

Bleifreie, 3D druckbare piezoelektrische Kompositsensoren zur Detektion geführter Ultraschallwellen in dünnwandigen Bauteilen

Thomas ROLOFF¹, Rytis MITKUS¹, Michael SINAPIUS¹
¹ Technische Universität Braunschweig, Institut für Mechanik und
Adaptronik, Braunschweig

Kontakt E-Mail: thomas.roloff@tu-braunschweig.de

Kurzfassung

Der Bauteilzustand dünnwandiger Strukturen kann mittels geführter Ultraschallwellen charakterisiert werden. Die dazu verwendeten Structural Health Monitoring Systeme können großflächige Strukturabschnitte überwachen und bestehen meist aus Netzwerken mehrerer Aktoren und Sensoren. Bei der dauerhaften Installation eines solchen Systems sind diskrete Wandler zu applizieren oder zu integrieren. Letztere bestehen oftmals aus bleihaltigen piezoelektrischen Keramiken mit großen piezoelektrischen Ladungskonstanten, aber hohen akustischen Impedanzen. Sowohl das enthaltene Blei, als auch der große Impedanzunterschied zwischen Struktur und Sensor wirken sich negativ auf die Anwendbarkeit und Performance der Systeme aus.

Im Rahmen dieses Beitrages wird in einem ersten Ansatz evaluiert, inwiefern sich applizierte, dünne und vor allem bleifreie piezoelektrische Kompositsensoren zur Detektion geführter Ultraschallwellen in isotropen Materialien eignen. Die 3D druckbaren und mittels Tape Casting gefertigten Sensoren bestehen aus einem Photopolymer mit darin dispergierten, mikroskaligen Kalium-Natrium-Niobat-Partikeln und Kohlenstoffnanoröhren. Die Detektierbarkeit geführter Ultraschallwellen wird in einer Aluminiumplatte bis zu einem Frequenz-Dickenprodukt von 0,5 MHzmm überprüft. Neben der Sensitivität wird dabei ebenfalls die akustische Impedanzanpassung der Sensoren an die Struktur untersucht, indem bei der Interaktion zwischen eintreffender Welle und Sensor entstehende Reflektionen mithilfe von 3D-Laservibrometrie qualitativ analysiert werden. Der Beitrag zeigt damit erste Nutzungsmöglichkeiten bleifreier Piezokompositsensoren im Bereich des Structural Health Monitorings auf.



Bleifreie, 3D druckbare piezoelektrische Kompositsensoren zur Detektion geführter Ultraschallwellen in dünnwandigen Bauteilen

Thomas Roloff, Rytis Mitkus, Michael Sinapius

Technische Universität Braunschweig | Institut für Mechanik and Adaptronik

E-Mail: thomas.roloff@tu-braunschweig.de | Telefon: +49 (0) 531 391-8069

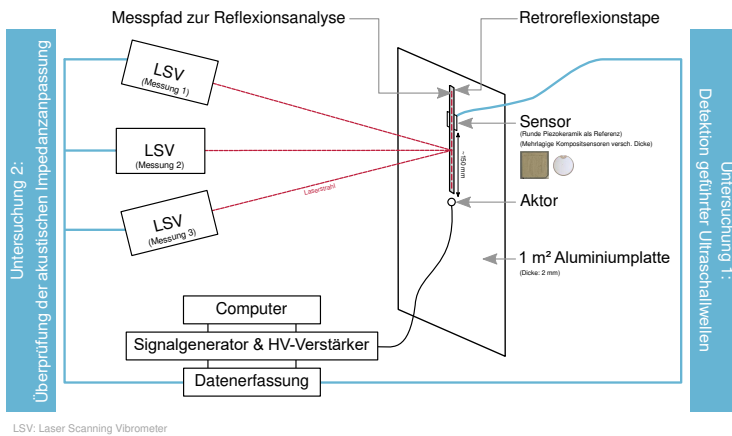


Motivation

- **Bleifreie** piezoelektrische Kompositsensoren können die Einsatzbereiche von Structural Health Monitoring (SHM) Anwendungen für dünnwandige Leichtbaustrukturen erweitern und ermöglichen durch **Freiformgestaltung** die individuelle Anpassung der Sensoren.
- Die Sensoren aus Photopolymer, piezoelektr. Partikeln und Carbon Nanotubes (CNTs) zeigen eine **bessere akustische Impedanzanpassung** als PZT.

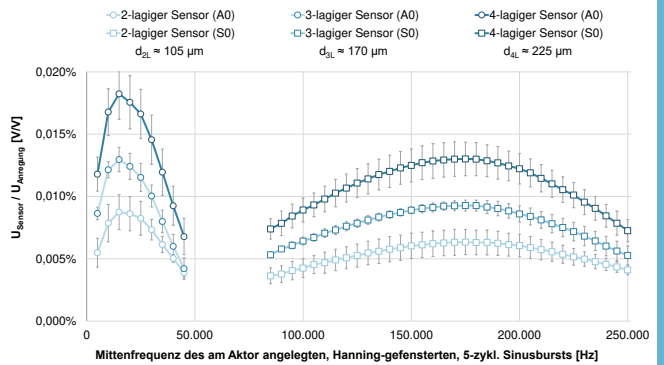
Experimenteller Aufbau (1)

- 20 x 20 mm² Kompositsensoren werden mittels mehrschichtigem Tape-Casting aus einem Photopolymer, mikroskaligen piezoelektrischen Kalium-Natrium-Niobat (KNN) Partikeln und CNTs hergestellt und polarisiert.
- Die Detektion geführter Ultraschallwellen (GUW) und Impedanzanpassung der Sensoren wird an einer isotropen Struktur aus Aluminium untersucht.



GUW Detektion mittels bleifreier Sensoren

- Kompositsensoren erzeugen Spannungen im mV-Bereich bei Anregung des Aktors mit 100 - 50 V_{pp} bei 5 - 250 kHz.
- Nahezu linearer Anstieg der Sensorspannung mit zunehmender Sensordicke → Validierung der schichtförmigen Fertigung.
- Streuung der Daten durch ungleichmäßige Anregung.
- S₀-Mode bei niedrigen Frequenzen wegen zeitlicher Überlagerung mit elektr. Crosstalk der Anregung nicht detektierbar.



Überprüfung der akust. Impedanzanpassung (1,*)

- Qual. Vergleich der Amplituden zwischen den extrahierten einfallenden und reflektierten Wellenpaketen 5 cm vor dem jeweiligen Sensor.
- 3D Laser-Scanning-Vibrometer (LSV) Messung zur Separation von in- und out-of-plane Komponenten der Wellenausbreitung bei 300 kHz.
- Modenselektive Reflexionsextraktion mittels 2D Fourier-Transformation und selektiver Frequenz-Wellenzahl-Filterung.
- Bei 300 kHz beträgt die Wellenlänge der S₀-Mode im vorliegenden Aufbau 18,2 mm und die der A₀-Mode 6,7 mm.
- Piezokeramik führt zu höheren Reflexionen als die Kompositsensoren.
- Einfluss auf die S₀-Mode ist höher als auf die A₀-Mode.

Betrachteter Reflexionstyp	Zugrundeliegende 3D-LSV Daten	Piezokeramik (Kommerziell)	Piezokomposit (Ausrichtung 1)	Piezokomposit (Ausrichtung 2)
(5 cm vor dem Sensor)		Ø = 16 mm, h = 200 µm	A = 20 x 20 mm ² , h ≈ 130 µm	A = 20 x 20 mm ² , h ≈ 130 µm
S _{0,refl.} / S _{0,init.}	in-plane	4,60 %	2,09 %	1,58 %
A _{0,refl.} / A _{0,init.}	out-of-plane	1,76 %	1,17 %	1,22 %

* Dieser Versuch wurde mit weiteren Kompositsensoren durchgeführt, die beilähige Partikel enthalten jedoch vergleichbare mech. Kennwerte besitzen.

Richtung des eintreffenden Wellenpakets: →

Sensorgeometrie und jeweilige Ausrichtung: ○ □ ◇

Fazit und Ausblick

- Erfolgreiche Fertigung bleifreier Piezokompositsensoren zur Detektion von GUW mit geringerer Beeinflussung der Wellenausbreitung als bei PZT.
- Geringere Sensitivität im Vergleich zu PZT Keramiken aufgrund der niedrigeren piezoelektrischen Ladungskonstante.



Weiterführender Forschungsansatz:

- Ziel ist die Umsetzung eines modenselektiven **Phased-Array-Sensors** aus bleifreien Kompositsensoren für hochgradig anisotrope und inhomogene Strukturen wie Faser-Metall-Lamine. Die Modenextraktion soll dabei mithilfe der Zeitdaten umgesetzt werden.

Über Rückfragen, Ideen und Anmerkungen zu diesem Forschungsansatz freue ich mich sehr!

Literatur:

(1) Roloff, Thomas; Mitkus, Rytis; Lion, Jann Niklas; Sinapius, Michael (2022): 3D-Printable Piezoelectric Composite Sensors for Acoustically Adapted Guided Ultrasonic Wave Detection. In: Sensors 2022, 22(18), 6964. DOI: 10.3390/s22186964.

QR-Code zur Publikation:



Technische Universität Braunschweig

Gefördert durch

DFG Deutsche Forschungsgemeinschaft

Teil der Forschungsgruppe 3022: "Ultraschallüberwachung von Faser-Metall-Laminen mit integrierten Sensoren"



Institut für Mechanik und Adaptronik ima