

# GIUM - eine Nahfeldmethode zur Abbildung der Mikrostruktur mittels streifend einfallendem Ultraschall

Bernd KÖHLER\*, Martin BARTH\*, Frank SCHUBERT\*

\* Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP, Institutsteil Dresden

## Kurzfassung

Streifend entlang einer Festkörper-Oberfläche laufende Ultraschallwellen, sogenannte Surface Skimming Longitudinal Wave (SSLW) – im deutschen häufig Kriechwellen genannt, strahlen kontinuierlich Scherwellen in das Medium ab. Dieser Prozess ist mit einer Auslenkung der Oberfläche verbunden. Diese Oberflächenverschiebung kann scannend beispielsweise mit Laser-Doppler-Vibrometrie erfasst werden. So gelingt es in homogenen, aber auch in heterogenen und anisotropen Medien die Wellenausbreitung an der Oberfläche zu visualisieren. Kürzlich haben wir gefunden, dass aus dem raumzeitlichen Verschiebungsfeld der SSLW darüber hinaus auch Abbildungen der Mikrostruktur gewonnen werden können [1].

Diese "Grazing Incidence Ultrasound Microscopy" (GIUM) genannte Nahfeldmethode liefert mit der klassischen Metallographie übereinstimmende Resultate. Sie wird drüber hinaus dadurch verifiziert, dass ihre Ergebnisse (a) weitgehend unabhängig von der Ausbreitungsrichtung der SSLW sind und (b) sehr gut mit durch Electron Backscatter Diffraction (EBSD) gewonnenen Abbildungen der Kornorientierung zusammenfallen. Es wird eine plausible Erklärung für den GIUM zugrundeliegenden Kontrastmechanismus gegeben. Weitere Arbeiten [2] dienen zur Vertiefung des Verständnisses.

GIUM wird im Beitrag unter anderem auf Schweißnähte aus einem im Rahmen der Reaktorsicherheitsförderung (siehe [3], [4]) durchgeführten Projekt angewendet.

**Danksagung:** Die dargestellten Arbeiten wurden zum Teil mit Mitteln des BMWi unter dem Förderkennzeichen GRS 1501384 unterstützt, wofür an dieser Stelle herzlich gedankt wird.

1. B. Köhler, M. Barth, P. Krüger, F. Schubert, Grain structure visualization with surface skimming ultrasonic waves detected by laser vibrometry, Appl. Phys. Letters **101**, 074101 (2012)
2. F. Schubert, M. Barth, B. Köhler, dieser Tagungsband, Mo 2.B.2
3. S. Wagner, M. Barth, B. Köhler, F. Schubert, S. Dugan, dieser Tagungsband, Mo 2.B.4
4. F. Schubert, M. Barth, B. Köhler, S. Dugan, S. Wagner, dieser Tagungsband, P49



**GIUM – eine Nahfeldmethode zur Abbildung der Mikrostruktur mittels streifend einfallendem Ultraschall**

**DGZFP-Jahrestagung 2013, Dresden**

Bernd Köhler,  
Martin Barth,  
Frank Schubert

Fraunhofer IZFP-D  
Bernd.Koehler  
@izfp-d.fraunhofer.de  
[www.izfp-d.fraunhofer.de](http://www.izfp-d.fraunhofer.de)

06.05.2013



**GIUM – eine Nahfeldmethode zur Abbildung der Mikrostruktur ..**

**Gliederung**

1. **Motivation:** Ultraschallprüfung von austenitischen und Mischnähten
2. Erfassung und **Visualisierung** der **Ultraschallausbreitung** mittels LDV
3. Verbesserung der SLDV durch **intelligentes Mitteln**
4. Lokale Information gewonnen aus Kriechwellen (SSLW) die Ultraschallmikroskopie mit streifenden Einfall (**Grazing Incidence Ultrasonic Microscopy – GIUM**)
5. **Verifikation I:** GIUM für verschiedenen Einfallsrichtungen
6. **Verifikation II:** Vergleich mit EBSD
7. Vorläufige Erklärung des Kontrastes
8. **Zusammenfassung**



Angewandte Mikroelektronik und Nanotechnologie für zerstörungsfreie Prüfverfahren, Medizintechnik und Sicherheitstechnik.

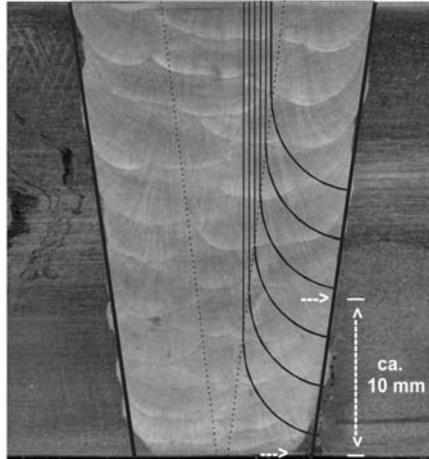


## Motivation: Ultraschall-Prüfung von austenitischen SN

austenitische SN in einer dickwandigen Komponente

Die Dendriten wachsen durch die Schweißraupen

Die Dendriten sind elastisch anisotrop, ihre Orientierung beeinflusst die Schallausbreitung



Angewandte Mikroelektronik und Nanotechnologie für zerstörungsfreie Prüfverfahren, Medizintechnik und Sicherheitstechnik.

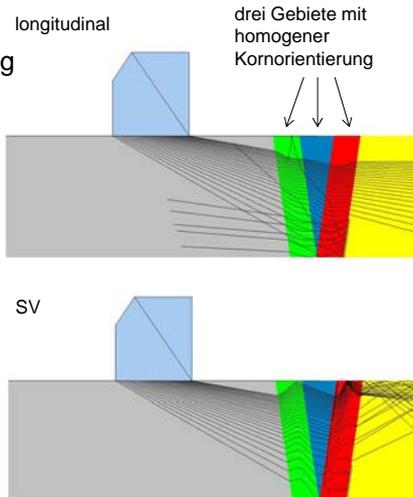
**Fraunhofer**  
IZFP

## Motivation: Ultraschall-Prüfung von austenitischen SN

### Austenitische SN

Modellierung der Wellenausbreitung mittels Ray-Tracing, Einfallswinkel  $70^\circ$

V. Schmitz, et al.



→ Projekt „Prüfgerechtes Schweißen“  
S. Wagner Mo 2.B.4  
F. Schubert P49

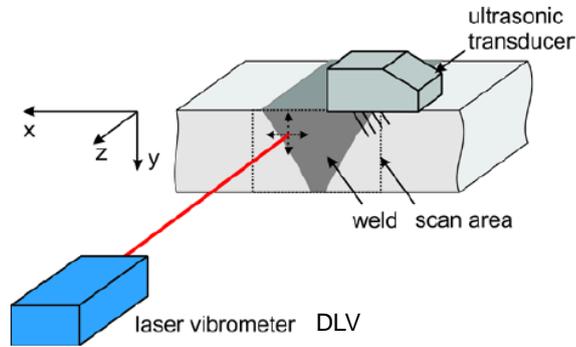


Angewandte Mikroelektronik und Nanotechnologie für zerstörungsfreie Prüfverfahren, Medizintechnik und Sicherheitstechnik.

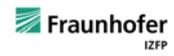
**Fraunhofer**  
IZFP

## Visualisierung der Wellenausbreitung mittels LDV

### austenitische Schweißnaht

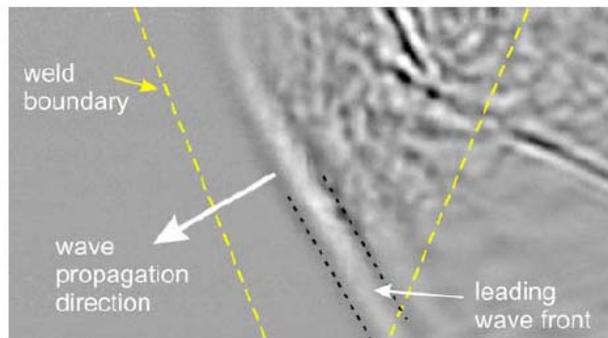


Angewandte Mikroelektronik und Nanotechnologie für zerstörungsfreie Prüfverfahren, Medizintechnik und Sicherheitstechnik.

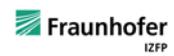


## Visualisierung der Wellenausbreitung mittels LDV

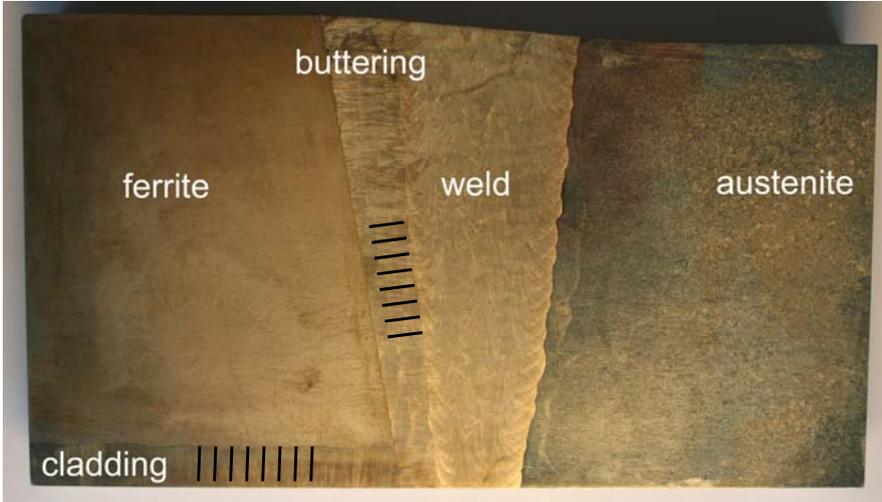
### austenitische Schweißnaht



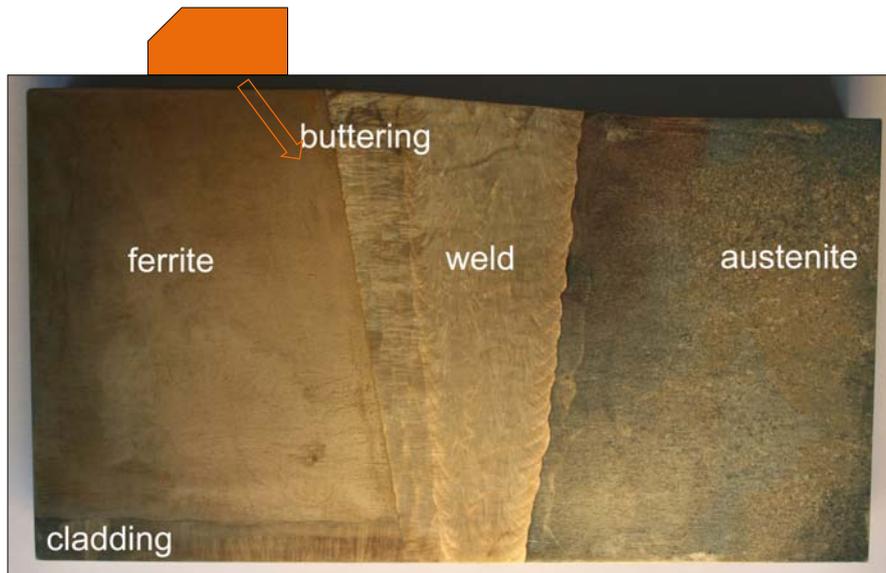
Angewandte Mikroelektronik und Nanotechnologie für zerstörungsfreie Prüfverfahren, Medizintechnik und Sicherheitstechnik.



Verb. der LDV durch intelligentes Mitteln; Bsp. Mischnaht



Angewandte Mikroelektronik und Nanotechnologie für zerstörungsfreie Prüfverfahren, Medizintechnik und Sicherheitstechnik.



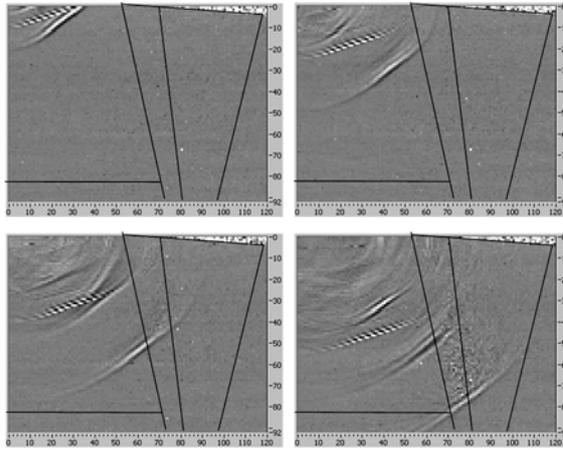
GIUM – eine Nahfeldmethode zur Abbildung der Mikrostruktur ..

Verb. der LDV durch intelligentes Mitteln; Bsp. Mischnaht

45° longitudinal Welle  
f = 2 MHz

intelligentes Mitteln:

- Mittelung 4000 x
- Auflösung 1 mm



Schwache WW der I-Welle mit der SN



Angewandte Mikroelektronik und Nanotechnologie für zerstörungsfreie Prüfverfahren, Medizintechnik und Sicherheitstechnik.



GIUM – eine Nahfeldmethode zur Abbildung der Mikrostruktur ..

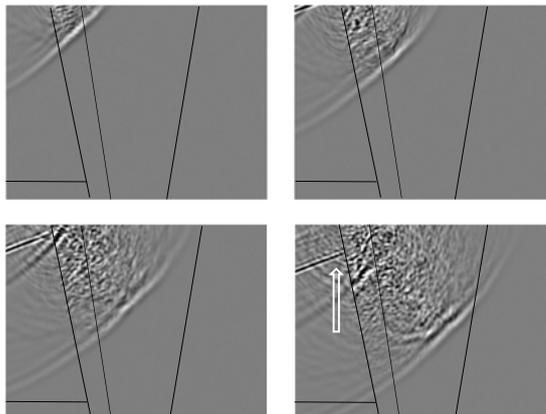
Verb. der LDV durch intelligentes Mitteln; Bsp. Mischnaht

45° longitudinal Welle  
f = 2 MHz

intelligentes Mitteln:

- Mittelung 10000 x
- Auflösung 0,2 mm

Besseres S/N Verhältnis  
höhere Auflösung



Schwache WW der I-Welle mit der SN

Starke Streuung der Transversalwelle

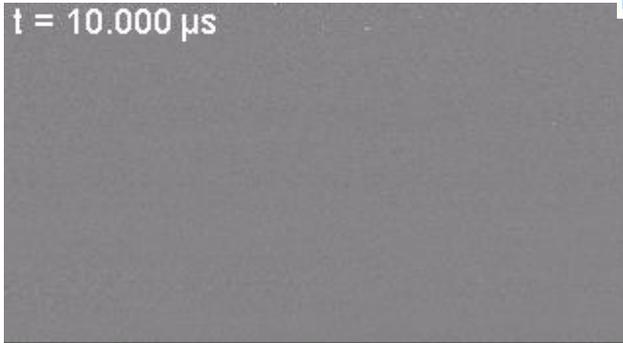
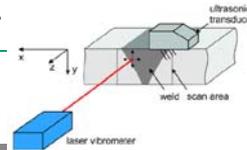


Angewandte Mikroelektronik und Nanotechnologie für zerstörungsfreie Prüfverfahren, Medizintechnik und Sicherheitstechnik.



GIUM – eine Nahfeldmethode zur Abbildung der Mikrostruktur ..

Grazing Incidence Ultrasonic Microscopy -



Die Welle enthält lokale Information,  
Wie ist diese extrahierbar?



Angewandte Mikroelektronik und Nanotechnologie für zerstörungsfreie Prüfverfahren, Medizintechnik und Sicherheitstechnik.

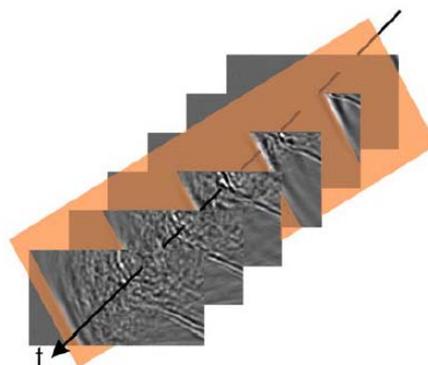
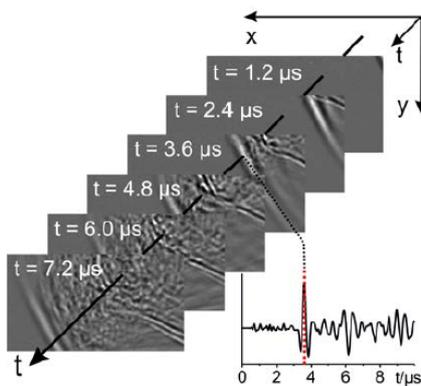


GIUM – eine Nahfeldmethode zur Abbildung der Mikrostruktur ..

Grazing Incidence Ultrasonic Microscopy - GIUM

Methode 1:  
Bestimme für jeden (x-y) Pixel den Wert des ersten „echten“ Maximums und trage ihn in ein neues Bild ein

Methode 2:  
führe einen geeigneten Schnitt durch den Bildstapel durch (z.B. mit ImageJ® APL **101** (2012))

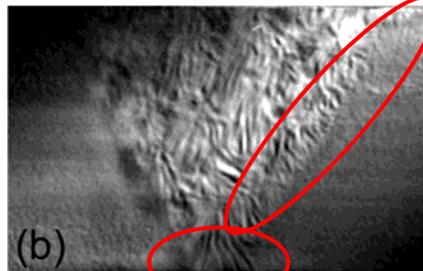
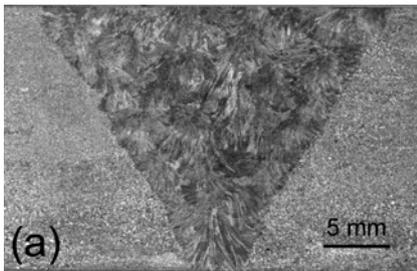
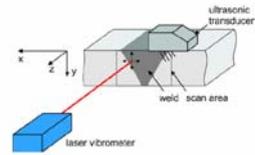


Angewandte Mikroelektronik und Nanotechnologie für zerstörungsfreie Prüfverfahren, Medizintechnik und Sicherheitstechnik.



GIUM – eine Nahfeldmethode zur Abbildung der Mikrostruktur ..

Grazing Incidence Ultrasonic Microscopy



S. Wagner, S. Dugan, MPA Stuttgart

Diese Methode nennen wir „Grazing Incidence Ultrasound Microscopy“ (GIUM )

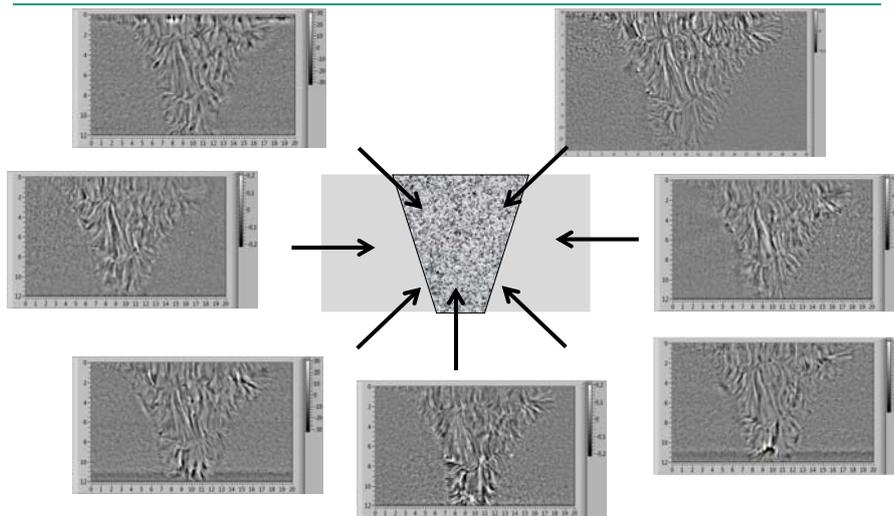


Angewandte Mikroelektronik und Nanotechnologie für zerstörungsfreie Prüfverfahren, Medizintechnik und Sicherheitstechnik.



GIUM – eine Nahfeldmethode zur Abbildung der Mikrostruktur ..

Verifikation I: GIUM für verschiedene SSLV Einfallsrichtungen



Angewandte Mikroelektronik und Nanotechnologie für zerstörungsfreie Prüfverfahren, Medizintechnik und Sicherheitstechnik.

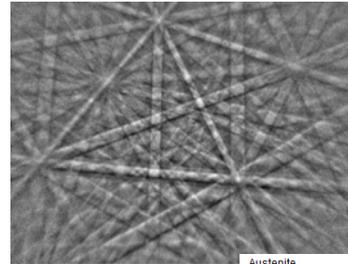
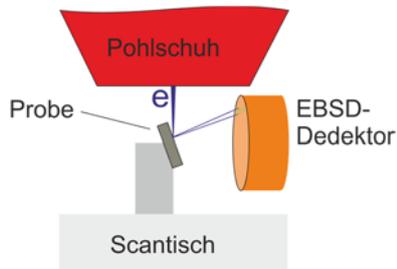


GIUM – eine Nahfeldmethode zur Abbildung der Mikrostruktur ..

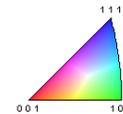
Verifikation II: Vergleich mit EBSD

EBSD = Electron Backscatter Diffraction

Kikuchi Linien für einen Punkt



Indizierung → inverse Polfigur:

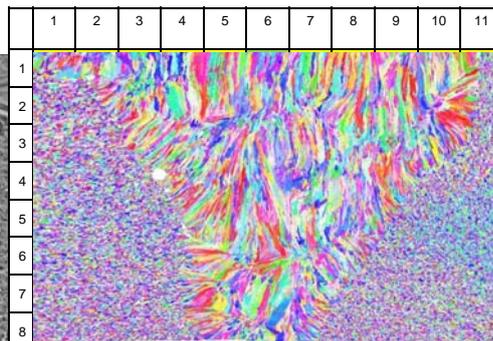
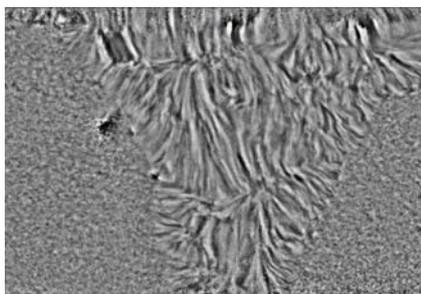


Angewandte Mikroelektronik und Nanotechnologie für zerstörungsfreie Prüfverfahren, Medizintechnik und Sicherheitstechnik.



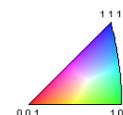
GIUM – eine Nahfeldmethode zur Abbildung der Mikrostruktur ..

Verifikation II: Vergleich mit EBSD



GIUM

EBSD (88 Einzelbilder)  
Maik Müller, IAVT, TU Dresden

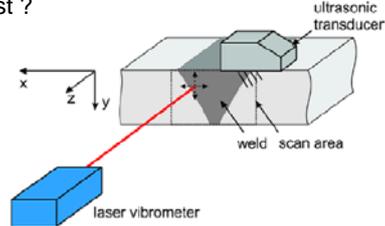


Angewandte Mikroelektronik und Nanotechnologie für zerstörungsfreie Prüfverfahren, Medizintechnik und Sicherheitstechnik.

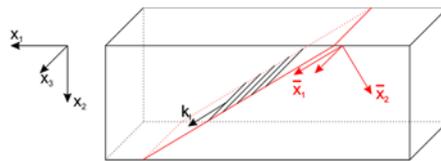


Interpretation des Kontrastmechanismus

Woher kommt der GIUM Kontrast ?



Virtueller Schnitt entlang der Einschallrichtung

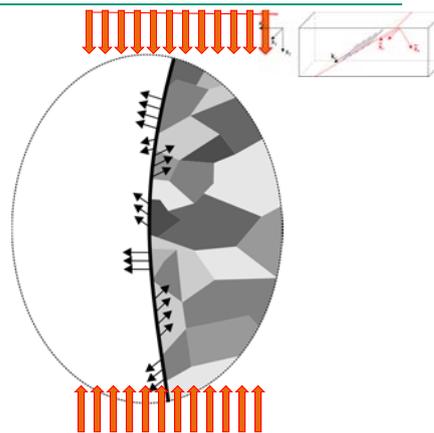
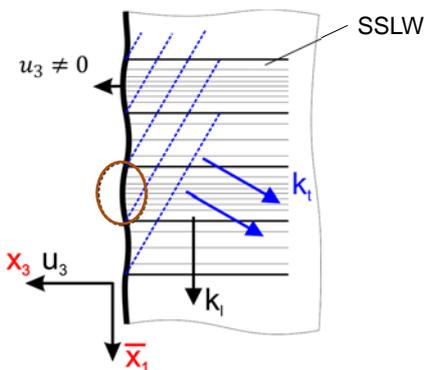


Angewandte Mikroelektronik und Nanotechnologie für zerstörungsfreie Prüfverfahren, Medizintechnik und Sicherheitstechnik.



Interpretation des Kontrastmechanismus

Blick auf die neue Schnittebene



die externe Dehnung induziert zusätzliche (lokale) Verschiebungen diese hängen von der Kornorientierung ab und sind die Ursache für den Kornkontrast



See: APL 101 (2012)



Angewandte Mikroelektronik und Nanotechnologie für zerstörungsfreie Prüfverfahren, Medizintechnik und Sicherheitstechnik.



## Zusammenfassung / Schlussfolgerungen

- Laser Vibrometer Visualisierung hilft die Wellenausbreitung zu verstehen
- GIUM nutzt lokale Variationen der elastischen Eigenschaften zur Visualisierung der Mikrostruktur
- GIUM ist eine **Nahfeldmethode** mit einer Auflösung deutlich unter der akustischen Wellenlänge
- Für austenitische SN kann die dendritische **Mikrostruktur** gemeinsam mit der Wellenausbreitung in einer berührungslosen Messung bestimmt werden
- Laufende Arbeiten betreffen die Anwendung von GIUM auf andere Materialien/Fragestellungen



Angewandte Mikroelektronik und Nanotechnologie für zerstörungsfreie Prüfverfahren, Medizintechnik und Sicherheitstechnik.



## Danksagung

Die Arbeiten wurden zum Teil durch Unterstützung des BMWi im Rahmen des GRS Projektes „Prüfgerechtes Schweißen“ ermöglicht, wofür an dieser Stelle herzlich gedankt wird.

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Angewandte Mikroelektronik und Nanotechnologie für zerstörungsfreie Prüfverfahren, Medizintechnik und Sicherheitstechnik.



## Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Sie sind herzlich eingeladen, mit uns an innovativen Ideen in einer Stadt voller Historie und Kultur, einer hohen Lebensqualität und einer attraktiven Umgebung zu arbeiten.



Angewandte Mikroelektronik und  
Nanotechnologie für zerstörungs-  
freie Prüfverfahren, Medizin-  
technik und Sicherheitstechnik.

 **Fraunhofer**  
IZFP