

SENSOR MAGAZIN

MESSTECHNIK · AUTOMATISIERUNG · MIKRO-NANO-INTEGRATION · AKTORIK

Mediapartner des AMA Verband für Sensorik und Messtechnik e. V.



MERIT SENSOR™

Leitthemen

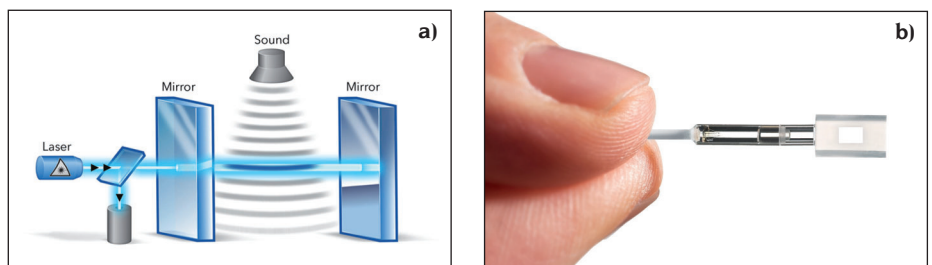
RÖNTGEN-Special	6
MOBILE MASCHINEN	22
UMWELTMESSTECHNIK	36

Optisches Mikrofon: Neue »Ohren« für kontaktfreie industrielle Prüfverfahren

Die Verwendung von Ultraschall in der Industrie ist seit Jahren etabliert. Die wassergekoppelte zerstörungsfreie Ultraschall-Materialprüfung (zfP) oder die Überwachung akustischer Emission (AE) bei industriellen Prozessen wird heute meist mit piezoelektrischen Sensoren umgesetzt. Ein neuartiges, laser-basiertes Messverfahren ermöglicht eine kontaktfreie Luft-Ultraschallmessung, und zwar in einem Frequenzbereich, der heutige Sensoren um einen Faktor 10 übertrifft. Eine kompakte (2 mm) Messkapsel misst dabei den Schalldruck direkt über die Veränderung des optischen Brechungsindex im schallführenden Medium.

Stand der Technik: Ultraschallmessungen durch piezoelektrische Wandler

Bei der Prüfung von Werkstoffen im Automobil- und Flugzeugbau wird nebst radiologischen, optischen und thermographischen Verfahren häufig Ultraschallprüfung eingesetzt¹. Dabei wird – ähnlich wie bei einer ärztlichen Untersuchung – meistens Wasser als Kopplungsfluid verwendet. Während an der Grenzfläche Wasser-Aluminium bereits 85 % des Schalls reflektiert werden, beträgt die Reflexion an der Grenzfläche Luft-Aluminium 99,99 %. Ist eine kontaktfreie Prüfung gefordert, so muss dieser große Impedanzsprung zwischen Luft und Messobjekt



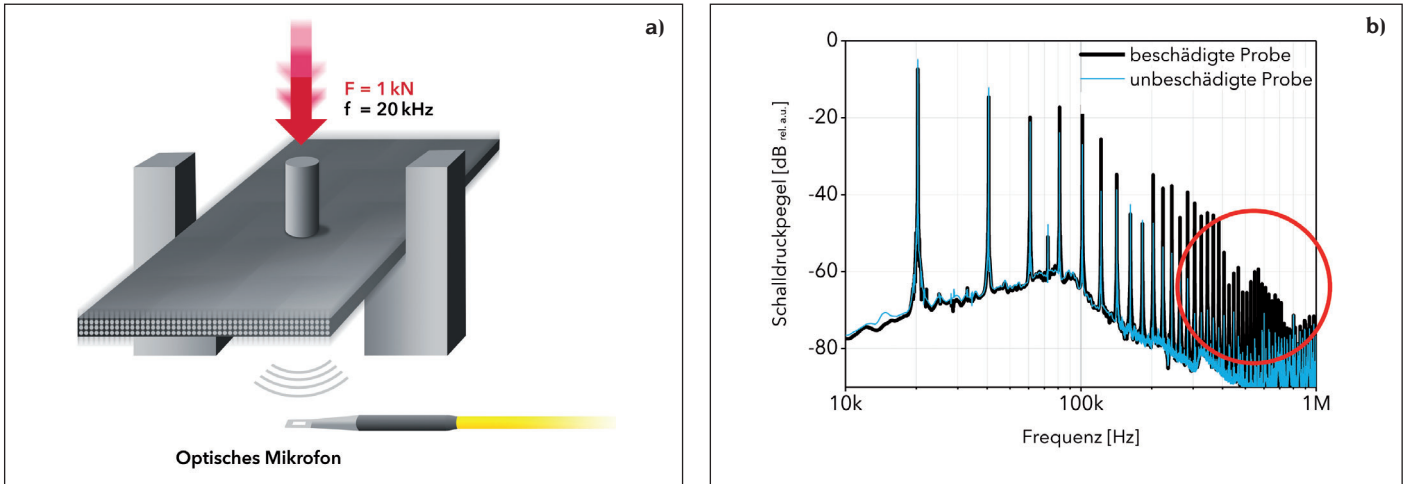
▲ **Abb. 1:** Das optische Mikrofon: a) Funktionsweise des optischen Mikrofons; Detektion der Schallwelle mittels Fabry-Pérot-Etalon; b) Foto des Sensors in Verbindung mit optischer Faser.

überwunden werden. Dafür werden heute piezoelektrische Wandler als Feder-Masse Schwinger hochresonant ausgeführt. Dies führt jedoch zu erheblichem Nachschwingen und einer schmalen nutzbaren Frequenzbandbreite, zwei kritische Nachteile in der

Materialprüfung. Eine vergleichbare Ausgangslage ergibt sich in der industriellen akustischen Prozessüberwachung: Darf der Sensor keinen physischen Kontakt zum Messobjekt haben, – etwa wegen Verschmutzungsgefahr oder rasch bewegten Teilen – ist ein

Anzeige

PRAXIS



▲ Abb. 2: Materialermüdungsprüfung; a) Dynamische Belastung einer CFK-Probe, Schalldetektion mittels optischem Mikroskop; b) Messung der Schallemission einer beschädigten und einer intakten CFK-Probe. Mit freundlicher Genehmigung von: Prof. F. Balle, Hybride Werkstoffsysteme, TU Kaiserslautern.

hochsensitiver Schalldetektor gefragt. Aufgrund ihrer hohen Empfindlichkeit werden dazu oft Kondensator-Mikrofone eingesetzt. Die Masseträgheit der Membran ermöglicht jedoch typischerweise keine Detektion von Frequenzen oberhalb von 100 kHz. Da im

Frequenzband unter 100 kHz der Umgebungslärm sehr prominent ist, wird das Monitoring in einem höheren Frequenzbereich angestrebt. Zahlreiche Prozesse, darunter Laser-Materialbearbeitung, Ermüdungsprüfung oder Additive Manufacturing emittieren breitbandig akustische Wellen mit Frequenzen bis in den extrem hohen Ultraschall von 1 MHz, die durch das optische Mikroskop messbar sind.

preis der Berthold Leibinger Stiftung und dem AMA Innovationspreis des Verbands für Sensorik und Messtechnik.

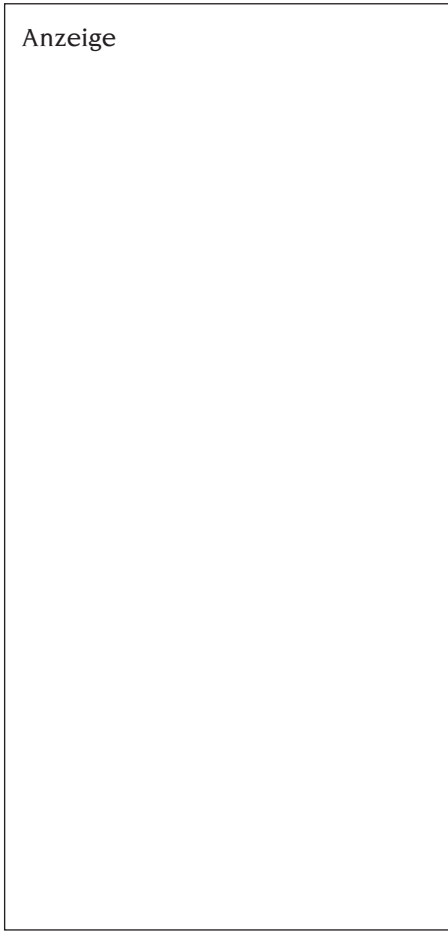
Aus der rein optischen Schalldetektion ohne mechanische Elemente (wie z. B. Membran oder Piezokristall) resultieren hervorragende Eigenschaften der Signalerfassung. So existieren keine Eigenresonanzen, wodurch eine akustische Frequenzbandbreite von 1 MHz in Luft bei gleichzeitiger Immunität gegenüber elektromagnetischen Feldern erreicht wird.

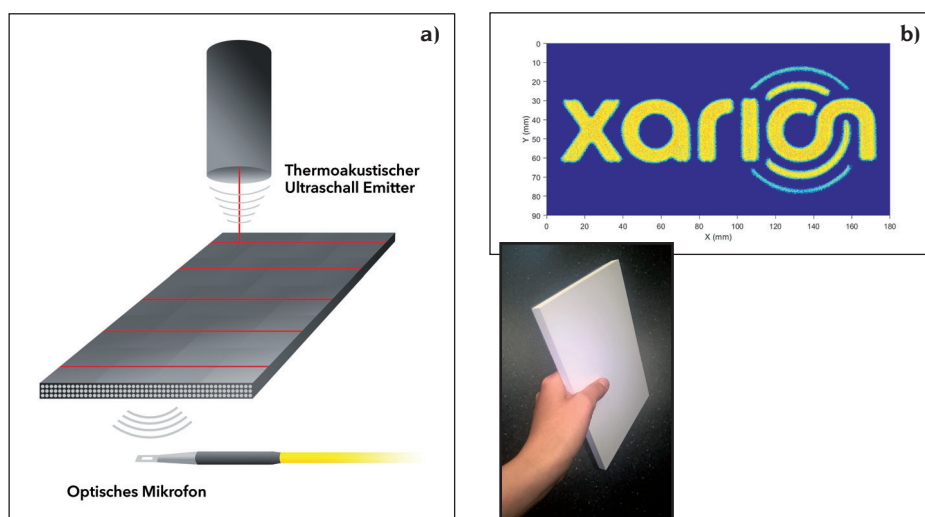
Passive Messung von Ultraschallemission: Anwendungsbeispiel Ermüdungsprüfung

Ein Anwendungsbeispiel, bei dem die Detektion breitbandiger Ultraschallemissionen eines Prozesses für dessen Charakterisierung genutzt wird, ist die Hochfrequenz-Ermüdungsprüfung von CFK-Bauteilen². Dabei werden Prüfkörper dynamisch belastet und die dabei entstehenden akustischen Emissionen mit dem optischen Mikroskop aufgenommen. Der Prozess zeichnet sich durch ein breitbandiges Obertonspektrum aus (siehe Abb. 2b), wobei vor allem bei Ultraschallfrequenzen zwischen 300 kHz und 800 kHz deutliche Unterschiede zwischen beschädigten und unbeschädigten Prüflingen auftreten. Das optische Mikroskop könnte somit neuartige Mög-

Breitbandige Ultraschallmessung durch optisches Mikroskop

Die Funktionsweise des optischen Mikrofons basiert auf der Messung der Änderung des Brechungsindex über die Dichteänderung des optischen Mediums. Eine eintreffende Schallwelle entspricht einer Druckänderung des schallführenden Mediums und somit einer Änderung der Materialdichte. Da der optische Brechungsindex von dieser Dichte abhängig ist, verändert eine Schallwelle geringfügig die Lichtgeschwindigkeit im Medium. Dies kann mittels miniaturisiertem optischen Interferometer, einem Fabry-Pérot-Etalon, gemessen werden. Das Funktionsprinzip gilt sowohl in Gasen als auch in Flüssigkeiten, das optische Mikroskop ist also auch ein Hydrophon. Das patentierte Wandlerprinzip wurde aufgrund seiner Neuartigkeit vielfach ausgezeichnet, darunter mit dem Leibinger Innovations-





▲ Abb. 3: Zerstörungsfreie Materialprüfung mittels optischem Mikrofon: a) Durchschallung eines mehrschichtigen Kunststoff-Prüfkörpers mittels Thermoakustischem Emittter. Das XARION-Logo wurde als 10 µm dicke Luftschicht mittels Folien-Negativ in den Prüfkörper integriert; b) Foto vom Testobjekt und Messergebnis des C-Scans.

lichkeiten für die in-line Prozesskontrolle zur Früherkennung des Bauteilversagens ermöglichen.

Anwendungsbeispiel zerstörungsfreie Prüfung mit Luftultraschall

Ein weiteres Anwendungsfeld, in dem das optische Mikrofon bereits erfolgreich eingesetzt wird, ist die zerstörungsfreie Luftultraschallprüfung. Im Gegensatz zu Luftultraschall-Piezowandlern erlaubt das optische Mikrofon wegen seiner Impulstreue die zeitliche Separation von Signalen im µs-Bereich. In Kombination mit geeigneten Anregungstechniken, wie der Laser-Ultraschall Anregung³ oder thermoakustischen Wandlern⁴, ermöglicht dies eine bisher nicht mögliche Tiefenauflösung von Defekten. Aufgrund der hohen Sensitivität des Sensors kann auf ein Kopplungsmedium verzichtet werden. Durch die große messbare Bandbreite und die kompakten Abmessungen des Sensors wird eine hohe Kantenschärfe erzielt. An der Implementierung einseitiger Luftgekoppelter Prüfverfahren wird gegenwärtig geforscht.

Breites Anwendungsspektrum möglich

Diese Anwendungsbeispiele zeigen

einen Ausschnitt der Anwendungen, für die das optische Mikrofon Vorteile bietet. Weitere Einsatzgebiete wie die Photoakustische Bildgebung, die Überwachung industrieller Schweiß- und Schneidprozesse, die Untersuchung von Koronaschallemissionen von Hochspannungsleitungen oder die Kontrolle von Protoneninduziertem Materialverschleiß am Teilchenbeschleuniger im CERN⁵ unterstreichen das Potential für den neuartigen Sensor.

Referenzen

¹Vaara P., Publications of Kemi-Tornio University of Applied Sciences. Serie B. Reports 2012; 8.

²Backe D., Composites Science and Technology 126, (2016), p. 115-121.

³Park B., Composites Science and Technology 2014; 100:10-8.

⁴Daschewski M., Journal of Applied Physics 2013; 114(11):114903.

⁵Fischer B., Nature Photon 2016; 10(6):356-8.

► INFO

Autoren:
Balthasar Fischer, Nils Panzer,
Wolfgang Rohringer

Kontakt:
Dr. Balthasar Fischer (Geschäftsführer)
XARION Laser Acoustics GmbH
Ghegastr. 3
1030 Wien, Österreich
Tel.: +43 19076076 11
www.xarion.com