometrie oder Schrumpf des Kunststoffmaterials mitschwingt, wird der Reinigungsprozess weniger effektiv und es kommt zu qualitativ schlechteren Bondverbindungen mit fraglicher Langzeit-Zuverlässigkeit.

Einsatz der Laser-Doppler-Vibrometrie

Mittels faseroptischer Vibrometrie können heutzutage die Schwingungen der Pads während des Bondvorgangs sehr genau analysiert werden. Die Laservibrometrie vereint dabei die Vorteile einer berührungslosen Messung, die das Schwingungsverhalten des Messobjekts nicht beeinflusst, mit einer ausreichend hohen zeitlichen und räumlichen Auflösung.

Die mit einem Polytec OFV-511 Faseroptischen Vibrometer durchgeführten Messungen (Bild 3) wurden mit konventionellen mechanischen Tests zur Qualitätssicherung beim Drahtbonden (Scher-test) verglichen. Dabei zeigte sich eine sehr gute Korrelation zwischen der Schwingungsamplitude des Bondpads und der Verbindungsqualität. Außerdem ermöglicht die quantitative Messung, konstruktive Änderungen an den Gehäusepads auf einfachste Weise zu vergleichen und zu bewerten.

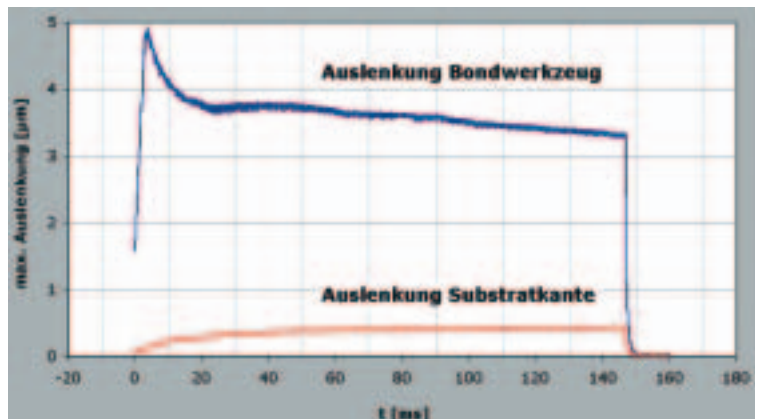


Bild 3: Schwingungsverläufe während des Bondprozesses

Zusätzlich bietet sich der Einsatz von mehrkanaligen bzw. scannenden Laservibrometern an, da neben dem Mitschwingen in der Hauptrichtung der Ultraschall-Einleitung auch die Schwingungen in den anderen beiden Raumachsen wichtige Informationen über den Bondprozess enthalten können. Ein weiteres Signal wird am Bondautomaten direkt am elektrisch-mechanischen Wandler (Transducer) für das Ultraschall-Signal gemessen und ermöglicht die Bestimmung der kompletten Übertragungsfunktion.

Fazit und Ausblick

Das Schwingungsverhalten von Kunststoff/Kupfer-Verbundgehäusen ist nicht der einzige Bereich, in dem Schwingungsmessungen wichtige Informationen über den Bondprozess liefern können. Ein weiteres Anwendungsgebiet beim Bonden ist beispielsweise die Qualifizierung von Klemmsystemen an Leadframes. Dabei handelt es sich um Bauteilhalterungen, bei denen eine große Anzahl von freiliegenden Kupfer-„Fingern“ durch einen Niederhalter sicher fixiert werden müssen. Auch die Bewertung von „weichen“ Klebern, die z. B. MEMS-Bauteile spannungsfrei halten sollen, aufgrund ihres flexiblen Charakters aber eben auch Schwingungen im μm -Bereich zulassen, kann mit Hilfe der Laservibrometrie auf eine quantitative Basis gestellt werden.

DER AUTOR

Dr.-Ing. Martin Schneider-Ramelow
Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration (IZM)
Telefon +49 (0) 30 46403 172
E-mail martin.schneiderramelow@izm.fraunhofer.de
www.izm.fhg.de



Defekte erkennen *mit nichtlinearer Laser*



Ein neues Verfahren zur zerstörungsfreien Bauteilprüfung mit nichtlinearer Akustik

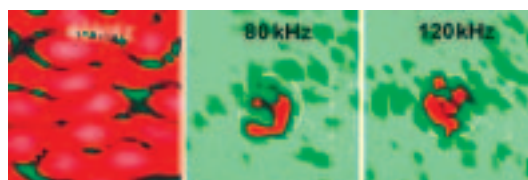
Die nichtlineare Laser-Vibrometrie ist ein neues selektives Verfahren zur Lokalisierung von Defekten in Festkörpern. Die Defekte bewirken eine mechanische Gleichrichtung der während der Prüfung angeregten elastischen Wellen, wodurch Höherharmonische als Messsignale verfügbar werden. Dies ermöglicht eine zuverlässige Kontrolle bei der Herstellung und Wartung von Bauteilen.



Bild 2:
Delamination
**in einer C-C/
SiC-Keramik:**
2. Harmonische
(Anregung
bei 20 kHz)

Einführung

Bei der herkömmlichen Schwingungsanalyse wird der Zustand eines Bauteils durch sein Antwortverhalten charakterisiert. Dies kann durch Klangprüfung oder Auswertung der Oberflächenschwingungen erfolgen, beispielsweise mittels Laser-Interferometrie. Defektbedingte Veränderungen der Resonanzen können in diesem Fall nur durch den Vergleich mit denen des intakten Bauteils erkannt werden. Die Eigenfrequenzen sind allerdings geometrieabhängig und eine gewisse Variationsbreite der Bauteilabmessungen ist produktionstechnisch unvermeidbar.



Eine unbedeutende Fertigungstoleranz und ein kritischer Schaden können so das gleiche Messergebnis hervorrufen.

Nichtlineare scannende Vibrometrie

Um die Nachteile dieses Standard-Verfahrens zu kompensieren, wurde eine defektselektive bildgebende Prüfmethode entwickelt: die Nichtlineare Vibrometrie. Hierbei wird ausgenutzt, dass die meisten praxisrelevanten Defekte Grenzflächen aufweisen, die bei einer Schwingungsanregung „klappern“ oder reiben. Dieses Verhalten kann man sich als mechanisches Gleichrichten einer Schwingung vorstellen, wobei beispielsweise nur Druck-, aber keine Zugkräfte übertragen werden.

Bild 3:
Höherharmonische (Anregungsfrequenz 40 kHz)
an einem künstlichen Defekt: Delamination in
Kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff (CFK)

-Vibrometrie

Dabei handelt es sich um ein lokal nichtlineares, also geometrieunabhängiges Schwingungsverhalten. Dies führt zur lokalen Entstehung Höherharmonischer der Anregungsfrequenz (Bild 1). Da nur der Defekt ein Messsignal (Höherharmonische) liefert, kann der Bauteilfehler auch bildgebend ermittelt werden.

Zur monofrequenten Anregung der Bauteilschwingung haben sich mechanisch angekoppelte Leistungs-Ultraschall-Konverter bewährt. Die bildgebende Darstellung und Lokalisierung der Defektstellen erfolgt mit einem scannenden Laser-Doppler-Vibrometer PSV-300-S, das eine hohe laterale Ortsauflösung und kurze Messzeiten mit hoher Genauigkeit ermöglicht.

Oftmals zeigen erst Harmonische höherer Ordnung einen befriedigenden Kontrast. Mit dem scannenden Laser-Doppler-Vibrometer sind Frequenzen bis 1 MHz erfassbar, sodass bei einer Anregungsfrequenz von 20 kHz bis zur 50. Harmonischen detektiert werden kann. Einige Beispiele für die Erkennung praxisrelevanter Schäden (z.B. Enthaftungen und Risse) in verschiedenen Werkstoffen zeigen Bild 2 – 4.

Fazit

Mit der nichtlinearen Laser-Vibrometrie wurde ein zerstörungsfreies Prüfverfahren entwickelt, das die Höherharmonischen, die durch mechanische Gleichrichtung in Defekten entstehen, zu deren Lokalisierung nutzt. Dieses neue defektselektive Verfahren ermöglicht daher eine zuverlässige Herstellungskontrolle und Wartung verschiedener Strukturen.

Die elastischen Eigenschaften von Defekten führen zu einer neuen Gruppe nichtlinearer Phänomene: Subharmonische, Instabilitäten, Hysterese, Selbst-Modulation und dynamisches Chaos wurden bei der Interaktion elastischer Wellen mit Defekten beobachtet.

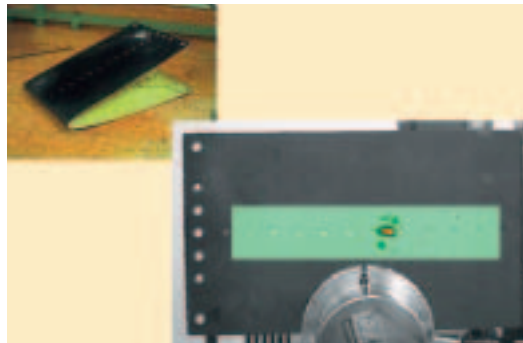


Bild 4:
Risserkennung in Aluminium:
4. Harmonische (Anregung bei 20 kHz)

Diese Effekte sind Gegenstand aktueller Forschungsarbeiten, die das Verständnis und die praktische Nutzung nichtlinearer Mechanismen verbessern.

Die Forschungsarbeit „Entwicklung defektselektiver Prüfverfahren für die Qualitätsüberwachung sicherheitsrelevanter Bauteile“ wurde vom Land Baden-Württemberg im Forschungsschwerpunktsprogramm gefördert.

DIE AUTOREN · KONTAKT

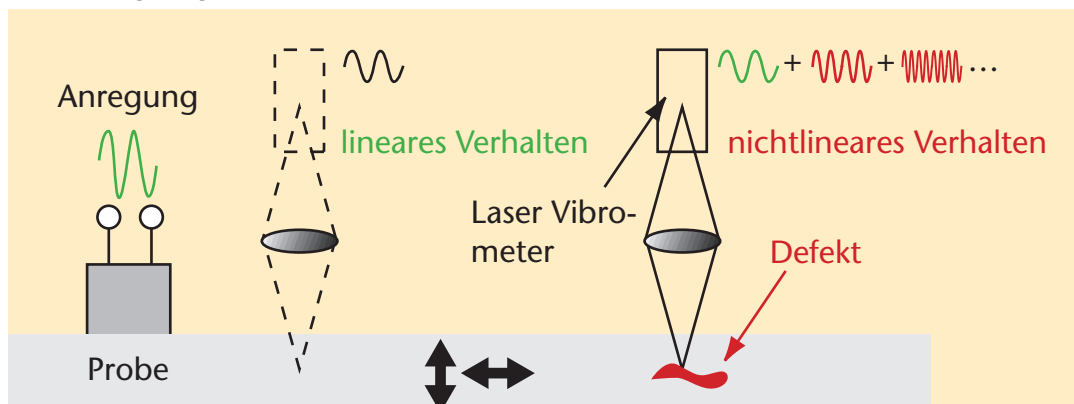
Dipl.-Ing. Klaus Pfeleiderer
Dr. Nils Krohn, Prof. Dr. Igor Solodov,
Prof. Dr. Gerd Busse

Institut für Kunststoffprüfung
und Kunststoffkunde
Zerstörungsfreie Prüfung IKP-ZFP
Universität Stuttgart

Telefon +49 (0) 711 685 2669
E-mail pfeleiderer@ikp.uni-stuttgart.de
www.zfp.uni-stuttgart.de



Bild 1: Messprinzip der nichtlinearen Laser-Vibrometrie



Treffpunkte weltweit



Polytec ist präsent – unsere Kunden finden uns weltweit auf den renommierten Messen für optische Technologien und Messtechnik. Regionale Seminare und User Meetings geben allen Anwendern von Polytec Vibrometern Gelegenheit, ihre Erfahrungen auszutauschen und ihr Fachwissen zu erweitern – und wir lernen aus erster Hand die anspruchsvollen Messaufgaben unserer Kunden kennen.

Erste Pressekonferenz in Waldbronn

»Wir kommen gerne wieder!«

Am 1. und 2. Dezember 2003 öffnete Polytec für die Top-Journalisten aus den Bereichen Sensorik und Automobil die Pforten.

Der Geschäftsbereich Lasermesssysteme stellte seine neuen Produkte einem sehr interessierten Publikum vor. Auftakt zur Konferenz bildete ein gemeinsames get-together-Dinner auf dem „Durlacher Turmberg“.

Am Dienstag folgten neben Vorträgen und der obligatorischen Fragerunde jede Menge Live-Demonstrationen.

Ein zweiter Höhepunkt war die offizielle Bekanntgabe der strategischen Allianz zwischen den Firmen Polytec und Ometron Ltd. durch unseren Geschäftsführer Dr. Helmut Selbach.

Das Fazit der gesamten Presse-Aktion lässt sich in einem Zitat von Herbert Neumann (Chefredakteur Konradin-Verlag) zusammenfassen: „Eine solche Aktion von Polytec war längst überfällig. Wir kommen gerne wieder.“

LASER 2003 in München

Alle zwei Jahre ist München das Mekka der Laserwelt.

Die Fachmesse LASER ist mit ihren begleitenden Veranstaltungen das wichtigste Messe-Event in der Welt der optischen Technologien. Als Schaufenster für Produktneuheiten, als Kommunikationsplattform für Hersteller, Lieferanten und Anwender, als Barometer für das wirtschaftliche Klima in der Branche und als Kompass für die Richtung der technologischen Weiterentwicklung besitzt die LASER in der internationalen Fachwelt einen herausragenden Stellenwert.

Getreu dem Leitspruch *Advancing Measurements by Light* präsentierte dort Polytec vom 23. – 27. Juni 2003 auf zwei Messeständen mit insgesamt über 200 m² thematisch klar gegliedert das breitbandige Produktspektrum des Unternehmens rund um Licht, seine Erzeugung, Verarbeitung und Anwendung in innovativer Messtechnik.

Klares Highlight des Geschäftsbereichs Lasermesssysteme war die Vorstellung des neuen, modularen High-End Vibrometer Systems zur berührungslosen Schwingungsmessung.

Viele anregende Gespräche mit Interessenten und Anwendern unserer berührungslosen optischen Messtechnik brachten wichtige Impulse für die Weiterentwicklung der Polytec Technologie. Denn die Anforderungen der Kunden sind für uns der Wegweiser zu neuen und stetig weiter verbesserten Produkten.





Vibrometer User Meeting October 2003 in Ypsilanti, Michigan

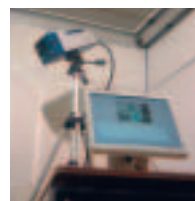
Das 2003 Vibrometer User Meeting Ende Oktober in Ypsilanti wurde von mehr als 70 Anwendern der Polytec Vibrometer genutzt. Trotz unmittelbarer Nähe der Autostadt Detroit war auf der Veranstaltung die ganze Vielfalt der Vibrometer-Applikationen vertreten. Die Bandbreite der Präsentationen erstreckte sich von der Anwendung der Laservibrometrie im Verbund mit akustischen Messungen zur Risserkennung in Bauteilen für die Luft- und Raumfahrt, bis zum Online-Auswuchten von Antriebssträngen. Ein Psychiatrie-Professor stellte sogar eine faszinierende Methode vor, um Stress und Emotionen mittels Laservibrometrie zu messen!

Viele positive Rückmeldungen gab es bei der Vorführung des PSV-400 Prototyps und den Diskussionen über zukünftige Funktionen der PSV Software. Das gleiche galt für den neuen OFV-5000 Controller und den OFV-505 Messkopf. Viel gelobt wurde die Autofocus-Funktion und die hohe Auflösung, die durch die digitale Demodulation erreicht wird.

Wichtige Ereignisse des Tages waren die Podiumsdiskussion und die Anwender-Umfrage. Beide Aktionen gaben unseren Kunden die Möglichkeit, uns ihre Meinung zur Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit unserer Geräte, zur Applikationsunterstützung und zum Kundenservice mitzuteilen. Natürlich werden wir diese wertvollen Rückmeldungen zum Anlass nehmen, gezielt neue Schritte zu machen.

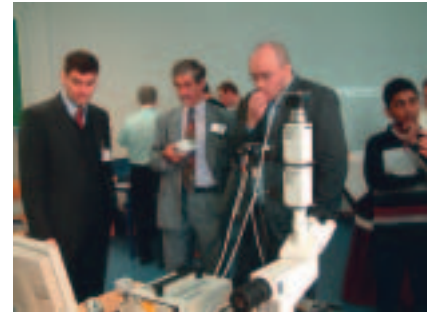
Ein großer Gewinn der Veranstaltung lag darin, dass nicht nur die Polytec Mitarbeiter, sondern auch die Anwender Hilfe und Beratung anboten. Es gab eine lebhaft Diskussion über Möglichkeiten, die Messungen zu optimieren, dazu auch Tipps und Tricks für schwierige und anspruchsvolle Messaufgaben.

Besonders freut uns, dass wir viele positive Kommentare zu Form und Inhalt des User Meetings bekommen haben.



MeasComp 2003 in Wiesbaden

Die Meascomp ist eine führende Messe für Messtechnik in Forschung, Entwicklung und Produktion, die jährlich etwa 250 Aussteller und sehr viele Besucher anzieht. Am Polytec-Messestand konnte das fachkundige Publikum die innovativen Neuentwicklungen testen. Zeichen setzte hierbei die digitale Signalverarbeitung des neuen IVS-300 Industrial Vibrometer Sensors und die brandneue 5000er Vibrometer Controller Serie. Ganz besonderes Interesse bei unseren Besuchern erweckte natürlich die weltweit erste Präsentation unseres PSV-400.



Erstes Anwendertreffen in Brüssel:

»Ein voller Erfolg«

Über 40 Teilnehmer aus europäischen Hochschulen und Unternehmen trafen sich im Oktober 2003 im nagelneuen Komplex der Freien Universität Brüssel zum ersten Polytec Benelux Anwendertreffen mit Workshop. Die Veranstaltungsleitung lag in den Händen von „K.Peeraer bvba“, dem Polytec-Alleinvertreter für Benelux, sowie dem Ingenieurdienstleister TechPro Engineering. Gastgeber war die Fakultät für Angewandte Wissenschaften (Forschungsgruppe Akustik und Schwingungen). Die zweitägige Veranstaltung bot allen Teilnehmern die willkommene Gelegenheit, die neuesten Polytec Geräte kennen zu lernen, und war gleichzeitig ein Forum für Präsentationen durch Polytec und Techpro Mitarbeiter und Anwender von Polytec Vibrometern.

Das Themenangebot umfasste neue Technologien in der Laservibrometrie, neu entwickelte Verfahren zur Signalverarbeitung und vielfältige Industrieanwendungen. Unter anderem ging es um den Einsatz von Vibrometern bei der Charakterisierung, Entwicklung und Qualitätsprüfung von Bildröhren und kleinen Lautsprechern, die mechanische Modellierung von Schweißmaschinen und die dynamische mechanische Charakterisierung von MEMS.

Messen und Events



Geschäftsbereich Lasermesssysteme

Nationale Termine

03. 03. – 04. 03. 2004	Messtechnik	Stuttgart	www.messweb.de/stuttgart
10. 03. – 11. 03. 2004	LMS User Conference	München	lmsconference.lmsintl.com
12. 03. – 19. 03. 2004	Polytec Roadshow	Waldbronn, Köln, Braunschweig, Chemnitz, München	www.polytec.de
29. 03. – 02. 04. 2004	Tube	Düsseldorf	www.messe-duesseldorf.de/ tube2004
30. 03. – 01. 04. 2004	Aerospace Testing Expo	Hamburg	www.aerospacetesting-expo.com
20. 04. – 22. 04. 2004	SEMICON Europa	München	events.semi.org/semiconeuropa
11. 05. – 14. 05. 2004	Control	Sinsheim	www.schall-messen.de/_s/control
25. 05. – 26. 05. 2004	VDI-Schwingungstagung	Wiesloch	www.vdi.de/vdi/tsv
25. 05. – 27. 05. 2004	Automotive Testing Expo Europe	Stuttgart	www.testing-expo.com
22. 09. – 24. 09. 2004	ALUMINIUM 2004	Essen	www.aluminium-messe.com
28. 09. – 30. 09. 2004	MeasComp 2004	Wiesbaden	www.meascomp.com
04. 10. – 06. 10. 2004	13. Aachener Kolloquium	Aachen	www.rwth-aachen.de/ ac-kolloquium
27. 10. – 28. 10. 2004	Polytec Vibrometerseminar	Waldbronn	www.polytec.de

Internationale Termine

07. 03. – 11. 03. 2004	Nanotech 2004	Boston, Massachusetts, USA	www.nanotech2004.com
22. 03. – 25. 03. 2004	CFA/DAGA 30. Deutsche Jahrestagung für Akustik	Straßburg, Frankreich	www.cfadaga04.org
21. 06. – 25. 06. 2004	AIVELA	Ancona, Italien	www.aivela.org
14. 09. – 16. 09. 2004	Nanofair	St. Gallen, Schweiz	www.nanofair.ch
14. 09. – 17. 09. 2004	BIAS 2004	Milano, Italien	www.milanoenergia.it/ personal/bias_eng
20. 09. – 22. 09. 2004	ISMA 2004	Leuven, Belgien	www.isma-isaac.be

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