

# Piezelektrische zelluläre Polypropylenfolien als Mehrschichtwandler: Übertragungsverhalten im hörbaren und Ultraschall-Frequenzbereich

S. Bergweiler, M. Wegener, und R. Gerhard-Multhaupt

Universität Potsdam, Institut für Physik, Angewandte Physik kondensierter Materie, bergweil@rz.uni-potsdam.de

## Einleitung

Piezelektrische Polymere, wie z.B. Polyvinylidenfluorid (PVDF) und zelluläres Polypropylen (PP), können als Schallsender und -empfänger im hörbaren und Ultraschall-Frequenzbereich eingesetzt werden. Die hohe piezelektrische Aktivität eröffnet insbesondere den zellulären Polymerfolien breite Anwendungsmöglichkeiten.

Durch die Anordnung mehrerer Piezopolymerfolien übereinander kann die piezelektrische Aktivität des resultierenden Wandlers deutlich erhöht werden, wobei auch die dann resultierende Bauhöhe sehr geringe Werte von unter einem Millimeter aufweist. An einem solchen zweilagigen Mehrschichtwandler als Aktor diskutieren wir das lineare und nichtlineare Übertragungsverhalten im Frequenzbereich von 1 bis 80 kHz.

## Ferroelektrite

Ferroelektrite sind eine neuen Art piezelektrischer Funktionswerkstoffe [1]. Es handelt sich dabei um anisotropische raumgeladene Elektrolyte, welche intern Ladungen speichern. Ihre piezelektrischen Eigenschaften ergeben sich durch die Verformung der ladungsspeichernden Zellen unter dem Einfluss mechanischer Belastung oder äußerer elektrischer Felder. Das momentan verbreitetste Ferroelektritmaterial ist zelluläres Polypropylen (PP) [2]. In Tabelle 1 werden die wichtigsten Kenn-

Polymer	Dicke $\mu\text{m}$	$f_p$ MHz	$d_{33}$ pC/N	$c_{33}$
cellular PP	70	0.6	200...790	0.7 MPa
por. Teflon <sup>®</sup> AF	55	0.1	550	0.2 MPa
$\beta$ -PVDF	40	25.5	25	9.0 GPa
P(VDF-TrFE)	98	12.1	27	9.1 GPa
Pa 11	68	16.2	3	-

**Tabelle 1:** Vergleich der Materialeigenschaften zellulärer Piezopolymere (Elektrete) mit polaren Piezopolymeren (Ferroelektrika).

ten der zellulären Materialien Polypropylen und Teflon mit Vertretern polarer Piezomaterialien verglichen. Folien aus zellulärem Material sind gute Wandler für den hörbaren und Ultraschallbereich: durch ihre relative niedrige Dichte ( $0,15...0,7 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ ), durch das vergleichsweise geringe Elastizitätsmodul  $c_{33}$  welches zu einer niedrigen akustischen Impedanz von ca.  $2,6 \cdot 10^4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2\text{s}}$  und damit zu guter Anpassung an das Luftschallfeld führt[3]. Die zur Schallabstrahlung genutzte piezelektrische Dicken-schwingung des zellulären Polypropylen ist über einen

weiten Frequenzbereich aktiv, der die Stärke beschreibende piezelektrische Koeffizient  $d_{33}$  erreicht sehr hohe Werte von bis zu einigen Hundert pC/N. Durch die Biegebarkeit des zellulären Polypropylen ist bei der Nutzung als Schallsender eine Anpassung der Abstrahlungscharakteristik an die Bedürfnisse möglich [4].

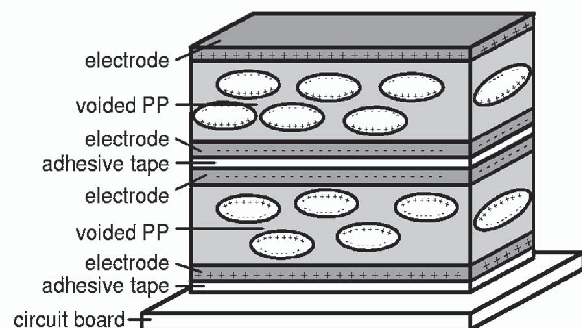
Mikrophone und auch Gitarrentonabnehmer aus zellulärem PP sind seit einiger Zeit auf dem Markt erhältlich. Die Mikrophone bieten dabei einen Übertragungsbereich von 50 Hz bis 20 kHz, geringe Verzerrungswerten und Signal-Rausch-Abstände von 90 dB.

## Zweischichtwandler

Zur Herstellung eines mehrschichtigen Wandlers wurden bereits geladene zelluläre Polypropylenfolien einer Stärke von rund  $55 \mu\text{m}$  der Firma VTT Processes (Finland) beidseitig mit kreisförmigen Elektroden von 8 cm Durchmesser metallisiert. Der zweilagige Wandlerstruktur wurde dann erreicht durch:

1. Befestigung der unteren Wandlerfolie auf einer Leiterplatte mittels doppelseitigen Klebbandes, (3M<sup>TM</sup>468MP, Dicke  $\sim 130 \mu\text{m}$ )
2. Aufbringen einer weiteren Schicht des Klebfilms auf der Oberseite der unteren Wandlerfolie,
3. Aufkleben der oberen Wandlerfolie.

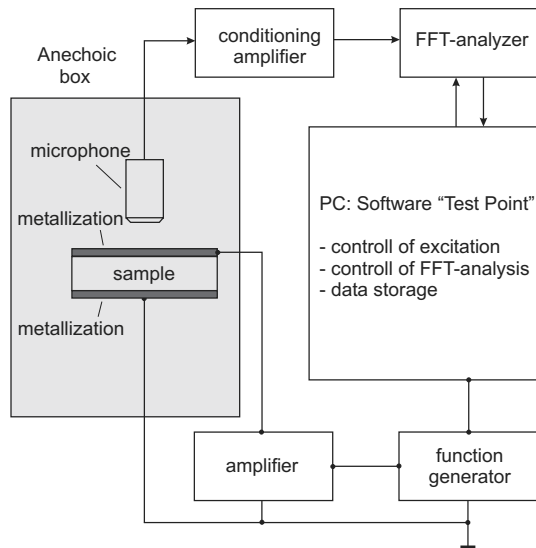
Insgesamt ergibt sich eine Dicke des Zweischichtwandlersystems von rund  $370 \mu\text{m}$ . Die beiden Einzelfolien des Wandlersystems wurden an Schalter angeschlossen welche eine getrennte Aktivierung und Phaseneinstellung der beider erlauben.



**Abbildung 1:** Aufbau des zweilagigen Wandlers aus zellulärem Polypropylen. Verbindung der Schichten durch einen Klebfilm.

## Messung

Zur Untersuchung der elektroakustischen Übertragungseigenschaften wurde, in verschiedener Konstellation, an die einzelnen Schichten eine Anregungsspannung von  $90\text{ V}_{\text{eff}}$  angelegt und ein Frequenzbereich von 1 bis 80 kHz durchfahren. (Signalgenerator: HP 33120a, Verstärker: Spezialanfertigung) In einer schallreflexions-



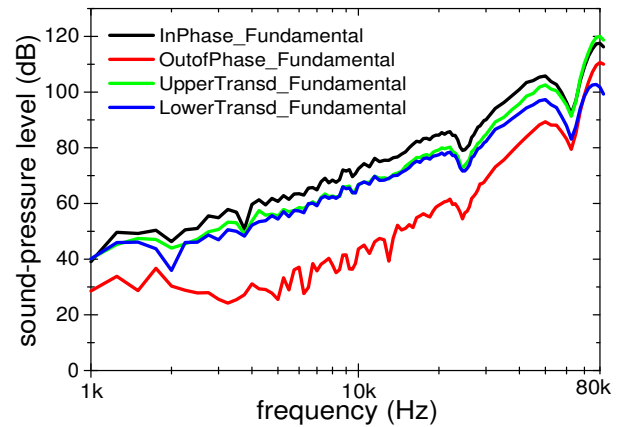
**Abbildung 2:** Struktur des Messaufbaus zur Untersuchung der elektroakustischen Übertragungseigenschaften von Piezopolymerwandlerfolien.

armen Messbox wurde der abgestrahlte Schalldruck im Abstand von 0,5 m mit einem Mikrophon (MK 301, Microtech Gefell) erfasst und über den Signalverstärker (Nexus, Brüel&Kjær) dem Spectrum Analyzer (SR 770 FFT) zugeführt.

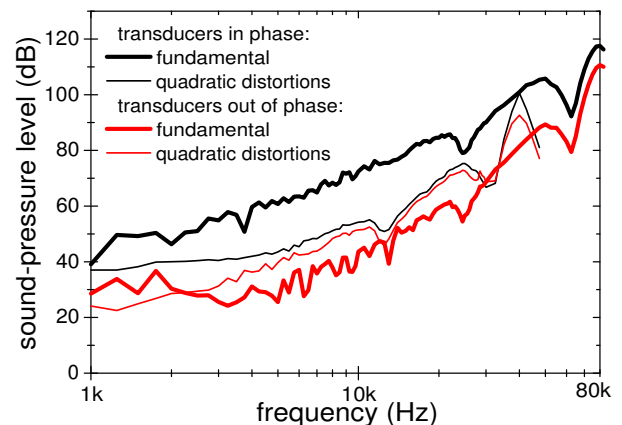
## Ergebnisse und Diskussion

In Abbildung 3(a) ist der Schalldruckpegel welcher bei der anregenden Frequenz gemessen wurde abgebildet. Im Bereich bis 30 kHz zeigen beide Wandler einzeln betrieben nahezu identische Übertragungseigenschaften. Oberhalb dieser Frequenz strahlt die untere Wandlerfolie mit zunehmend geringerer Amplitude als die obere Folie ab. Ursache dafür ist die mechanische Belastung welcher die untere Folie durch die obere erfährt. Bei gezielt veränderter Phasenlage der Anregungssignale beider Wandlerfolien wurde im Frequenzbereich unterhalb von 40 kHz bei gleicher Phasenlage eine Verdopplung und bei gegenphasiger Ansteuerung eine nahezu vollständigen Auslöschung des abgestrahlten Schalldrucks beobachtet.

Die in Abbildung 3(b) zusätzlich zur linear übertragenen Grundwelle dargestellten Verzerrungsprodukte zweiter Ordnung nehmen bei gegenphasiger Ansteuerung der beiden Wandlerfolien in ihrer Amplitude nicht ab, da die Phasenumkehrung der Grundwelle sich durch den quadratischen Charakter dieser Verzerrungen nicht auf deren Phasenlage auswirkt.



(a) Abgestrahlter Schalldruckpegel (Grundwelle) des Zweischichtwandlers bei verschiedener Phasenlage der beiden Wandlerfolien



(b) Grundwelle und quadratische Verzerrungen bei gleich- und gegenphasiger Ansteuerung des Zweischichtwandlers.

**Abbildung 3:** Lineares und quadratisches Übertragungsverhalten des Zweischichtwandlers bei getrennter und gemeinsamer, dabei in der Phasenlage variierender, Ansteuerung.

## Literatur

- [1] S. Bauer, R. Gerhard-Multhaupt, and G.M. Sessler, *Ferroelectrets: Soft electroactive foams for transducers*, *Physics Today*, vol. **57**, no. 2, pp. 37-43, 2004.
- [2] M. Paaajanen, *The cellular polypropylene electret material - Electromechanical properties*, D. Tech. Dissertation, VTT Publications, vol. **436**, Espoo, 2001.
- [3] R. Kressmann, *New piezoelectric polymer for air-borne and water-borne sound transducers*, *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. **109**, pp. 1412-1416, 2001.
- [4] M. Wegener, S. Bergweiler, W. Wirges, A. Pucher, and R. Gerhard-Multhaupt, *Voided space-charge electrets - Piezoelectric transducer materials for electroacoustic applications*, Proceedings 116th convention of the Audio Engineering Society (AES), Berlin, 2004, Preprint number: 6149.