

InFocus

Magazin für Optische Messsysteme von Polytec

Berührungsfrei

Zustandsüberwachung
an Windkraftanlagen
mit Laservibrometern

Seite 6

Langlebig

Strukturmechanik und
Lebensdauer
von Solarmodulen

Seite 15

Effizient

über 3000 km mit
einem Liter Treibstoff –
der Eco-Marathon
Klassensieger

Seite 8

Energieautark

Kleine Sensoren
holen sich ihre Energie
aus der Umwelt

Seite 16

Optische Messtechnik
für neue Energien



Dr. Helmut Selbach



Eric Winkler

Liebe Leserin, lieber Leser,

der Markt für erneuerbare Energien wächst sehr stark. In Wasserkraft, Wind-, Geo- und Solarenergie liegt ein sehr hohes Potenzial, das angesichts knapper Ressourcen mit Nachdruck ausgebaut und genutzt wird.

Dazu werden innovative Techniken und Materialien, aber auch moderne Konstruktions- und Prüfwerkzeuge benötigt.

In dieser Ausgabe finden Sie interessante Anwendungen unserer optischen Messsysteme bei der Energiegewinnung und -einsparung. Windenergieanlagen zum Beispiel sind im Betrieb oft starken Schwingungen ausgesetzt. Nur eine regelmäßige Zustandsüberwachung, bei der auch Laservibrometer verwendet werden (Seite 6), garantiert eine hohe Betriebssicherheit und Lebensdauer. Ähnliches gilt für neue, energiesparende Fahrzeugkonzepte – auf Seite 8 stellen wir Ihnen einen Klassensieger des Shell Eco-Marathon 2008 vor. Für Materialprüfungen an Solarpanels bieten wir eine ganze Reihe von Messverfahren an (Seite 15). Schließlich können auch kleinste Systeme Energie aus der Umwelt gewinnen – sogenannte Energy Harvesting Devices (Seite 16).

Generell werden unsere Laservibrometer, Velocimeter und Topographie-Messsysteme in der Fahrzeug- und Flugzeugentwicklung, in der Fertigung und auch in der IT- und Mikrosystemtechnik eingesetzt. In diesem Heft finden Sie dazu noch mehr spannende Berichte, außerdem aktuelle Polytec-News und alles über unsere neuen Entwicklungen und Veranstaltungsangebote.

Viel Freude beim Lesen!

Dr. Helmut Selbach
Geschäftsleitung
Polytec GmbH

Eric Winkler
Leiter des Geschäftsbereichs
Optische Messsysteme

Polytec News

Seite 3

Zustandsüberwachung an Windkraftanlagen

Seite 6

Erfolgsrezepte für energiesparende Fahrzeuge – der Klassensieger beim Shell Eco-Marathon 2008

Seite 8

Komfortverbesserung an Motorrädern durch Messung von Drehungleichförmig- keiten

Seite 10

Laser-Ultraschall zur Charakterisierung von Werkstoffeigenschaften

Seite 12

Berührungsfreie Charakterisierung von Solarmodulen

Seite 15

Charakterisierung der In-Plane-Bewegung in Energy Harvesting-Mikrosystemen

Seite 16

Kalibrierung von Beschleunigungssensoren bis 750.000 m/s² mit Laserpräzision

Seite 18

Spiegelhalter für optische Scanner exakt plan gefertigt mithilfe des TopMap Oberflächenmesssystems

Seite 20

Messung der 3D-Topographie von Sensoren in Mikrosystemtechnik

Seite 22

Messung von Nano-Defekten auf Festplattenoberflächen

Seite 24

Zuschnittsteuerung mit Laser Surface Velocimetern in der Rohrproduktion

Seite 26

Produktneuheiten

Seite 27

Events

Seite 28

Neues aus der weltweiten Polytec-Organisation



Über 50 Polytec-Mitarbeiter und -Vertreter aus allen Niederlassungen und Regionen trafen sich im Sommer wieder in der Polytec-Zentrale in Waldbronn zum Erfahrungsaustausch und zur gemeinsamen Ausrichtung auf neue Produkte, Märkte und Ziele.

Polytec Ltd., die neue englische Niederlassung von Polytec, hat ihre Büros in Harpenden in der Nähe von London und gehörte bisher zu Lambda Photometrics, die nach wie vor die Photonik-Produkte von Polytec vertreibt.

Als neue, eigenständige Polytec-Tochter betreut Polytec Ltd. alle Kunden und Anwender von Vibrometern, Surface Velocimetern und Spektraler Messtechnik in Großbritannien und Irland.

Darüber hinaus werden nun auch die Top-Map Weißlicht-Interferometer von Polytec für Oberflächenmessungen in der Forschung und industriellen Fertigungskontrolle angeboten, inklusive entsprechender Messdienstleistungen.

www.polytec-ltd.co.uk

Polytec Inc., unsere US-Niederlassung, baut ihre regionale Präsenz mit einem vierten Büro in Austin (Texas) weiter aus, zusätzlich zum Hauptbüro in Tustin (Kalifornien) und den beiden Stützpunkten in Detroit und Hopkinton.

Polytec France S.A.S., unsere neue französische Niederlassung in Paris, verstärkt ihre Vertriebsorganisation mit einem weiteren Büro in Lyon.

Polytec fördert neue Forschungseinrichtung

Der neue Vehicle-in-the-loop-Prüfstand des IPEK – Institut für Produktentwicklung der Universität Karlsruhe – wurde im April mit interessanten Vorführungen und Präsentationen für über 60 Gäste aus Industrie und Forschung offiziell eingeweiht. Eine wichtige Komponente der Prüfeinrichtung ist das PSV-400-3D Scanning Vibrometer zur berührungslosen und rückwirkungsfreien Erfassung dreidimensionaler Schwingungsdaten komplexer Strukturen. Polytec unterstützt die Arbeit der Forschungsgruppe mit einem kostenlosen Wartungsvertrag und mehreren Lizenzen der PSV Auswerte- und Analysesoftware. www.ipek.uni-karlsruhe.de



Polytec-Geschäftsbereichsleiter Eric Winkler und IPEK-Institutsleiter Prof. Dr.-Ing. Albers

Polytec Vertreter des Jahres 2008



Josef Wirthmüller



Arend von der Lieth

Josef Wirthmüller ist seit April weltweit für den Polytec-Kundenservice verantwortlich, der die Anwender unserer Messtechnik mit Beratungs-, Reparatur- und Kalibrationsdienstleistungen unterstützt. Er ist der Nachfolger von **Arend von der Lieth**, der eine neue Position als Polytec-Applikationsleiter für die USA angenommen hat und nach Detroit umgezogen ist.



Unsere österreichische Vertretung LB acoustics erhielt dieses Jahr die Auszeichnung „Vertreter des Jahres“, gefolgt von HYSEN (Korea) und BPS (Italien).

Helmuth Ryback, der Geschäftsführer von LB acoustics (Bild), nahm den Preis entgegen, mit dem unsere hohe Anerkennung für herausragende Vertriebs- und Marketingaktivitäten u. a. auch im osteuropäischen Raum verbunden ist.

Unsere ständig wachsende Liste lokaler Handelsvertreter hat sich um Mercury Kountouras von SYSMA Environmental and Architectural Acoustics in Thessaloniki vergrößert, den wir an dieser Stelle herzlich begrüßen. Detaillierte Kontaktinformationen aller aktuellen und neuen Vertriebspartner finden Sie auf unserer Homepage unter www.polytec.de/contact

Polytec News

**RoboVib Structural Test Station:
Große Resonanz bei den Autoherstellern**



Während die erste Installation der neuen vollautomatischen RoboVib Structural Test Station bei einem japanischen Kunden bereits erfolgreich in Betrieb genommen wurde, sorgten Polytec und KUKA Robotics mit einem gemeinsamen Stand auf der Automotive Engineering Exposition im Mai in Yokohama für großes Aufsehen.

Sehr viele Besucher verfolgten aufmerksam, wie das Exponat, ein PSV-400-3D Scanning Vibrometer mit einem KUKA KR-60 Industrieroboter, mit vollautomatischen 3D-Schwingungsmessungen an einem

Getriebegehäuse die Vorteile dieser Technologie demonstrierte. Während der dreitägigen Veranstaltung gingen zahlreiche Anfragen nach Beratung, Information und konkreten Angeboten bei Polytec ein. Auch auf der Automotive Testing Expo in Stuttgart, der europäischen Leitmesse für Test- und Prüftechnik in der Automobilindustrie, war die RoboVib Structural Test Station zusammen mit dem Energiespar-Rekordfahrzeug „Schluckspecht“ ein vielbestauntes Highlight (→ S. 8).

www.polytec.com/robovib

Polytec Disc & Drive Measurement Solutions unter den Gewinnern des Nano 50™ Award 2008

Nanotech Briefs, ein Web-Portal und Newsletterdienst von den Herausgebern der NASA Tech Briefs, hat die 50 Preisträger ihres vierten Nano 50™-Wettbewerbs bekanntgegeben. Ausgezeichnet wurden Innovationen, Personen und Produkte für herausragende Leistungen beim Transfer von Nanotechnologien in die entsprechenden Schlüsselmärkte. Zu den diesjährigen Gewinnern gehört der Model 42000 Scanner zur Erkennung von Nano-Defekten, der

auf einem faseroptischen Vibrometer von Polytec basiert. Der Scanner kann Nano-Rauheiten und Strukturen auf Festplatten messen und damit zur Verbesserung der Datenqualität und -kapazität beitragen. Der Preis geht ausschließlich an Kandidaten, die Nanotechnologien in serienreifen oder seriennahen Anwendungen verwenden oder fördern.

www.nanotechbriefs.com



Neues Polytec-Tochterunternehmen

Als Marktführer für berührungslose, laserbasierte Schwingungsmesstechnik beliefert Polytec neben der Auto-



mobilmobil-, Luftfahrt- und Halbleiterindustrie sowie Medizin- und Ultraschalltechnik auch die Hersteller von Speichermedien. Im September wurde deshalb Thôt Technologies, ein wichtiger Lieferant von Prüfstationen für die Festplattenindustrie, übernommen.

Mit der Eingliederung eines langjährig erfahrenen, hochqualifizierten Entwicklerteams kann die neugegründete Tochter Polytec LLC den Festplattenherstellern Komplettlösungen für die Messung kritischer Oberflächenparameter und -fehlstellen zur Verfügung stellen, auch für die neuen Medien mit PMR-Technologie und hoher Speicherdichte.

Die Führung des neuen Unternehmens liegt beim Leiter der Polytec US-Niederlassung, Michael Frech (Bild), in Zusammenarbeit mit Phil Maher (vormals Thôt) als Verantwortlichem für das operative Geschäft. Firmensitz ist die Polytec-Zentrale in Tustin (Südkalifornien), während die Entwicklungseinrichtungen in Campbell (Nordkalifornien) verbleiben, in der Nähe der großen Festplattenhersteller wie beispielsweise Seagate, Hitachi GST, Western Digital oder Samsung.

Den Anwendern bietet Polytec LLC eine umfassende Serviceunterstützung und technische Beratung in der gewohnt hohen Qualität.

www.polytec-LLC.com

Wissen, woher der Wind weht

Einsatz von Laservibrometern zur berührungsfreien Schwingungsdiagnostik an Windkraftanlagen

Die Auslegung von Windkraftanlagen (WKA) muss hohen Anforderungen an die mechanischen Eigenschaften der Komponenten genügen. Im Betrieb werden durch die Windeinwirkung Schwingungen angeregt, die bei größeren Anlagen zu Auslenkungen des Turms und der Rotorblätter bis zu 1 m führen können, bei typischen Eigenfrequenzen von einigen Hz.

Die Motivation, diese Schwingungen im Betrieb zu messen, besteht einerseits darin, die bei der Konstruktion eingesetzten Simulationsmodelle zu prüfen und zu optimieren, andererseits einen fehlerfreien Betrieb sicherzustellen, indem Materialbelastungen und -ermüdungen rechtzeitig erkannt werden. Eine solche vorbeugende Instandhaltung (Condition Monitoring) wird oft mithilfe von Sensoren durchgeführt, die an verschiedenen Stellen des Triebstrangs platziert werden und beispielsweise Auf-

schluss über Lagerschäden in der Kraftübertragung geben können. Auf den Rotorblättern ist die Messung von Schwingungen mit kontaktierenden Sensoren, vor allem während des Betriebs, nur über aufwendige Telemetriesysteme möglich. Optische Messverfahren, wie beispielsweise die Laservibrometrie, sind berührungsfrei und bieten außerdem den Vorteil, dass aus großen Abständen und im Idealfall ohne Präparation des Messpunkts gemessen werden kann.

In der vorliegenden Untersuchung sollte daher im Rahmen eines Projekts zur Erforschung sensorgestützter Betriebsüberwachungssysteme die Eignung von Laservibrometern zur berührungsfreien Schwingungs-Ferndiagnostik an Windkraftanlagen geprüft werden. Das Forschungsnetzwerk CEwind, in dem die Aktivitäten einer ganzen Reihe von Hochschulen gebündelt werden, verfolgt mit solchen wissenschaftlichen Arbeiten das Ziel, grundlegende Fragestellungen zukünftiger Windenergieanlagen, Windenergieparks und der dazugehörigen Infrastruktur zu bearbeiten.

Experimenteller Aufbau und Fragestellung

Bei der hier untersuchten Windkraftanlage handelt es sich um eine E-30 des Herstellers Enercon mit einer Nennleistung von 300 kW und einer Nabenhöhe von 50 m. Verschiedene Vibrometersysteme standen für die Messungen am Turmschaft, an der Nabe und an den Rotorblättern aus großem Abstand zur Verfügung (Bild 1).

Im Experiment sollten neben den Eigenfrequenzen das Signal-Rausch-Verhältnis sowie Übertragungsfunktionen für unpräparierte bzw. mit Reflexfolie präparierte Oberflächen bestimmt werden. Ein Rotorflügel sowie die Nabe wurden dazu im Vorfeld an definierten Stellen mit Reflexfolie beklebt (Bild 2).

Für Detail- und Referenzmessungen stand ein OFV-505 Einpunkt-Vibrometer bereit, der dazugehörige OFV-5000 Vibrometer Controller war mit einem hochauflösenden digitalen VD-09 Geschwindigkeitsdecoder ausgerüstet. Weitere Messpunkte wurden mit einem PSV-400 Scanning Vibrometer erfasst. Die Scannerspiegel ermöglichten dabei ein bequemes Anfahren der Messorte und mithilfe des integrierten Geometrie-Scanners konnten die Koordinaten automatisch bestimmt werden.

Ergebnisse

Die präparierten Oberflächen gewährleisteten auch bei großen Messabständen ein exzellentes Signal-Rauschverhältnis, so dass Messungen selbst bei Entfernungen bis 90 m leicht realisierbar sind. Die ersten Eigenfrequenzen liegen bei 0,47 Hz für den Turm und bei 1,85 Hz für das Rotorblatt. Ohne Mittelung lassen sich noch Oberfrequenzen bis ca. 50 Hz bestimmen.



Bild 1: Messgerätepark



Bild 2: Laserpunkte auf den Reflexfolien am Rotorblatt

Auf den nicht präparierten Flächen sind gute Messungen ebenfalls möglich, wenn dazu der OFV-505 Messkopf in Verbindung mit einer SLR Super Long Range Linse verwendet und die Messwerte mit einem Tiefpassfilter auf <5 Hz eingeschränkt werden (Bild 3). Um den Messfleck ohne Reflexfolie aus der Entfernung finden und verfolgen zu können, empfehlen sich optische Hilfsmittel, beispielsweise ein Fernrohr mit optischem Schmalbandfilter (Bild 4).

Zur Bestimmung der Übertragungsfunktionen (Bild 5) wurden Messungen mit mehreren Vibrometern zeitgleich sowohl an einer ortsfesten Referenzposition als auch auf variablen Punkten auf dem Rotorblatt durchgeführt. Die Messungen ergeben Rauschpegel bei 4 mHz Auflösung von $1 \mu\text{m/s}$ für das Geschwindigkeitssignal bzw. $0,1 \mu\text{m}$ für das Wegsignal, sowie Wegamplituden bis 8 mm, bei einer Windstärke von 3 – 4 während der Messung.

Erste Versuche, auch im Betriebszustand bei drehendem Rotor zu messen, verliefen ebenfalls positiv. Die Schwingungen überlagern sich dabei mit der infolge der Rotor-

drehung auftretenden Periodizität zu einem komplexen Zeitsignal (Bild 6, oben). Nach einer Fast Fourier-Transformation (FFT) des Signals und Anwendung eines Tiefpassfilters ist dennoch die erste Eigenfrequenz des Turms bei 0,47 Hz klar zu erkennen (Bild 6, unten). Um auch das Rotorblatt im Betriebszustand erfassen zu können, müsste mehr in Nabennähe gemessen werden. Dort ist das Tastverhältnis für die Verweildauer des Laserspots auf dem Rotorblatt günstiger. Mithilfe einer zeitaufgelösten FFT könnten dann Turm- und Rotorschwingungen voneinander getrennt werden.

Zusammenfassung und Ausblick

Laservibrometer sind ein leistungsfähiges Werkzeug zur berührungsfreien Schwingungsdiagnostik auch über größere Entfernungen, beispielsweise an Windkraftanlagen. Die Messungen sind bequem vom Boden aus möglich, bei entsprechender Ausrüstung der Messtechnik und geeigneten Messanordnungen auch ohne das Anbringen von Reflexfolien und während des laufenden Betriebs.



Bild 4: OFV-505 Messkopf mit SLR-Linse (Brennweite 200 mm) und Fernrohr

Mehr Info · Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Ernst Reimers
Dipl.-Ing. Harald Wiegers
Institut für Werkstoffe und Konstruktion
Fachhochschule Flensburg
24943 Flensburg
Ernst.Reimers@fh-flensburg.de
Harald.Wiegers@fh-flensburg.de

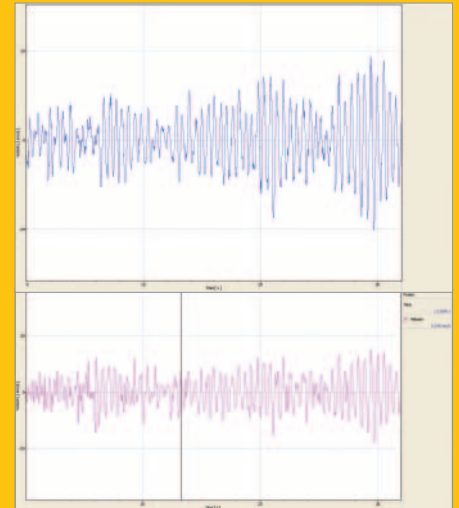


Bild 3: Zeitverlauf der Schwinggeschwindigkeit am Rotorblatt; oben: PSV-400 mit Reflexfolie; unten: OFV-505 ohne Reflexfolie, mit SLR-Linse, nach Tiefpass-Filterung (5 Hz)

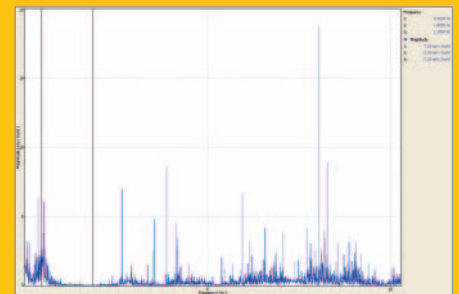


Bild 5: Übertragungsfunktion

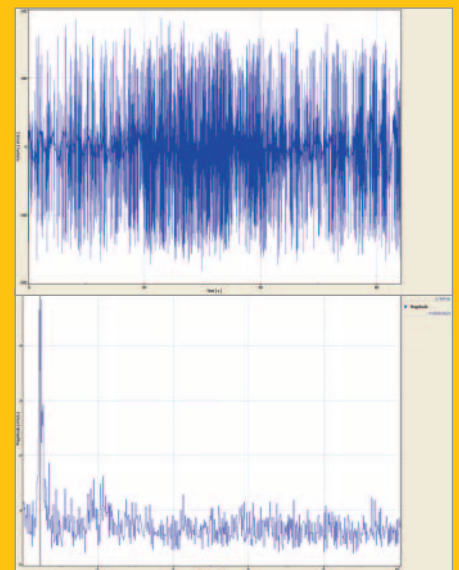


Bild 6: Messung im Betriebszustand, Zeitsignal (oben) und Frequenzspektrum nach FFT und Tiefpass-Filterung (unten)

Wie weit kommt man mit einem Liter Benzin? Diese Frage ist angesichts weltweit dramatisch gestiegener Treibstoffpreise aktueller denn je. Eine Gruppe von Studenten der Fachhochschule Offenburg, rund um Teamchef Prof. Dr. Ulrich Hochberg, entwickelt seit zehn Jahren bereits mehrere Generationen eines Energiesparfahrzeugs, das den vielsagenden Titel „Schluckspecht“ trägt: Beim Shell Eco-Marathon im Mai 2008 erzielte es den 1. Platz in der Kategorie Brennstoffzellenfahrzeuge und den 2. Platz der Gesamtwertung und durchbrach gleichzeitig die bisherige Grenze von 3000 Kilometer Reichweite je Liter.



Lizenz zum Sparen

3198 km mit einem Liter Treibstoff und Technologie von morgen

Erfolgsrezepte für energiesparende Fahrzeuge

Das Erfolgsrezept: sparsamer, innovativer Antrieb, geringes Gewicht, niedriger Luftwiderstand, ökonomische Fahrweise. Der Schluckspecht ist zwar ein reines Experimentalfahrzeug, aber diese Sparmaßnahmen gelten natürlich genauso für ein umweltfreundliches Auto aus der Serie. Insofern sind die für den Schluckspecht entwickelten Konzepte und Ideen auch für die Automobilindustrie von hohem Interesse.

In der Entwicklung des neuesten Prototyps steckt eine Menge Know-how. Eine Brennstoffzelle treibt über den an der Hochschule selbst entwickelten Radnabenmotor mit 1,2 kW Leistung das Hinterrad an und sorgt für Geschwindigkeiten bis knapp 50 km/h.

Die selbsttragende Karosserie des Schluckspechts ist nur 25 kg leicht und wurde aus kohlefaserverstärktem Kunststoff model-

liert. Sie weist eine hervorragende Aerodynamik mit einem Luftwiderstandsbeiwert (c_w) von 0,17 für das gesamte Fahrzeug auf, der mit einem Simulationsprogramm (ANSYS CFX) vorausberechnet und im Windkanal der Hochschule Offenburg bestätigt wurde.

Weiterhin von Interesse ist die Strukturdynamik der Karosserie. Zur Bewertung ihrer mechanischen Eigenschaften, beispielsweise wie sie auf das Gewicht des Fahrers oder dynamische Einflüsse während der Fahrt reagiert, kann sowohl auf Simulationen als auch, wie nachstehend ausgeführt, auf experimentelle Tests zurückgegriffen werden.

Messung von Karoserieschwingungen

Eine sehr elegante Möglichkeit, das Resonanzverhalten des Fahrzeugs zu prüfen, ist die Laservibrometrie als berührungsloses Messverfahren. Die Schluckspecht-Konstrukteure nutzten die Gelegenheit, eine solche Messung bei Polytec durchzuführen.

Auf der Automotive Testing Expo im Mai, der europäischen Leitmesse für Test- und Prüftechnik in der Automobilindustrie, war der Messaufbau mit dem Schluckspecht ein vielbestauntes Exponat, zusammen mit der neuen RoboVib Structural Test Station von Polytec (Bild 1).



Bild 1: Polytec-Stand auf der Automotive Testing Expo Europe



Bild 4: Phasen der Karosserieschwingung bei 120 Hz

geregt, und die eingeleitete Kraft wurde über eine Kraftmesszelle als Referenzsignal erfasst. Die Messköpfe der RoboVib Structural Test Station wurden softwaregesteuert in verschiedene Positionen gefahren und anschließend die Schwingungsdaten der entsprechenden Messflächen zu einem Gesamtdatensatz kombiniert (Bild 3). Die Auswertung der Messungen am Schluckspecht zeigten, dass die Karosserie eine Eigenschwingung erster Ordnung entlang der Längsachse bei ca. 120 Hz aufweist (Bild 4). Daneben sind weitere Schwingungen, beispielsweise der Kabine, zu beobachten. Die dabei gemessenen Auslenkungen (Schwingwege) bewegen sich im Bereich nur weniger μm und die Beschleunigungen im Bereich einiger m/s^2 .

Schlussfolgerungen und Ausblick

Die beobachteten Eigenschwingungen der Karosserie liegen im akustischen Bereich. Solche Schwingungen könnten beispielsweise durch Vibrationen des Motors oder durch Fahrbahnnunebenheiten angeregt werden. Die im Test gemessenen Auslenkungen sind jedoch minimal. Mithilfe

genauerer Messungen und Berechnungen könnte man auch Elastizitätsparameter und die im Betrieb auftretenden Spannungen und Dehnungen der Karosserie bestimmen und so eine weitergehende Bewertung der dynamischen Stabilität treffen. Untersuchungen dieser Art sind vor allem für CAD-gefertigte Prototypen oder Vorserien sinnvoll und im Automobilbau durchaus üblich. Hier sind Polytec Laservibrometer bereits etablierte und bewährte Messwerkzeuge und bieten in Verbindung mit der automatischen RoboVib-Messtechnik ein hohes Potenzial, Messzeiten und Kosten weiter zu minimieren.

Mehr Info · Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Ulrich Hochberg
Fakultät für Maschinenbau
und Verfahrenstechnik
Hochschule Offenburg
77652 Offenburg
www.schluckspecht.net

Diese robotergesteuerte Messstation ermöglicht eine vollständig automatisierte Messung der Schwingungscharakteristik einer kompletten Karosserie (Bild 2).

Das Fahrzeug wurde dazu an der Unterseite durch einen elektrodynamischen Shaker breitbandig zu Schwingungen an-



Bild 2: Schwingungsmessungen am Schluckspecht mit der RoboVib Structural Test Station

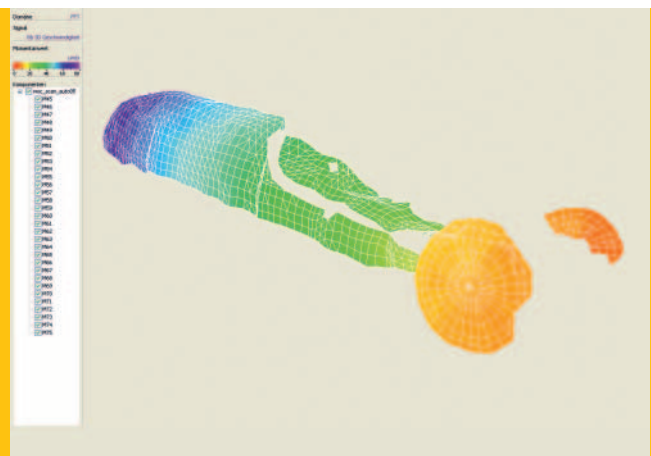


Bild 3: Gesamtdatensatz aller Messpunkte am Schluckspecht



Hochdrehende Motorradmotoren

Messtechnische Erfassung von Drehungleichförmigkeiten an einem Vierzylinder-Sportmotorrad

In Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren treten aufgrund des nichtkontinuierlichen Verbrennungsprozesses Drehungleichförmigkeiten der Kurbelwelle auf. Diese regen im Fahrbetrieb Bauteile des Antriebsstrangs zu Drehschwingungen an, was unerwünschte Geräusche und Vibrationen verursachen kann. Bei Motorrädern sind Motor und Antriebsstrang in der Regel nicht akustisch gekapselt, daher ist die Analyse der Schwachstellen im System bezüglich der auftretenden Vibrationen von hoher Priorität. Das Erfassen der bei Motorradmotoren induzierten Drehschwingungen kann direkt am Fahrzeug auf einem Rollenprüfstand erfolgen. Für den speziellen Fall hochdrehender Motorradmotoren ($>10.000 \text{ min}^{-1}$) wird hierzu das RLV-5500 Rotationsvibrometer von Polytec verwendet.

Einleitung

Die Entwicklung moderner, leistungsstarker Motorradmotoren zielt auf eine Optimierung hinsichtlich Wirkungsgrad und Leichtbau ab. Gleichzeitig besteht ein Kundenwunsch nach homogener Leistungsentfaltung und einem guten Komfortverhalten des des Antriebsstrangs. Das Ziel muss hierbei ein resonanz- und ruckfreier Antrieb sein. Die infolge von Drehungleichförmigkeiten, harten Last- und Gangwechseln sowie bei missbräuchlicher Nutzung auftretenden Belastungen machen dabei eine genaue Abstimmung der einzelnen Bauteile des Schwingensystems erforderlich. Mittels einer Dynamiksimulation werden die Feder- und Dämpfungselemente des Antriebsstrangs (Bild 1) entsprechend dem Fahrzeugtyp – von sportlich bis komfort-

betont – grundsätzlich ausgelegt. Da jedoch sehr vielfältige Einflüsse auf den Antrieb eines Motorrades einwirken, ist es unabdingbar, den gesamten Antriebsstrang im Versuch genauer zu analysieren. Dies geschieht zum einen durch Subjektivbeurteilungen im Fahrversuch, zum anderen durch Messungen am Prüfstand. Das Schwingverhalten des Gesamtantriebsstrangs kann mithilfe spezieller Drehschwingungs-Messaufbauten detailliert untersucht werden.

Experimenteller Aufbau

Die Analyse der Antriebsschwingungen am Fahrzeug auf einem Akustik-Rollenprüfstand bringt viele Vorteile, da hierbei neben den Drehschwingungen auch gleichzeitig die akustische Abstrahlung untersucht werden kann. Der Gesamtfahrzeugaufbau spiegelt sehr gut die realen Bedingungen wider,

da der Rollenprüfstand in idealer Weise reproduzierbare Fahrzustände für die verschiedenen Last- und Drehzahlbereiche ermöglicht.

Speziell angefertigte Messadapter, die auf dem jeweiligen Ende der Kurbel- und Getriebewellen drehfest angebracht und aus dem Kurbelgehäuse herausgeführt sind, bilden die vom Laser des Rotationsvibrometers (Bild 2) erfassbaren Messobjekte. Dazu wird das Vibrometer in entsprechendem Abstand aufgestellt (der Arbeitsbereich des RLV-5500 beträgt etwa 200 mm) und so ausgerichtet, dass die beiden austretenden Laserstrahlen senkrecht auf die Messwelle auftreffen sowie in einer Linie zur Drehrichtung fluchten (Bild 3, 4). Das Aufbringen einer diffus reflektierenden selbstklebenden Folie verbessert den Messsignal-

Rausch-Abstand und verringert somit Signalunstetigkeiten. Das Messprinzip der Laservibrometrie beruht auf der bekannten physikalischen Erscheinung des Dopplereffekts. Daher ist diese Messmethodik ein sehr effektives Messverfahren, welches berührungslos und somit rückwirkungsfrei arbeitet und außerdem unabhängig von der Materialbeschaffenheit und Betriebstemperatur einsetzbar ist. Mit dem aktuellen RLV-5500 Rotations-Laservibrometer sind auch hochdrehende Motorradmotoren bis zu Maximaldrehzahlen von deutlich über 10.000 min^{-1} einfach und mit hoher Auflösung dynamisch messbar.

Ergebnisse

Die Messungen an ersten Prototypen zeigen grundsätzlich eine sehr gute Korrelation mit den in der Simulation gewonnenen Ergebnissen. Im Rahmen von umfassenden Analysen und Versuchsfahrten treten jedoch in speziellen Fahrzuständen vereinzelt Phänomene auf, die von den Fahrern unter bestimmten Bedingungen als unkomfortable Schwingungen im Fahrzeug wahrgenommen werden. Solche Effekte sind oft in der Konstruktion und Simulation nicht vorhersehbar bzw. darstellbar und können erst durch eine gezielte Untersuchung der Drehschwingungen im Antriebsstrang erkannt und zugeordnet werden (Bilder 5 – 7). Mittels sorgfältig abgestimmter Variationen des Federpaketes des Kupplungs-Torsionsdämpfers (Bild 8), einer

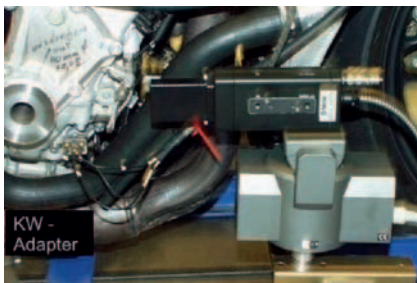


Bild 3: Messung von Drehschwingungen an der Kurbelwelle mit dem RLV-5500

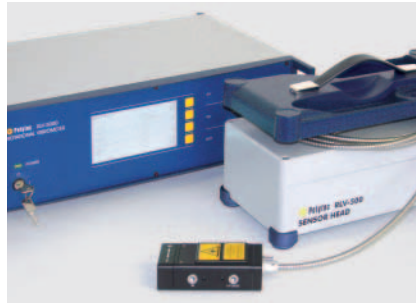


Bild 2: RLV-5500 Rotationsvibrometer

Optimierung der Gummipakete des Hinterrad-Ruckdämpfers sowie Maßnahmen zur Einschränkung des Spiels im Antriebsstrang können diese Resonanzschwingungen gezielt beeinflusst und beseitigt werden.

Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Komfortansprüche, die an moderne Motorräder und deren Antriebe gestellt werden, steigen weiter. Das führt zu weiteren technischen Herausforderungen, um den Antriebsstrang von zukünftigen Motorrädern zum einen sportlich-dynamisch und zum anderen auch komfortabel abzustimmen. Hierfür bieten die beschriebenen Messmethoden zur Erfassung der Drehschwingungen sehr wichtige und außerdem sehr umfangreiche Möglichkeiten, solche komplexen Schwingensysteme besser zu verstehen und so die geplanten Ziele zu erreichen.



Bild 4: Messpunkte an der Kurbelwelle und Getriebewelle

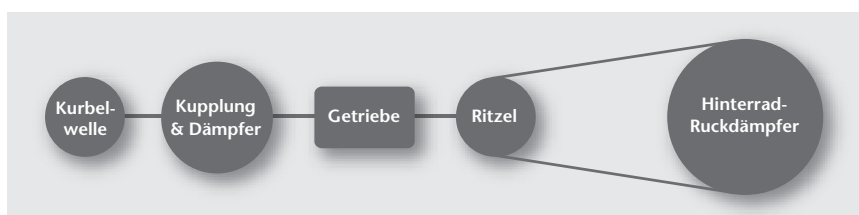


Bild 1: Schema eines Motorrad-Antriebsstrangs



Bild 8: Kupplungs-Torsionsschwingungsdämpfer

Autoren - Kontakt

Dipl.-Ing. Simone Lennert
 Dipl.-Ing. Werner Pauls
 Dipl.-Ing. (FH) Guido Koehler
 NVH & Antriebsstrangdynamik
 BMW AG, 80788 München
Guido.Koehler@bmw.de

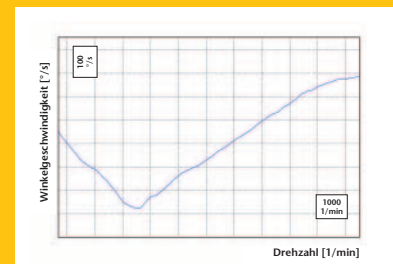


Bild 5: Erste Drehungleichförmigkeit in Abhängigkeit von der Drehzahl

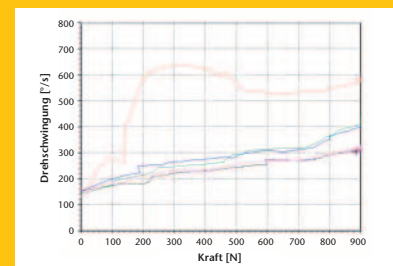


Bild 6: Erste Drehungleichförmigkeit abhängig von der Last

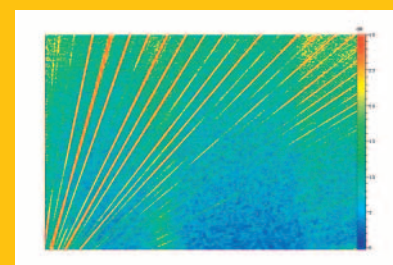


Bild 7: Campbell-Diagramm eines Lasthochlaufes

Beton verstehen

Untersuchungen mit Laser-Ultraschall während der Hydratation zementgebundener Baustoffe

Laser-Ultraschall ist ein spannendes, akustisches Verfahren zur berührungslosen Untersuchung von Baustoffen. Dieser Beitrag berichtet über die Anwendung dieses Verfahrens auf zementgebundene Baustoffe während des Erstarrens und Erhärtens. Der Schall wird opto-akustisch durch einen kurzgepulsten Nd:YAG Laser angeregt und nach Durchtritt durch die Probe interferometrisch mit einem Laservibrometer erfasst. Durch die Wahl geeigneter Materialien und Laserstrahlparameter wurde eine reproduzierbare Schallanregung erreicht, die es ermöglicht, neben der Bestimmung der Schallgeschwindigkeit eine interferometrische Erfassung und Auswertung der Ultraschall-induzierten Auslenkung der Oberfläche vorzunehmen.

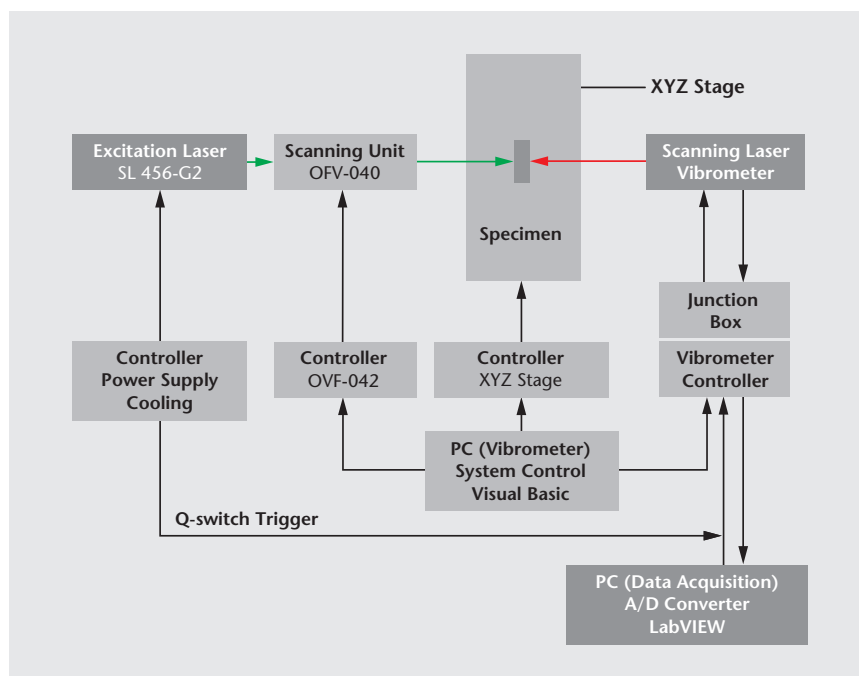


Bild 1: Schematischer Versuchsaufbau

Laser-Ultraschall zur Charakterisierung von Werkstoffeigenschaften

Für die Werkstoffforschung und Qualitätssicherung, aber auch für die Planung und Ausführung von Bauvorhaben ist die Kenntnis der zeitlichen und lokalen Änderungen der Materialeigenschaften zementgebundener Systeme von wesentlicher Bedeutung. Die Materialeigenschaften können mithilfe von Ultraschallparametern beschrieben werden. Beispiele sind die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Longitudinalwelle v_p , die Amplitude der Auslenkung beim Ersteinsatz sowie der übertragene Frequenzgehalt.

Zementgebundene Baustoffe weisen unmittelbar nach dem Anmischen eine große Dämpfung gegenüber Ultraschallwellen verbunden mit einer niedrigen Schallgeschwindigkeit v_p auf. In Abhängigkeit vom Verlauf der Gefügeentwicklung nehmen die Schallgeschwindigkeiten bzw. Signal-



Laser-Ultraschallverfahren sind attraktiv für eine Reihe von Anwendungen, da die Untersuchungsobjekte ohne mechanischen Kontakt und weitestgehend rückwirkungs-frei aus Entfernungen von mehreren Metern untersucht werden können. Gepulste Laser ermöglichen dabei eine berührungs-lose Anregung von Longitudinal-, Scher- und Oberflächenwellen direkt auf den exponierten Oberflächen. Mit Laservibro-metern erfolgt dann die berührungslose Erfassung der Ultraschall-induzierten Auslenkung der Oberfläche.

Im Folgenden wird ein Versuchsaufbau beschrieben, der die Anwendung des Ultra-schall-Transmissionsverfahrens für die Unter-suchung von Zementleimen und Mörteln ermöglicht.

Versuchsaufbau

Die prinzipielle Geräteanordnung ist in Bild 1 dargestellt. Zur laserinduzierten Schallanregung wird ein kurzgepulster Nd:YAG Festkörperlaser mit einer Wellen-länge von 1064 nm verwendet (Bild 2). Für die Aufnahme der Proben wurde eine spezielle Prüfform entwickelt, die eine laser-induzierte Schallanregung und -detektion von Ultraschallwellen zulässt (Bild 3). Zur Detektion der angeregten Ultraschall- wellen wird ein Scanning-Laservibrometer eingesetzt. Dabei wurde auf der Probe ein Messgitter mit jeweils 27 gegenüberliegen- den Punktpaaren definiert. Die Daten- auswertung erfolgte mit einem in LabVIEW implementierten Algorithmus, der die auto-matische Detektion des Zeitpunktes des

Ersteinsatzes der Longitudinalwelle und weiterer Signalparameter wie z. B. Erst-amplitude, Frequenzgehalt und Signal-Rausch-Verhältnis ermöglicht.

Experimentelle Ergebnisse

Mit dem vorgestellten Versuchsaufbau wurden kontinuierliche Untersuchungen während der Hydratation von zementge-bundenen Baustoffen vorgenommen und die lokale Verteilung der Schallgeschwin-digkeit v_p zu festgelegten Zeitpunkten bestimmt. Untersucht wurden u. a. zwei Zementleim-Proben mit unterschiedlichem Wasser/Zement-Verhältnis (w/z -Wert) sowie Mörtelproben mit verschiedenen Korn-zusammensetzungen.

Bild 4 zeigt die mit Laser-Ultraschall an zwei Zementleim-Proben ermittelte Entwicklung der Schallgeschwindigkeit v_p . Die Mess-empfindlichkeit erweist sich als sensibel genug, eine Durchschallung dieser zunächst stark dämpfenden Systeme vorzunehmen.



Bild 2: Versuchsanordnung
Bildmitte: Positioniersystem mit Probe;
rechts hinten: Anregungslaser mit Scanner;
links: Scanning-Laservibrometer

amplituden dann kontinuierlich zu. Die zeit-liche Entwicklung der Schallgeschwindig-keit v_p hängt von den verwendeten Zemen-ten, Zusatzmitteln bzw. -stoffen, aber auch vom Verhältnis Wasser zu Zement (w/z -Wert), von der verwendeten Gesteins-körnung und vom Luftporengehalt ab.

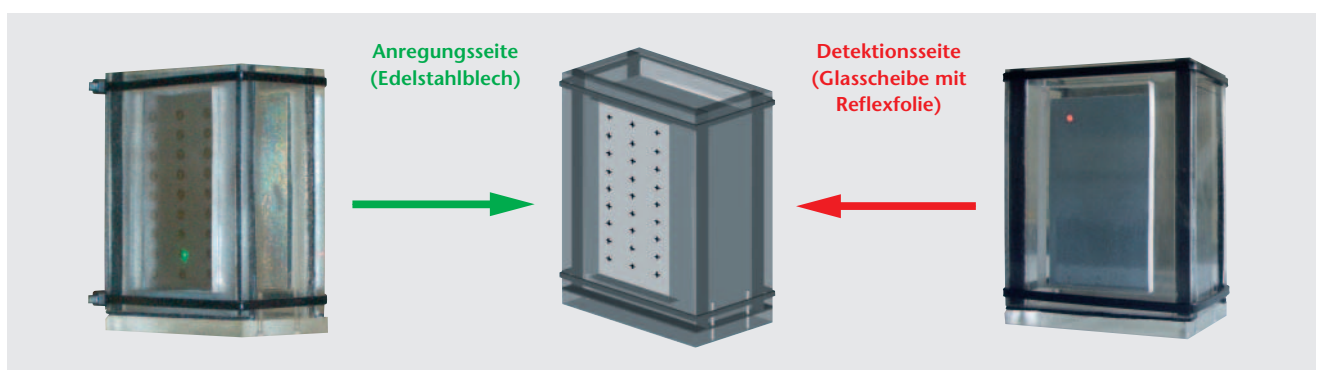


Bild 3: Prüfform zur laserinduzierten Durchschallung. Links: Ansicht von der Anregungsseite mit Laserpunkt;
Mitte: Schematische Darstellung; Rechts: Detektionsseite mit Vibrometer-Messstrahl

Beton verstehen

Untersuchungen mit Laser-Ultraschall während der Hydratation zementgebundener Baustoffe

Im Verlauf der Gefügeentwicklung kommt es bei beiden Versuchsmischungen zu einem Ansteigen der Schallgeschwindigkeit. Der Zementleim mit dem niedrigeren w/z-Wert zeigt einen deutlich stärkeren Anstieg der Schallgeschwindigkeit. Dagegen führt eine größere Wasserzugabe zu einem verzögerten und zugleich flacheren Verlauf.

Bild 5 zeigt die zeitliche Entwicklung der Erstamplitude der Longitudinalwelle. Der Zementleim mit einem geringeren w/z-Wert weist gegenüber dem Zementleim mit einem höheren w/z-Wert einen früheren und steileren Anstieg auf. Im weiteren Verlauf der Gefügeentwicklung zeigt sich der Einfluss von Schwindprozessen auf die Ankopplungsbedingungen. Die Parameter Schallgeschwindigkeit v_p und die Geschwindigkeitsamplitude der Longitudinalwelle ermöglichen somit eine kontinuierliche Bewertung der Hydrationskinetik.

Lokale Verteilung elastischer Parameter

In Bild 6 ist die an einem Zementleim mit einem w/z-Wert von 0,31 bestimmte Verteilung der Schallgeschwindigkeit v_p zu

unterschiedlichen Zeitpunkten nach Hydrationsbeginn dargestellt. Zu jedem Untersuchungszeitpunkt wurden über den gesamten Probekörper vergleichbare Schallgeschwindigkeiten ermittelt, d. h. die Probe ist in der Höhe und Breite homogen. Der Vergleich der Schallgeschwindigkeiten der Untersuchungszeitpunkte untereinander ermöglicht auch hier eine Bewertung der Hydrationskinetik. In Bild 7 ist die an einer Mörtelprobe bestimmte Verteilung der Schallgeschwindigkeit v_p zu einem Zeitpunkt von 5 bzw. 24 Stunden nach Hydrationsbeginn dargestellt. Über die Probekörperhöhe sind deutliche Unterschiede in den Schallgeschwindigkeiten ersichtlich. Im unteren Bereich der Probe werden größere Schallgeschwindigkeiten erreicht, die sich aus einem größeren Gehalt an Gesteinskörnung ergeben. Dies wird auf eine ungenügende Sedimentationsbeständigkeit dieses Mörtels zurückgeführt. Dabei kommt es vor dem Ansteifen zum Absinken der groben Bestandteile der Gesteinskörnung und zur Anreicherung von Feinmörtel im oberen Bereich. Dies deckt sich mit den Ergebnissen der visuellen Bewer-

tung (Bild 7, links). Mithilfe des laserbasierten Ultraschall-Transmissionsverfahrens kann somit eine zerstörungsfreie Bewertung lokaler Gefügeunterschiede senkrecht zur Durchschallungsrichtung erreicht werden.

Zusammenfassung und Ausblick

Wie die Ergebnisse zeigen, kann das Laser-Ultraschallverfahren zur zerstörungsfreien und berührungslosen Untersuchung von erstarrenden und erhärtenden Baustoffen eingesetzt werden. Die zeitlichen und lokalen Änderungen der Ultraschallparameter eignen sich gut zur Beschreibung der Materialeigenschaften, wobei speziell die Schallgeschwindigkeit v_p und die Auslenkungsamplitude der Longitudinalwelle eine kontinuierliche Bewertung der Hydrationskinetik ermöglichen. Senkrecht zur Durchschallungsrichtung können lokale Unterschiede in der Mischungszusammensetzung der untersuchten Zementleime und Mörtel nachgewiesen werden. Dies ermöglicht die zerstörungsfreie Bewertung der Sedimentationsstabilität derartiger Gemische.

Der im Beitrag beschriebene Versuchsaufbau erlaubt zunächst nur die Detektion von flächennormalen Auslenkungen (out-of-plane). Untersuchungen mit einem Polytec PSV-400-3D Scanning Vibrometer haben gezeigt, dass an hydratisierenden Zementen neben der Longitudinalwelle auch die Ausbreitungsgeschwindigkeiten transversaler Schwingungskomponenten simultan erfasst werden können. Dies stellt einen interessanten Ansatz dar, der eine umfassendere Beurteilung der untersuchten Werkstoffe durch die Berechnung der elastischen Größen Elastizitätsmodul und Poissonzahl ermöglicht.

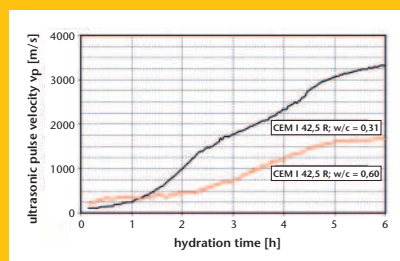


Bild 4: Schallgeschwindigkeitsverlauf von Zementleim, Variation des w/z-Wertes

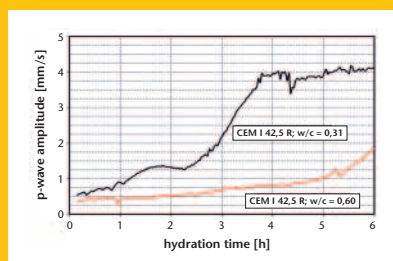


Bild 5: Erstamplitude der Longitudinalwelle von Zementleim, Variation des w/z-Wertes

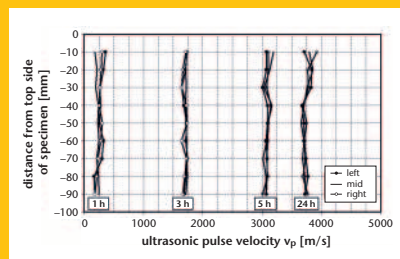


Bild 6: Verteilung der Schallgeschwindigkeit v_p über einen homogenen Probekörper

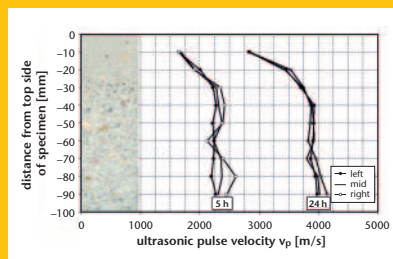


Bild 7: Mörtel M1 – räumliche Verteilung der Schallgeschwindigkeit v_p in einer inhomogenen Mörtelprobe. Daneben: Foto des Probekörpers

Autoren · Kontakt

Prof. Dr.-Ing. habil. Jochen Stark

Dr.-Ing. Wolfgang Erfurt

Dipl.-Ing. René Tatarin

F.A. Finger-Institut für Baustoffkunde,
Bauhaus-Universität Weimar
99421 Weimar

Rene.Tatarin@bauing.uni-weimar.de

Lang lebe die Solartechnik

Messung der dynamischen Eigenschaften von Solarmodulen für Simulationen zur Berechnung der Lebensdauer

Werkstoffmodellierungen und Simulationen helfen, Belastungsszenarien und Prozesse für Werkstoffe und Bauteile im Rechner abzubilden und darauf aufbauend diese einsatzgerecht zu entwickeln und zu verbessern. Kombiniert man verschiedene Simulationsmethoden mit experimentellen Untersuchungen, können die Lebensdauer und die mechanischen Eigenschaften für ein neu entwickeltes Material sehr genau vorausberechnet werden.

Am Fraunhofer-Center für Silizium Photovoltaik CSP in Halle werden mechanische Schwingungen von Solarmodulen gemessen, um durch konstruktive Optimierungen eine größtmögliche Stabilität und Betriebsdauer erreichen zu können.

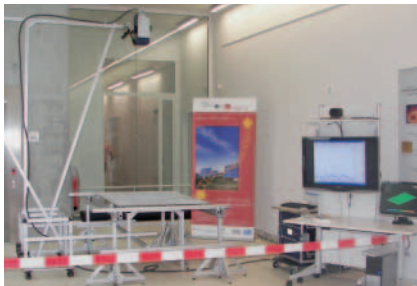


Bild 1: Schwingungsmessung an einem Solarmodul mit dem Scanning Vibrometer

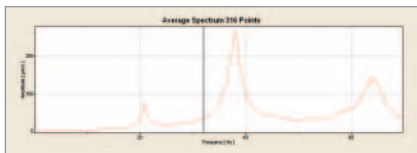


Bild 2: Frequenzspektrum über 316 Messpunkte gemittelt

Die Messung dynamischer Eigenschaften mit dem Polytec Scanning Vibrometer (Bild 1) ist ein zerstörungsfreies Prüfverfahren und ermöglicht neben der Ermittlung von Resonanzfrequenzen und Schwingformen auch die Berechnung von Materialparametern wie Steifigkeit oder Dämpfung. Bild 2 zeigt die über alle Messpunkte gemittelten Eigenfrequenzen des Solarmoduls. In Bild 3 und 4 sind die Schwingformen ausgewählter Resonanzfrequenzen im Vergleich mit der jeweiligen Simulation dargestellt. Die Frequenzen stimmen recht gut überein und bestätigen damit das zugrundeliegende Simulationsmodell. Eine Optimierung der Festigkeit und damit der Lebensdauer ist dann unter anderem durch Variation der Abmessungen oder der Aufhängungspunkte möglich.

Mehr Info · Kontakt

Dr.-Ing. Matthias Ebert
Matthias.Ebert@csp.fraunhofer.de

Entwicklung und Qualitätssicherung von Solartechnologien

Weitere leistungsfähige Messtechniken aus unserem Geschäftsbereich Photonik

- Scorpion Solar Wafer Inspektion – Komplettlösungen für die In-Line-Inspektion und Vermessung von Solar-Wafern
- Vier-Spitzen-Messplätze zur Messung elektrischer Parameter
- InGaAs-Kameras zur Inspektion von Si-Rohmaterial und Wafern im NIR-Bereich
- Spektroskopische Schichtdickenmesssysteme für die Halbleiter- und Photovoltaik-Industrie

Mehr Info:

www.polytec.de/PH-INFO

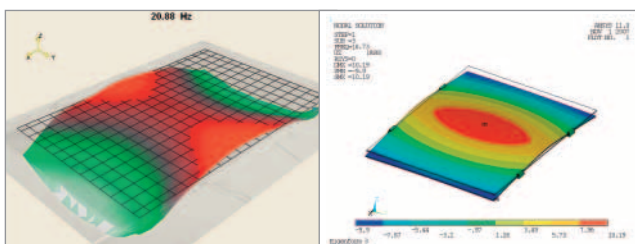


Bild 3: Erste Eigenschwingung bei 20,9 Hz (gemessen) bzw. 18,7 Hz (aus dem Simulationsmodell)

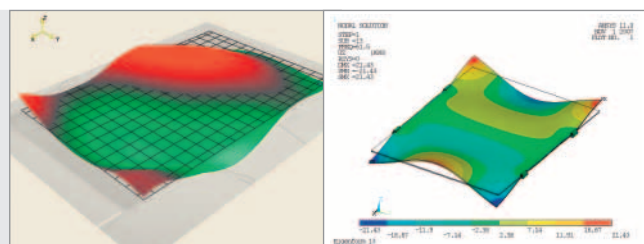


Bild 4: Dritte Eigenschwingung bei 63,8 Hz (gemessen) bzw. 61,5 Hz (aus dem Simulationsmodell)

Energie frisch geerntet

Charakterisierung der In-Plane-Bewegung in Energy Harvesting-Mikrosystemen

Dieser Beitrag beschreibt die Untersuchung der dynamischen Eigenschaften elektromechanischer Energiewandler. Solche sogenannten Energy Harvesting-Systeme können Umgebungsschwingungen mithilfe kapazitiver Kammstrukturen über eine seismische Masse in Energie umwandeln. Mit einem In-Plane-Vibrometer wurde die Frequenzantwort des Systems nanometergenau charakterisiert. Lineares und nichtlineares Verhalten, resultierend aus leichten bzw. forcierten Anregungsbedingungen, wurde ebenso untersucht wie die Abhängigkeit der erzielbaren Leistung vom Lastwiderstand.

Was ist Energy Harvesting?

Miniaturisierte Energy Harvesting-Elemente sind wesentliche Bestandteile netzunabhängiger Sensor- und Aktorsysteme. Sie gewinnen elektrischen Strom aus Prozessen in ihrer Umwelt, beispielsweise aus Temperaturgradienten, Schwingungen oder Luftströmungen. Die hier vorgestellten Bauteile wandeln Impulse aus der Umgebung elektrostatisch in Schwingungen einer federnden Masse um. Hinsichtlich ihrer Amplituden und Frequenzen decken Um-

gebungsschwingungen einen breiten Bereich ab. Technische Schwingungen weisen dabei im Vergleich mit Schwingungen biologischer Objekte höhere Frequenzen und kleinere Amplituden auf (Bild 1).

Systemdesign

Die Umwandlung der kinetischen in elektrische Energie erfolgt über geladene Kondensatoren, die als ineinandergreifende Kammstrukturen realisiert sind. In Bild 2 sind der schematische Aufbau und eine

rasterelektronenmikroskopische (REM-) Aufnahme des hier beschriebenen elektromechanischen Wandlers wiedergegeben. Die seismische Masse wird über vier jeweils 1 mm lange, gerade Federn gehalten, die zwischen $1,4\text{ }\mu\text{m}$ und $7,4\text{ }\mu\text{m}$ breit sind. Abhängig von der Breite der Federn lassen sich aus dem Gewicht der seismischen Masse ($0,1\text{ mg}$) Resonanzfrequenzen zwischen 96 und 1160 Hz berechnen. Mit den Kammstrukturen auf beiden Seiten fungiert die seismische Masse als bewegliche Elek-

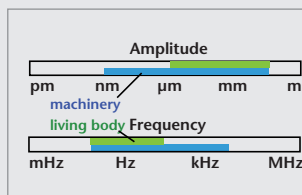


Bild 1: Typische Frequenz- und Amplitudenbereiche technischer und biologischer Schwingungen

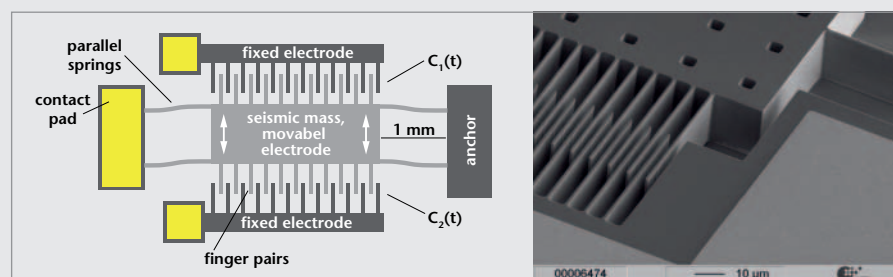


Bild 2: Schematischer Aufbau und REM-Bild der Kammstrukturen des elektromechanischen Wandlers

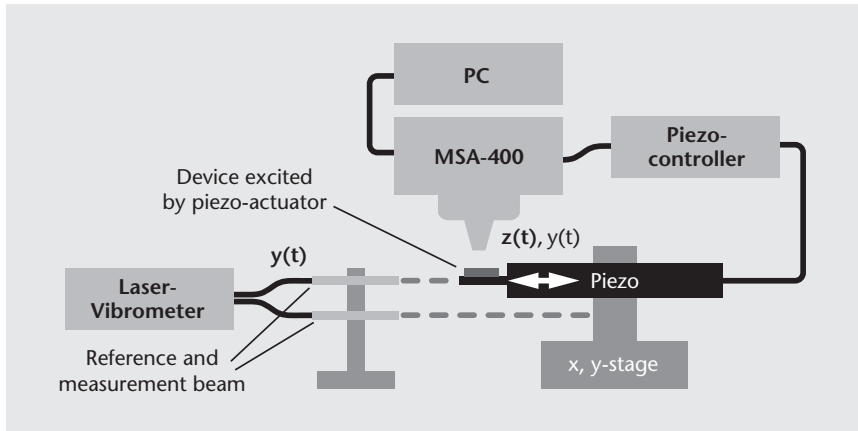


Bild 3: Aufbau zur Schwingungsanregung und -messung der seismischen Masse des mikroelektromechanischen Systems

trode. Zusammen mit den äußeren Elektroden ergeben sich so zwei variable Kondensatoren. Das Bauteil ist komplett in Silicon-on-Insulator wafer (SOI)-Technologie gefertigt und hat eine Gesamtfläche von 3,6 mm².

Charakterisierung der In-Plane-Bewegung

Um die wesentlichen Parameter solcher schwingenden Systeme zu verstehen, wurde ihre Frequenzantwort auf eine mechanische Anregung durch einen Piezo-Aktor untersucht. Die Bewegung $z(t)$ und Phase der seismischen Masse in der Bauteilebene sowie die Anregungsschwingung $y(t)$ wurden dann in Nanometer-Auflösung mit dem Bildverarbeitungssystem des Micro System Analyzers (MSA) von Polytec erfasst. Dieses Messsystem extrahiert die In-Plane-Bewegung des Bauteils aus einer Reihe von Mikroaufnahmen bei verschiedenen Phasenlagen. Die Anregung des Systems wird durch ein separates Einpunkt-Laser-vibrometer mithilfe eines Mess- und eines Referenzstrahls gesteuert. Der experimentelle Aufbau ist in Bild 3 schematisch wiedergegeben.

Bild 4 zeigt das Frequenzverhalten des Systems anhand des peak-to-peak-Schwingwegs (z_{pp}) der seismischen Masse als Antwort auf eine 2,4 nm-Schwingung des Piezoaktors, der das System anregt.

Die Messdaten folgen einer Lorentz-Kurve, die Phase der Bewegung $z(t)$ ist im Vergleich zur Anregungsschwingung $y(t)$ um 90° verschoben (Bild 4). Der resultierende Gütefaktor des schwingenden Systems bei

Atmosphärendruck liegt bei 190. Die rechnerisch ermittelte Resonanzfrequenz von 1160 Hz liegt tiefer als der gemessene Wert von 1522 Hz, der allerdings bei schwächerer Anregung kleiner wird. Bei höheren Anregungsamplituden zeigen die Systeme nichtlineares Verhalten. Dieser Effekt ist in Bild 5 für drei unterschiedlich starke Amplituden (8, 19 und 37 nm) dargestellt. Es ist klar erkennbar, dass die Resonanzpeaks sich mit zunehmenden Amplituden zu höheren Werten verschieben, was auf eine Versteifung der Federaufhängung zurückgeführt werden kann.

Wovon hängt die erzielbare Leistung ab?

Weitere Untersuchungen konnten den Zusammenhang zwischen der Bewegung der seismischen Masse, der Veränderung der Kapazität und somit der erzielbaren Leistung bestätigen. In Bild 6 ist die Leistung P bei unterschiedlichen Lastwiderständen R_{load} gegen die Frequenz f aufgetragen. Der Lastwiderstand stellt sich dabei für die Leistungsabgabe als entscheidender Parameter heraus und muss daher in den praktischen Anwendungen jeweils optimiert werden.

Autor · Kontakt

Dipl.-Ing. Ulrich Bartsch
Microsystem Materials Laboratory
IMTEK – Institut für Mikrosystemtechnik,
Universität Freiburg
79110 Freiburg
bartsch@imtek.de

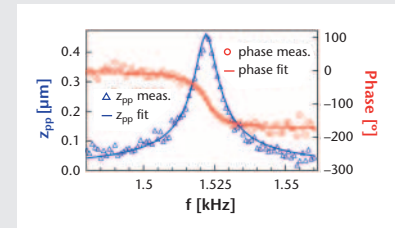


Bild 4: Amplitude und Phase der Wandlerschwingung in Abhängigkeit von der Frequenz

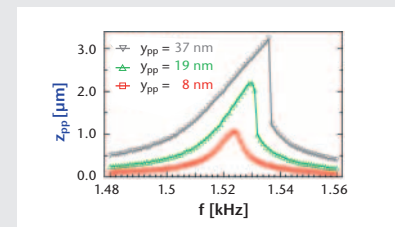


Bild 5: Nichtlineares Verhalten des peak-to-peak-Schwingwegs (z_{pp}) bei Anregung mit unterschiedlich großen Amplituden y_{pp}

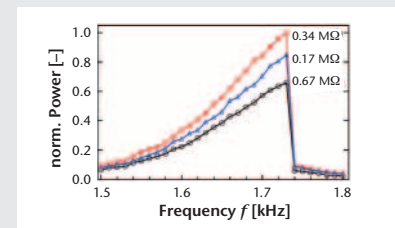


Bild 6: Normalisierte gemessene Leistung P abhängig von der Frequenz f bei unterschiedlichen Lastwiderständen und einer Anregungsamplitude $y_{pp} = 200$ nm

Danksagung

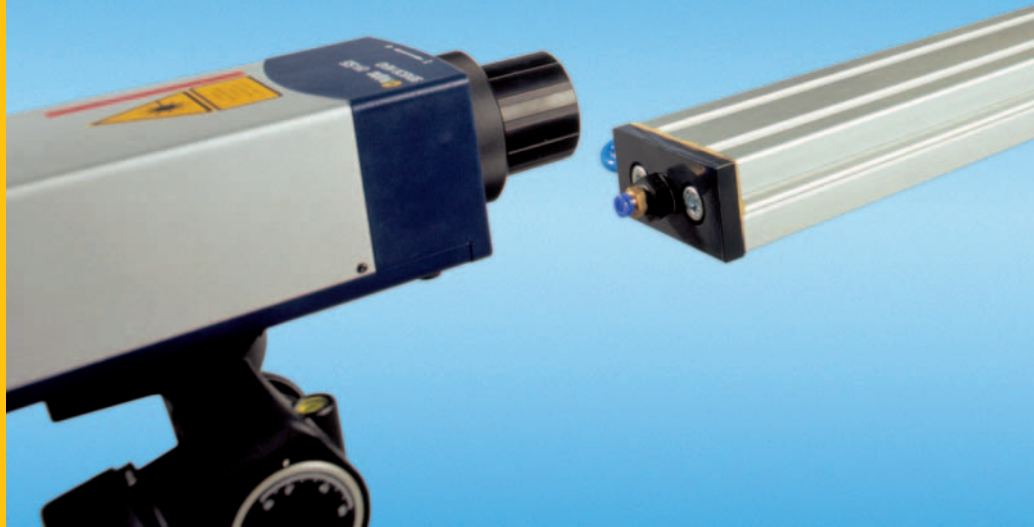
Dieser Beitrag basiert auf folgender Veröffentlichung (mit freundlicher Genehmigung des VDE Verlag und der Autoren):

Bartsch, U., Gaspar, J., Ruther, P., Paul, O.: Electrostatic Micro Energy Harvesting Devices based on SOI Technology. S. 785 – 788 (Paper 6.3) in Proceedings Mikrosystemtechnik-Kongress 2007, 15. 10. – 17. 10. 2007 in Dresden. Berlin, Offenbach: VDE VERLAG, 2007 (ISBN 978-3-8007-3061-2)
Die Studie ist Teil des Graduiertenkollegs „Micro Energy Harvesting“ gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG).

Sensoren für sehr hohe stoßförmige Beschleunigungen ab ca. 3000 m/s² werden u.a. bei Crash-Tests und in der Luft- und Raumfahrt eingesetzt. Für eine sachgerechte Kalibrierung dieser Sensoren sind Beschleunigungsimpulse erforderlich, die mit herkömmlichen elektrodynamischen Schwingerregern nicht erzeugt werden können. Deshalb kommen alternative Stoßerreger zum Einsatz, von denen einer der Hopkinson-Stab ist.

Crash-Sensoren normkonform

Kalibrierung von Beschleunigungssensoren
bis 750.000 m/s² mit Laserpräzision



Schießen für einen guten Zweck

Beim klassischen Hopkinson-Stab (Bild 1) trifft ein Geschoss auf einen langen, beweglich gelagerten, schlanken Metallstab und erzeugt einen hohen kurzen Kraftimpuls, den der Stab in einen sinusähnlichen Beschleunigungsimpuls am anderen Ende transformiert (Bild 2). Dieser Beschleunigungsimpuls wird zur Kalibrierung des dort angebrachten Sensors (Prüfling) verwendet.

Für die Kalibrierung wird ein Referenzsignal benötigt, zu dessen Messung folgende Varianten in Frage kommen:

- Ein Referenzsensor, der am Stabende befestigt wird, und auf dem der Prüfling nach dem Back-to-Back-Verfahren montiert wird, liefert das Referenzsignal. Diese Variante ist preiswert und zuverlässig, jedoch kann die zusätzliche Masse des Referenzsensors zu mechanischen Problemen führen, sodass höhere Toleranzen in Kauf genommen werden müssen.

- Dehnungsmessstreifen, welche längs des Stabes befestigt sind, messen die durch-



Bild 1: Messanordnung mit Hopkinson-Stab



Bild 4: OFV-5000 Vibrometer Controller und OFV-505 Messkopf



Kombination bewährter und neuer Technologien

Im Bereich höchster Beschleunigung von 10.000 m/s^2 bis 750.000 m/s^2 wird als Impulsgeber ein druckluftgetriebenes Geschoss verwendet. Die Impulsstärke wird dabei durch die Länge der Beschleunigungsstrecke gesteuert, die elektromotorisch eingestellt werden kann. Für mittlere Beschleunigungen von 20 m/s^2 bis 50.000 m/s^2 wird dagegen ein vollkommen neuartiger elektromechanischer Impulsgeber eingesetzt. Dieser erlaubt erstmalig eine genaue und unabhängige Einstellung von Form, Amplitude und Dauer des Impulses über einem weiten Bereich. Durch die Wahl von Impulsform und Impulsdauer lässt sich so beispielsweise das Spektrum des Impulses gezielt beeinflussen. Damit lassen sich Anregungen des Prüflings oberhalb seiner Resonanzfrequenz vermeiden, die bei der Kalibrierung zu überhöhten Werten der Sensorempfindlichkeit führen könnten.

Der neue elektromechanische Stoßerreger hat außerdem den großen Vorteil, dass er sich einfach in automatisierbare Stoß-Kalibrier- und Messsysteme einbinden lässt und dass die Stoßparameter infolge der präzisen Mechanik und der hochgenauen Referenzmessung sehr gut reproduzierbar sind. Die Automatisierbarkeit des Systems ist beispielsweise dann interessant, wenn man die Linearität der Amplitude bestimmen möchte, indem der Sensor einer Reihe von Stößen mit steigender Stoßamplitude ausgesetzt wird. Per Software lassen sich die Anzahl der Stöße, die Stoßbreite und die

gewünschten Amplituden vorgeben. Nach dem Start der Messung erhält man ohne weitere Eingriffe des Bedieners innerhalb weniger Sekunden die Ergebnisse der Messreihe.

Primärkalibrierung durch lasergenaues Messen

Als Referenz kommt bei den Primär-Stoßkalibriersystemen von SPEKTRA ein Polytec Laservibrometer vom Typ OFV-5000 (Bild 4) zum Einsatz. Dieses ist in der Lage, Geschwindigkeiten in einem Bereich von 1 mm/s bis 10 m/s mit höchster Präzision zu messen und deckt den gesamten hier geforderten Beschleunigungsbereich ab. Die direkte Rückführung der Messung auf eine physikalische Größe, in diesem Fall nämlich die Wellenlänge des Laserlichts, erlaubt eine Primärkalibrierung nach ISO 16063-13. Das Vibrometer liefert hierzu ein kontinuierliches Messsignal sowohl in analoger als auch in digitaler Form an das SPEKTRA CS18 Messsystem. Durch die enge und gute Zusammenarbeit zwischen SPEKTRA und Polytec konnte eine optimale Lösung für diese Messaufgabe gefunden werden.

laufende Stoßwelle und liefern das Referenzsignal. Prinzipbedingt müssen auch hier höhere Toleranzen angesetzt werden.

- Ein Laserstrahl wird auf die Kontaktfläche zwischen Stabende und Prüfling ausgerichtet und misst dort den Weg oder die Geschwindigkeit während des Impulses (Bild 3). Dieses Verfahren ist zwar das aufwendigste, bietet jedoch die höchste Genauigkeit, wobei keinerlei Verfälschung des Impulses durch die Messung stattfindet.

Die neue, bei der SPEKTRA Schwingungstechnik und Akustik GmbH Dresden entwickelte Familie von Kalibriereinrichtungen für Stoßsensoren mit hoher Beschleunigung beruht genau auf diesem altbekannten Prinzip des Hopkinson-Stabes. Es wurden jedoch durchgängig automatisierbare Lösungen geschaffen, die eine effiziente, programmierbare Abarbeitung von Kalibrieraufgaben gestatten.

Autor · Kontakt

Dipl.-Phys. Michael Mende
SPEKTRA Schwingungstechnik
und Akustik GmbH
01217 Dresden

Michael.Mende@spektra-dresden.de
www.spektra-dresden.de

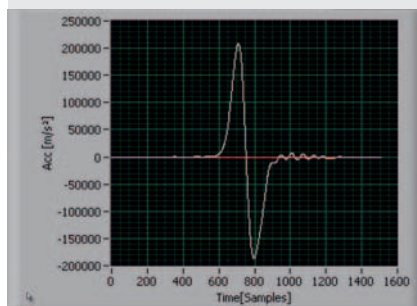


Bild 2: Beschleunigungsimpuls am Hopkinson-Stab, errechnet aus der Geschwindigkeitsmessung mit Laservibrometer

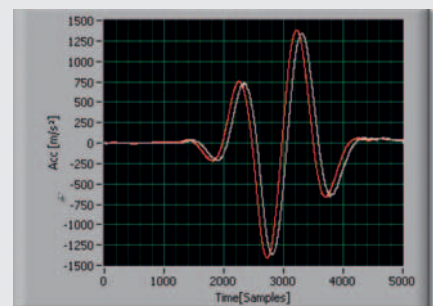


Bild 3: Beschleunigungsverlauf mit elektromechanischem Schwingerreger (weiß = Laser, rot = Beschleunigungssensor)

Spiegel glatt

Spiegelhalter für optische Scanner exakt plan gefertigt mithilfe des TopMap Oberflächenmesssystems von Polytec

Die Spiegelhalter für die Geometrie-Scaneinheit des Scanning Vibrometers werden in der Mechanik-Fertigung bei Polytec auf einem Dreh-Fräszentrum hergestellt. Während der maschinellen Bearbeitung auftretende Spannungen können die Ebenheit der resultierenden Oberfläche beeinträchtigen. Die Abweichungen werden mithilfe eines TopMap Weißlicht-Interferometers kontrolliert und der Fertigungsprozess entsprechend optimiert.

Präzision ist angesagt

In der PSV-A-420 Geometrie-Scaneinheit des Vibrometer-Messkopfes lenkt ein Spiegel die Laserstrahlen softwaregesteuert an die gewünschten Messpunkte. Die Halterungen für die Spiegel werden mit hoher Präzision bei Polytec selbst gefertigt. Aus einem Aluminium-Rohling werden dabei Außenflächen, Fenster und Bohrungen in

einem Durchgang CNC-gesteuert gedreht und gefräst. Der Spiegelhalter ist ein komplexes Bauteil mit schmalen Stegen (Bild 1), das sich unter Umständen durch Krafteinwirkungen und Verzug während der Fertigung verwinden und dann eine unebene Oberfläche bekommen kann.

Von besonderer Bedeutung ist dabei die Qualität der diagonal verlaufenden Fläche, auf die später der Spiegel geklebt wird. Wenn die Ebenheit der Fläche einen kritischen Wert unterschreitet, ist möglicherweise später der Spiegel ebenfalls nicht plan und funktioniert nicht ordnungsgemäß.

Ebenheitsmessungen – taktil oder optisch

Die Klebefläche ist sehr filigran und besteht aus relativ schmalen, teilweise versenkten Stegen. Die Ebenheit konnte mit einem konventionellen Messtastersystem nicht bestimmt werden, weil nur ein kleiner Teil der Fläche überhaupt für die Kugel des Tasters zugänglich war. Solche Situationen sind für die TopMap Weißlicht-Interferometer von Polytec ein leichter Fall. Das berührungsfreie optische Messverfahren

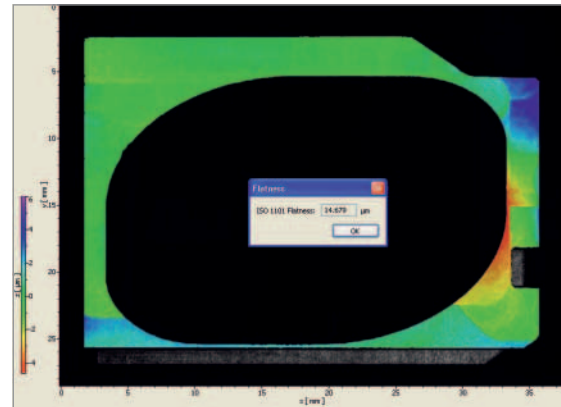


Bild 3: Ebenheitsmessung an einem Spiegelhalter mit der gewünschten Qualität

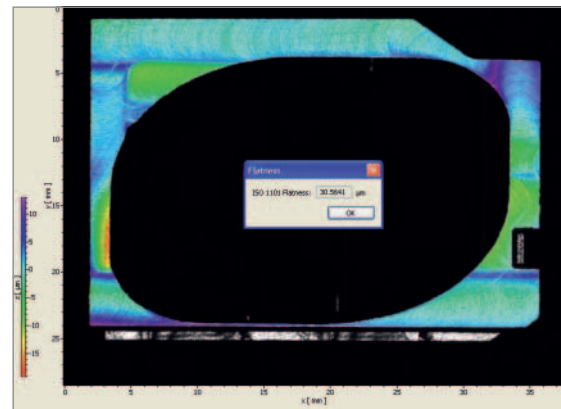


Bild 4: Ebenheitsmessung an einem beanstandeten Teil

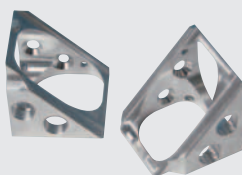


Bild 1: Spiegelhalter für die PSV Geometrie-Scaneinheit (kleines Bild)



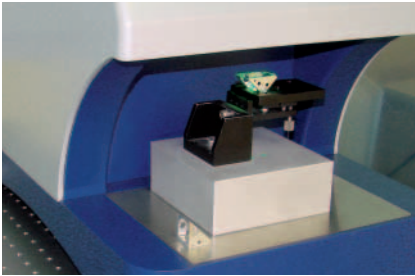


Bild 2: Messaufbau mit TopMap Metro.Lab

ermöglicht die Charakterisierung nahezu jeder Oberfläche unabhängig von ihrer Beschaffenheit. Mithilfe des TMS-100 TopMap Metro.Lab konnte die Ebenheit der Spiegelfläche schnell und mit hoher Präzision bestimmt werden (Bild 2).

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Ein exemplarischer Vergleich der Ebenheiten nach ISO 1101 eines einwandfreien (Bild 3) und eines fehlerhaften Spiegelhalters (Bild 4) zeigt, dass Abweichungen bis zu 100% auftreten können. Das Gutteil weist eine Ebenheit von ca. 15 µm auf, während die Ebenheit beim beanstandeten Teil über 30 µm liegt.

Mithilfe dieser Messergebnisse konnte der Fertigungsprozess so verändert werden, dass die zuvor aufgetretenen Spannungen eliminiert wurden und die Teile somit ohne weitere Maßnahmen die gewünschte Ebenheit besitzen. So kann eine frühzeitige Überprüfung der Werkstücke schon beim Einrichten der Maschine eine hohe Quali-

tät sicherstellen und gleichzeitig Zeit und Geld sparen helfen.

Generell können mit dem TopMap Metro.Lab bei größeren Losen auch Stichproben in gewissen Abständen vermessen werden, beispielsweise um die Stabilität eines Fertigungsprozesses zu prüfen und dadurch längere Fertigungsintervalle mit gleichbleibender Qualität zu erreichen. Auch eine Serienmessung von Werkstücken auf Paletten ist möglich. Durch das gute Preis-/Leistungsverhältnis des TopMap Metro.Lab amortisiert sich die Investition für den 3D-Profilmesssystem im Allgemeinen schnell.

Mehr Info: www.topmap.de

„Qualität hängt im Wesentlichen von den Mitarbeitern ab“

Interview mit Thomas Kunz, Facharbeiter in der Fertigung Mechanik bei Polytec



Herr Kunz, wie viele unterschiedliche Teile fertigt Polytec selbst und warum?

Allein auf unserem modernen INDEX G160 Dreh-Fräszentrum haben wir jährlich mehr als 250 verschiedene Teile, die zum Teil in kleinen Serien gefertigt werden; dazu kommen noch viele andere Produkte, beispielsweise Gehäuse für Messköpfe, auf anderen Maschinen. Der Spiegelhalter wird, wie 95% aller Teile, aus Aluminium gedreht und gefräst. Die Toleranzen müssen absolut stimmen, da viele der

Teile in optische Baugruppen eingehen. Außerdem haben wir uns im Haus ein sehr hohes Know-how angeeignet. Eine externe Fertigung wäre hier keine gute Lösung.

Wie kommen die Daten auf die Maschine?

Die Konstruktionsabteilung, mit der wir intensiv zusammenarbeiten, liefert uns die Zeichnungen und Maße, oft auch als 3D-Modell. Wir schauen uns die Aufgabe genau an und definieren dann die einzelnen Bearbeitungsschritte für die CNC-Steuerung. Für die INDEX G160 haben wir eine sogenannte virtuelle Maschine. Jedes Programm wird damit in 3D am Bildschirm simuliert. Erst wenn alles stimmt, geht es auf die Maschine. Dadurch verkürzen wir erheblich unsere Einrichtzeiten.

Wie stellen Sie die Qualität der Bauteile sicher?

Wir prüfen alle in der Zeichnung festgelegten Passungen, die Form- und Lagetoleranzen, die Außenabmessungen und die Lage von Bohrungen und Gewinden. Sämtliche bei uns verwendeten Prüfmittel werden regelmäßig kalibriert. Für besonders knifflige Fragestellungen haben wir zudem die Möglichkeit, wie in diesem Fall, auf unsere optischen Messsysteme aus eigener Fertigung zurückgreifen zu können. Genauso wichtig ist allerdings die gute Aus- und Weiterbildung unserer Mitarbeiter, denn was nützt eine kalibriertes Messgerät mit Prüfzertifikat, wenn es nicht sachgerecht benutzt wird? Die Qualität unserer Produkte verdanken wir also neben den technischen Maßnahmen im Wesentlichen unseren Mitarbeitern.

Teile in optische Baugruppen eingehen. Außerdem haben wir uns im Haus ein sehr hohes Know-how angeeignet. Eine externe Fertigung wäre hier keine gute Lösung.

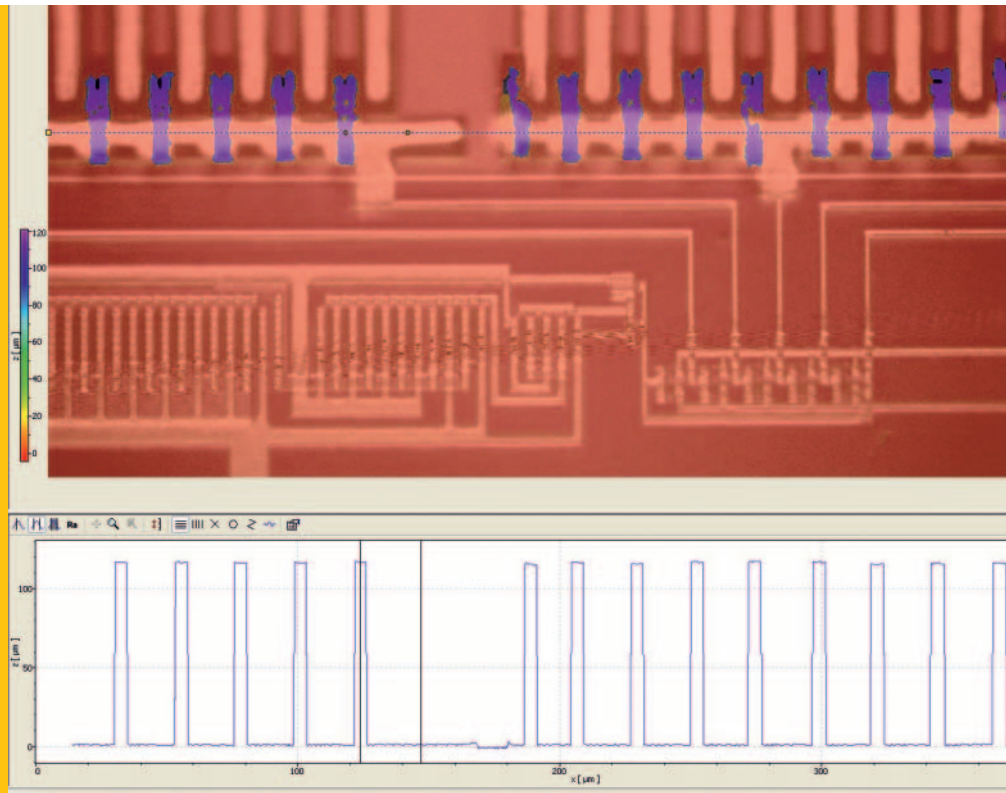


Thomas Kunz an der virtuellen Maschine

Höhen und Tiefen

Messung der 3D-Topographie von Sensoren in Mikrosystemtechnik

Dieser Bericht stellt zwei Mikro-sensoren vor, deren Strukturelemente relativ große Bewegungen senkrecht zur Bauteilebene durchführen. Diese Auslenkungen konnten mit Hilfe der Weißlicht-Interferometer-einheit des MSA-500 Micro System Analyzer von Polytec charakterisiert werden. Es handelt sich um ein integriertes Magnetometer (magMEMS), das Magnetfelder über geometrische Änderungen in einem Schwingkreis detektiert, und um einen CMOS-integrierten Mikro-Strömungssensor, der auf Luftströmungen mit der Auslenkung eines Cantilevers reagiert.



Einführung

Bei diesen Mikrosystemen wird ausgehend von einem SOI (Silicon-on-Insulator)-Wafer in mehreren CMOS-kompatiblen Verfahrensschritten eine senkrecht zur Bauteilebene bewegliche Teilstruktur erzeugt, die auf Luftströmungen oder magnetische Felder reagiert. Durch Integration mit den zugehörigen elektronischen Schaltkreisen auf demselben Chip werden solche Systeme auf eine extrem niedrige Leistungsauf-

nahme, eine hohe und einstellbare Empfindlichkeit sowie kleine Abmessungen hin optimiert.

Bei der Herstellung solcher 3D-CMOS-kompatibler MEMS durch chemische Abtragung werden die inneren Spannungen, die sich in Multilayer-Strukturen während thermischer Prozesse aufbauen, bewusst kontrolliert. Da die Multilayer aus plastischen und elastischen Schichten bestehen, bewirken Unterschiede in den thermischen Aus-

dehnungskoeffizienten, in Verbindung mit der plastischen Verformung einer Metallschicht, Auslenkungen einzelner Elemente. Die Auslenkung der Mikro-Cantilever wird beispielsweise gezielt durch die Steuerung des Prozesswärmehaushalts und der Schichtdicken eingestellt.

Experimenteller Aufbau

Zur Charakterisierung dieser MEMS-Bauteile wurde ein Polytec MSA-500 Micro System Analyzer in Verbindung mit einer SUSS PM5 Probe Station und einem schwingungs isolierten SUSS VIT800-Probentisch verwendet. Zum Gesamtaufbau gehören außerdem eine Druckluftzufuhr und ein Goniometer (Bild 1).

Ergebnisse der Messungen

1. 3D-Half-Loop-magMEMS (integriertes Magnetometer)

Dieser CMOS-kompatible Magnetfeldsensor ist in Bild 2 wiedergegeben. In dieser Struktur erzeugt ein senkrecht zur Bauteil-

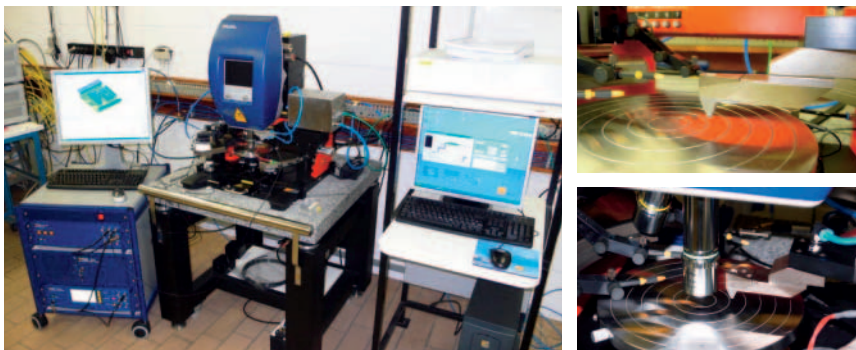


Bild 1: MSA-500 und Drucklufteinheit (rechts: Nahansicht der Druckluftdüse)

ebene orientierter magnetischer Fluss eine Lorentzkraft, die das M-förmige Federelement auslenkt. Mithilfe einer integrierten Wheatstone'schen Brückenschaltung aus vier Piezo-Widerständen wird diese Bewegung gemessen. Die Falschfarbendarstellung in Bild 2 visualisiert die Auslenkung bei ein- bzw. ausgeschaltetem Magnetfeld.

2. CMOS/MEMS-co-integrierter Mikro-Strömungssensor

In Bild 3 ist der Mikro-Strömungssensor zu sehen. Durch die Luftströmung biegen sich die Federbalken (Cantilever) nach unten, wodurch sich die elektrische Kapazität erhöht. Die Resonanzfrequenz des integrierten Schwingkreises erniedrigt sich dadurch und kann messtechnisch erfasst werden. Parallel dazu ist ein Echtzeit-Monitoring der Oberflächentopographie möglich, wie sie sich unter Variation der Luftströmung, die durch das Druckluftmodul

gesteuert wird, verändert. Diese Untersuchungen sind noch in Arbeit; Bild 3 rechts zeigt einen Topographie-Scan der Struktur in Ruheposition.

Schlussfolgerungen und Ausblick

Mithilfe der Topographie-Einheit des MSA-500 Micro System Analyzer von Polytec konnten verschiedene CMOS-kompatible Mikrosysteme untersucht werden, die als dreidimensionale Strukturen mittels Silicon-on-Insulator (SOI)-Technik aufgebaut sind. Ein Druckluftmodul ermöglichte es für die topographische Charakterisierung und Vermessung von Mikro-Strömungssensoren einen konstanten Druck oder Luftstrom zu erzeugen. Für weitergehende Untersuchungen bietet das MSA-500 zusätzlich die Möglichkeit, Schwingungen in der Bauteilebene und senkrecht dazu zu messen.

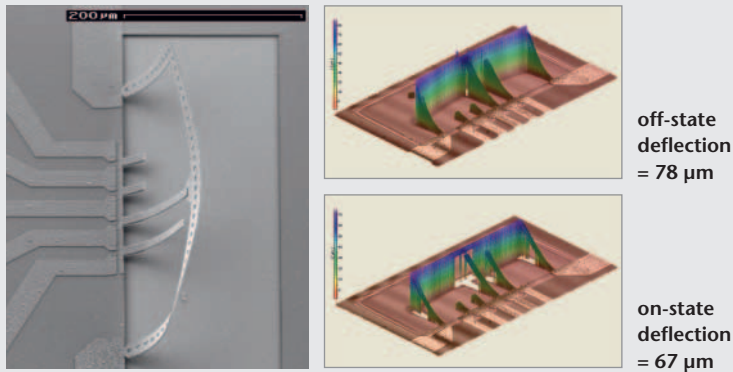


Bild 2: REM-Aufnahme des magMEMS (links); resultierende Auslenkung mit (rechts oben) und ohne Magnetfeld (rechts unten)

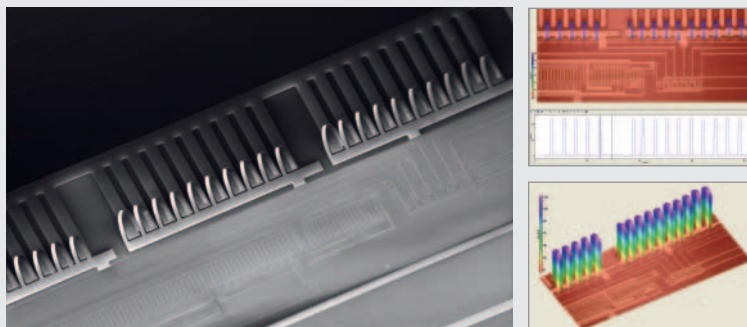


Bild 3: MEMS-Sensor mit 3D-Kondensatorstrukturen, co-integriert mit CMOS-Schaltkreisen. Links: REM-Aufnahme; rechts: 2D- und 3D-Profil.

MSA-500

Micro System Analyzer



Der neue MSA-500 Micro System Analyzer kombiniert in einzigartiger Weise mehrere leistungsstarke Messtechniken zur Charakterisierung statischer und dynamischer Eigenschaften von mikro-elektromechanischen Systemen (MEMS) und anderen Mikrostrukturen. Mikroskopische Scanning-Laser-vibrometrie und stroboskopische Videomikroskopie dienen zur schnellen und berührungsfreien Bestimmung von Bewegungen bis in den MHz-Bereich, während die Weißlicht-Interferometrie Topographiemessungen mit einer Auflösung bis unter 1 nm ermöglicht. Für die Schwingungsmessung bietet das MSA-500 auch eine direkte Erfassung von Geometriedaten mittels Geometrie-Scanner.

Mehr Info:

www.polytec.de/microsystems

Autoren - Kontakt

Ing. Nicolas André, Stanislas Sobieski,
Prof. Laurent Francis,
Prof. Jean-Pierre Raskin

Département d'électricité,
Université catholique de Louvain
B-1348 Louvain-la-Neuve, Belgium

Nicolas.Andre@uclouvain.be
www.dice.ucl.ac.be

Fehlersuche mit der Nano-Lupe

Messung von Nano-Defekten auf Festplattenoberflächen mittels Laservibrometrie



Kleinste Defekte im Nano-Maßstab auf den Datenträgern moderner Festplatten zu finden und genau zu vermessen, ist mit konventionellen optischen Methoden kaum möglich. Die Laservibrometrie dagegen bietet eine einzigartige Methode, solche Defekte zu finden und damit spätere Ausfälle des Laufwerks zu verhindern. Der nachfolgende Artikel (im englischen Original) beschreibt die Grundlagen dieser Technik. Mehr Informationen in deutscher Sprache finden Sie in dem Artikel „Kleiner, schneller, zuverlässiger“ in Ausgabe 2/2004 (www.polytec.de/InFocus) und unter www.polytec.de/datastorage

Introduction

With today's disk drives pushing performance limitations, measurements of defects on the surface of the disk has become critically important. Disk drives consist of a read/write head flying over the surface of a spinning disk. The head is flying over the surface at a distance of several nanometers from the surface, following the topography of the surface (i.e. curvature and waviness). As it encounters "bumps" in the surface, the flying height becomes modulated. In the case of significant flying height modulation, undesirable head-disk interaction can occur resulting in the loss of data, wearing of the disk or failure.

Therefore, surface topography measurement of the disk becomes critically important. Several techniques to perform disk topography measurements are available. These include white light interferometry, scatterometry, atomic force microscopy and laser-Doppler vibrometry. Each method has its advantages and disadvantages; users

tend to use familiar techniques at their disposal to "see" aspects suitable for each tool. For instance, imaging techniques such as white-light interferometry are capable of mapping the whole disk, but lack lateral resolution. Scatterometry can be used for looking at the roughness of disks. Atomic force microscopy has high lateral resolution for looking at nano-defects, but would be tediously slow for mapping a disk.

Using Laser Vibrometry

Laser vibrometry has the desired advantages of high resolution (both vertical and lateral), as well as speed for scanning the whole surface of the disk (see the article Higher Density, Higher Performance in issue 2004/2 on www.polytec.com/infocus). Here we explore the capabilities of this technique for finding and accurately measuring nano-defects. Nano-defects are categorized as defects that are at or below the wavelengths of visible light (0.4 to 0.7 microns). This characteristic makes them particularly difficult to measure using optical techniques. From the Rayleigh Criteria, the resolution limit for an optical imaging system is approximately equivalent to the wavelength of light used. For example, a confocal microscope using high aperture, oil immersion lens can achieve resolution of 0.2 microns under ideal conditions. As shown in Fig. 1, laser vibrometry is implemented for scanning disks by focusing the beam using a micro spot lens and directing it with a 90 degree

prism down on the surface of the disk. A spot size of 2 microns is achieved using a micro spot lens. As the disk spins (at right angles to the laser beam), any disk tilt, warping, waviness, and roughness are measured as "up and down" motion in the measurement direction. These "up and down" motions are interpreted as vibration by the laser system and each vibration frequency can be isolated (filtered) as needed. Frequency is converted to wavelength by simple knowledge of the rotation speed and measurement radius. For instance, for small defects, using a high pass filter eliminates the longer wavelengths and allows analysis of roughness and micro/nano defects.

Scanning for Defects

If a particular feature has a return signal response higher than the background level of roughness, then this is marked as a defect. In Fig. 2, the velocity response is shown from a defect where the velocity response is significantly higher than the background level for roughness. Another important feature of the laser vibrometry technique is that the polarity of the velocity for the measurement (positive velocity for "up" and negative velocity for "down") determines the shape of the defect. Because of its spatial size, a defect typically has fast rising and falling edges. The advantage of using a velocity signal is that these fast edges have higher velocities and are measured as distinct impulses on the vibration signal. A bump defect has a

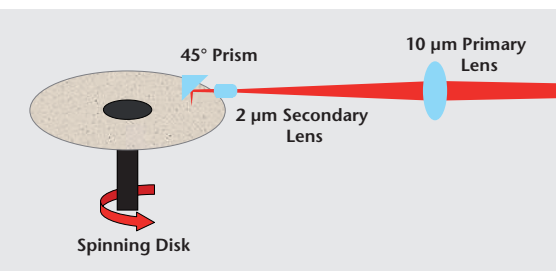


Fig. 1: Set-up for scanning disk with laser vibrometer

distinct “positive followed by a negative” impulse response and a pit has the opposite “negative followed by positive” response. This logic is used to categorize bumps and pits.

Nano Defects

The example above shows what happens for a large defect. What happens to the response when a nano-scale defect is measured? Because of the defect’s spatial size to imaging beam diameter disparity, the measured velocity signature is distorted or “convolved” by the imaging (measurement) beam. When imaged with a laser beam larger in spatial size, the result of the defect measurement is a “convolution” or reduction in measured height and associated broadening. Fig. 3 shows the effects of convolution on defects of the same height, but reduced size. The first example on the left shows the response (bottom) from a defect with 2 micron width (middle, blue) with corresponding laser beam intensity profile (top, red). As the defect spatial size is reduced, the velocity response becomes smaller. In the last case to the right, a defect of 0.2 micron size is measured (corresponding to 0.2 micron section of the measurement beam). Note that the response is only slightly larger than the background roughness, establishing a threshold for detectable defect size. Only velocity signals that are 10% above than the background roughness are determined to be defects. Hence, the smallest height detectable is dictated not by the spatial size of the defect or by the beam diameter but rather by the background roughness of the measured surface.

Deconvolution

Here deconvolution techniques can be used to determine accurate height/depth values from defects with sizes smaller than the beam diameter. In optics and imaging, the term “deconvolution” is specifically used to refer to the process of reversing the optical distortion that takes place in an optical microscope, telescope or other imaging instrument, thereby creating clearer images. A well known example is the Hubble Space Telescope. The early space telescope pictures were distorted by a flawed mirror. Knowledge of the mirror distortion allowed a fixed deconvolution algorithm to be applied to sharpen the images.

The deconvolution technique used is mathematically given by:

$$(f * g) + \varepsilon = h$$

where:

h is the recorded signal,
 f is the signal we wish to recover,
 g is the convolving function, and
 ε is any noise that has entered the recorded signal.

As the laser is scanned across the disk to create a continuous surface map, the spatial size of the defect is determined “on the fly” using the velocity response from the defect edges. Using this spatial size information, the raw velocity is deconvolved to determine the true velocity signal and this “corrected” velocity is integrated to determine height (or depth).

Results

Once the defects are identified, they are classified by shape (bump or pit) and size (nano-asperity, micro-asperity, asperity, contamination, and particle). A disk map is produced showing the precise location of the defect on the disk. Separate plots are made for both asperities and pits. In Fig. 4, a disk is shown with nano-asperities that would pass normal glide and certification tests, but fail at the drive level. This nano-asperity pattern is fairly typical of a

polishing process not quite “in control” because the manufacturer currently has no way to detect these nano-defects and therefore take corrective action. Similarly, the nano-pit mapping is shown in Fig. 5 where a “nano-scratch” is seen in the lower right quadrant.

Conclusion

We have described a measurement technique using Laser Vibrometry that can quickly scan and map out defects on HDD disks that are below the optical limit for light, so called nano-defects. The laser vibrometer technique has many advantages over conventional techniques such as high vertical resolution ($<1\text{\AA}$) and rapid measurement of the whole surface of the disk. Using deconvolution, we can extend lateral resolution to the sub-micron level and measure nano-defects. Laser Vibrometry allows accurate and reproducible measurements to be made that correlate well with Atomic Force Microscope (AFM) results. Given the current development trends, laser vibrometry will become a critical tool for finding the nano-defects that affect the performance of tomorrow’s disk drives.

Autoren · Kontakt

M. Sc. Eric Lawrence, Polytec Inc.
 Dr. Ian Freeman, Polytec LLC
e.Lawrence@polytec.com
www.polytec-LLC.com

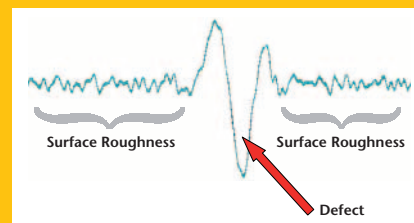


Fig. 2: Velocity signal for a defect measured against background roughness.

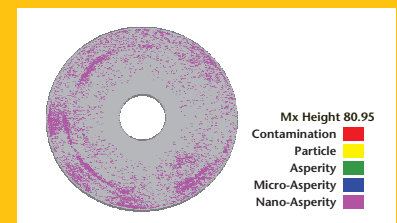


Fig. 4: Plot of nano asperities on a disk.

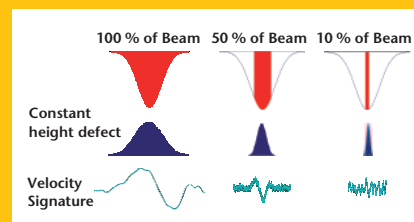


Fig. 3: Velocity signal (bottom), defect (middle) and corresponding laser beam profile (top) for defects with size decreasing to 0.2 microns (or 10% of laser beam diameter).

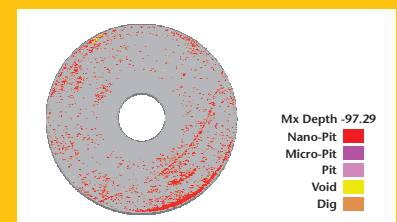
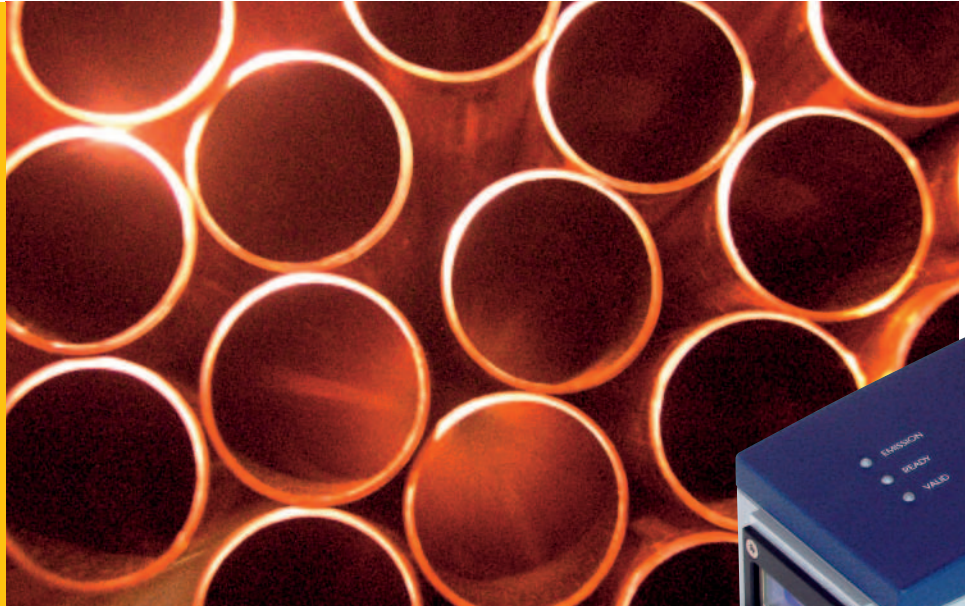


Fig. 5: Plot of nano pits on a disk.

Gut Abschneiden mit Laserpräzision

Zuschnittsteuerung mit Laser Surface Velocimetern in der Rohrproduktion

Durch die hochgenaue laserbasierte Geschwindigkeits- und Längenmessung mit Laser Surface Velocimetern (LSVs) werden weltweit in Rohrwalzwerken die Fertigungskosten gesenkt und auch Qualitäts- und Produktionssteigerungen erzielt.



Mueller Copper Tube, der größte englische Hersteller von Kupferrohren und Betreiber der modernsten und umweltfreundlichsten Produktionsanlage in Europa, nutzt seit 2007 drei LSV-300 Laser Surface Velocimeter für die Zuschnittsteuerung. Die früher eingesetzten mechanischen Messwertgeber waren infolge von Schlupf und Verschleiß mit großen Messfehlern behaftet. Durch den Wechsel zur berührungs-

losen Laser-velocimetrie mit einer Zuschnittgenauigkeit von 0,05% konnte der Ausschuss verringert und damit die Ausbeute merklich erhöht werden, ein nicht unerheblicher wirtschaftlicher Vorteil angesichts der steigenden Kupferpreise. Weitere Einsparungen ergeben sich dadurch, dass das LSV ein robustes Messsystem ohne bewegliche Teile ist und dadurch kaum noch Wartungs- und Stillstandszeiten auftreten.

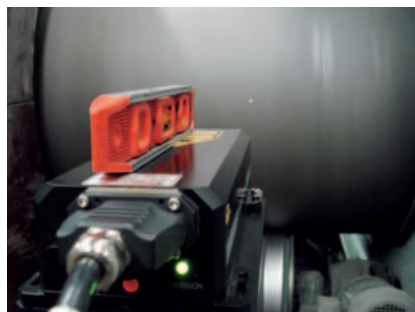
Das Borusan Mannesmann-Röhrenwerk in der Nähe von Bursa (Türkei) setzt das LSV-300 Surface Velocimeter seit 2006 ein und es ist beabsichtigt, sämtliche Produktionslinien mit diesen Systemen auszurüsten. Erdemir ist ein weiterer führender Rohrhersteller in der Türkei, der bereits mit LSVs arbeitet, und auch bei Borusan Izmit finden Testläufe mit dem Velocimeter statt. Hier wird das LSV in der Zuschnittsteuerung von Rohren mit großen Nenndurchmessern erprobt.



Zwei der bei Mueller Copper Tube in Bilston (England) installierten LSV-300 Surface Velocimeter für die Zuschnittsteuerung



LSV-Installationen in den Röhrenwerken von Borusan Mannesmann und Borusan Izmit in der Türkei



Jetzt All-in-One!

Für zuverlässige Prozesse, kontrollierte Geschwindigkeit und präzise Längenzuschnitte: Das neue LSV-1000 Kompakt-Velocimeter mit Ethernet-Interface

Das LSV-1000 repräsentiert die neue, kompakte Velocimeter-Generation von Polytec für die berührungslose Längen- und Geschwindigkeitsmessung von Bahnwaren. Schnell, lasergenau und zuverlässig stellt das Messgerät Längen- und Geschwindigkeitswerte für Kontroll- und Zuschnittaufgaben zur Verfügung. Optimiert auf die Kernaufgaben bietet es dem Anwender einen exzellenten ROI. Unabhängig ob die Messaufgabe Stahl, glänzendes Aluminium, ölbehaftetes Blech, Draht, Kabel oder nichtmetallische Materialien wie Holz, Pappe, Baustoffe und Textilien umfasst, das neue LSV-System misst auf nahezu jeder Oberfläche.

Folgende Merkmale bieten dem Anwender entscheidende Vorteile:

- Sichere Funktion auch unter rauen Industriebedingungen, Schutzklasse des Gehäuses: IP 66 und IP 67
- Robuste Sensor-Technologie mit optionaler Kühlung und Freiblasvorrichtung
- Effiziente und einfache Integration
- Arbeitsabstände: 300 mm, 500 mm, 700 mm, 1000 mm (weitere in Vorbereitung)
- 24 V-Spannungsversorgung
- Interfaces: LAN, seriell, Encoder
- Zubehör: gekühltes Schutzgehäuse, Winkelohtik und vieles mehr

Mehr Info: www.polytec.de/lsv



Für Spezialaufgaben: Die kleine Scanning-Lösung

Polytec VIB-A-600 ODS-Erweiterung

Dieses neue Zubehörpaket erweitert ein Einpunkt-Vibrometer zu einer kompakten Messstation für flächenhafte 1D- und 3D-Messungen an kleinen Messobjekten, beispielsweise an Komponenten von Datenspeichersystemen, kleine Antriebsmotoren oder Aktoren. Die Erweiterung kann entweder mit dem OFV-534 Messkopf mit eingebauter Kamera oder mit dem CLV-3D-Einpunktsensor für 3D-Messungen kombiniert werden. Eine einfach zu bedienende x-y-z-Traversierung mit 200 mm x 200 mm x 50 mm Verfahrenweg und interaktiver Punktdefinition ermöglicht die schnelle Messung der Schwingform (ODS, Operational Deflection Shape) des Objekts. Die Scanner Control-Software arbeitet dabei Hand in Hand mit der Vib-Soft Datenerfassungssoftware und liefert eine Messdatei mit Geometrie- und Schwingungsdaten im Universal File Format. Damit lassen sich die Schwingformen beispielsweise in der ME'scope Modalanalysesoftware darstellen.

www.polytec.de/vibrometer

Für anspruchsvolle Messanwendungen: Neue Scanning Vibrometer-Hochfrequenzversion PSV-400-3D-M



Diese neue Version des 3D-Scanning Vibrometers ist speziell für die flächenhafte Schwingungsmessung bei hohen Frequenzen konzipiert. Mit 1 MHz Bandbreite und neuen digitalen Decodern steht ein deutlich erweiterter Messbereich zur Verfügung. Damit lassen sich Messungen im Zeitbe-

reich, beispielsweise zur Bestimmung der Ausbreitung von Lamb-Wellen im Rahmen von Werkstoffuntersuchungen, bei wesentlich erhöhter zeitlicher Auflösung durchführen. Für kleine Objekte, beispielsweise Ultraschallmotoren, Ultraschallaktoren oder -sensoren, ermöglicht die hochauflösende externe Kamera mit Zoomobjektiv eine sehr genaue Messpunktdefinition. Ein spezielles Bildverarbeitungsverfahren optimiert die Geometriemessung. Wird mit importierten Geometrien (beispielsweise aus FE-Modellen) gearbeitet, erleichtert ein hochgenaues Referenzobjekt den Grundabgleich des Messsystems.

www.polytec.de/psv3d

PSV-400-3D-M Spezifikationen	Datenerfassung	Signalgenerator
Bandbreite	1 MHz	500 kHz
Kanäle	3 Vibrometerkanäle 1 Referenzkanal	1 Ausgangskanal



07.–09. 10. 2008	Biotechnica 2008	Hannover
07.–09. 10. 2008	Semicon Europe 2008	Stuttgart
13.–16. 10. 2008	testXpo Fachmesse für Prüftechnik	Ulm
14. und 16. 10. 2008	Polytec/Head Acoustics Praxistage – Geräusche und Schwingungen ganzheitlich erfassen, analysieren und optimieren	Waldbronn/ Herzogenrath
22.–23. 10. 2008	10. Polytec Vibrometer-Konferenz	Waldbronn
29.–31. 10. 2008	IZB – Internationale Zuliefererbörse 2008	Wolfsburg
11.–12. 11. 2008	Seminar: Scanning Vibrometer-Training	Waldbronn
13.–14. 11. 2008	Jahrestagung Stahl 2008	Düsseldorf
13.–14. 11. 2008	Seminar: Scanning Vibrometer-Training für Fortgeschrittene	Waldbronn
17.–18. 11. 2008	4. Kolloquium Arbeitskreis Prozessanalytik	Basel, Schweiz
26.–27. 11. 2008	14. VDI-Tagung „SIMVEC“ – Berechnung & Simulation im Fahrzeugbau	Baden-Baden
09.–10. 12. 2008	brake.tech 2008	München
21.–23. 01. 2009	SIAT 2009	Pune, Indien
25.–29. 01. 2009	MEMS 2009	Sorento, Italien

Alle aktuellen Messe- und Veranstaltungstermine finden Sie auf unserer Website unter www.polytec.de/LM-events



Besuchen Sie unsere kostenlosen Webinare im Internet unter <http://polytec-de.webex.com>. Dort finden Sie auch die jeweils aktuelle Themen- und Terminübersicht!

23. 10. 2008	Introduction to Optical Vibration Measurement with Laser-Doppler-Vibrometry	11.00 – 12.00 Uhr
28. 10. 2008	Introduction to Optical Surface Metrology	11.00 – 12.00 Uhr
29. 10. 2008	Einführung in die optische Oberflächenmesstechnik	11.00 – 12.00 Uhr

Impressum

Polytec InFocus – Magazin für Optische Messsysteme
Ausgabe 2/2008 – ISSN 1864-9181 · Copyright © Polytec GmbH, 2008
Herausgeber: Polytec GmbH · Polytec-Platz 1-7 · D-76337 Waldbronn

V.i.S.d.P.: Dr. Helmut Selbach
Redaktion: Dr. Arno Maurer, Dr. Heinrich Steger
Produktion: Regelman Kommunikation

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