

# Analyse und Optimierung piezoelektrischer Sensoren

Finite-Element-Analysen des elektromechanischen Verhaltens inklusiv Dämpfung

## Piezoelektrische Sensoren

Piezoelektrische Sensoren werden in vielen Anwendungen eingesetzt, z.B. zur Abstandsmessung in Handgeräten, s. Bild 1 oder im Kfz. In kommerziellen und industriellen Anwendungen findet man unterschiedlichste Bauformen der Sensoren, wobei Biege wandler als elektroakustisches Wandlungselement am häufigsten anzutreffen sind. Die Messung erfolgt im Impuls-Echo-Verfahren (I/E-Sensoren)



Bild 1 Handgerät zur akustischen Abstandsmessung [TCM]

Anders als Längs- oder Torsionsschwinger, die als Piezoaktoren weite Verbreitung finden, lassen sich runde oder oval geformte Membran- oder Plattenwandler allenfalls mit großem Aufwand analytisch durch mathematische Gleichungen beschreiben. Die numerische Analyse mit Hilfe der Methode der Finiten Elemente ist ein effizientes Werkzeug für die Auslegung und Optimierung piezoelektrischer Sensoren dieses Typs.

## Piezoelektrisches Materialverhalten

Im Bild 2 ist der Querschnitt eines rotationssymmetrischen Biege wandlerelements dargestellt. Die obere Schicht ist eine Piezoscheibe aus Weichkeramik mit Durchmesser ca. 1 cm. Die untere Scheibe besteht aus Aluminium. Sie ist am Rand fest eingespannt.

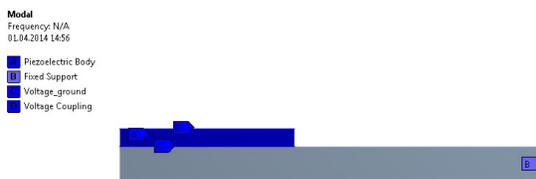


Bild 2: Setup zur Analyse eines außen fest gelagerten Biege wandlers mit aufgeklebter Piezoscheibe. Dargestellt ist ein Radialschnitt; die Rotationsachse ist links.

Wird die Aluschicht auf Masse gelegt und die obere Deckschicht der Piezokeramik elektrisch angeregt, so ergibt sich in der ersten Resonanz ein Verformungszustand, in dem das System gebogen wird (s. Bild 3). Die Piezoscheibe wird dabei im Wesentlichen in Radialrich-

tung deformiert („planarer“  $d_{31}$ -Effekt), da sie in Dickenrichtung polarisiert ist. Zur korrekten Analyse dieser Verformung muss die Anisotropie, d.h. Richtungsabhängigkeit der Materialeigenschaften im Simulationsmodell berücksichtigt werden.

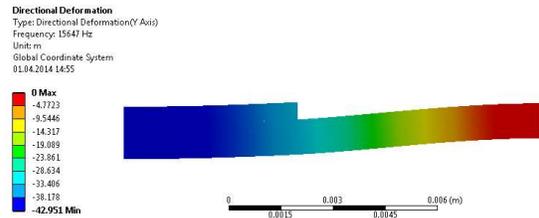


Bild 3: Erste Biegeresonanz der Piezoscheibe aus Bild 2 (für isolierte Elektroden bei ca. 15.65 kHz).

## Harmonische Analyse für Druckerregung

Für Impuls-Echo-Verfahren ist neben der akustischen Sendestärke von besonderem Interesse, welche elektrische Spannung man an der Deckelektrode messen kann, wenn ein gegebener Schalldruck auf die Unterseite einwirkt. Bei der Resonanzfrequenz nimmt er ein Maximum an, dessen Wert u.a. durch innere Strukturdämpfung in den Materialien bestimmt wird. Hier wird eine Materialgüte von 70 für die Piezokeramik und von 10000 für Aluminium angenommen.

Bei der Resonanzfrequenz lässt sich damit die Empfindlichkeit des Wandlers in V/Pa berechnen, s. Bild 4.

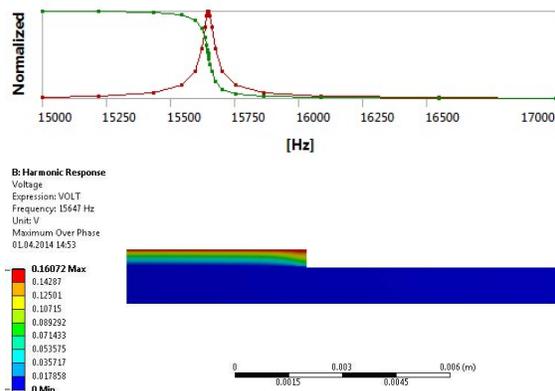


Bild 4: Frequenzgang und Verteilung der elektrischen Spannung des Biege wandlers bei Resonanzanregung durch einen Schalldruck von 1 Pa (offene Elektroden).

Die hier beispielhaft betrachtete Membran ist für die Applikation uninteressant, da der übliche Frequenzbereich für Luftschallsensoren erst oberhalb ca. 40 kHz beginnt.

## Praktische Gesichtspunkte

In der Praxis wird der auf Basis linearer elektromechanischer Theorie berechnete Idealzustand durch diverse unerwünschte Einflüsse reduziert, die größtenteils als Nachgiebigkeiten und zusätzliche Dämpfungseffekte wirken.

In der Anwendung ist der berechnete Kennwert der Empfindlichkeit bei offenen Elektroden zwar wertvoll, aber nur einer von mehreren Parametern, die für eine sinnvolle Systemauslegung zu beachten sind. Oft werden die Wandler elektrisch passend beschaltet, um den Einzugsbereich der Resonanz zu vergrößern. Ggf. nimmt man dabei Einbußen bei der Empfindlichkeit in Kauf (Bild 5).

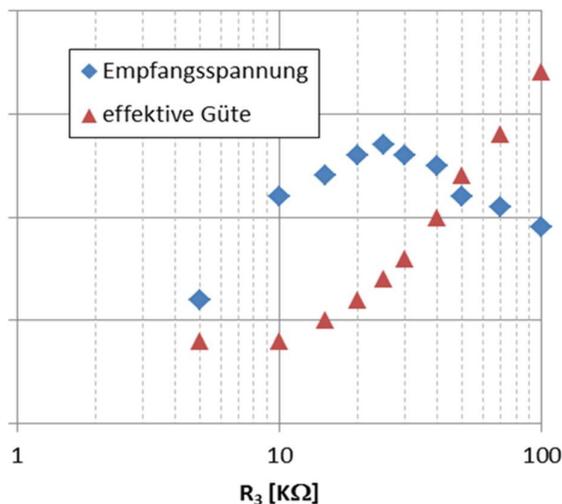


Bild 5: Veränderung der Übertragungsempfindlichkeit und der effektiven Schwinggüte eines Impuls-Echo-Sensors bei Variation eines externen Abstimmwiderstandes.

## Messtechnische Analysen von I/E-Sensoren

Zur experimentellen Charakterisierung von I/E-Sensoren stehen uns bei der ATHENA Technologie Beratung GmbH zahlreiche Präzisionsmessgeräte zur Verfügung. Neben Laservibrometern sind dies diverse Mikrofone (u.a. Ultraschallmikrofon) und ein Impuls-Echo-Messprüfstand („Sensitivity measuring instrument“) zur Charakterisierung der Übertragungseigenschaften von Luftultraschallwandlern.

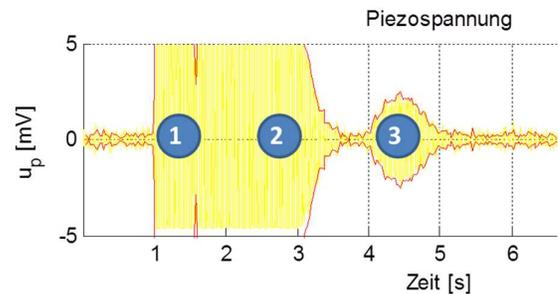


Bild 5: Gemessener Zeitverlauf der elektrischen Spannung an den Klemmen eines piezoelektrischen Impuls-Echo-Wandlers, mit den Phasen „Anregung“ (1), „Aus-schwingen“ (2) und „Echoempfang“ (3).

Gern analysieren wir Ihre Systeme mittels numerischer Analysen, charakterisieren sie messtechnisch oder sind bei der Systemauslegung oder –optimierung behilflich.

## Kontakt

Autor: Dr.-Ing. Walter Littmann, Leiter der Technischen Entwicklung der ATHENA Technologie Beratung GmbH



ATHENA  
Technologie Beratung GmbH  
Technologiepark 13  
33100 Paderborn

Tel.: +49-52 51-3 90 65 62  
Fax: +49-52 51-3 90 65 63

E-Mail: [info@myATHENA.de](mailto:info@myATHENA.de)  
<http://www.myATHENA.de>