

### FEM-Beispielrechnung:

Mit Hilfe dieser Rechnung (ANSYS, Ver. 4.4) sollten die Eigenfrequenzen eines **resonanten Kraftsensors** (Quarz-Doppelstimmgabel, DETF = Double-Ended-Tuning-Fork) und die zugehörigen Schwingungsformen grob bestimmt werden.

#### **a.) Materialdaten:**

Material:	Quarz
E-Modul:	$8.9 \cdot 10^{10} \text{ g/mm}^2$ (isotrop)
Dichte:	2.648 g/ccm
Poissonzahl:	0.122894

#### **b.) Geometrie:**

Die Abmessungen wurden der AutoCAD-Zeichnung (siehe Anhang) entnommen. Die Dicke wurde mit 200  $\mu\text{m}$  festgesetzt. Aufgrund der zweifachen Symmetrie wurde der Sensor mit 19 Keypoints eingegeben und die somit erhaltene Fläche A1 anschließend vervielfältigt (siehe Bildschirm-Hardcopy im Anhang).

#### **c.) Annahmen:**

Zur Vereinfachung wurden bei der Berechnung folgende Annahmen getroffen:

- unbelasteter Sensor (Zugkraft = 0)
- Isotroper Elastizitätsmodul
- freie, ungedämpfte Schwingung (ANSYS-Analysentyp KAN=2)
- Vernachlässigung der piezoelektrischen Schwingungsanregung (erfordert eine gekoppelte Feldberechnung: elektrisches Feld  $\leftrightarrow$  mechanische Spannung)
- Schwingungen wurden nur in der X-Y-Ebene zugelassen, aufgrund der Auswahl des Elementes STIF42
- Geometrie nicht vollständig erfaßt (Mittellöcher, Aufhängung zur Krafteinleitung)
- Randbedingungen z.T. idealisiert: für die Bereiche  $x=0$  und  $x=15 \text{ mm}$  wurden keine Schwingungen zugelassen.

#### **d.) Modellaufbereitung:**

-Pre-Processor: ANSYS-Standardpreprocessor PREP7  
-Elementauswahl: STIF42 (2-D isoparametric solid), Schalenelement mit vier Knoten  
-Knotenanzahl: 297  
-Elementanzahl: 216  
-Automatische Netzgenerierung (AMESH), max. mittlere Seitenlänge der Elemente betrug ca. 0.5 mm

#### **e.) Ergebnisse:**

Die FEM-Berechnung mit ANSYS, Version 4.4 durchgeführt, ergaben auf einer Mikro-VAX II (ca. 1 MIPS, Rechenzeit ca. 20 min) folgende Resultate:

R.M.S. Wavefront: 191 (entspricht einem kleinen Problem)

##### **Eigenfrequenzen:**

1. EF = 40.057 kHz
2. EF = 43.427 kHz
3. EF = 46.161 kHz
4. EF = 50.412 kHz
5. EF = 70.121 kHz

Die Eigenformen der obigen fünf Eigenfrequenzen sind den Bildschirm-Hardcopies des Anhangs zu entnehmen. Die Schwingungsamplituden sind zwecks besserer Darstellung z.T. erheblich vergrößert (Faktor DSCA).

Die vierte Eigenform, mit einer Resonanzfrequenz von 50.4 kHz stellt die gewünschte Schwingungsart des Sensors dar, in der nur die beiden mittleren Stege zueinander, entgegengesetzt schwingen.

Th.Fabula, 13.10.1989

(Berechnet bei der Fa. CAD-FEM, Ebersberg)