



## Motivation

Piezoelektrische Materialien können als Sensor oder als Aktuator unter Ausnutzung des direkten bzw. des inversen piezoelektrischen Effektes verwendet werden. Eine typische piezoelektrische Schalenstruktur besteht aus einer Sensor-Schicht, einem Trägermaterial und einer Aktuator-Schicht. Es wird angenommen, daß jeder Knoten des piezoelektrischen Volumen-Elementes über 3 Verschiebungs- und einen elektrischen Freiheitsgrad verfügt. Dies führt im Rahmen einer dynamischen Analyse zu folgendem Gleichungssystem für die komplette Struktur

$$\begin{bmatrix} \mathbf{M} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \ddot{\mathbf{V}} \\ \ddot{\varphi}_S \\ \ddot{\varphi}_A \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{C} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{\mathbf{V}} \\ \dot{\varphi}_S \\ \dot{\varphi}_A \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{K}_{mm} & \mathbf{K}_{me}^S & \mathbf{K}_{me}^A \\ \mathbf{K}_{em}^S & \mathbf{K}_{ee}^S & \mathbf{0} \\ \mathbf{K}_{em}^A & \mathbf{0} & \mathbf{K}_{ee}^A \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{V} \\ \varphi_S \\ \varphi_A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{F} \\ \mathbf{0} \\ \mathbf{0} \end{bmatrix}$$

In obiger Gleichung sind  $\varphi_S$  und  $\varphi_A$  Vektoren, welche die elektrischen Freiheitsgrade des Aktuators bzw. des Sensors beinhalten.  $\mathbf{V}$  ist der Vektor der Verschiebungsfreiheitsgrade,  $\mathbf{M}$  ist die Massenmatrix,  $\mathbf{C}$  die Dämpfungsmatrix,  $\mathbf{F}$  ist ein Belastungsvektor und die Matrizen  $\mathbf{K}$  repräsentieren die Steifigkeitsmatrizen. Die zeitlichen Ableitungen sind mit einem Punkt dargestellt.

## Aktive Kontrolle

Im Fall der aktiven Dämpfung kommt es zu einer negativen Geschwindigkeits-Rückkopplung, wobei die zeitliche Änderung des Sensorsignals als Eingangssignal für den Aktuator verwendet wird

$$\varphi_A = -T \dot{\varphi}_S$$

Eingesetzt in obige Gleichung folgt

$$\mathbf{M} \ddot{\mathbf{V}} + (\mathbf{C} + \bar{\mathbf{C}}) \dot{\mathbf{V}} + \tilde{\mathbf{K}} \mathbf{V} = \mathbf{F}$$

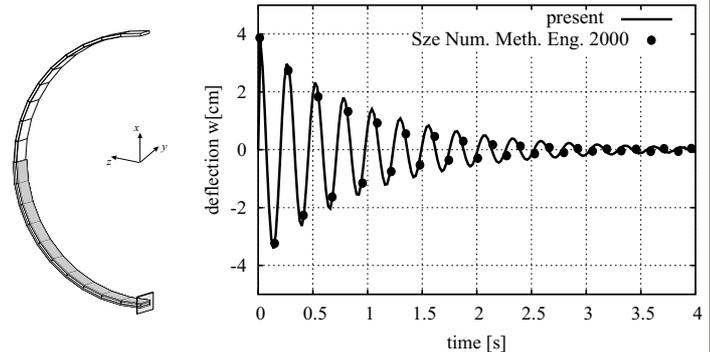
mit der aktiven Dämpfung und der effektiven Steifigkeit

$$\bar{\mathbf{C}} = \mathbf{K}_{me}^A T (\mathbf{K}_{ee}^S)^{-1} \mathbf{K}_{em}^S$$

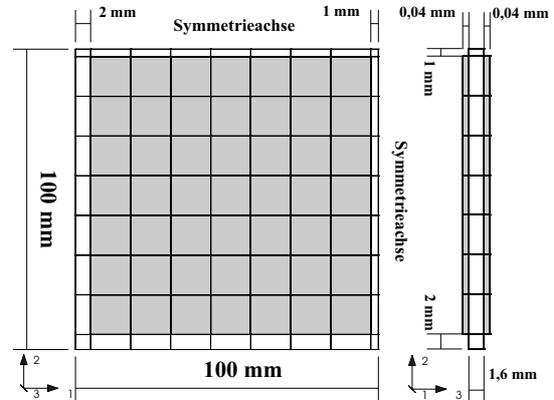
$$\tilde{\mathbf{K}} = \mathbf{K}_{mm} - \mathbf{K}_{me}^S (\mathbf{K}_{ee}^S)^{-1} \mathbf{K}_{em}^S$$

## Numerische Beispiele

Die Bogenschale besteht aus einer inneren Sensorschicht, einem Stahlbogen und einer äußeren Aktuator-Schicht. Ein Vergleich mit Werten aus der Literatur liefert eine gute Übereinstimmung.



Die Platte besteht aus einer Sensorschicht, einer Plexiglas Platte und einer Aktuator-Schicht. Das System wird unter Ausnutzung der Symmetrie modelliert.



In der nachfolgenden Abbildung sind die Hüllkurven der Schwingung für eine aktive Dämpfung  $T = 0s$  (grün),  $T = 10s$  (rot),  $T = 20s$  (blau) dargestellt.

