



## Einleitung

Der piezoelektrische Effekt wird durch die materialinterne Kopplung zwischen elektrischen und mechanischen Feldern verursacht. Mechanische Deformationen erzeugen in einem Piezoelektrikum ein elektrisches Potentialfeld (*direkter piezoelektrischer Effekt*) und umgekehrt kann das Material durch ein einwirkendes elektrisches Feld mechanisch verformt werden (*inverser piezoelektrischer Effekt*).

## Grundgleichungen der Mechanik und Elektrostatik

Das modellierte Kontinuum muß die mechanischen und elektrischen Feldgleichungen, wie auch ihre Randbedingungen erfüllen. Es gilt

### Impulserhaltung

$$\text{Div } \mathbf{P} + \rho_0 \mathbf{b}_0 - \rho_0 \ddot{\mathbf{u}} = 0 \text{ in } \mathcal{B}_0,$$

### Elektrostatik

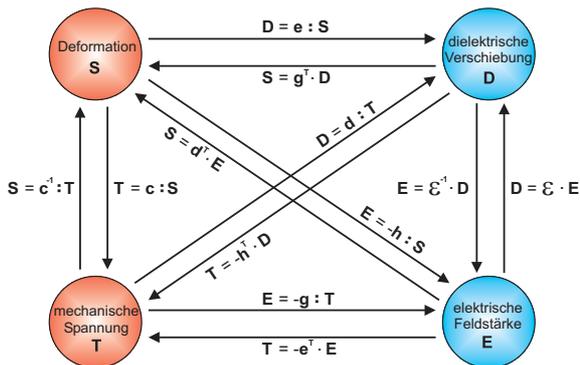
$$\text{Div } \mathbf{D} = \rho_{frei}, \text{ Rot } \mathbf{E} = -\text{Grad } \phi \text{ in } \mathcal{B}_0,$$

### Randbedingungen

$$\mathbf{P} \cdot \hat{\mathbf{N}} = \bar{\mathbf{t}}_0 \text{ auf } \partial_P \mathcal{B}_0, \mathbf{D} \cdot \hat{\mathbf{N}} = -\sigma \text{ auf } \partial_\phi \mathcal{B}_0.$$

## Materialgesetz

Die Materialtensoren beschreiben die Verknüpfung der mechanischen und elektrischen Prozessvariablen.



Durch den Piezoelektrizitätstensor wird die elektro-mechanische Kopplung, sowie die Abhängigkeit der transversalen Isotropie einer piezoelektrischen Keramik von ihrer Polungsrichtung  $\hat{\mathbf{P}}$  formuliert. Es gilt

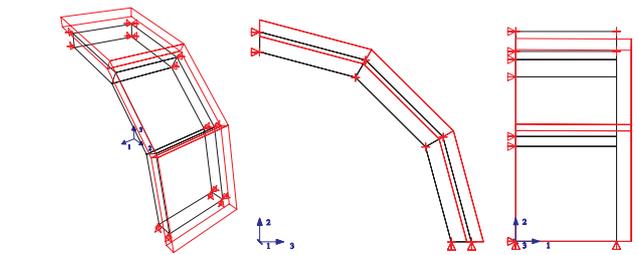
$$d_{mij} = \frac{\overset{\circ}{P}^r}{P_{sat}} [d_{[33]} n_m n_i n_j + d_{[31]} n_m \alpha_{ij} + 0,5 d_{[15]} (n_i \alpha_{jm} + n_j \alpha_{im})],$$

$$\text{mit } n_i = \frac{\hat{P}_i}{\|\hat{\mathbf{P}}\|}, \alpha_{ij} = \delta_{ij} - n_i n_j.$$

## Modellierung eines Tubusaktors

Der modellierte Viertel-Tubus ist in radialer Richtung polarisiert und wird mit einem der Polungsrichtung entgegengerichteten elektrischen Feld belastet. Das E-Feld wird durch eine Verschiebung des vierten Freiheitsgrads (elektr. Potential, Verlauf farbige dargestellt) an den inneren und äußeren Knoten vorgegeben.

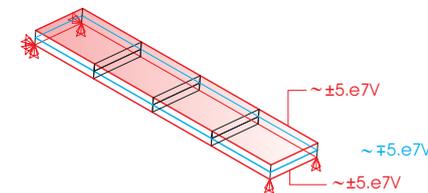
Der piezoelektrische *Transversaleffekt* ( $d_{[31]}$ -Effekt) bewirkt die Dehnung des Tubus in Längsrichtung.



Durch den *Longitudinaleffekt* ( $d_{[33]}$ ) ergibt sich eine Vergrößerung des Radius bei gleichzeitiger Abnahme der Wandstärke.

## Biegeaktor - dynamisch

Der Biegeaktor ist aus zwei gleichgepolten, leitend beschichteten Lagen aufgebaut. In einem sinusförmigen Lastzyklus werden diese mit entgegengerichteten E-Feldern belastet. Durch die Querdehnung bzw. -kontraktion der Lagen biegt sich der Aktor.



Die Anregung in der Eigenfrequenz des Systems bewirkt Resonanz.

