

Beschleunigungssensor-Arrays auf Basis zellulärer Piezoelektretfolien

L. Kurtze¹, J. Hillenbrand², E. Tonkonog¹, H. Hanselka¹, G. M. Sessler²

¹ TU Darmstadt, Fachgebiet SzM, Magdalenenstraße 4, 64289 Darmstadt, E-Mail: kurtze@szm.tu-darmstadt.de

² TU Darmstadt, Institut für Nachrichtentechnik, Merckstraße 25, 64283 Darmstadt, E-Mail: j.hillenbrand@nt.tu-darmstadt.de

Einleitung

Im Rahmen einer Kooperation der Fachgebiete Elektroakustik und Maschinenakustik werden an der TU Darmstadt zelluläre Piezoelektretfolien auf ihre Eignung als Basis für Beschleunigungssensor-Arrays untersucht sowie erste Sensor-Prototypen entwickelt. Die Folien zeichnen sich durch große d_{33} - aber sehr kleine d_{31} -Koeffizienten aus. Dies ermöglicht die Konstruktion von biegsamen Sensoren mit hoher Empfindlichkeit. Die Piezoelektretfolien-Sensoren wurden hinsichtlich ihres Verhaltens bei Änderung der seismischen Massen und deren wirksamen Flächen beurteilt. Des Weiteren wurde auch der Einfluss äußerer elektrischer Störeinflüsse untersucht. Das Ziel der Forschungen ist die Entwicklung eines flexiblen Arrays zur großflächigen Detektierung der Schwingungen einer Struktur, das auch die Untersuchung des Körperschallflusses durch starre oder biegsame Strukturen ermöglicht. Somit ist der Sensor für die Maschinenakustik ein wertvolles Hilfsmittel zur Untersuchung der Strukturintensität. Ein weiterer Vorteil des Sensorarrays ist sein gegenüber einer Anzahl herkömmlicher Beschleunigungssensoren signifikant geringerer Preis sowie ein geringeres Gesamtgewicht, durch das die zu untersuchende Struktur nur minimal in ihren akustischen Eigenschaften verändert wird.

Der Sensor

Grundlage des Sensors ist eine zelluläre Piezoelektretfolie aus Polypropylen (PP). Abbildung 1 zeigt die mikroskopische Aufnahme eines Schnitts durch eine derartige Folie sowie eine schematische Darstellung einer aufgeladenen Folie mit der Verteilung der Ladungen.

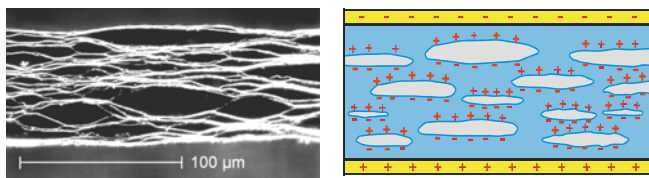


Abbildung 1: Lichtmikroskopische Aufnahme eines Schnitts durch eine Piezoelektretfolie und schematische Darstellung der Ladungsverteilung nach Koronaaufladung und beidseitiger Metallisierung.

Will man die Piezoelektretfolien als Beschleunigungssensor betreiben, so wird eine zusätzliche Masse benötigt. Abbildung 2 beschreibt den Aufbau eines Einzelsensors auf einem Balken, der als Teststruktur dient.

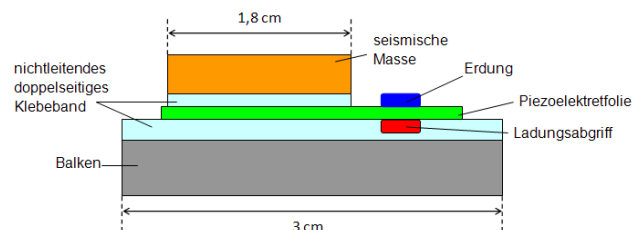


Abbildung 2: Aufbau eines Beschleunigungssensors auf einer Balkenstruktur

Die Empfindlichkeit S des Sensors ist abhängig von der erzeugten Ladung Q und der Beschleunigung a bzw. vom piezoelektrischen Koeffizienten d_{33} und der seismischen Masse m_s . Es gilt Gleichung 1:

$$S = \frac{Q}{a} = d_{33} \cdot m_s \quad [\text{pC/m/s}^2] \quad (1).$$

Eine ausführliche Beschreibung der Sensoren ist [1] zu entnehmen.

Die verwendete Masse betrug 1 g bei einer Sensorfläche von 18 x 7 mm. Die Kontaktierung erfolgte mit dem Innenleiter auf der Unterseite der Elektretfolie und dem Außenleiter (Erdung) auf der Oberseite. Fixiert wurde der Sensor mit doppelseitigem nichtleitendem Klebeband.

Vier dieser Sensoren wurden zu einem Array zusammengeschaltet und auf der Balkenstruktur getestet. Der 300 mm lange Balken kann durch einen elektrodynamischen Shaker zu definierten Schwingungen angeregt werden (Abbildung 3).

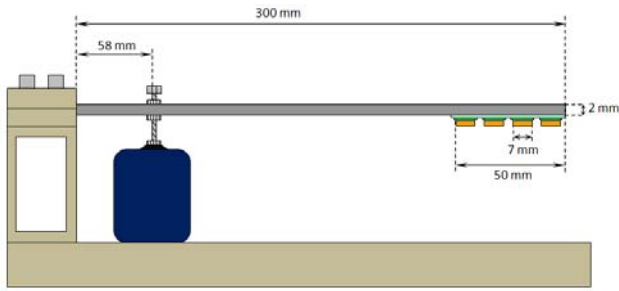


Abbildung 3: Messaufbau bestehend aus vier Beschleunigungssensoren und einem elektrodynamischen Shaker an einem 300 mm langen Balken.

Abbildung 4 zeigt die Messgenauigkeit eines der Sensoren im Vergleich zu einer Referenzmessung mit einem Laservibrometer bei einer Anregung des Balkens durch weißes Rauschen.

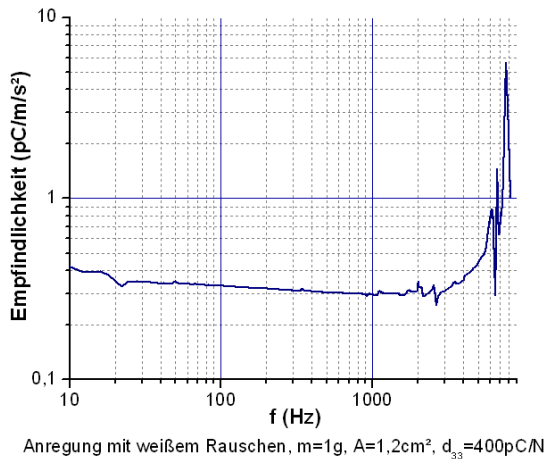


Abbildung 4: Messgenauigkeit des Sensors bezogen auf ein Laservibrometer

Deutlich erkennbar ist die leicht sinkende Empfindlichkeit des Sensors zu höheren Frequenzen hin. Dies ist durch die bekannte Abnahme des d_{33} -Koeffizienten von Piezoelekturen mit zunehmender Frequenz zu erklären. Bei 2000 Hz und 2500 Hz ist die Anregung nur minimal, da sich der Sensor in diesem Frequenzbereich nahe der Knotenlinie einer Betriebsschwingform befindet. Bei Frequenzen oberhalb von 5000 Hz ist die Resonanz des Sensors erreicht. Im Bereich von 10 – 3000 Hz wurde eine Messgenauigkeit von +/- 3% erreicht. Zieht man die bekannte Abnahme des d_{33} -Koeffizienten mit in Betracht, kann dieser Fehler noch deutlich verringert werden.

Im Gegensatz zu den klassischen Beschleunigungsaufnehmern haben die Sensoren einige Vorteile. Sie zeichnen sich durch ein geringes Gewicht bei einer gleichzeitig hohen Empfindlichkeit aus. Zusätzlich sind sie, sobald sie in Serie gebaut werden, preiswerter. Durch die Beschaffenheit der Piezoelekterfolien können sie flach und flexibel aufgebaut werden. Außerdem können sie je nach Anforderung in Form

und Größe variiert werden. Auch der Einsatz auf biegsamen, sich verwindenden Strukturen ist möglich.

In einem weiteren Entwicklungsschritt ist geplant, die Sensoren direkt auf einer flexiblen Leiterplatte zu befestigen. Dabei entsteht ein eindimensionales Zeilen-Array, an dessen Rand zukünftig auch die notwendige Verstärkerelektronik integriert werden kann. Die flexible Leiterplatte selbst hat durch ihr sehr geringes Gewicht nur einen vernachlässigbar geringen Einfluss auf die Messgenauigkeit des Sensors. Eine Prinzipdarstellung der flexiblen Leiterplatte auf dem als Teststruktur fungierenden Balken ist Abbildung 5 zu entnehmen.

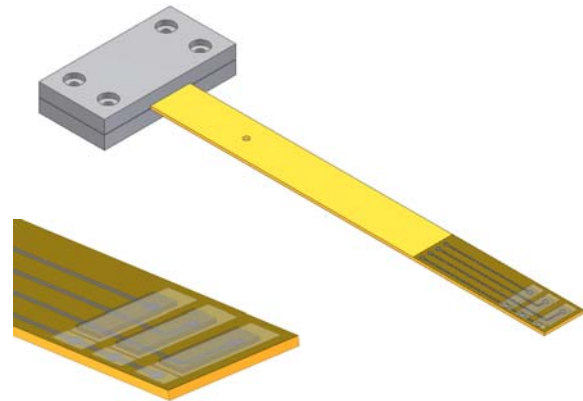


Abbildung 5: Prinzipdarstellung einer flexiblen Leiterplatte als Basis für ein eindimensionales Zeilen-Array aus Beschleunigungssensoren, montiert auf einem 30 cm langen Balken. Links ist eine Detailansicht der Sensorpositionen dargestellt (Quelle: Yann Eberlen, SzM)

Es ist geplant, derartige Zeilen-Arrays auch zur Messung der Strukturintensität zu verwenden. Dazu laufen am Fachgebiet SzM der TU Darmstadt derzeit mehrere Forschungsprojekte [2]. Zwar können, wie bei der Laservibrometrie, keine In-Plane Wellen gemessen werden. Jedoch ist es möglich, die Biegewellenanteile zeitgleich zu erfassen und so auf die Ausbreitung der Wellen in der Ebene zu schließen.

Dank

Die Autoren bedanken sich beim Hessischen Ministerium für Wissenschaft und Kunst und der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die finanzielle Unterstützung.

Literatur

- [1] M. Kodejska, J. Hillenbrand, G. M. Sessler: Ferroelectric-film accelerometers with high sensitivities, 144-145, NAG / DAGA 2009, Rotterdam
- [2] S. Buckert: Energiefluss in dünnwandigen Strukturen, DAGA 2010, Berlin