

# Kontaktfreie Ultraschall- Schichtdickenbestimmung von auftragsgeschweißten Beschichtungen mittels Dispersionsmessung

Georg KANIAK<sup>1</sup>, Bernd BURBAUM<sup>2</sup>, Josef PÖRNBACHER<sup>1</sup>,  
Wolfgang ROHRINGER<sup>1</sup>, Matthias BRAUNS<sup>1</sup>, Balthasar FISCHER<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Siemens Energy, Berlin

Kontakt E-Mail: j.poernbacher@xarion.com

## Kurzfassung

Die Messung von Schichtdicken auftragsgeschweißter Schichten stellt durch die Ähnlichkeit der Materialeigenschaften von Schicht und Grundmaterial eine Herausforderung dar. Akustische Methoden sind durch ihre leichte Anwendbarkeit gegenüber Röntgen- oder Ionenstrahl-basierten Methoden im Vorteil, benötigen allerdings traditionell meist ein Koppelmedium, was wiederum insbesondere hinsichtlich der Messzeit einschränkt.

Das hier vorgestellte kontaktfreie Ultraschallverfahren ist durch Ausnutzung von Laseranregung in Verbindung mit einem luftgekoppelten optischen Mikrofon, das eine einzigartige Bandbreite von über 2 MHz aufweist, in der Lage diese Hemmnisse zu überwinden.

Die Ultraschall-Anregung erfolgt mittels eines gepulsten Lasers, der im thermoelastischen Regime zerstörungsfrei eine akustische Schockwelle anregt. Diese Anregung ist breitbandig, wodurch im betrachteten Frequenzbereich bis über 2 MHz neben der Rayleigh-Welle des mehrere Zentimeter starken Grundmaterials auch dispersive Moden durch Wellenleitereffekte in der aufgeschweißten Schicht angeregt werden. Hier bringt ein breitbandiger Sensor in Verbindung mit breitbandiger Anregung Vorteile.

Der Messaufbau sieht eine stationäre Position der Laseranregung vor, während sich der akustische Sensor entlang einer Linie über die Probe bewegt und für Messpositionen in Abständen von 500µm akustische Signale aufgezeichnet werden. Werden diese Zeitsignale über der Ortsposition zu einem B-Bild kombiniert, lassen sich durch Anwendung der Fourier-Transformation die Phasengeschwindigkeiten der gemessenen Moden über der Frequenz bestimmen.

Beispielhaft wird die Anwendung anhand der Schichtdickenbestimmung von Triballoy auf Inconel für Turbinenteile demonstriert, wobei die Schichtdicken zwischen 100µm und 600µm variiert wurden. Die gemessenen Phasengeschwindigkeiten werden in geeigneten Frequenzbereichen über 1 MHz ausgewertet. Durch Vergleich mit Schichtdickenbestimmung mittels zerstörender Verfahren kann ein Modell der Schichtdicke als Funktion der Phasengeschwindigkeit erstellt werden.



# Kontaktfreie Ultraschall-Schichtdickenbestimmung von auftragsgeschweißten Beschichtungen mittels Dispersionsmessung

DGzFP Jahrestagung 2022

Georg Kaniak, Bernd Burbaum, Josef Pörnbacher, Wolfgang Rohringer, Matthias Brauns, Balthasar Fischer  
g.kaniak@xarion.com

XARION Laser Acoustics GmbH

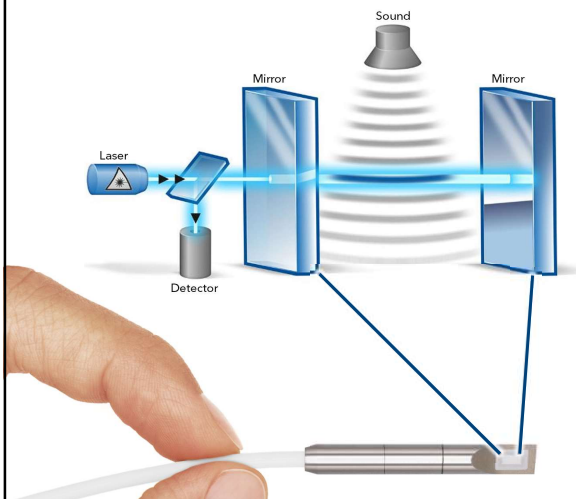
Mai 2022



## Inhalt

1. **Das Prinzip des optischen Mikrofons**
2. Messprinzip Dispersionsmessung
3. Fallbeispiel Schichtdickenmessung Tribaloy auf Inconel
4. Zusammenfassung & Ausblick

## Das weltweit erste Mikrofon ohne bewegte Teile



- ❖ Schalldruck beeinflusst die Lichtgeschwindigkeit
- ❖ XARION nutzt diesen Effekt um Schall zu messen
- ❖ Der Sensor basiert auf einem starren Fabry-Pérot Etalon
- ❖ Die Intensität des reflektierten Lichts ist proportional zum Schalldruck

## Inhalt

1. Das Prinzip des optischen Mikrofons
2. **Messprinzip kontaktfreie Dispersionsmessung**
3. Fallbeispiel Schichtdickenmessung Tribaloy auf Inconel
4. Zusammenfassung & Ausblick

## Messprinzip Dispersionsmessung: Motivation kontaktfreie Messung

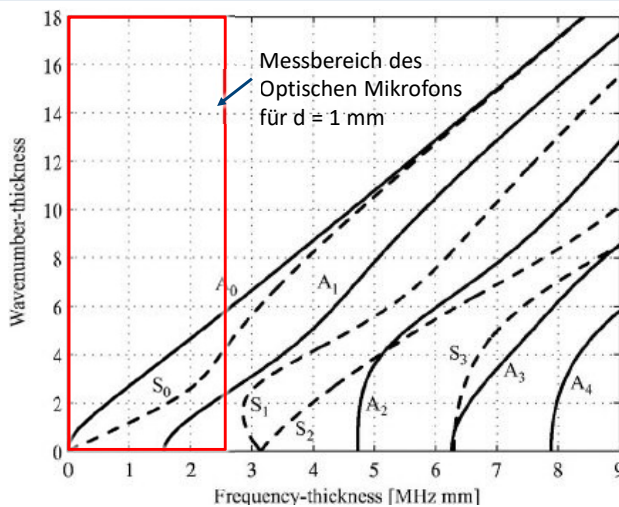
- ❖ Die Werkstoffkombination Tribaloy auf Inconel stellt eine messtechnische Herausforderung dar: Schicht und Grundwerkstoff sind nicht magnetisierbar
- ❖ Aus diesem Grund können herkömmliche Wirbelstromsonden nicht eingesetzt werden
- ❖ Lösung: Ultraschallanregung mit gepulstem Laser und Detektion der Signal mit dem luftgekoppelten optischen Sensor von XARION

## Messprinzip Dispersionsmessung: Motivation kontaktfreie Messung



- ❖ Laser Anregung von Ultraschall in Verbindung mit einem breitbandigen luftgekoppelten Sensor bringt entscheidende Vorteile
  - Hohe Messgeschwindigkeit
  - Kein Koppelmittel erforderlich
  - Breitbandige Anregung und Detektion enthüllt einen großen Frequenzbereich in einer einzigen Messung

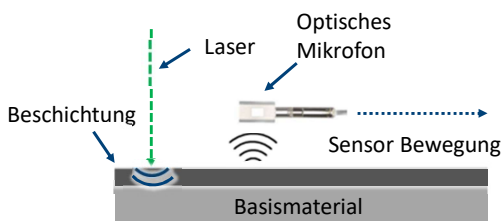
## Messprinzip Dispersionsmessung: Dispersionsdiagramm aus 2D-FFT



B. Masserey, P. Fromme, On the reflection of coupled Rayleigh-like waves at surface defects in plates, February 2008, The Journal of the Acoustical Society of America 123(1):88-98

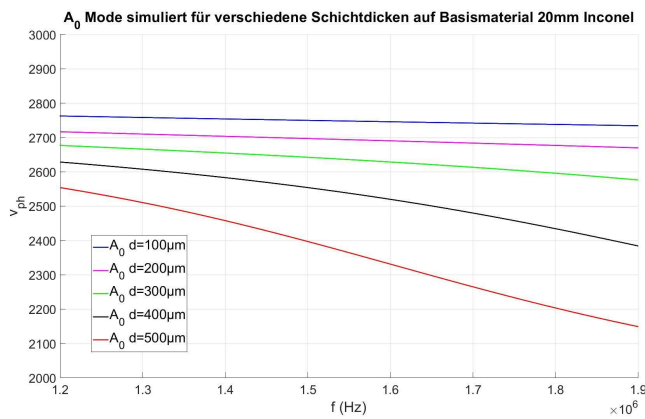
- ❖ Es werden je nach **Material, Plattendicke und Frequenz** verschiedene Moden von Plattenwellen angeregt
- ❖ Für dünne Platten sind es symmetrische und asymmetrische **Lamb-Wellen**, mit zunehmender Plattendicke gehen diese in eine nicht-dispersive Rayleigh-Welle über

## Messprinzip Dispersionsmessung: Messaufbau



- ❖ Laser Spot stationär, der **gepulste Laser** regt eine thermo-akustische Schockwelle an
- ❖ Der **XARION Sensor bewegt sich entlang einer Linie** und misst das von der Oberfläche in Luft einkoppelnde Signal
- ❖ Die Kombination der Zeitsignale in unterschiedlichem Abstand zur Anregung dient zur Berechnung der **Dispersion**

## Messprinzip Dispersionsmessung: Simulation des Schichtsystems



❖ Für den nicht beschichteten Fall ist die Rayleigh-Welle des Grundmaterials wirksam, mit zunehmender Schichtdicke Übergang in eine dispersive A Mode

❖ Das Modell ergibt eine **Abnahme der Phasengeschwindigkeit** mit zunehmender Schichtdicke

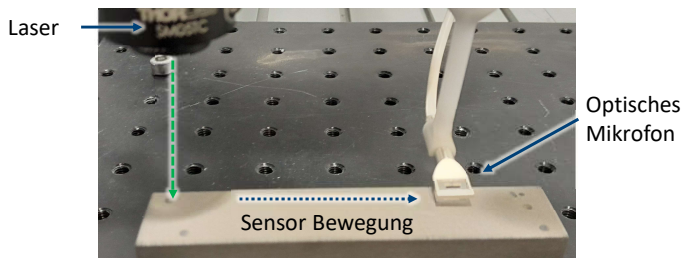
❖ Das verwendete Modell beruht auf der partial-wave Methode für elastische Medien

Ramasawmy, Danny R., et al., ElasticMatrix: A MATLAB toolbox for anisotropic elastic wave propagation in layered media, SoftwareX 11 (2020)

## Inhalt

1. Das Prinzip des optischen Mikrofons
2. Messprinzip kontaktfreie Dispersionsmessung
3. Fallbeispiel Schichtdickenmessung Tribaloy auf Inconel
4. Zusammenfassung & Ausblick

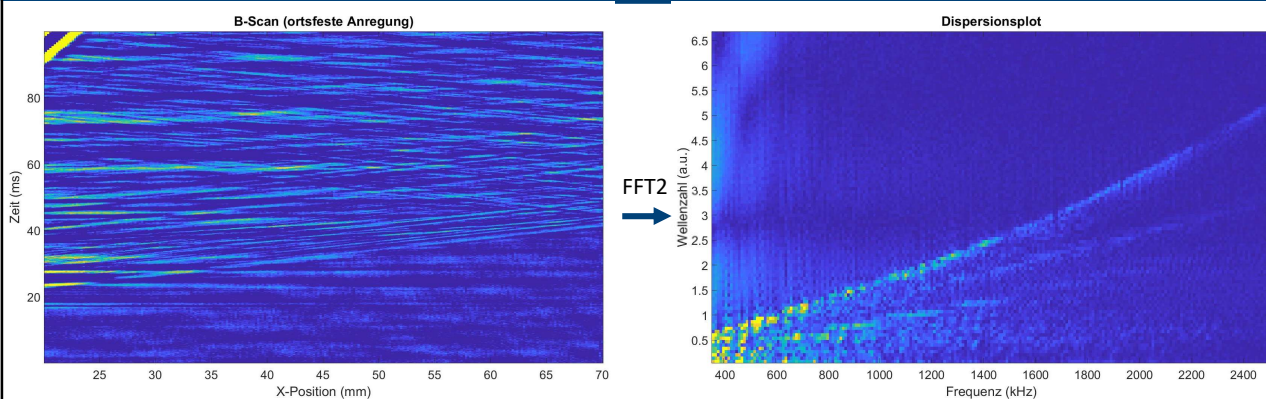
## Fallbeispiel: Messaufbau



- ❖ **Siemens Energy** hat Proben, die beschichteten Turbinenteilen entsprechen zur Verfügung gestellt
- ❖ Es wurden **sechs Proben mit verschiedenen Beschichtungsdicken** gemessen, wobei der Verfahrweg des Sensors 80mm betragen hat

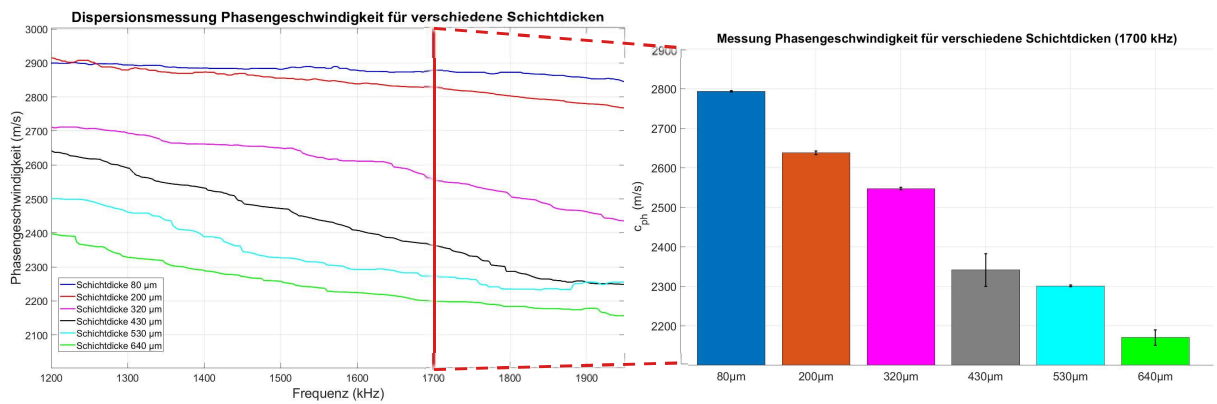
Sample Nummer	Nominale Schichtdicke ( $\mu\text{m}$ )
1	80
2	200
3	320
4	430
5	530
6	640

## Fallbeispiel: Vom B-Bild zum Dispersionsplot



- ❖ Eine zweidimensionale FFT angewandt auf den **B-Scan** bei ortsfester Anregung liefert den Dispersionsplot
- ❖ Aus dem **Dispersionsplot** kann durch Tracing der Mode die Phasengeschwindigkeit berechnet werden

## Fallbeispiel: Phasengeschwindigkeiten



Die **Phasengeschwindigkeiten** nehmen, wie erwartet, mit **zunehmender Schichtdicke** ab

Die **Wiederholgenauigkeit** der Messungen ist gut, die Fehlerbalken stellen das  $\pm 2\sigma$  Intervall dar

## Inhalt

1. Das Prinzip des optischen Mikrofons
2. Messprinzip kontaktfreie Dispersionsmessung
3. Fallbeispiel Schichtdickenmessung Tribaloy auf Inconel
4. **Zusammenfassung & Ausblick**



## Zusammenfassung & Ausblick

- ❖ Es wurden luftgekoppelte Dispersionsmessungen der Phasengeschwindigkeit von Plattenwellen über Metall-Metall Beschichtungen verschiedener Schichtdicke diskutiert
- ❖ Die gemessenen Phasengeschwindigkeiten zeigen eine gute Übereinstimmung mit einem zuvor etablierten Modell des Schichtsystems

Ausblick:

- ❖ Die kontaktfreie Methode ermöglicht schnelle Messungen im industriellen Umfeld
- ❖ Dispersionsmessungen können für zahlreiche Materialcharakterisierungen, nicht nur bei Schichtsystemen eingesetzt werden, etwa zur Bestimmung der Poissonzahl/E-Modul



[g.kaniak@xarion.com](mailto:g.kaniak@xarion.com)