

Laser-Ultraschall als zerstörungsfreie Methode zur Fehlerdetektion und Materialcharakterisierung: Prinzip und Beispiele spezieller Anwendungen.

Edgar SCHERLEITNER¹, Bernhard REITINGER¹, Wolfgang HADERER¹,
Norbert HUBER¹, Christian KERSCHBAUMMAYR¹, Clemens GRÜNSTEIDL¹,
Mike HETTICH¹

¹ Research Center for Non-Destructive Testing GmbH - RECENDT, Linz, Österreich

Kontakt E-Mail: edgar.scherleitner@recendt.at

Kurzfassung

Durch technologische Fortschritte in der Lasertechnologie und wesentliche methodische Weiterentwicklungen ist Laser-Ultraschall in den letzten Jahren zu einem Messverfahren mit hohem Lösungspotential für Probleme in der zerstörungsfreien Prüfung geworden. Mit fokussiertem Laserlicht angeregte Ultraschallwellen breiten sich dabei in der Probe aus und werden anschließend wieder mit einem Laser-Vibrometer detektiert. Rekonstruktionsalgorithmen erlauben es Einschlüsse zu lokalisieren und über physikalische Modelle können Materialeigenschaften bestimmt werden. Die Methode ist berührungslos, durch flexible Laserführung – z.B. mit optischen Fasern – können unebenen Proben robotergestützt und automatisiert abgescannt werden. Die potenziell in-line-fähige Messtechnik kann so einen wichtigen Beitrag zur Steigerung der Ressourceneffizienz von Produktionsprozessen leisten. Des Weiteren steht an jedem Messpunkt ein sehr breiter Frequenzbereich (industriell geeignet typisch 500kHz bis 50MHz, aber auch bis in den GHz-Bereich) zur Auswertung zur Verfügung, was neben einer hochauflösenden Fehlerdetektion auch neue Einblicke in die elastischen Eigenschaften und die Mikrostruktur von Materialien ermöglicht. Im Beitrag zeigen wir verschiedene Anwendungsbeispiele zur zerstörungsfreien Fehlersuche und Materialcharakterisierung.

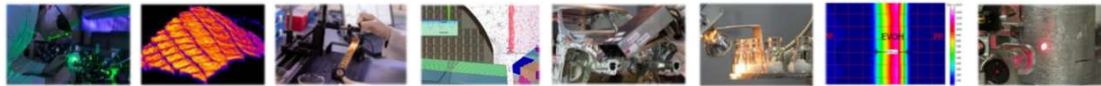


Laser-Ultraschall als zerstörungsfreie Methode zur Fehlerdetektion und Materialcharakterisierung

Prinzip und Beispiele spezieller Anwendungen

DGZfP – Jahrestagung 2022

DI Dr. Edgar Scherleitner – Area Manager Acoustics



Übersicht



1. Kurzvorstellung der RECENTD
2. Prinzip Laser-Ultraschall (LUS)
3. Anwendungsbeispiele: Defektdetektion
4. Anwendungsbeispiele: Materialcharakterisierung

Area Acoustics

▪ **Laser Ultrasound (LUS)**

Laser-Ultraschall zur Defekterkennung und Materialcharakterisierung, Prototypenentwicklung, Automatisierung, Robotik, Laserentwicklung, Piezoultraschall, Schallemission

▪ **Physical and Computational Acoustics (PCA)**

Untersuchung elastischer Wellenphänomene, Modellierung, Simulation, experimentelle Techniken, medizinischer Ultraschall, photoakustische und photothermische Rekonstruktion

Area Optics

▪ **Infrared- and Raman Spectroscopy (IR)**

Methode zur Inline-Prozesskontrolle und Qualitätssicherung, z.B. Analyse chemischer Zusammensetzungen

▪ **Terahertz Technology (THz)**

Technologie zur zerstörungsfreien Materialcharakterisierung (Bildgebung und Spektroskopie) von nichtleitenden Materialien

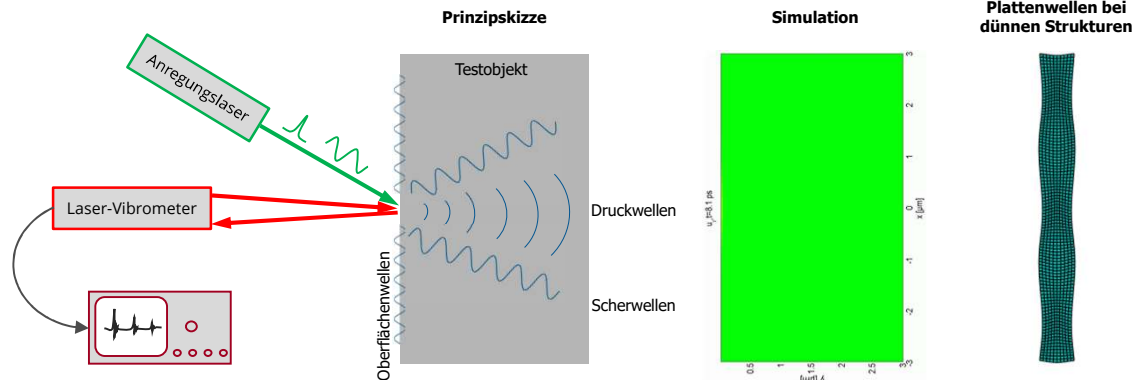
▪ **Optical Coherence Tomography (OCT)**

Technologie zur zerstörungsfreien Charakterisierung der inneren Strukturen von Kunststoffen, Keramiken



Prinzip:

1. Anregungslaser erwärmt Oberfläche kurz oder periodisch
2. Lokale Expansion bzw. Ablation verursacht Ultraschallwellen
3. Laservibrometer detektiert Echos



Laser-Ultraschall (LUS)

1µJ – 850mJ / Puls @ z.B. 532nm, Rep. 10 – 2000Hz

Anregungslaser

Quelle: <https://brightsolutions.it>
Quelle: <https://www.monocrom.com>
Quelle: <https://www.quantel-laser.com>

RECENTDT entwickelt daraus Methoden und Systeme

Laser-Vibrometer

Kommerziell erhältliche LUS-Vibrometer für industrielle Umgebungen

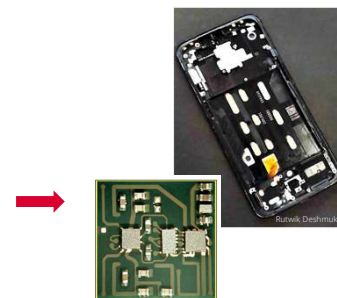
Quelle: <https://laser-ut.tecnar.com>

Kundenspezifische LUS-Vibrometer von RECENTDT für F&E-Bereich

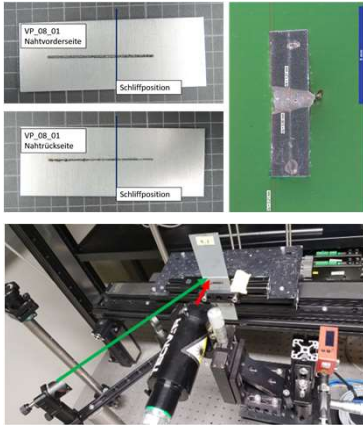
Laser-Ultraschall (LUS)

Vorteile von LUS gegenüber klassischem Ultraschall

- Kontaktlos → kein Koppelmittel
- Betrieb aus Abstand möglich (Laser)
- Industrieller Einsatz von Stahlwerk bis Halbleiter
- Hohe Bandbreite: kHz → GHz

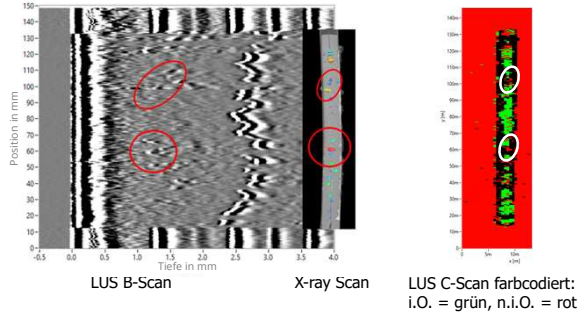


Schweißnähte in Stahl- und Alu-Blechen



Proben und Laboraufbau für linearen Scan

LUS-Ergebnis
→



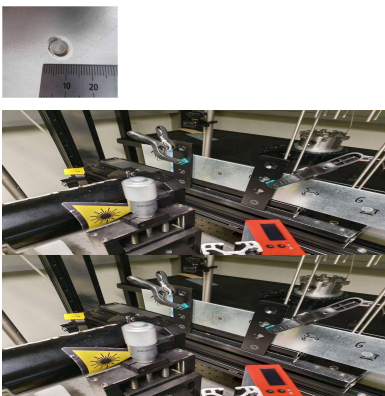
ÖGS
Österreichische
Gesellschaft für
Schweißtechnik

Laser-Ultraschall für Laserstrahlschweißnähte

■ N. Huber, E. Scherleitner, RECENTDT Research Center for
Non-Destructive Testing GmbH
T. Aumüller, T. Forstner, BMW Group

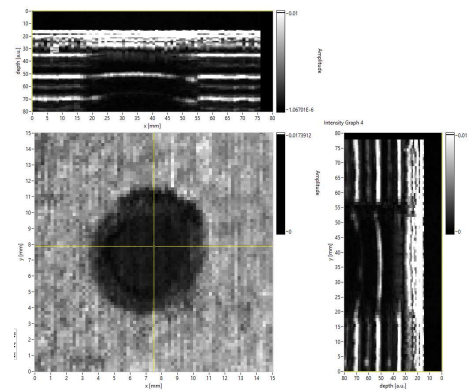
SCHWEISSTECHNIK
SOUDURE

Punktschweißverbindungen



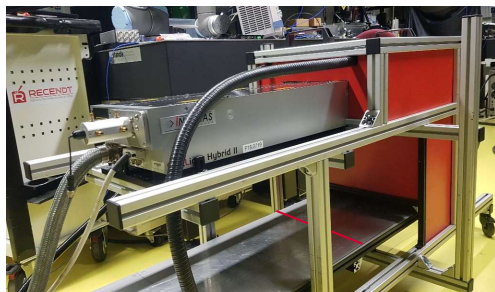
Proben und Laboraufbau für flächigen Scan

LUS-Ergebnis
→

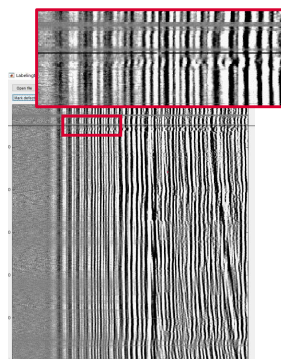


Tomographische Darstellung der LUS-Auswertung

Delaminationen bei verbundenen Blechen und Schichtdicken



LUS-Ergebnis



Delaminationen sichtbar

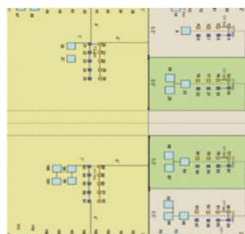
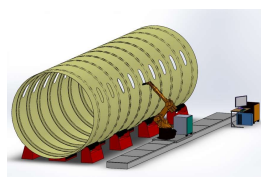


LUS-Prototyp mit Doppelmesskopf für schnellen Inline-Scan

Kompositmaterialien im Flugzeugbau

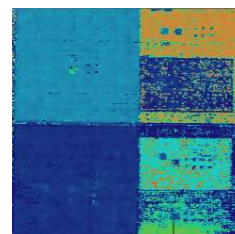


Scan mit Roboter: 8 m²/h
Min. Defekt Ø: 6 mm
Roboterarm: 2.4 m/s



Skizze: Referenzkörper

LUS-Ergebnis



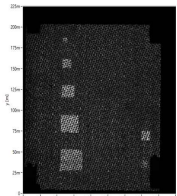
LUS-Ergebnis

CFK-Proben mit Delaminationen

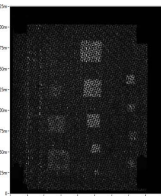


Delaminationen mit PTFE-Folien induziert

LUS-Ergebnisse

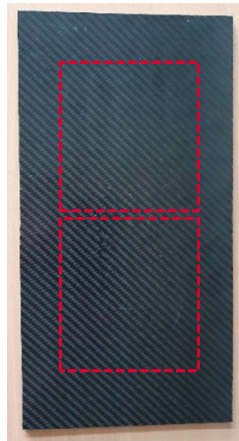


LUS-Schnittbild in 2.2 mm Tiefe

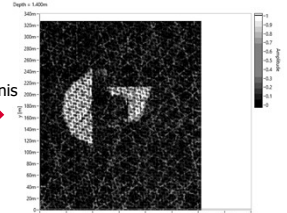


LUS-Schnittbild in 4 mm Tiefe

CFK-Proben mit Impact-Schaden

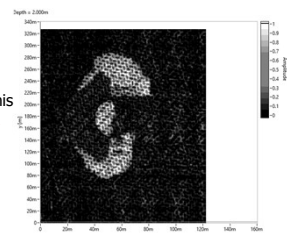


LUS-Ergebnis



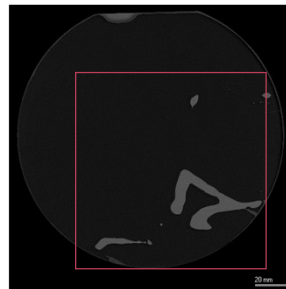
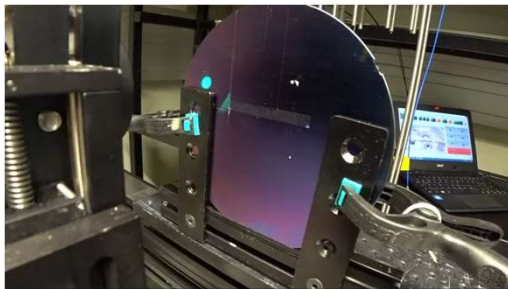
LUS-Schnittbild in 1.4 mm Tiefe

LUS-Ergebnis

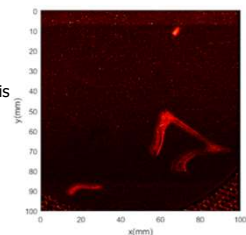


LUS-Schnittbild in 2 mm Tiefe

Scan von Silizium-Wafer nach „Bonding“

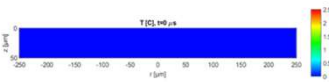


LUS-Ergebnis

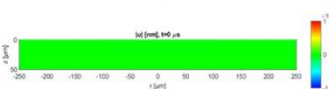


Simulationen:

Temperaturausbreitung



Ultraschallausbreitung



Referenz: Scannendes akustisches Mikroskop SAM (Immersionstechnik)

Schichtdickenbestimmung an walzplattierten Aluminiumblechen

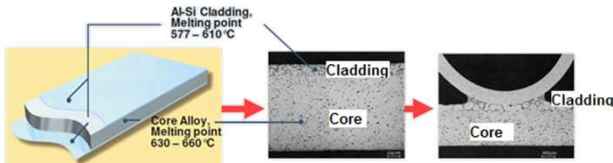
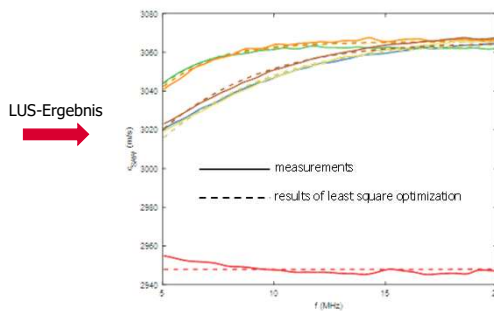


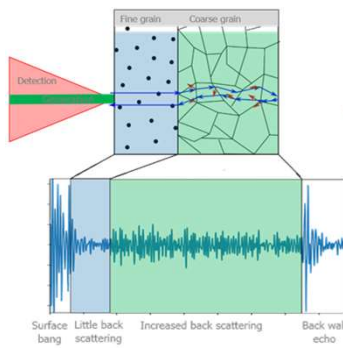
Image from: P. H. Marois – Novelis Inc., Clad sheet alloys for brazing applications, US 9908202



Bestimmung der Dicke der Schicht mit geringfügiger Beimischung von Silizium über frequenzabhängige SAW- Geschwindigkeiten

Sample	Fit Result (μm)	Micrograph Result (μm)	Rel. Error (%)
R7955 B	0	0	0
R7955 A	188	181 ± 5	1.08
R8427 B	337	380 ± 13	-8.17
R8427 A	326	360 ± 3	-8.68
R7956 A	188	182 ± 4	1.08
R7956 B	207	184 ± 5	9.52

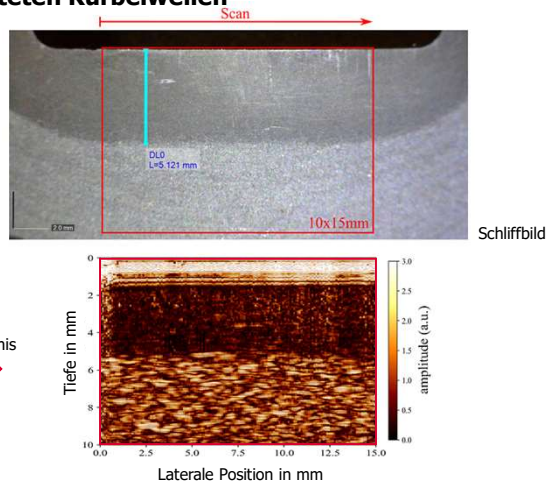
Messung der Einhärtetiefe an induktiv gehärteten Kurbelwellen



Auswertung unterschiedlicher Signalarückstreuung



LUS-Ergebnis →

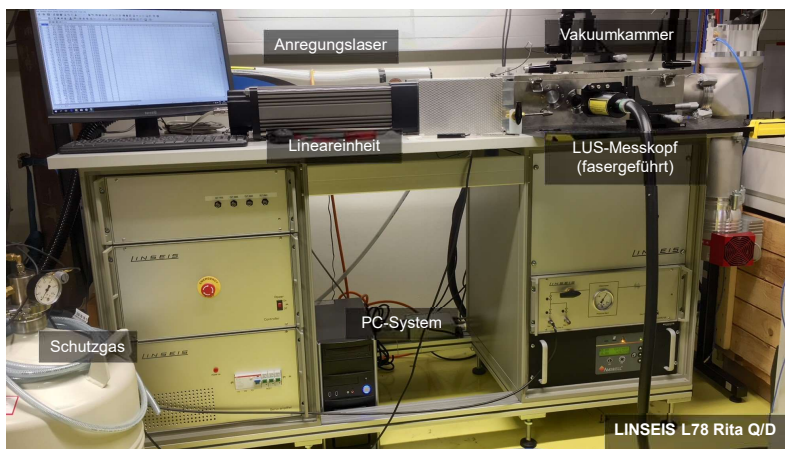


Stahlproduktion:

Ziel ist konstant hohe Stahlqualität bei variierenden Begleitelementen durch vermehrten Schrottzusatz

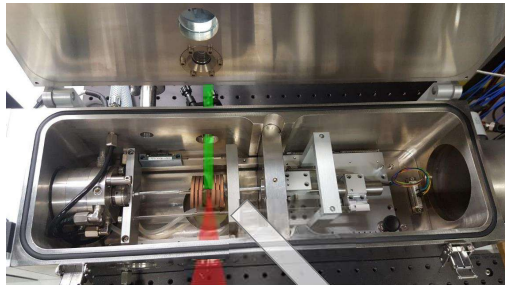


Thermischer Simulator: Dilatometer mit LUS kombiniert

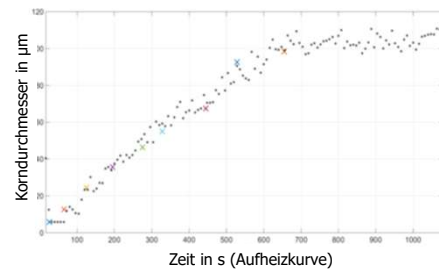


- ✓ Flexibles System für LUS
- ✓ Geringer Platzbedarf
- ✓ Max. Temperatur: 1600°C
- ✓ Heizrate: 2500K/s
- ✓ Verformungskraft: 25kN
- ✓ Verformungsrate: 125mm/s

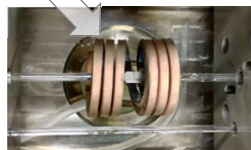
Beobachtung von austenitischem Kornwachstum in Stahlproben



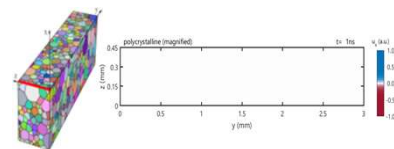
LUS-Ergebnis



Probe
10 mm 6 mm 6 mm

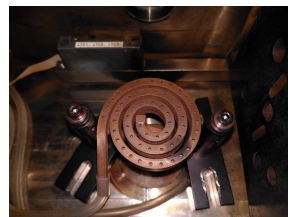
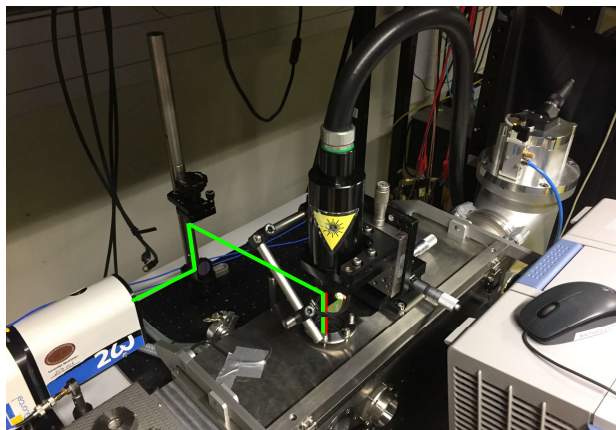


Probe für LUS-Laser von hinten und vorne zugänglich.

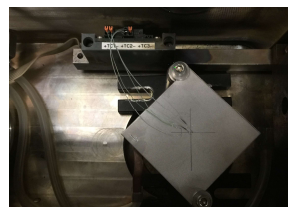


Simulationen von Ultraschall in polykristallinen Medien

Beobachtung von Änderungen der elastischen Eigenschaften in Blechproben



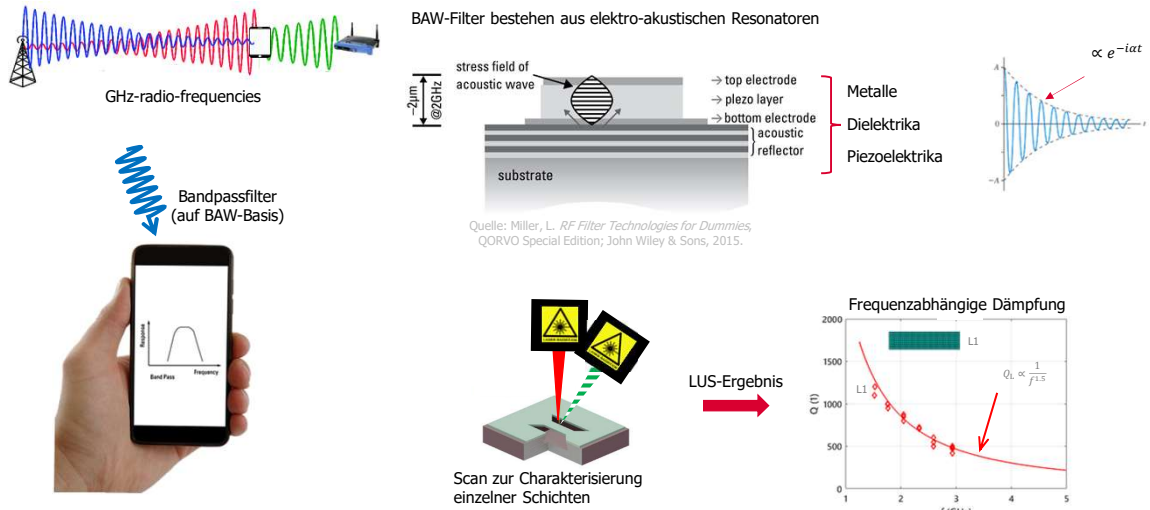
Flache
Induktionsspule



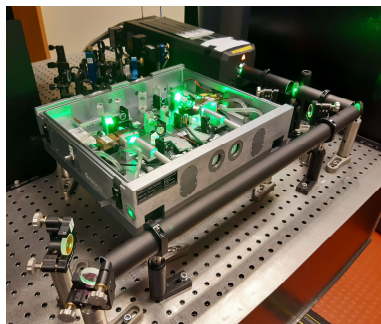
Blechprobe mit
Thermoelementen

Probe für LUS-Laser auch von oben zugänglich.

Dämpfungsmessung an akustischen GHz-Filtern (wenige 100µm groß)



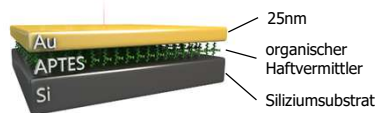
PLUS = (Picosecond-)LUS mit ultrakurzen Pulsen für kleinste Strukturen



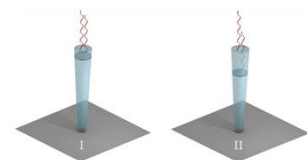
PLUS-Setup mit asynchronem optischem Sampling (ASOPS) von GHz bis THz

Geeignet für:

- Nanoschichten und Nanostrukturen
- NEMS und MEMS Strukturen
- Funktionelle Materialien (z.B. Thermoelektrika, Mesokristalle)
- Halbleitertechnologien



Bestimmung der Schichtdicke und -haftung



Elastische Eigenschaften von µm-Strukturen

Dank an Fördergeber



"PSSP" (Photonic Sensing for Smarter Processes) ist ein COMET-Projekt im Kompetenzzentren-Programm COMET (Competence Centers for Excellent Technologies) der FFG und wird aus Mitteln der Bundesministerien BMK und BMDW und aus Mitteln von Land Oberösterreich und Land Steiermark (vertreten durch die SFG - Steirische Wirtschaftsförderungsgesellschaft m.b.H.) gefördert. Das Programm COMET wird durch die FFG abgewickelt.

REACT-EU

ALS TEIL DER REAKTION DER UNION AUF DIE COVID-19-PANDEMIE FINANZIERT.

Diese Arbeit wurde unterstützt durch das Projekt "RESilience Enhancement In Energy NETWORKs" (ZDM_OmniScan) der Oberösterreichischen Landesregierung und des „Europäischer Fonds für regionale Entwicklung (EFRE)“ im Rahmen des EU-Programmes IWB2020.



Dieses Projekt wird aus Forschungsförderungsmitteln des Landes Oberösterreich kofinanziert.

Member of
UAR INNOVATION NETWORK

Die Research Center for Non Destructive Testing GmbH ist ein Forschungsunternehmen des UAR Innovation Networks und wird aus Mitteln des Strategischen Wirtschafts- und Forschungsprogrammes "Innovatives Oberösterreich 2020" vom Land OÖ gefördert.



We're looking into it!



- **Edgar Scherleitner**
 - Acoustics
 - edgar.scherleitner@recendt.at
 - +43 (732) 2468 – 4653



- **Peter Burgholzer**
 - CEO
 - peter.burgholzer@recendt.at
 - +43 (732) 2468 - 4601

- www.recendt.at
- A – 4040 Linz, Altenberger Straße 69, Science Park 2

