



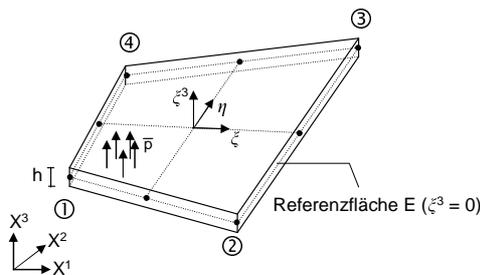
Smart Structures

Smart Structures, auch intelligente Strukturen genannt, stellen eine Synthese aus konventionellen passiven Strukturen und Sensoren und Aktoren, z.B. aus piezoelektrischen Keramiken, als aktive Bauteile dar. Ein wichtiges Ziel in der Entwicklung von Smart Structures besteht darin, Sensoren und Aktoren in den Kraftfluss zu integrieren.

Mit den bilinearen Ansatzfunktionen

$$N_I(\xi, \eta) = \frac{1}{4}(1 + \xi_I \xi)(1 + \eta_I \eta) \quad I = 1..4$$

lässt sich ein vierseitiges Schalenelement mithilfe einer Referenzfläche modellieren.



3D Stoffgesetz

Aus der klassischen Schalentheorie kommend, wird meistens von einem ebenen Spannungszustand ausgegangen. Betrachtet man jedoch Werkstoffe mit komplizierterem Materialverhalten, wie z.B. piezoelektrische Werkstoffe, muss die Verzerrung in Dickenrichtung einbezogen und damit ein dreidimensionales Stoffgesetz zugrunde gelegt werden.

Dreifeldvariationsprinzip nach Hu-Washizu

Der Finite-Elemente-Formulierung wird eine Variationsformulierung nach der gemischten Methode zugrunde gelegt. Nach einer Formulierung von Hu-Washizu werden hierin die Verschiebungen, die Verzerrungen und die Spannungen als unabhängige, gleichberechtigte Größen jeweils einem Feld zugewiesen.

$$\begin{aligned} \delta \Pi &= \int_B \hat{\sigma} : \delta \varepsilon \, dV - \int_B \rho \bar{b} \delta u \, dV - \int_{\partial B_t} \bar{t} \delta u \, dA \\ &+ \int_B \left(\frac{\partial W_s}{\partial \varepsilon} - \hat{\sigma} \right) : \delta \hat{\varepsilon} \, dV \\ &+ \int_B (\varepsilon - \hat{\varepsilon}) : \delta \hat{\sigma} \, dV = 0 \end{aligned}$$

Die Verknüpfung der Schalenverzerrungen $\bar{\varepsilon}$

$$\bar{\varepsilon} = \left[\varepsilon_{11}, \varepsilon_{22}, 2\varepsilon_{12}, \kappa_{11}, \kappa_{22}, 2\kappa_{12}, \gamma_1, \gamma_2, \vec{E}_1, \vec{E}_2, \varepsilon_{33}, \vec{E}_3^m, \vec{E}_3^b \right]^T$$

mit den Kontinuumsverzerrungen erfolgt mithilfe einer Transformationsmatrix A .

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \xi^3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & \xi^3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & \xi^3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & \xi^3 & 0 \end{bmatrix}$$

Numerische Beispiele

Ein Sensor in Form eines Teleskopzylinders, bestehend aus drei PZT5A-Zylindern, die über Aluminiumplatten verbunden sind, wird in Richtung der Symmetrieachse gezogen.

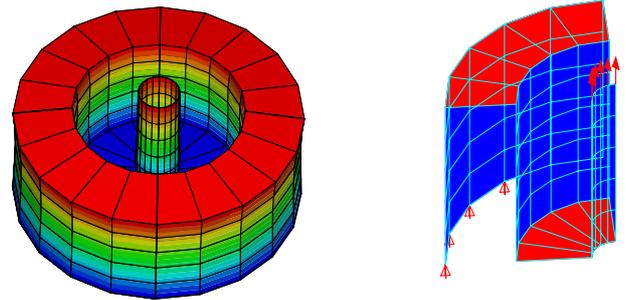


Abb.: Teleskopzylinder ganz bzw. am Viertelsystem diskretisiert

Variiert man die Belastung und damit die Verschiebung u_z in Richtung der Symmetrieachse, stellt sich jeweils der dazugehörige Potenzialverlauf ein.

Der Zusammenhang zwischen Potenzial und Verschiebung in Richtung der Symmetrieachse ergibt sich wie folgt:

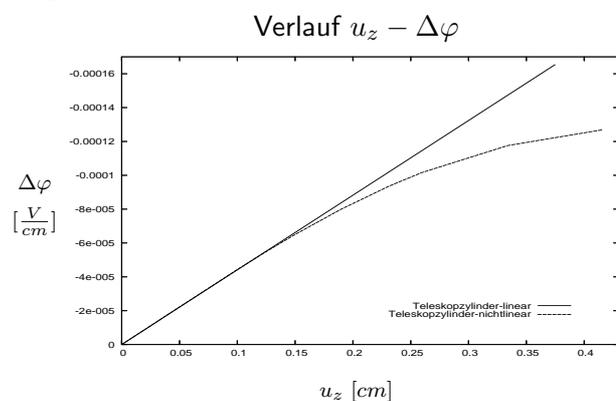


Abb.: Verlauf $u_z - \Delta \varphi$ für den linearen und den nichtlinearen Fall

Für den Fall der nichtlinearen Rechnung lässt sich hierbei eine Versteifung feststellen.