

# Verbesserte Laser-Akustische Mikroskopie durch Schallbündelformung

Thomas WINDISCH, Frank SCHUBERT und Norbert MEYENDORF

Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP Institutsteil Dresden,  
Maria-Reiche-Str. 2, 01109 Dresden  
thomas.windisch@izfp-d.fraunhofer.de

## Kurzfassung

Die Methoden der Laser-Akustik bieten der ZfP eine ultraschallbasierte Abbildung und Materialcharakterisierung, ohne die sonst übliche Notwendigkeit der akustischen Ankopplung. Dazu wird ein Puls laser für das thermoelastisch-zerstörungsfreie Anregen akustischer Volumenwellen sowie ein cw-Laser für das Aufzeichnen der Ultraschallsignale eingesetzt. Die gute Fokussierbarkeit optischer Systeme erlaubt hohe Ortsauflösungen von wenigen  $\mu\text{m}$ . Hierbei definiert die Intensitätsverteilung im Querschnitt des Anregungslasers das Schallfeld im Volumen und damit die Qualität der Mikroskopie. Es wurde ein Softwaremodul entwickelt der das Schallfeld auf Basis des optischen Strahlprofils ausgibt. Dies ermöglicht eine Schallbündelformung durch eine gezielte Modifikation der Laserstrahlen.

Ausgangspunkt der Laser-Akustischen Anregung ist ein kurzzeitiger Temperaturgradient in der Probenoberfläche. Unter Einbehaltung der zerstörungsfreien thermoelastischen Anregung kann im Wesentlichen von einem Dipolfeld der oberflächenparallelen Kräfte und Spannungen ausgegangen werden. Als Folge stelle sich eine Schallabstrahlung ein, welche sich in bestimmten Winkelrichtungen konzentriert. Diese mit Hilfe optischer Hilfsmittel gezielt zu lenken ist Aufgabe der akusto-optischen Schallbündelformung.

Zur Demonstration der Wirkungsweise wurden Vergleichsmessungen an einer 5 mm dicken Aluminiumprobe durchgeführt. Als Streuzentren dienten Querbohrungen von 0.7 mm Durchmesser in zunehmender Tiefenlage. Anhand von Transmissionsmessungen wurden B-Scan-Bilder erzeugt, welche die verbesserten Abbildungseigenschaften Laser-Akustischer Mikroskopien nach Schallbündelformung demonstrieren. Während Messungen mit dem Rohstrahl lediglich schwache und verzerrte Echoanzeigen generieren, zeigt der B-Scan nach Schallbündelformung nicht nur stärkere Reflektionen, sondern deutlich ausgeprägte Streuhyperbeln. In der manuellen wie auch automatisierten Fehlererkennung mittels Ultraschall liefert dies zusätzliche Informationen.

Damit stellt das Softwaremodul der Laser-Akustischen Schallbündelformung ein wichtiges Bindeglied zwischen Optik und Akustik dar und ist zugleich ein essenzielles Werkzeug zur Schallfeldformung, Abbildungsverbesserung sowie Messzeitreduktion.



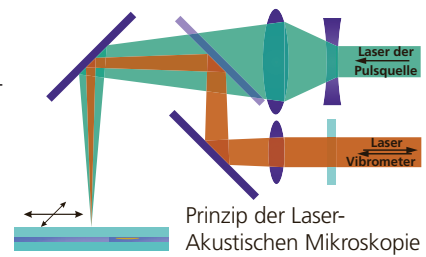


# Verbesserte Laser-Akustische Mikroskopie durch Schallbündelformung

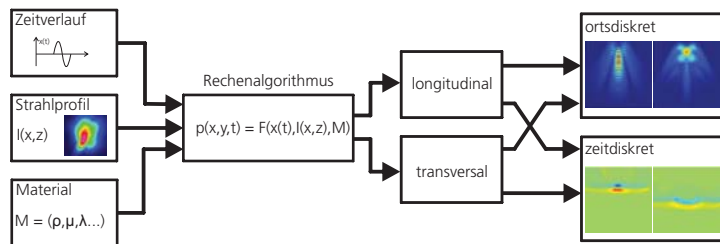
Jahrestagung der DGZfP 2013, Dresden

## Motivation: Abbildungsverbesserung der Laser-Akustischen Mikroskopie

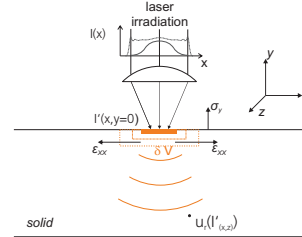
Die Methoden der Laser-Akustik bieten der ZfP eine ultraschallbasierte Abbildung und Materialcharakterisierung, ohne die sonst übliche Notwendigkeit der akustischen Ankopplung. Dazu wird ein Puls laser für das thermoelastisch-zerstörungsfreie Anregen akustischer Volumenwellen sowie ein cw-Laser für das Aufzeichnen der Ultraschallsignale eingesetzt. Die gute Fokussierbarkeit optischer Systeme erlaubt hohe Ortsauflösungen von wenigen  $\mu\text{m}$ . Dabei definiert die Intensitätsverteilung im Querschnitt des Anregungslasers das Schallfeld im Volumen und damit die Qualität der Mikroskopie. Es wurde ein Softwaremodul entwickelt, das das Schallfeld auf Basis des optischen Strahlprofils ausgibt. Dies ermöglicht eine Schallbündelformung durch eine gezielte Modifikation der Laserstrahlen. Unter Verwendung gut geformter Schallfelder sinkt die Messzeit bei gleichzeitiger Verbesserung der Bildgebung.



## Rechenschema der Schallfeldbestimmung



## Modell der Laser-Akustischen Anregung



$$\delta V_i = \frac{3\alpha}{\rho C} (1 - R) \iint I_i \cdot dt dA$$

$$u_r = \frac{\alpha}{2\pi\rho C} \frac{1}{rc} \frac{\delta V}{\delta t}$$

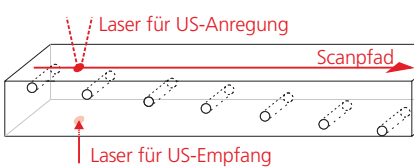
$$U(x, y) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N u_{r,i} \cdot \Upsilon(\theta)$$

## Nachweis an Probekörper

**Prüfaufgabe**  
Kontaktloses Abbilden der Tiefenlage zylindrischer Testfehler mit 0.7 mm Durchmesser in 5 mm Aluminium als Ultraschall-B-Scan im Transmissionsmodus



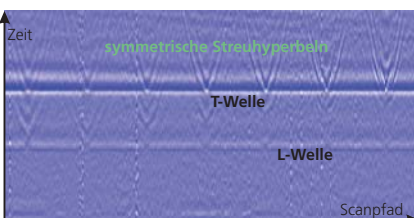
**Verfahren**  
Laser-Akustische Anregung bei gleichzeitiger Laser-Interferometrischer Messung der Schallwellen unter seitlichem Verschieben des Prüfkörpers



**B-Bild mit Rohstrahl**  
Longitudinal- und Transversalwellen sowie Streuhyperbeln sind bereits erkennbar. Geringe Signalamplituden erfordern lange Messzeiten. Asymmetrien im Rohstrahl übertragen sich auf das Schallbündel und verfälschen die B-Bilder zusätzlich.

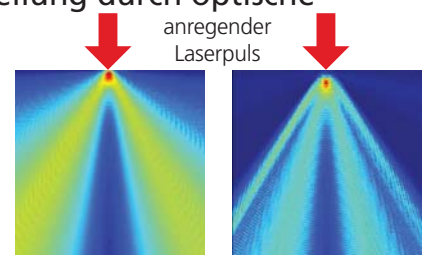


**B-Bild nach Schallbündelformung**  
Die optische Schallbündelformung reduziert Fehlabbildungen im B-Scan. Gleichzeitig werden kürzere Messzeiten durch höhere Signalamplituden erreicht. Rauschanteile und Artefakte nehmen ab und erleichtern die Auswertung.

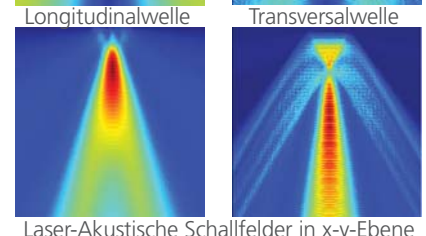


## Optimierte Schallverteilung durch optische Schallbündelformung

**Ohne optische Strahlformung**  
Das direkte Abbilden des Rohstrahls führt zu Schallverteilungen, welche für Abbildungen ungünstig sind. Besonders in Normalenrichtung fehlen die Schallanteile.



**Mit optischer Strahlformung**  
Durch optischer Schallbündelformung lässt sich ein Fokusbereich in Normalenrichtung einstellen. Störende Schallanteile in Nebenkeulen werden erfolgreich unterdrückt und führten zu verbesserten Abbildungen.



Laser-Akustische Schallfelder in x-y-Ebene

## Zusammenfassung

Die Laser-Akustische Mikroskopie bietet eine Bildgebung von verdeckten Strukturen, ohne die Probe selbst mit einem anderen Stoff in Kontakt bringen zu müssen. Die Anregung akustischer Wellen erfolgt dabei durch räumlich geformte Laserpulse, deren Intensitätsverteilung auf der Probenoberfläche das Schallfeld im Volumen bestimmen. Über die Formung des Strahlprofils lässt sich nun eine gezielte Fokussierung im Schallfeld für ortsaufgelöste Abbildungen erreichen. Das vorgestellte Softwaremodul ist damit das optisch-akustische Bindeglied, welches akustische Felder im nicht zugänglichen Festkörpervolumen vorhersagt und eine Schallfeldoptimierungen ermöglicht. Mit Hilfe der Schallbündelformung lässt sich die Messzeit reduzieren und gleichzeitig die Aussagekraft Laser-Akustischer Methoden in der ZfP erhöhen.