

# Neuartiges optisches Messverfahren für Schall. Applikationsbeispiel: Ermüdungsprüfung

Thomas HEINE<sup>1</sup>, Thomas HERBST<sup>1</sup>, Balthasar FISCHER<sup>1</sup>

<sup>1</sup> XARION Laser Acoustics GmbH, Wien, Österreich

Kontakt E-Mail: t.heine@xarion.com

## Kurzfassung

Die XARION Laser Acoustics GmbH hat ein neuartiges Sensorsystem entwickelt, das auf einem bisher in der Schallmesstechnik nicht verwendeten, optischen Messprinzip beruht. Eine akustische Druckwelle die in Luft, Gasen oder Flüssigkeiten propagiert ändert den optischen Brechungsindex dieses Mediums und beeinflusst damit die Wellenlänge des Lichts. Dieser Effekt betrifft auch die Wellenlänge des im Optischen Mikrofon verwendeten Lasers. Solch kleine Änderungen der Wellenlänge lassen sich mit Hilfe von optischer Interferenz in einem miniaturisierten Interferometer (2mm) sehr gut sichtbar machen und liefern eine zur Druckamplitude proportionale Helligkeitsänderung. Klassische Sensoren beruhen auf beweglichen mechanischen Teilen wie oszillierenden Membranen oder Auslenkungen von Objektoberflächen und kämpfen mit der Trägheit dieser Massen. Beim Optischen Mikrofon hingegen wird die Druckwelle durch die optische Welle unbeeinflusst, störungsfrei und impulstreu gemessen.

Dadurch kann ein Messverfahren angeboten werden, das erlaubt mit nur einem Sensor den kompletten Frequenzbereich des Hörschalls und Ultraschalls abzudecken (5Hz bis 1MHz). Das Messprinzip des Optische Mikrofons kann nicht nur im Medium Luft sondern auch in Flüssigkeiten eingesetzt werden. In diesen können, im Gegensatz zur Luft, auch Frequenzen über 1MHz propagieren und erlauben dadurch einen erweiterten Frequenzbereich bis 25MHz.

Neben Anwendungen in der klassischen technischen Schallmessung im Hörbereich eröffnet die neue Technologie durch die große Frequenzbandbreite insbesondere im Bereich der zerstörungsfreien Prüfung, der Prozesskontrolle, der Schallemission und der durch Kurzpulslaser angeregten Schallemission von Proben neue Anwendungsfelder. Eine weitere Anwendungsmöglichkeit, welche hier exemplarisch vorgestellt werden soll, ist die Ermüdungsprüfung. Durch das ‚Zuhören‘ im sehr hohen Luft-Ultraschallbereich bei rund 500kHz lässt sich der Zustand des Bauteiles zuverlässig und kontaktfrei überwachen.

# Neuartiges optisches Messverfahren für Schall

## Applikationsbeispiel: Ermüdungsprüfung

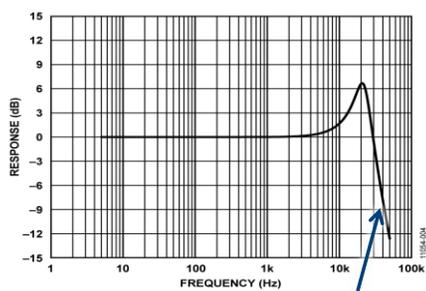
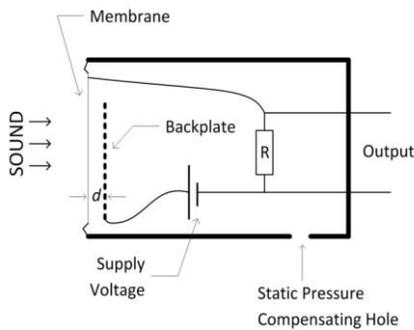
DGZfP, Fulda  
9. März 2017

Thomas Heine, Thomas Herbst, Balthasar Fischer  
XARION Laser Acoustics GmbH

moving sounds without moving parts



### Konventionelle Mikrofone

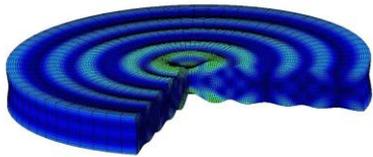


Begrenzter  
Frequenzumfang

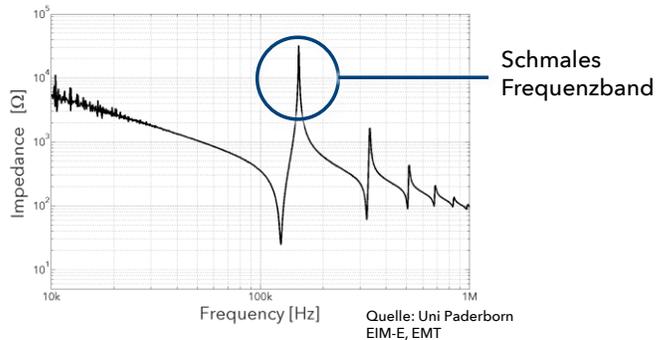
- + Etablierte Technologie
- + Großer Signal-zu-Rausch-Abstand

- Begrenzter Frequenzumfang
- Nichtlinearitäten
- Empfindlichkeit auf elektromagnetische Störfelder

## Piezoelektrische Wandler: Luftultraschall



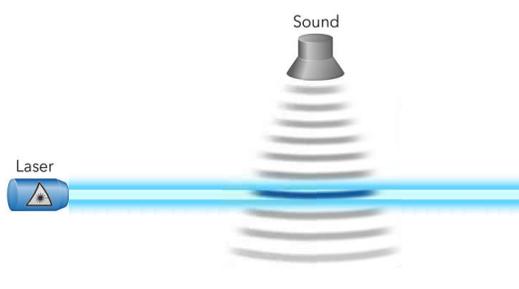
Höhere Eigenmode 1mm Piezo Scheibe



- + Großer Signal-zu-Rausch-Abstand
- + Fokussierbarkeit

- Schmales Frequenzband
- Nichtlinearitäten
- Empfindlichkeit auf elektromagnetische Störfelder

## Membranfreies Optisches Mikrofon: Akustik trifft Optik



Wellenlänge (Licht)  $\propto$  Schalldruck

### Akustik:

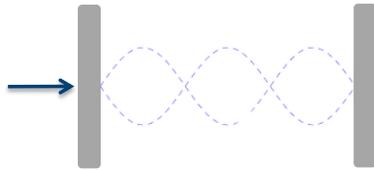
- ✓ Schallwelle ist eine Druckwelle

### Optik:

- ✓ Brechungsindex ( $n$ ) der Luft ist proportional zum Schalldruck ( $p$ )
- ✓ Brechungsindex ( $n$ ) ändert die Wellenlänge ( $\lambda$ ) des Lichts im "Medium" Luft
- ✓ **Membranfreies Optisches Mikrofon:** Messung der Lichtwellenlänge, die im Schallfeld proportional zur Druckamplitude variiert
- ✓ Akinetisches Messprinzip (keine beweglichen Teile)

## Interferometrie: Hochgenaue Wellenlängenmessung

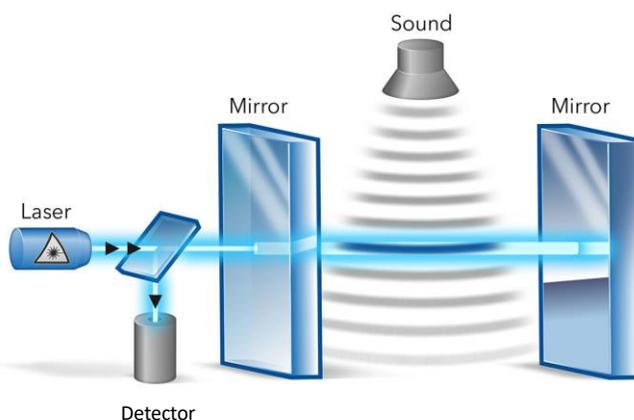
Brechungsindex:  
Vakuum  $n = 1$   
Luft  $n = 1.00027$   
Änderung  $\Delta n = \Delta p \cdot 3 \cdot 10^{-9} / \text{Pa}$



Interferometer (starrs Etalon):  
2 planparallele Spiegel

- ✓ Wellenlängenänderung ist sehr gering
- ✓ Interferometrisches Messverfahren kann diese aber auflösen!
- ✓ Im Interferometer (starrs Etalon) bildet sich eine stehende Lichtwelle aus
- ✓ Konstruktive Interferenz und maximale Helligkeit im Etalon: Vielfaches ( $m$ ) der halben Lichtwellenlänge ( $\lambda$ ) ist gleich der Etalonlänge ( $L$ ):  $m \cdot \lambda / 2 = L$
- ✓ Vielfache konstruktive Interferenz: Abweichungen von der resonanten Wellenlänge addieren sich auf und können als Helligkeitsänderung im Etalon gemessen werden

## Membranloses Optisches Mikrofon



### Funktionsprinzip im Überblick

- ✓ Durch die Wellenlänge des Lichts läßt sich störungsfrei die akustische Druckwelle messen
- ✓ Interferenz in einem starren Etalon: Helligkeitsänderung proportional zur Luftdruckänderung

# Schallmessung ohne mechanisches Feder-Masse-System

Konventionelles, membranbasiertes Mikrofon oder piezoelektrische Wandler:



Optisches Mikrofon:



# Membranloses Optisches Mikrofon: Eta250 Ultra

Datasheet

## Eta250 Ultra

### Acoustic

Transducer type	Membrane-free, optical
Frequency range	5Hz - 1MHz
Dynamic range	100 dB
Self-noise	70 µPa, <math>\pm 110\text{ dB}</math>
Self-noise, in full bandwidth	70 mPa, in 1MHz BW
Max. sound pressure for THD <math>< 3\%</math>	400 Pa
Max. sound pressure level for THD <math>< 3\%</math>	146 dB rel. 20 µPa
Damage threshold	>194 dB rel. 20 µPa
Sensitivity	10 mV/Pa @ 1kHz (0 dB gain, 50 Ohm)
Polar pattern	Omnidirectional
Sound field optimization	Free field and pressure field
Calibration compatible with pistonphone or calibrator	Yes, standard calibrators (with adapter)

### General

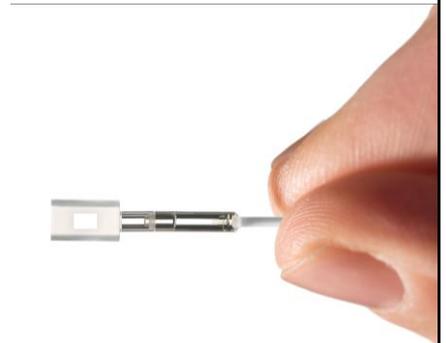
Sensor output voltage	$\pm 15\text{ V}$ (high impedance), $\pm 7.5\text{ V}$ (50 Ohm)
Sensor output voltage connector (signal conditioning unit)	BNC
Sensor output impedance	50 Ohm
Size of sensor head	diameter: 5 mm; length: 33 mm
Weight of sensor head	10 g
Fiber cable length	5 m (other upon request)
Size of control unit	22 cm x 33 cm; height: 9.5 cm
Weight of control unit	8 kg
Power supply (signal conditioning unit)	230 V $\pm 10\%$ ; 50 / 60 Hz
Power consumption	<math>< 50\text{ W}</math>

### Environmental

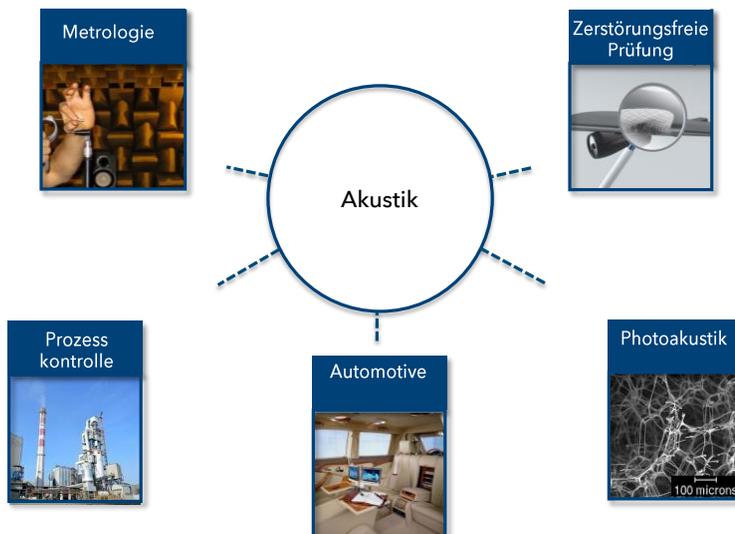
Storage temperature	0° C to 40° C (32° F to 104° F)
Operating temperature: sensor head	5° C to 40° C (40° F to 104° F)
Operating temperature: control unit	15° C to 30° C (60° F to 85° F)
Environmental humidity	non-condensing



- ✓ Neuartiges, laserbasiertes Messverfahren für Schallwellen
- ✓ Frequenzbandbreite 5Hz bis 1MHz (Hörakustik und Luftultraschall)
  - Konventionelle Mikrofone: 5Hz - 20kHz (140kHz)
  - Piezoelektrische Wandler Luftultraschall: ~ Zentrumsfrequenz +/- 5% (z.B.: 500kHz..550kHz)
- ✓ 100dB Dynamik
- ✓ Hervorragende Impulsantwort (keine beweglichen Teile)
- ✓ Rein optischer Aufbau:  
Unempfindlich auf elektromagnetische Störfelder
- ✓ Sehr kompakter Sensor: 5mm Durchmesser, 33mm Länge
- ✓ Große Kabellängen möglich  
(Abschwächung optische Faser: 0.3dB/km)
- ✓ Sensor kann in Luft, Gasen und Flüssigkeiten eingesetzt werden

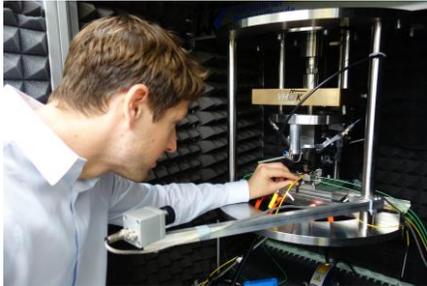


## Nur ein Mikrofon? Applikationen



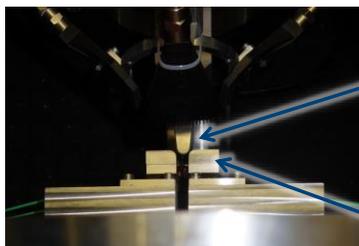
## Applikationsbeispiel:

### Prozessüberwachung mit Luftultraschall: Beschleunigte Ermüdungsprüfung von CFK Proben



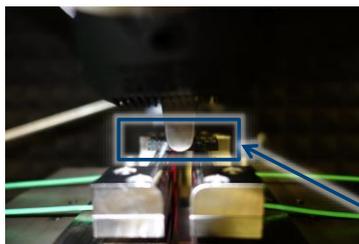
Messungen an der TU Kaiserslautern,  
Gruppe Professor Dr. Balle

## Messaufbau: 20kHz Belastungsprüfstand



Finne

Aufnahme

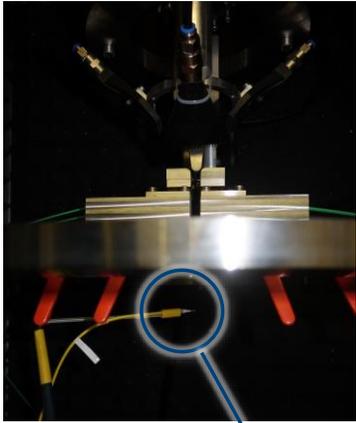


CFK Prüfling

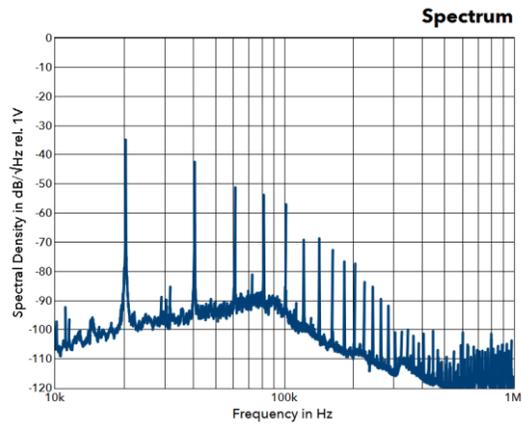
### Messaufbau:

- ✓ CFK Prüfling wird zwischen Aufnahme und Finne unter Vorspannung montiert
- ✓ Der Prüfling verbiegt sich unter der Vorspannung leicht
- ✓ Finne wird mit einer Frequenz von 20kHz auf und ab bewegt und damit die Vorspannung auf den Prüfling moduliert
- ✓ Wärmeentwicklung im Prüfling und den Halterungen. Wird mit Druckluft gekühlt
- ✓ Starke Lärmentwicklung im oberen Frequenzbereich der Hörakustik

## Schallemissionsanalyse bei der Ermüdungsprüfung

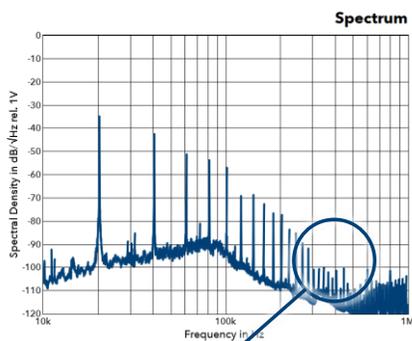


Optisches Mikrofon

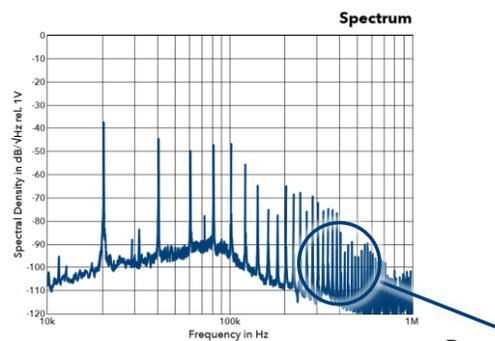


- ✓ Ausgangsspektrum: neuwertiger Prüfling
- ✓ Anregungsfrequenz (20kHz) und Harmonische deutlich sichtbar

## Prozessüberwachung: Zustandssignatur bei Ultraschall-Frequenzen



Neuwertiger  
Prüfling

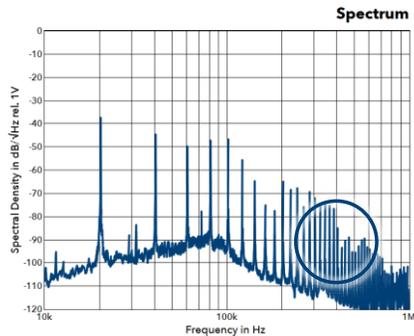


Beschädigter  
Prüfling

- ✓ Deutlicher Unterschied zwischen einem neuwertigen und einem geschädigten Prüfling im Frequenzbereich 300kHz - 800kHz

## Zusammenfassung

- ✓ Das optische Mikrofon konnte auch in dieser Anwendung unter erschwerten Umwelt-Bedingungen erfolgreich eingesetzt werden
- ✓ Mit Hilfe des großen Frequenzumfangs läßt sich eine klare Zustandssignatur des CFK Prüflings messen
- ✓ Weitere detaillierte Untersuchungen nötig, insbesondere um verschiedene Schädigungen sicher von einem unbeschädigten Prüfling zu unterscheiden



## Ausblick

- ✓ Vortrag 21 am Freitag um 10:55 Uhr  
**Wolfgang Rohringer: Breitbandige Erfassung von Ultraschallemissionen mit einem laserinterferometrischen Sensor**  
Fokus: Weitere Anwendungen des Optischen Mikrofons
- ✓ Membranfreies Optisches Mikrofon in Aktion:  
**Geräteausstellung**
- ✓ **Wir freuen uns auf Ihren Besuch!**

