

## ANSYS 8.1 (Mikrosystementwurf)

### 8. Beispiel

**8.A** Es ist die Verformung eines Mikroaktors in Form einer bimorphen Mikrozunge in Abhängigkeit von der Temperaturänderung zu ermitteln.

Si-Schicht:  $h_{Si} = 0.004 \text{ mm}$ ,  $E_{Si} = 1.89 \cdot 10^5 \text{ MPa}$ ,  $\alpha_{Si} = 2.3 \cdot 10^{-6}/\text{K}$   
Al-Schicht:  $h_{Al} = 0.0025 \text{ mm}$ ,  $E_{Al} = 0.78 \cdot 10^5 \text{ MPa}$ ,  $\alpha_{Al} = 14.3 \cdot 10^{-6}/\text{K}$

Abmessungen der Zunge:  $L = 0.5 \text{ mm}$ ,  $b = 0.1 \text{ mm}$  (Länge, Breite)

Temperaturänderung:  $\Delta T = 100 \text{ K}$

### Programmablauf nach dem Start von ANSYS

#### ANSYS Utility Menu

- > File
- > Change Jobname "Mikroaktor\_1", OK
- > File
- > Change Title "Bimorpher\_Bieger", OK
- > WorkPlane
- > WP Settings...
- > Grid and Triad
- Enable Snap, Snap Incr "0.01", Abstand von Haftpunkten
- Spacing "0.01", Gitterkonstante
- Minimum "0", Maximum "0.5", OK Abmessungen
- > WorkPlane
- > Display Working Plane Anzeige Hilfsgitter
- > PlotCtrls
- > Pan, Zoom, Rotate (Vergrößern, Zentrieren), Close

#### ANSYS Main Menu

- > Preprocessor
- > Element Type
- > Add/Edit/Delete
- > Add
- (  $\Rightarrow$  Library of Element Types) > Shell
- > Linear Layer 99, OK Schalenelement
- > Close

- > Preprocessor
- > Real Constants
- > Add/Edit/Delete
- > Add, OK
- Real Constant Set No. "1", OK
- Number of Layers "2", OK
- Layer number 1 :
- Mat no. "1", X-axis rotation "0", layer thk "0.004"      Schicht 1: Materialnr., , Dicke
- Layer number 2 :
- Mat no. "2", X-axis rotation "0", layer thk "0.0025", OK      Schicht 2: Materialnr., , Dicke
- > Close
- > Material Props > Material Models
- > Structural > Linear > Elastic      Materialnr. 1: Werkstoffparameter:
- > Isotropic (⇒ Linear Isotropic Properties for Material Number 1)
- EX "1.89e5", PRXY "0.064", OK      E-Modul, Querdehnzahl
- > Thermal Expansion > Secant Coefficient
- > Isotropic ALPX "2.3e-6", OK      Wärmeausdehnungskoeffizient
- > Material > New Model
- Define Material ID "2", OK
- > Structural > Linear > Elastic      Materialnr. 2: Werkstoffparameter:
- > Isotropic (⇒ Linear Isotropic Properties for Material Number 2)
- EX "0.78e5", PRXY "0.3", OK      E-Modul, Querdehnzahl
- > Thermal Expansion > Secant Coefficient
- > Isotropic ALPX "14.3e-6", OK      Wärmeausdehnungskoeffizient
- > Material > Exit

## ANSYS Toolbar

- > SAVE\_DB      Sichern der Daten
  
- > Preprocessor > Modeling
- > Create > Areas > Rectangle
- > By 2 Corners      Modellierung am Gitter  
direkt auf der Zeichenebene
  
- Anklicken der Knoten (0,0) und (0.5,0.1), OK  
(links unten sowie 50 Linien nach rechts, 10 Linien nach oben)

- > Preprocessor > Meshing      Vernetzung
- > Size Cntrls > Manual Size > Global > Size
- Element edge length "0.025", OK      Globale Kantenlänge  
eines Elements

- > Preprocessor > Meshing
- > Mesh > Areas > Mapped
- > 3 or 4 sided, Pick All      Vernetzung der gesamten  
Fläche durch Vierecke

## ANSYS Utility Menu

- > WorkPlane
- > Display Working Plane      Ausschalten des Hilfsgitters

## ANSYS Toolbar

- > SAVE\_DB      Sichern der Daten

## ANSYS Main Menu

- > Preprocessor > Loads
- > Analysis Type > New Analysis, Static, OK
- > Loads
- > Define Loads
- > Apply > Structural > Displacement
- > On Lines
- (⇒ Apply U,ROT on Lines)
- linke, senkrechte Begrenzungslinie anklicken
- > Apply
- DOFs to be constrained, All DOF, OK

Randbedingung: Feste Einspannung

- > Apply > Temperature
- Uniform temperature "100", OK

- > Solution > Solve
- > Current LS
- (⇒ /STAT Command) > File, Close
- (⇒ Solve Current Load Step), OK

***Solution is done !***

- > Close

## ANSYS Main Menu

- Menüleiste rechts: Perspektive Top View wählen
- > General Postproc
  - > Plot Results
- Deformed Shape, Items to be plotted "Def+undeformed", OK

Menüleiste rechts: Perspektive Front View wählen

- > General Postproc
- > Path Operations
- > Define Path > By nodes

Definition eines Pfades  
zur Anzeige von Resultaten

Anklicken der Knoten entlang der Mittelachse (93, 133, 173, 213, 253, 46), OK

Befehlszeile:  
/PNUM,NODE,1  
EPLLOT  
(Knotennummerierung ein)  
/PNUM,NODE,0  
EPLLOT  
(Knotennummerierung aus)

- (⇒ Define Path specifications) Name "Mitte", OK
- > File > Close

---

> Map onto Path, User label for item "UZ", Item to be mapped "DOFSolution" + "UZ", OK	
> Plot Path Item	Diagramm:
> On Graph, Lab "UZ", OK	Durchbiegung entlang des Pfads
<hr/>	
> Map onto Path, User Label for item "SX", Item to be mapped "Stress" + "X-direction SX", OK	
> Plot Path Item	Diagramm:
> On Graph, Lab "SX", OK	Normalspannung entlang des Pfads
<hr/>	
> List Results > Path Items, Path items to be listed "SX",OK	Liste der Spannungen vs. Pfad
File, Close	Schließen der Ergebnisliste

### **ANSYS Toolbar**

Exit ( $\Rightarrow$  Save Everything), OK

**8.B** Es ist die Auslenkung einer bimorphen Mikrobiegezone in Abhängigkeit von der Temperaturänderung gegen eine statische Last am freien Ende zu ermitteln.

Si-Schicht:  $h_{Si} = 0.004 \text{ mm}$ ,  $E_{Si} = 1.89 \cdot 10^5 \text{ MPa}$ ,  $\alpha_{Si} = 2.3 \cdot 10^{-6} /\text{K}$   
Al-Schicht:  $h_{Al} = 0.0025 \text{ mm}$ ,  $E_{Al} = 0.78 \cdot 10^5 \text{ MPa}$ ,  $\alpha_{Al} = 14.3 \cdot 10^{-6} /\text{K}$

Abmessungen der Zunge:  $L = 0.5 \text{ mm}$ ,  $b = 0.1 \text{ mm}$  (Länge Breite)

Temperaturänderung:  $\Delta T = 100 \text{ K}$

Konstante Last:  $F = 2 \cdot 10^{-4} \text{ N}$

Anmerkung:

Das aktuelle Beispiel unterscheidet sich von der vorherigen Berechnung durch eine grobere Vernetzung; dies ist gerechtfertigt, da der Elementtyp Shell 99 Zwischenknoten besitzt und eine quadratische Formfunktion verwendet. Zusätzlich wirkt am freien Ende des Aktors eine konstante Kraft F, welche der thermisch induzierten Durchbiegung entgegenwirkt.

## Programmablauf nach dem Start von ANSYS

### ANSYS Utility Menu

- > File
- > Change Jobname "Mikroaktor\_2", OK
- > File
- > Change Title "Bimorpher\_Bieger\_unter\_Last", OK

### ANSYS Main Menu

- > Preprocessor
- > Element Type
- > Add/Edit/Delete...
- > Add.
- (  $\Rightarrow$  Library of Element Types) > Shell
- > Linear Layer 99, OK
- > Options Strains or stresses output "Stress & strain",  
Storage of layer data „All layers“, OK
- > Close
- > Real Constants > Add/Edit/Delete
- > Add, OK
- Real Constant Set No. "1", OK
- Number of layers "2", OK
- Layer number 1:  
Mat. No. "1", X-axis rotation "0", layer thk "0.004)
- Layer number 2:  
Mat. No. "2", X-axis rotation "0", layer thk "0.0025"), OK
- > Close
- > Material Props > Material Models
- > Structural > Linear > Elastic > Isotropic..
- EX "1.89e5", PRXY "0.064", OK
- > Thermal Expansion > Secant Coefficient > Isotropic
- ALPX "2.3e-6", OK

- > Material > New Model
- Define Material ID "2", OK
- > Structural > Linear > Elastic > Isotropic
- EX "0.78e5", PRXY "0.3", OK
- > Thermal Expansion > Secant Coefficient
- > Isotropic ALPX "14.3e-6", OK
- > Material > Exit

### **ANSYS Toolbar**

- > SAVE\_DB

### **ANSYS Utility Menu**

- > Work Plane > Offset WP by Increments XY, YZ, ZX Angles "0,-90,0", OK  
Kippung des Koordinatensystems
- > Preprocessor > Modeling
- > Create > Areas
- > Rectangle > By Dimensions  
Rechteckfläche
- X1, X2 X-coordinates "0, 0.5"
- Y1, Y2 Y-coordinates "0, 0.1", OK

Menüleiste rechts: Perspektive Isometric View wählen

### **ANSYS Utility Menu**

- > Preprocessor > Meshing
- > MeshTool
- Element Attributes "Global"
- Size Controls, Global, Set
- Element edge length "0.05", OK
- > Close

Hinweis: Werden Pop-up Fenster nach Eintragung entsprechender Daten nicht geschlossen, so sind weitere Zugriffe auf das Main Menu unter Umständen gesperrt. Ist Letzteres der Fall, so ist zu prüfen, ob Fenster im Hintergrund noch offen sind.

- > Preprocessor > Meshing
- > Mesh > Areas > Mapped
- > 3 or 4 sided > Pick all

### **ANSYS Utility Menu**

- > Plot > Nodes > PlotCtrls
- > Numbering, Node numbers "On", OK  
Knotennummern anzeigen

### **ANSYS Toolbar**

- > SAVE\_DB

### **ANSYS Main Menu**

- > Preprocessor > Loads
- > Define Loads
- > Apply > Structural
- > Displacement > On Nodes

Knoten der linken, senkrechten Begrenzungslinie anklicken (1, 48, 47, 46, 26)

> Apply

DOFs to be constrained "All DOF", OK

> Preprocessor > Loads

> Define Loads

> Apply > Structural

> Force/Moment > On Nodes

Eckknoten 2 + 22 am freien Ende der Zunge anklicken Kraftangriffspunkte

> Apply

Direction of force/mom "FY",

Wirkungslinie der Kraft

Force/moment value "1e-4", OK

Lasten [N] inklusive Richtungssinn

### **ANSYS Utility Menu**

> PlotCtrls > Style > Size and Shape, Display of element "On", OK

> Plot > Elements

Hinweis: Die obige Menüauswahl ermöglicht den Wechsel der ebenen, graphischen Wiedergabe von Linien- und Schalenelementen in eine räumliche Darstellung.

### **ANSYS Utility Menu**

> File > Save as "bimorph.db"

Speicherung des FEM-Modells

> Solution > Solve

> Current LS

(⇒ /STAT Command) > File, Close

(⇒ Solve Current Load Step), OK

***Solution is done !***

> Close

### **ANSYS Main Menu**

> General Postproc

> Plot Results

> Deformed Shape, Items to be plotted "Def + undeformed", OK

> Path Operations

> Define Path > By Nodes, Anklicken der Knoten 47 + 24 > Apply

(⇒ Define Path specifications) Name "Mitte", OK

> File > Close

> Map onto Path

User label for item "UY",

Item to be mapped "DOF solution" + "Translation UY"

> Apply

User label for item "SX",

Item to be mapped "Stress" + "X-direction SX", OK

> Plot Path Item-

> On Graph, Path items to be graphed "UY", OK → Diagramm

> On Graph, Path items to be graphed "SX", OK → Diagramm

## ANSYS Toolbar

> File > Resume from, Resume Database From "bimorph.db"

Rekonstruktion  
des gespeicherten FEM-Modells

> Solution  
> Define Loads  
> Apply > Structural  
> Temperature  
> Uniform Temp, Uniform temperature "100", OK  
> Solve > Current LS  
(⇒ /STAT Command) > File, Close  
(⇒ Solve Current Load Step), OK

gleichmäßige Erwärmung

***Solution is done !***

> Close

## ANSYS Main Menu

> General Postproc  
> Plot Results  
> Deformed Shape, Items to be plotted "Def + undef edge", OK  
  
> Path Operations  
> Define Path > By nodes, Anklicken der Knoten 47, 24 (Mittellinie)  
> Apply  
(⇒ Define Path specifications) Name "Mitte", OK  
> File > Close  
> Map onto Path  
User label for item "UY",  
Item to be mapped "DOF solution" + "UY"  
> Apply  
User label for item "SX",  
Item to be mapped "Stress" + "X-direction SX", OK  
> Plot Path Item  
> On Graph, Path items to be graphed "UY", OK → Diagramm  
> On Graph, Path items to be graphed "SX", OK → Diagramm

Hinweis: Weitere Spannungswerte innerhalb der Schichten lassen sich anzeigen mit:

> General Postproc > List Results > Nodal Solution bzw.  
> General Postproc > List Results > Element Solution

---



Formel für die Durchbiegung am freien Ende:

$$u_z(L) = \frac{-3L^2 \Delta T (h_{Si} + h_{Al})(\alpha_{Si} - \alpha_{Al})}{4(h_{Si} + h_{Al})^2 - 2h_{Si}h_{Al} + \frac{E_{Si}h_{Si}^3}{E_{Al}h_{Al}} + \frac{E_{Al}h_{Al}^3}{E_{Si}h_{Si}}} - \frac{4L^3 F}{b \left[ E_{Si}h_{Si}^3 + E_{Al}h_{Al}^3 + 3 \frac{(h_{Si} + h_{Al})^2 E_{Si}E_{Al}h_{Si}h_{Al}}{E_{Si}h_{Si} + E_{Al}h_{Al}} \right]}$$

Vergleichen Sie die numerischen Ergebnisse mit dem analytischen Resultat der Theorie bimorpher Bieger:

(s. <http://www.htwm.de/pwill/astm3.html> → Für Bigamisten)

Relativieren Sie dabei den Vergleich der absoluten Werte in dem Sie diese mit der rein thermisch induzierten Durchbiegung im Modellfall 8A normieren.

Übergeben Sie Ihre Werte an den Seminarleiter.

## ANSYS Toolbar

> File > Exit (⇒ Save Everything), OK

