

# Resonanzbasierte Porenerkennung mittels kontaktfreier breitbandiger Ultraschallprüfung

Matthias BRAUNS<sup>1</sup>, Benedikt MAUEL<sup>1</sup>, Nils PANZER<sup>1</sup>, Balthasar FISCHER<sup>1</sup>,  
Mathias DAMBAUR<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Airbus Helicopters Deutschland GmbH, Donauwörth

Kontakt E-Mail: m.brauns@xarion.com

## Kurzfassung

Bei der Ultraschallprüfung werden heute zur Impedanzanpassung flüssige Koppelmittel eingesetzt, um eine hohe Frequenz-Bandbreite und räumliche Auflösung zu erreichen. Allerdings ist der Kontakt des Bauteils mit flüssigen Koppelmitteln häufig nicht wünschenswert oder sogar unmöglich. Im Gegensatz dazu stellt konventionelle Laser-Ultraschallprüfung eine kontaktfreie Alternative dar, ist aber sehr abhängig von Reflektivität und Rauheit der Probenoberfläche.

Wir stellen eine neuartige, laserbasierte Ultraschall-Prüfmethode vor, die unabhängig von Oberflächeneigenschaften wie Reflektivität und Rauheit funktioniert. Ähnlich wie beim konventionellen Laser-Ultraschall erzeugt ein kurzer Laserpuls eine breitbandige Ultraschall-Schockwelle. Ein optisches Mikrofon detektiert die in die Luft abgestrahlte Ultraschallwelle mit Hilfe von Laser-Interferometrie. Dieses akinetische Funktionsprinzip (der Sensor besitzt keine beweglichen Teile) führt zu einer sehr hohen Detektionsbandbreite. Anregungslaser und optisches Mikrofon sind fasergekoppelt, was eine einfache Systemintegration ermöglicht. Für noch höhere Scangeschwindigkeiten, kann das optische Mikrofon als Array konfiguriert werden.

In diesem Beitrag präsentieren wir kontaktfreie Messungen an Bauteilen für Hubschrauber, die aus monolithischem Kohlefaserverbundwerkstoff (CFK) bestehen. Die Bauteile weisen Bereiche unterschiedlicher Porosität auf. Poren im Material führen zu einem Resonanzverhalten und so zu Signalverstärkung bei bestimmten Frequenzen und können erkannt werden, indem nach der Messung Frequenzfilter auf die A-Scans an jedem Messpunkt angewendet werden. Die Detektion dieser Poren-Resonanzen wird durch die breitbandige Anregung und Detektion des Ultraschalls ermöglicht. Porosität im Material kann so kontaktfrei mit hohem Signal-Rausch-Verhältnis in Durchschallung und einseitig detektiert werden, was die vorgestellte Ultraschall-Methode sehr interessant für industrielle Bauteilprüfung in der Luftfahrt macht. Im Gegensatz zur herkömmlichen, auf Absorptionsmessung basierender Poren-Zonen-Detektion können beim vorgestellten Verfahren einzelne Poren und deren Größe detektiert werden.



# Resonanzbasierte Porenerkennung mittels kontaktfreier breitbandiger Ultraschallprüfung

Dr. Matthias Brauns,<sup>1,\*</sup> Benedikt Mael,<sup>1</sup> Nils Panzer,<sup>1</sup> Mathias Dambaur,<sup>2</sup> Balthasar Fischer<sup>1</sup>

<sup>1</sup> XARION Laser Acoustics

<sup>2</sup> Airbus Helicopters Deutschland

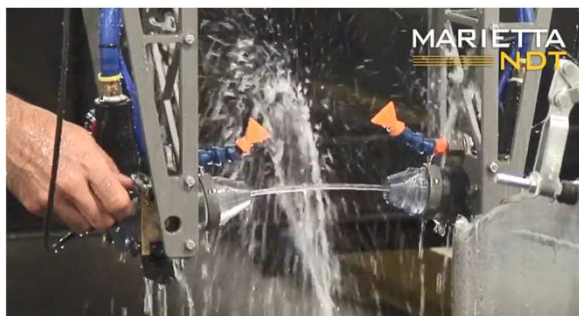
\* m.brauns@xarion.com

XARION Laser Acoustics GmbH

11.05.21



## Motivation

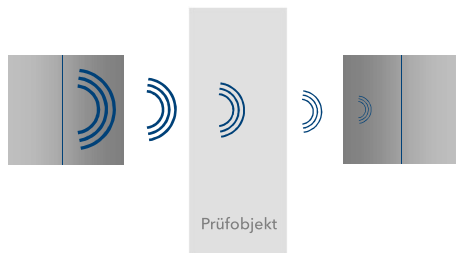


- ❖ Stand der Technik in der Luftfahrt-ZfP: wassergekoppelte Ultraschallprüfung (UT)
- ❖ Probleme mit Wasserkopplung:
  - Luftbläschen, Druckschwankungen, rückspritzendes Wasser stören Laminarstrahl
  - Schwere Endeffektoren
  - Einschränkung der Fertigung (Bauteil muss wasserdicht und -resistent sein)

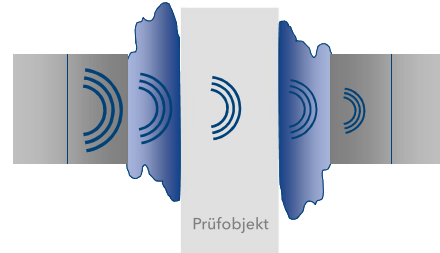
→ Können wir die Wasserkopplung weglassen?

## Vierfache Impedanzbarriere

### Luftgekoppelter US

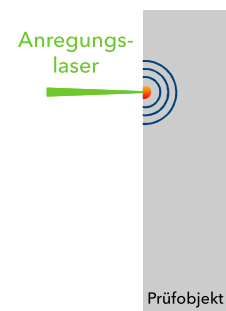
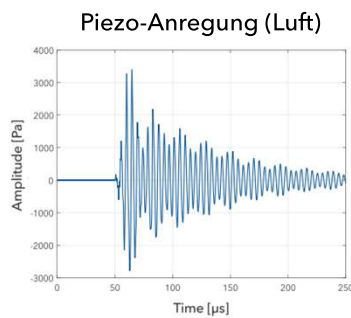
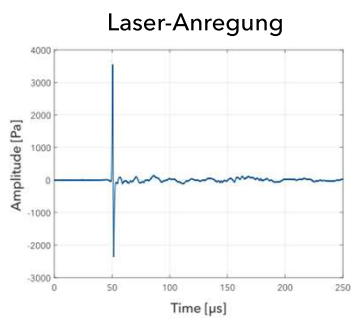


### Flüssiggekoppelter US

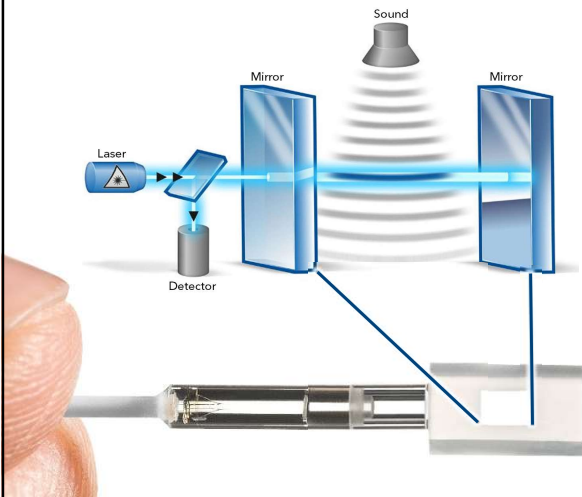


## Ultraschallanregung mittels Laser und Piezowandler

- ❖ Laserpuls erzeugt impulshaftes, breitbandiges Ultraschallsignal im Bauteil
- ❖ Luftgekoppelter Piezowandler erzeugt schmalbandiges Ultraschallsignal mit Nachschwingern
- ❖ → Keine Blindzone in einseitiger Prüfung bei Laser-Anregung!



## Ultraschalldetektion mit dem optischen Mikrofon



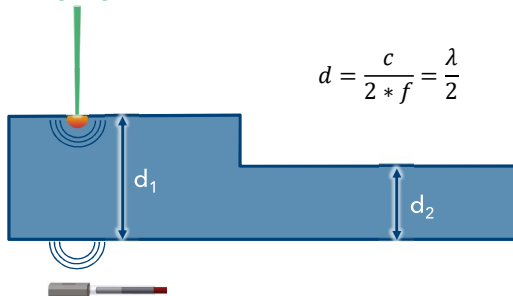
### Arbeitsprinzip

- ❖ Laserstrahl koppelt aus Glasfaser in festes Fabry-Pérot-Etalon
- ❖ Laserlicht interferiert zwischen den Spiegeln und wird teilweise in Glasfaser zurückreflektiert
- ❖ Schalldruck beeinflusst den Brechungsindex der Luft
- ❖ Intensität des reflektierten Lichts ist proportional zum Schalldruck

## Wozu breitbandig?

Verschiedene Frequenzbereiche enthalten Informationen über verschiedene Proben-Aspekte!

Anregungslaser



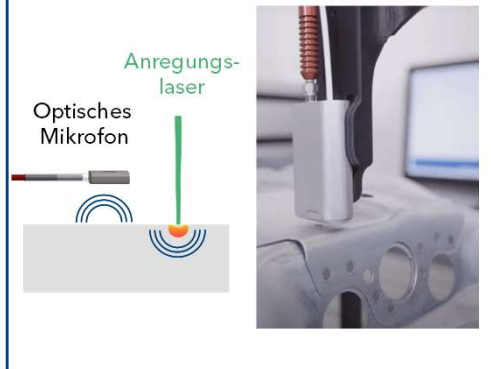
Optisches Mikrofon

Einfachster Fall: Dickenresonanz

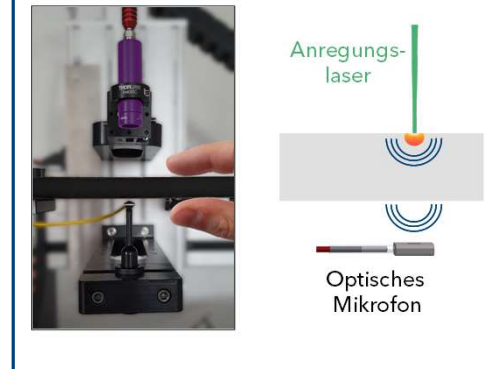
- ❖ Beispiel:  $c = 3000 \text{ m/s}$  (CFK)
- ❖ Schallwelle mit  $f = 2 \text{ MHz}$ :  
→ Wellenlänge  $1.5 \text{ mm}$   
→ Dickenresonanz bei  $0.75 \text{ mm}$  Probendicke
- ❖ Schallwelle mit  $f = 50 \text{ kHz}$ :  
→ Wellenlänge  $60 \text{ mm}$   
→ Dickenresonanz bei  $30 \text{ mm}$  Probendicke
- ❖ Breitbandige Messung ermöglicht die Detektion von Resonanzen bei mehreren Frequenzen gleichzeitig!

## Laser-Excited Acoustic (LEA)

### Einseitige Prüfung (Pitch-Catch)

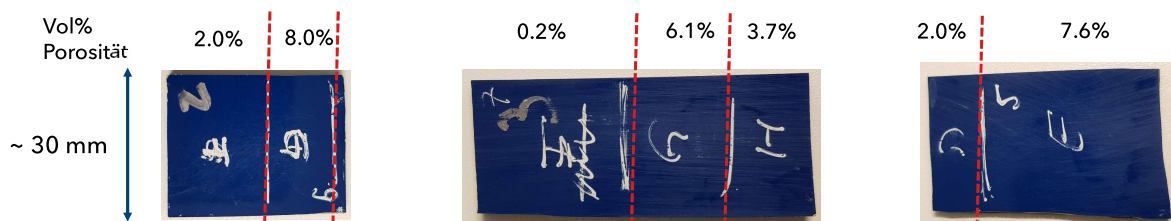
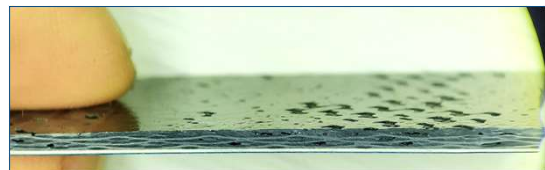


### Durchschallung



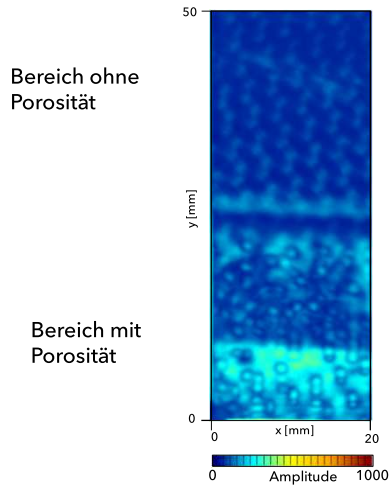
## Porendetektion - Proben

- ❖ Proben weisen Bereiche variierender Porosität auf
- ❖ Porosität bestimmt mit Micro-CT und validiert mit konventioneller UT per Rückwandecho-Abschwächung

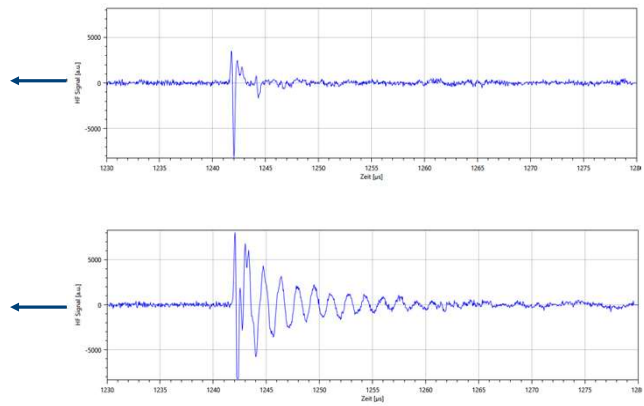


# Porendetektion - Zeitsignal

C-Bild

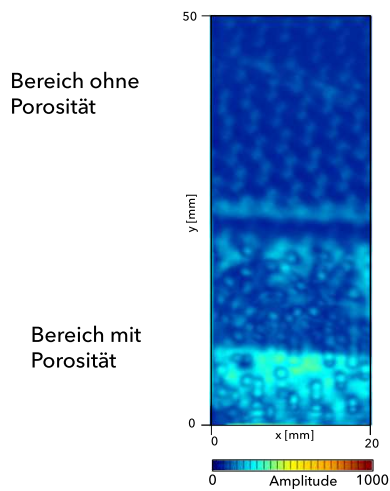


Zeitsignal

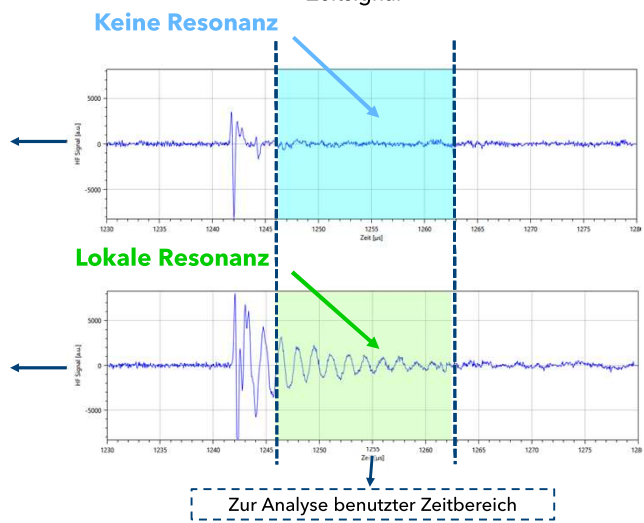


# Porendetektion - Zeitsignal

C-Bild

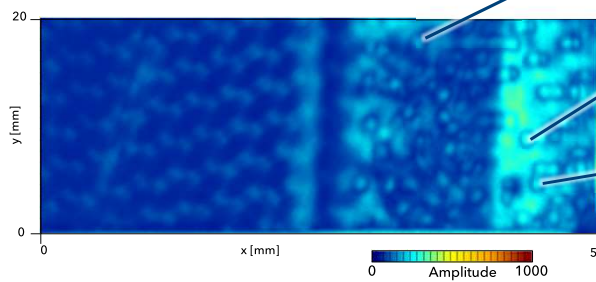


Zeitsignal

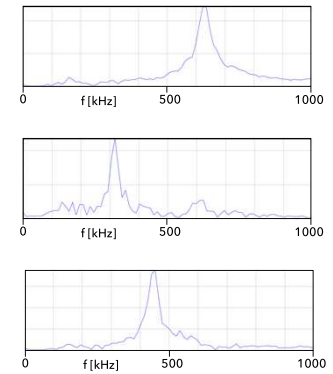


## Porendetektion - Resonanzfrequenzen

- ❖ Die Resonanzfrequenz korreliert mit der Porengröße
- ❖ Analog zur Dickenresonanz:  $d = \frac{c}{2 \cdot f}$   
 $c = 340 \text{ m/s}$  (luftgefüllte Pore),  $200 \text{ kHz} < f < 700 \text{ kHz}$   
 $\rightarrow 0.2 \text{ mm} < d < 0.9 \text{ mm}$

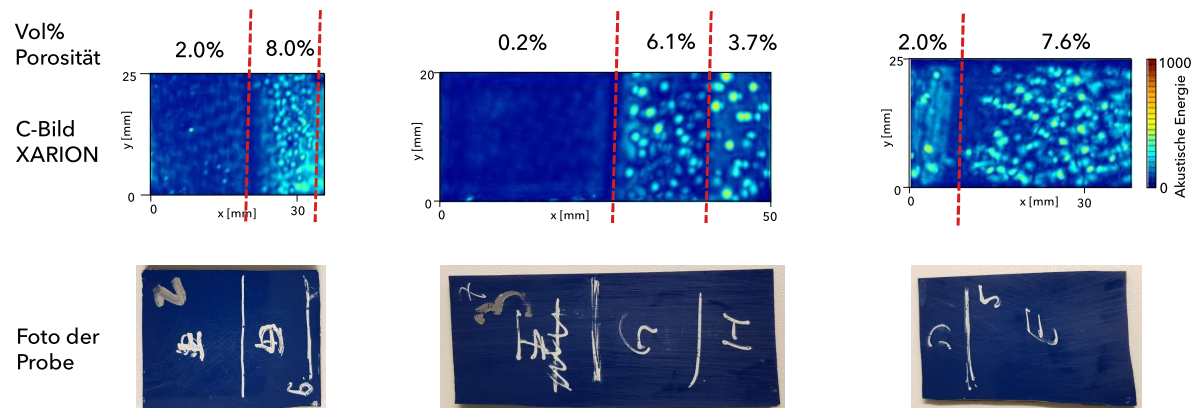


Unterschiedliche Resonanzfrequenzen bei Poren unterschiedlicher Größe



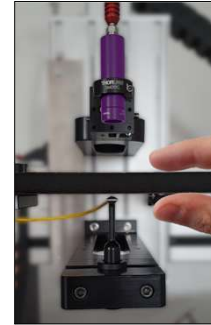
## Porendetektion - Bereiche unterschiedlicher Porosität

- ❖ Darstellung der integrierten akustischen Energie im Frequenzbereich 200-700 kHz
- ❖ Porenverteilung korreliert gut mit per Micro-CT und konventioneller UT ermittelten Referenzwerten



## Zusammenfassung

- ❖ Breitbandige und luftgekoppelte Ultraschallprüfung von Bauteilen aus CFK
- ❖ Bereiche unterschiedlicher Porosität können erkannt werden
- ❖ Auflösung einzelner Poren wird ermöglicht durch einen lokalen Resonanzmechanismus
- ❖ Beobachtete Resonanzfrequenzen passen zu typischen Dicken luftgefüllter Poren im Bauteil
- ❖ Ausblick: Genauerer Vergleich der Messdaten mit den im Micro-CT sichtbaren Porengrößen



**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit**