

Neuartiger Wandler für geführte SH-Wellen auf der Basis von piezoelektrischen Fasern

Frank SCHUBERT *, Bernd KÖHLER *

* Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme,
Institutsteil Materialdiagnostik (IKTS-MD), Maria-Reiche-Str. 2, 01109 Dresden
Frank.Schubert@ikts-md.fraunhofer.de
Bernd.Koehler@ikts-md.fraunhofer.de

Kurzfassung

Die Anwendung horizontal polarisierter Transversalwellen (SH-Wellen) in der zerstörungsfreien Prüfung (ZfP) und dem Structural Health Monitoring (SHM) ist mit wesentlichen Vorteilen verbunden. SH-Wellen erleiden an Flächen parallel zur Einkopplfläche keine Modenwandlung, was zu übersichtlichen und gut interpretierbaren Signalen führt. Auch die Abstrahlung in fluide Medien ist unterdrückt, was mit geringem Energieverlust der Welle und mit großen Reichweiten einhergeht. In plattenartigen Strukturen ist die niedrigste horizontal polarisierte Wellenmode (SH₀) dispersionsfrei und auch deshalb ideal für langreichweitige Anwendungen geeignet.

Mit elektromagnetischen Wandlern können horizontal polarisierte Scherwellen effektiv direkt im Material angeregt bzw. detektiert werden. Diese Wandler sind aber relativ groß und zudem auf elektrisch leitfähige Materialien beschränkt. Konventionelle piezoelektrische Wandler werden zur Übertragung von Scherkräften mittels Klebstoffen oder hochviskosen Flüssigkeiten angekoppelt, benötigen aber eine große rückseitige seismische Masse, um die Scherkräfte effektiv einzubringen. Beide Wandlertypen sind daher für das SHM ungeeignet.

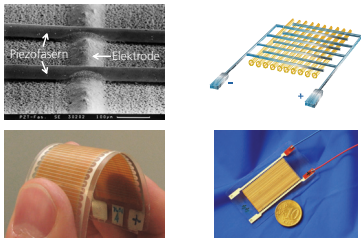
Piezoelektrische Faser-Patches (PFPs) sind von ihren adaptiven Anwendungen her bekannt. Sie können jedoch auch für die Anregung und Detektion von symmetrischen und antisymmetrischen Lamb-Moden in Plattenstrukturen modifiziert und so für das SHM mittels geführten elastischen Wellen verwendet werden. SH-Moden können bislang mit PFP-Wandlern nur sehr ineffektiv über Kanteneffekte als Begleiterscheinungen von A- und S-Moden angeregt werden.

Im Beitrag wird ein neues Konzept für einen speziellen SH-Wandler auf Piezofaserbasis vorgestellt, bei dem zwei um $\pm 45^\circ$ geneigte Faserebenen mit entgegengesetzter Polarisation verwendet werden. Simulationsrechnungen auf Basis der Elastodynamischen Finiten Integrationstechnik (EFIT) zeigen, dass mit diesem Wandler SH-Moden deutlich effektiver angeregt und detektiert werden können als mit den bisherigen PFP-Konzepten.

Neuartiger Wandler für geführte SH-Wellen auf der Basis von piezoelektrischen Fasern

- Die Anwendung **horizontal polarisierter Transversalwellen (SH-Wellen)** in zerstörungsfreier Prüfung (ZfP) und Structural Health Monitoring (SHM) ist mit wesentlichen Vorteilen verbunden. SH-Wellen erleiden an Flächen parallel zur Einkopffläche **keine Modenwandlung**, was zu übersichtlichen und gut interpretierbaren Signalen führt. Auch die Abstrahlung in fluide Medien ist unterdrückt, was mit **geringem Energieverlust** der Welle und mit **großen Reichweiten** einhergeht. In plattenartigen Strukturen ist die niedrigste, horizontal polarisierte Wellenmode (SH0) **dispersionsfrei** und auch deshalb ideal für langreichweitige Anwendungen geeignet.
- Mit elektromagnetischen Wandlern können SH-Wellen direkt im Material angeregt bzw. detektiert werden. Diese Wandler sind aber relativ groß und zudem auf elektrisch leitfähige Materialien beschränkt. Konventionelle piezoelektrische Wandler werden zur Übertragung von Scherkräften mittels Klebstoffen oder hochviskosen Flüssigkeiten angekoppelt, benötigen aber eine große rückseitige seismische Masse, um die Scherkräfte effektiv einzutragen. Beide Wandlertypen sind daher für das SHM ungeeignet.
- Piezoelektrische Faser-Patches (PFPs)** sind von ihren adaptiven Anwendungen her bekannt. Sie können jedoch auch für die Anregung und Detektion von symmetrischen und antisymmetrischen Lamb-Moden in Plattenstrukturen modifiziert und so für das SHM mittels geführten elastischen Wellen verwendet werden. SH-Moden können bisher mit PFP-Wandlern nur sehr ineffektiv über Kanteneffekte als Begleiterscheinung von A- und S-Moden angeregt werden.
- Es wird ein neues Konzept für einen speziellen SH-Wandler auf Piezofaserbasis vorgestellt, bei dem zwei **um $\pm 45^\circ$ geneigte Faserebenen mit entgegengesetzter Polarisation** verwendet werden. Simulationsrechnungen auf Basis der Elastodynamischen Finiten Integrationstechnik (EFIT) zeigen, dass mit diesem Wandler SH-Moden deutlich effektiver angeregt und detektiert werden können als mit den bisherigen PFP-Konzepten.

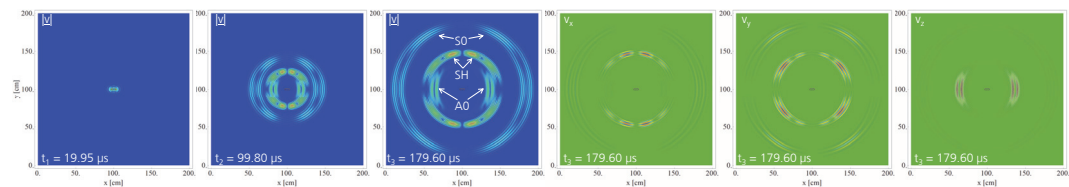
Piezo Faser Patches (PFPs)



Quelle: NMW GmbH und Fraunhofer ISC Würzburg

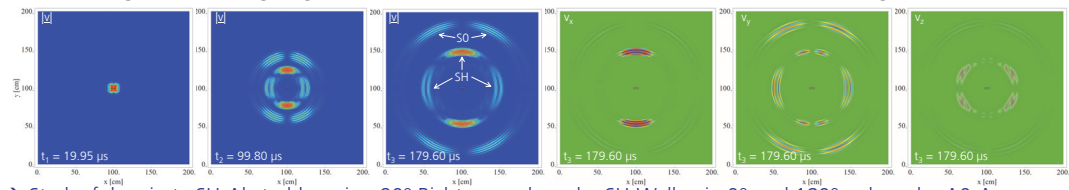
3D-EFIT-Simulationsrechnungen

Konventionelle PFP-Anregung mit Fasern in 0° - und Elektroden in 90° -Richtung ($6 \times 1.52 \text{ cm}^2$)



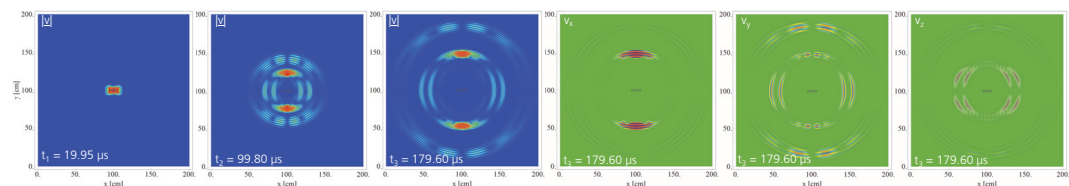
→ Schwache breitgefächerte SH-Abstrahlung mit Nullstellen in 0° , $\pm 90^\circ$ und 180° -Richtung, starke A0-Anregung

Neuartige PFP-Anregung mit Fasern in $\pm 45^\circ$ - und Elektroden in 90° -Richtung ($6 \times 1.52 \text{ cm}^2$)



→ Starke fokussierte SH-Abstrahlung in $\pm 90^\circ$ Richtung, schwache SH-Wellen in 0° und 180° , schwache A0-Anregung

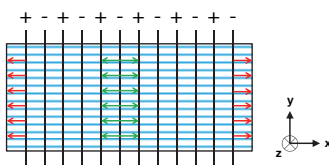
Neuartige PFP-Anregung mit Fasern in $\pm 45^\circ$ - und Elektroden in 90° -Richtung ($12 \times 1.52 \text{ cm}^2$)



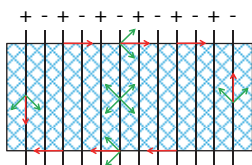
Noch stärker gerichtete SH-Abstrahlung in $\pm 90^\circ$ -Richtung

Anregung geführter Wellen durch einen Piezo-Faser-Patch (PFP) auf der Oberseite einer $2000 \times 2000 \times 2 \text{ mm}^3$ großen Aluminiumplatte. Die y-Ausdehnung des PFP entspricht der halben SH-Wellenlänge (1.52 cm bei $f_c = 100 \text{ kHz}$). Linke Bilder (blau): Zeitschnappschüsse des Betrags der Schallschnelle \underline{v} an der Plattenoberseite für $t_1 = 19.95 \mu\text{s}$, $t_2 = 99.80 \mu\text{s}$, $t_3 = 179.60 \mu\text{s}$. Rechte Bilder (grün, von links nach rechts): v_x -, v_y - und v_z -Komponente der Schallschnelle bei $t_3 = 179.60 \mu\text{s}$.

Wandlerprinzipien



Konventionelles PFP-Prinzip mit einer Faserebene (blau) und senkrecht dazu angeordneten Elektroden (schwarz). Alle Kräfte an den inneren Elektrodenfingern heben sich auf. Nur die Kräfte an den äußeren Fingern führen zur Anregung.



Neuartiges PFP-Prinzip mit zwei in $\pm 45^\circ$ Richtung angeordneten Faserebenen entgegengesetzter Polarisation. Alle Kräfte an den inneren Elektrodenfingern heben sich auf. Nur die Scherkräfte am Rand führen zur Anregung. Aus Symmetriegründen können die Elektroden auch um 90° gedreht werden.

Fazit und Ausblick

- Das neue PFP-Wandlerprinzip ermöglicht die effektive und gerichtete Anregung von dispersionsfreien geführten SH-Wellen in Platten, Rohren und anderen Schalenstrukturen.
- Somit steht ein neuer, bislang fehlender Sensortyp für das Structural Health Monitoring (SHM) mit geführten Wellen zur Verfügung.
- Vorteilhafte Anwendungen liegen z.B. bei der Überwachung von Strukturen mit permanentem oder zeitweisem Fluidkontakt (Rohrleitungen mit Transportmedium, Unterwasser-Offshorestrukturen, dem Regen ausgesetzte Strukturen, etc.).
- Eine Elektrodenanordnung senkrecht zur Abstrahlrichtung erlaubt eine Frequenzanpassung durch das Abschalten von Elektrodenfingern oder mittels phasenverzögerter Anregung und Empfang.