

# Breitbandige Erfassung von Ultraschallemissionen mit einem laserinterferometrischen Sensor

Balthasar FISCHER<sup>1</sup>, Thomas HERBST<sup>1</sup>, Wolfgang ROHRINGER<sup>1</sup>

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

Kontakt E-Mail: w.rohringer@xarion.com

## Kurzfassung

Zur Schallemissionsanalyse steht mit dem membranlosen optischen Mikrofon ein neuartiger Sensor zur Verfügung. Bei dieser Technologie wird der Luftschall mittels Laserinterferometrie gemessen. Ein miniaturisiertes Fabry-Pérot-Interferometer macht erstmals den gesamten Frequenzbereich des Luftultraschalls zugänglich, nominell von 5 Hz bis 1 MHz. Durch den Verzicht auf bewegliche Teile entfallen die sonst üblichen mechanischen Einflüsse des Wandler Systems, das Messsystem liefert ein Signal ohne Störungen durch mechanische Resonanzen und bietet damit eine nahezu perfekt lineare Übertragungs-Charakteristik mit gleichbleibender Empfindlichkeit über den gesamten Frequenzbereich. Dies ist bei der akustischen Prozessüberwachung von besonderem Interesse, da relevante und statisch robuste Prozessinformationen oft gerade im sehr hohen Ultraschall-Bereich enthalten sind.

Beispielhaft wird in dem Vortrag über Messungen bei Ermüdungsexperimenten an CFK-Materialien berichtet. Dabei wird das Werkstück in hochfrequente, longitudinale Schwingungen versetzt, so dass schnelle Kompression-Dehnungs-Zyklen durchlaufen werden. Diese Anordnung zur Prüfung von Werkstoffen gestattet aufgrund der hohen Zyklus-Frequenz im Bereich von 20kHz eine sehr zeiteffiziente Prüfung des Ermüdungsverhaltens von robusten Materialien. Die Bewegung wird mit einem Laser-Vibrometer erfasst. Erstmals wurde die Anordnung zusätzlich durch ein optisches Mikrofon ergänzt und kontaktfrei die Luftultraschall Emission des Prozesses gemessen. Dabei wurde festgestellt, dass in bisher nicht zugänglichen, hohen Frequenzbändern, zwischen 200 bis 600 kHz, Ultraschall als höhere Harmonische der mechanischen Anregung emittiert wird. Diese Emissionen lassen Rückschlüsse auf die Integrität des Prüflings zu. Weitere Untersuchungen mit dem optischen Mikrofon sind beabsichtigt und sollen klären, welche zusätzlichen Erkenntnisse in den jetzt messbaren Signalen enthalten sind.

# Breitbandige Erfassung von Ultraschallemissionen mit einem Laserinterferometrischen Sensor

21. Kolloquium Schallemission, DGZfP, Fulda  
10. März 2017

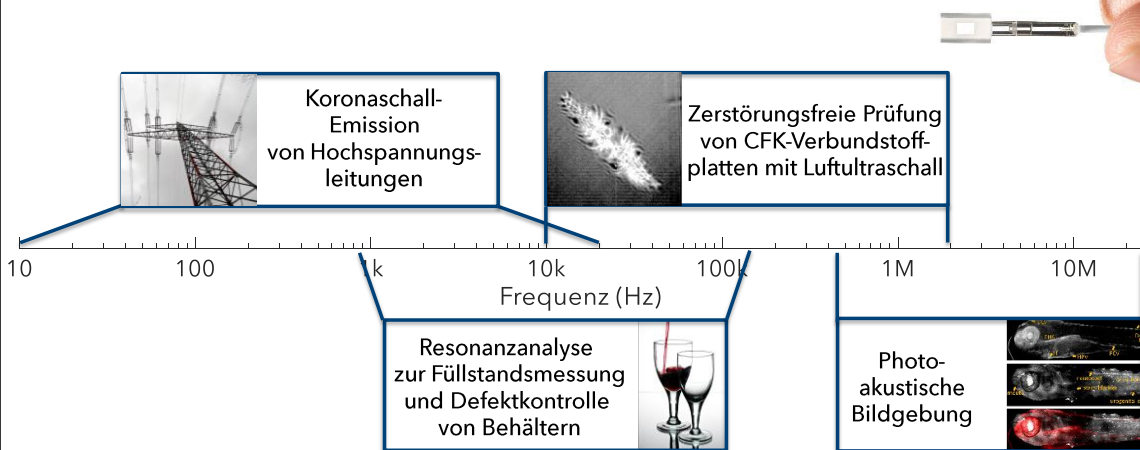
Balthasar Fischer, Thomas Herbst, Wolfgang Rohringer  
XARION Laser Acoustics GmbH

moving sounds without moving parts

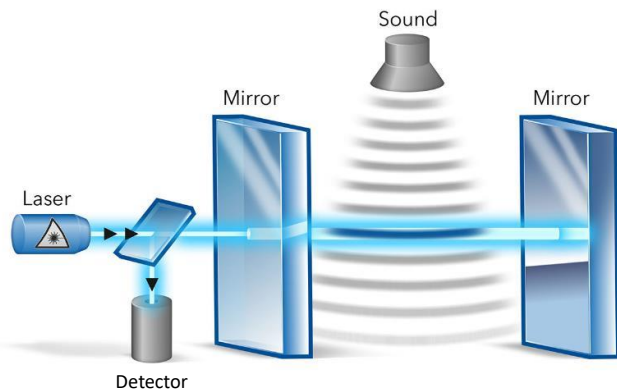


## Agenda

### Optisches Mikrofon als breitbandiger (Ultra)schall-Sensor



## Optisches Mikrofon: Funktionsprinzip



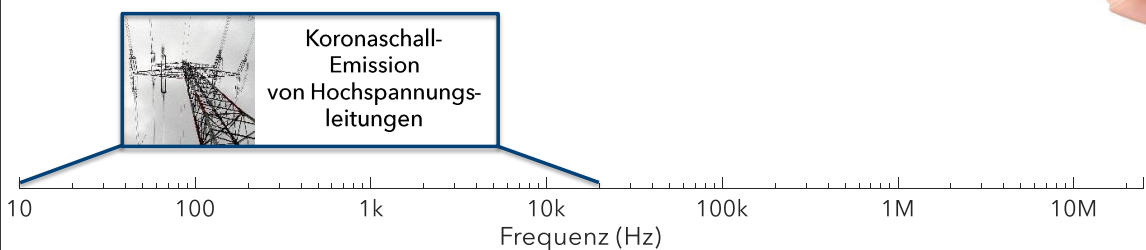
### Funktionsprinzip im Überblick

- ✓ Schalldruck ändert optische Wellenlänge im Medium
- ✓ Interferenz in einem starren Etalon: Helligkeitsänderung proportional zur Luftdruckänderung
- ✓ Keine mechanische Bewegung oder Deformation
- ✓ Detektion in Gasen (Luft) und Flüssigkeiten!

Siehe auch: Fischer B. „Optical microphone hears ultrasound“, *Nature Photonics* **10**, 356-358

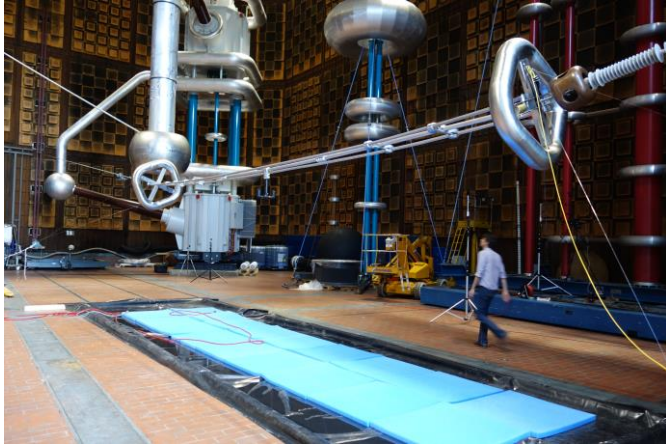
## Agenda

### Optisches Mikrofon als breitbandiger (Ultra)schall-Sensor



## Koronaschallemission von Hochspannungsleitungen

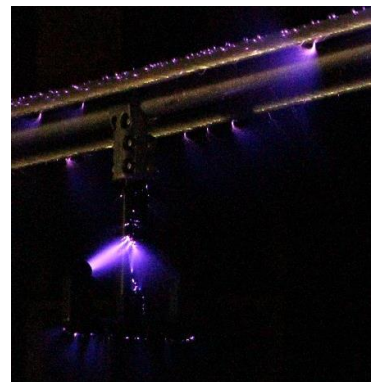
- ✓ Koronaentladungen in der Nähe von Hochspannungsleitungen: akustische Emission, vor allem bei Regen, Nebel
- ✓ Ziel: Messung nahe an der Schallquelle (Emission statt Immission)
- ✓ Optisches Mikrofon: EMI - unempfindlich, Positionierung in unmittelbarer Nähe der Leitung möglich



© Kooperationsprojekt von TU Graz, Austrian PowerGrid AG, XARION

## Koronaschallemission von Hochspannungsleitungen

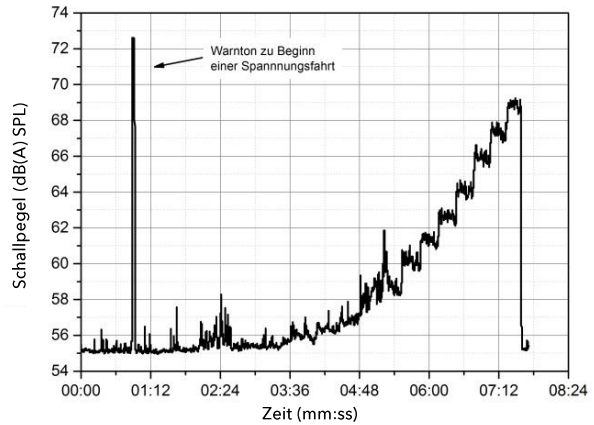
- ✓ Koronaentladungen: Funkenentladung durch Ionisation im Bereich starker Feldstärkegradienten\*
- ✓ Auftreten abhängig von Oberflächenbeschaffenheit, Luftdruck, Temperatur, Krümmungsradius des Leiters
- ✓ Optisches Mikrofon: Messung in nur 30 cm Abstand von 380 kV - Leitung möglich



Position der Sensorköpfe

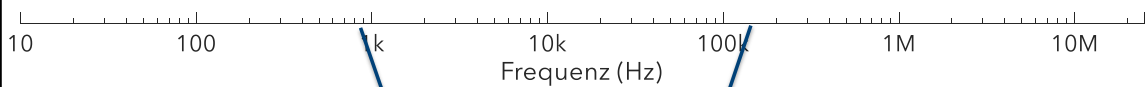
## Koronaschallemission von Hochspannungsleitungen

- ✓ Durchgängig beregnete Hochspannungsleitung
- ✓ Hochrampen der Spannung zwischen 100 und 260 kV
- ✓ Aufnahme des A-gewichteten Schallpegels mit dem optischen Mikrofon
- ✓ Abstand zwischen optischem Mikrofon und HV-Leitung: 30 cm



## Überblick

Optisches Mikrofon als breitbandiger (Ultra)schall-Sensor



Resonanzanalyse zur Füllstandsmessung und Defektkontrolle von Behältern



## Resonanzanalyse



- ✓ Akustische Anregung einer Probe (z.B. partiell gefüllte Glasküvette) bei charakteristischer Resonanzfrequenz
- ✓ Füllstandsunterschiede oder Defekte führen zu einer messbaren Verschiebung der Resonanzfrequenz

## Resonanzanalyse



- ✓ Akustische Anregung einer Probe (z.B. partiell gefüllte Glasküvette) bei charakteristischer Resonanzfrequenz
- ✓ Füllstandsunterschiede oder Defekte führen zu einer messbaren Verschiebung der Resonanzfrequenz
- ✓ Ultraschallquelle, z.B. Hochtöner für kontinuierliche Emission bis 150 kHz
- ✓ Aufnahme mit optischem Mikrofon, Spektralanalyse

## Resonanzanalyse

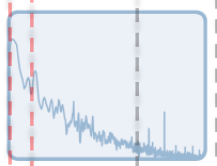
Konventionelles Mikrophon



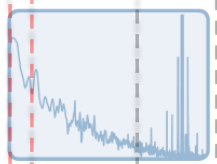
Ultraschallemission



Ultraschallemission



Akustisches Spektrum



Akustisches Spektrum

100-1000 kHz Frequenzbereich

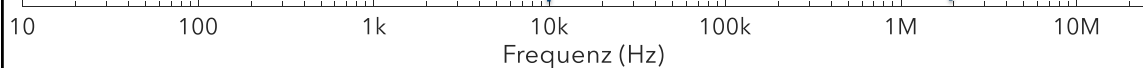
- ✓ Prüfung an kleinen / miniaturisierten Glaselementen: Resonanzen bei hohen Frequenzen
- ✓ Obertöne im hochfrequenten Bereich: statistisch robust, geringerer Einfluß von Störquellen als im audioakustischen Bereich

## Überblick

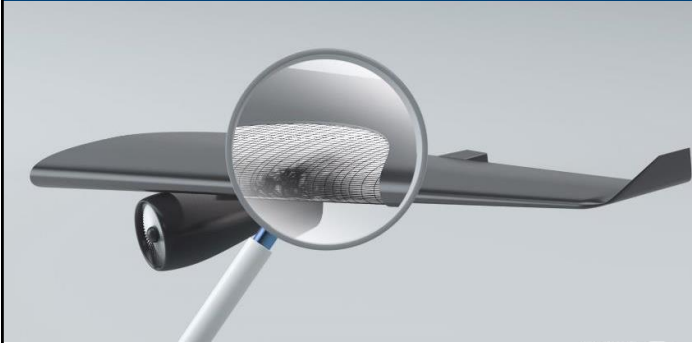
Optisches Mikrophon als breitbandiger (Ultra)schall-Sensor



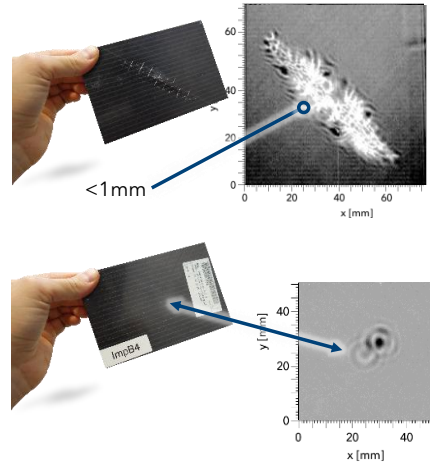
Zerstörungsfreie Prüfung von CFK-Verbundstoffplatten mit Luftultraschall



## Zerstörungsfreie Prüfung mit Luftultraschall



- ❖ Luftultraschall: Prüfung ohne Kopplungsmedium möglich
- ❖ Erste Tests in Durchschallung
- ❖ Hervorragende räumliche Auflösung (durch hohe Empfindlichkeit besonders bei kurzen Abständen zur Probe und große Bandbreite)



© Bilder: Kooperationsprojekt von Siemens, TU München, XARION

## Überblick

Optisches Mikrofon als breitbandiger (Ultra)schall-Sensor

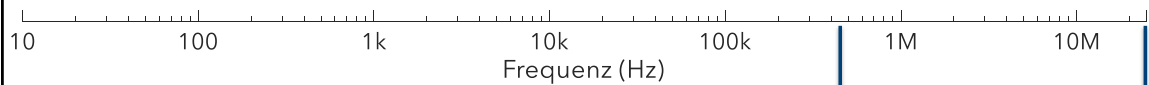
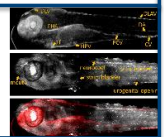
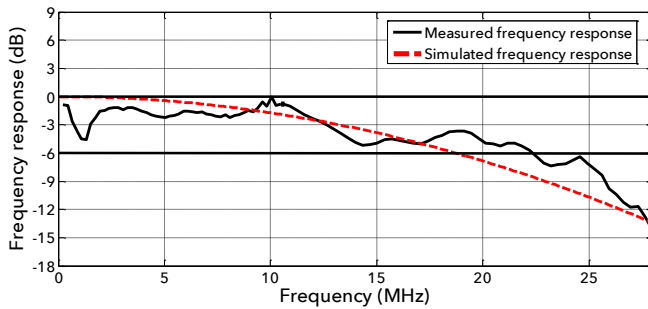


Photo-  
akustische  
Bildgebung





## Optisches Mikrofon in Flüssigkeit: Charakterisierung der Bandbreite

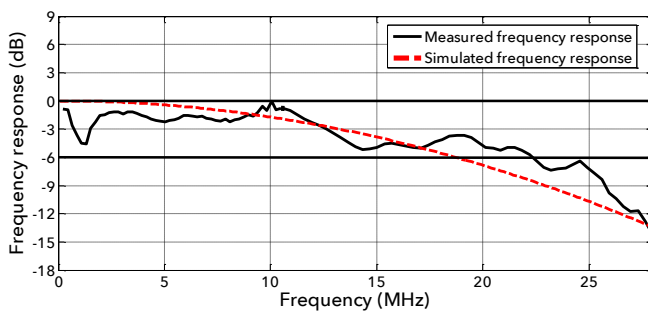


- ❖ Befüllung mit transparentem Fluid
- ❖ Impedanzangepasst an Wasser
- ❖ Dünne Folie als Verkapselung, akustisch transparent bis 50 MHz

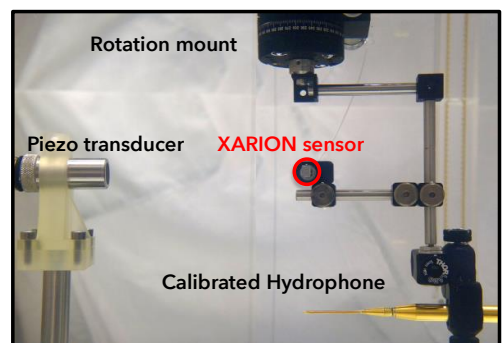


## Optisches Mikrofon in Flüssigkeit: Charakterisierung der Bandbreite

### Vergleich: Messdaten und Simulation

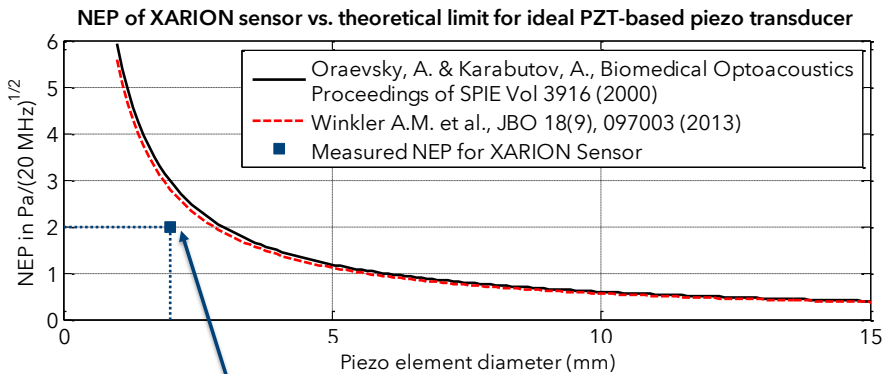


### Messanordnung im Wassertank



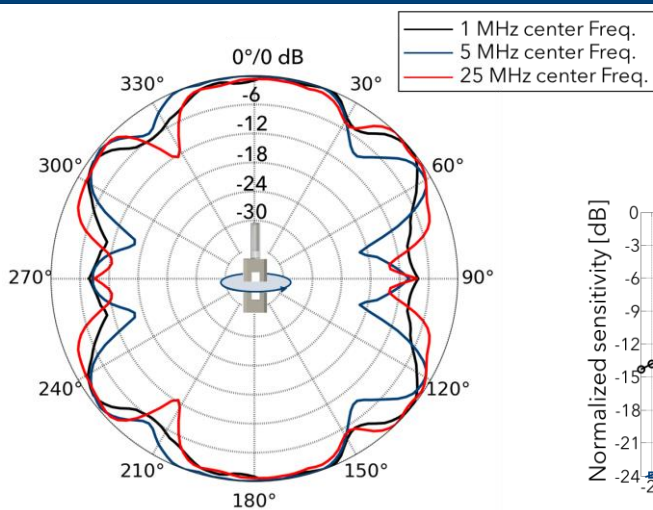
S. Preißer, W. Rohringer, M. Liu, C. Kollmann, S. Zotter, B. Fischer, W. Drexler.  
All-optical highly sensitive akinetic sensor for ultrasound detection and photoacoustic imaging.  
*Biomedical Optics Express* **7** (10), 4171-4186 (2016)

## Optisches Mikrofon in Flüssigkeit: Sensitivität

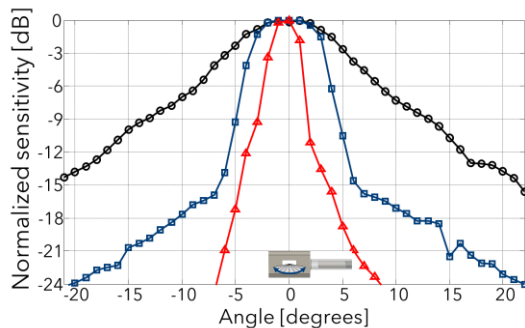


~ 450  $\mu\text{Pa}/\sqrt{\text{Hz}}$  bzw. ~ 2 Pa bezogen auf 20 MHz Bandbreite  
 Sensitivität: Unabhängig von Sensorgröße  $\rightarrow$  "Fokus" nicht nötig

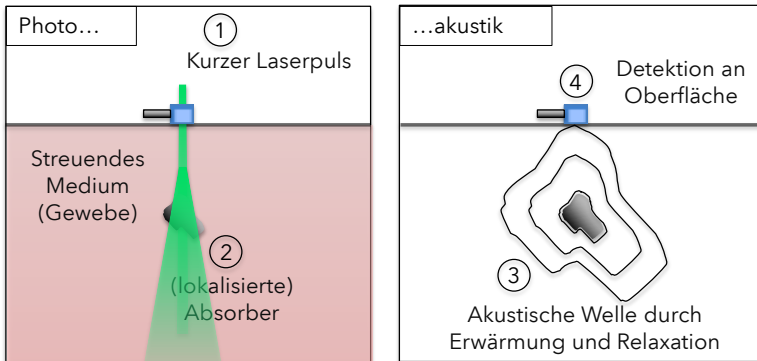
## Optisches Mikrofon in Flüssigkeit Richtcharakteristik



- ✓ Messung: Wassertank
- ✓ Korrespondenz zu 220 kHz, 1 MHz, 5 MHz an Luft



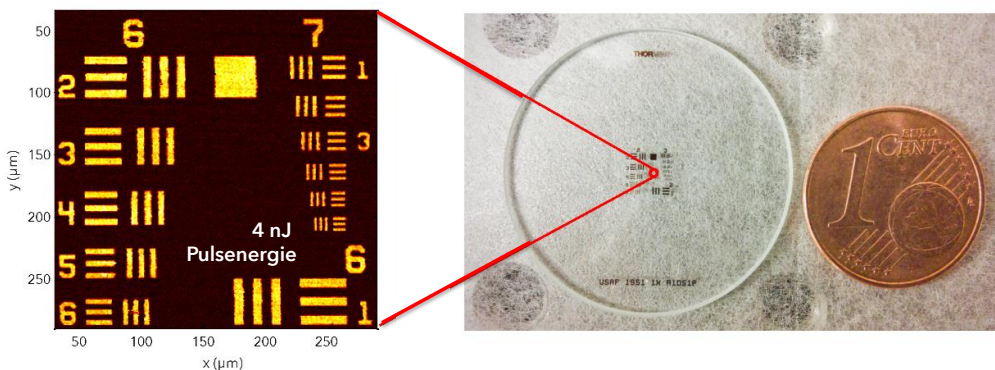
## Photoakustische Bildgebung - Grundprinzip



- ✓ Kurzer Laserpuls ( $\sim$  ns) propagiert durch streuendes Gewebe
- ✓ Lokalisierte Absorber (z.B. Blutgefäße) werden schlagartig erwärmt ( $\Delta T \approx$  mK). Thermische Ausdehnung + Relaxation führt zur Entstehung einer akustischen Welle im Ultraschallbereich
- ✓ Detektion mit Ultraschallsensor an Oberfläche
- ✓ Abrastern der Oberfläche: Photoakustische Mikroskopie (PAM).

## Photoakustische Bildgebung - Beispiel Auflösungstesttafel

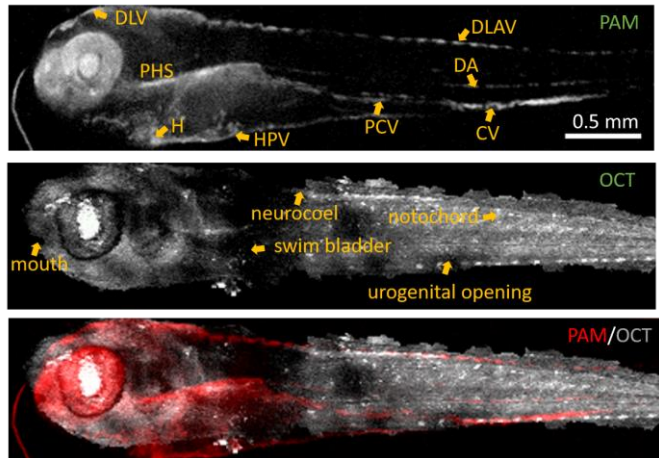
Photoakustische Mikroskopie an Auflösungstesttafel mit XARION - Sensor



S. Preißer, W. Rohringer, M. Liu, C. Kollmann, S. Zotter, B. Fischer, W. Drexler.  
All-optical highly sensitive akinetic sensor for ultrasound detection and photoacoustic imaging.  
*Biomedical Optics Express* **7** (10), 4171-4186 (2016)

## Photoakustische Bildgebung - Beispiel Zebrafisch-Embryo

- ✓ Hohe Sensitivität erlaubt die Verwendung kleiner Pulsenergien und damit *in-vivo* Messungen
- ✓ Rechts oben: *in-vivo* PAM - Abbildung eines 5 Tage alten Zebrafisch-Embryos, Signaldetektion mit XARION-Sensor. Kürzel benennen verschiedene anatomische Merkmale
- ✓ Optische Transparenz des Sensors ermöglicht Überlagerung mit anderen Bildgebungsmodalitäten. Siehe Rechts Mitte / Unten: Überlagerung mit Aufnahme, gewonnen durch Optische Kohärenztomographie (OCT).



## Zusammenfassung & Ausblick

### Zusammenfassung

- ✓ Optischer Sensor mit hoher Bandbreite (Luft: ~20 Hz bis 1 MHz; Flüssigkeit: ~20 Hz bis 25 MHz)
- ✓ Eigenschaften wie Unempfindlichkeit auf elektrische & magnetische Störfelder, kompakte Abmessungen, Kopplung via optische Faser eröffnen Forschungsk Kooperationen zu vielfältigen Anwendungen

### Ausblick

- ✓ Weiterführende Tests in Umgebungen mit Störfeldern (z.B. laufende Kooperation mit CERN)
- ✓ ZfP: Kombination mit geeigneten breitbandigen Anregungsquellen (z.B. Laserultraschall)
- ✓ Hydrophon: Messung hoher Schalldruckpegel (medizinischer Ultraschall)

### Membranfreies Optisches Mikrophon in Aktion: Geräteausstellung

Wir freuen uns auf Ihren Besuch!