

## Übung 8: Xylophon, Modalanalyse, ANSYS

### Teil I: Modellierung der Eigenfrequenzen und Eigenmoden des Xylophon Tons Fis



Wir betrachten ein einfaches handelsübliches Xylophon mit Tonstäben aus Stahl. Durch Messungen erhalten wir für den Ton Fis, der durch eine Frequenz von 1480 Hz bestimmt ist, folgende Maße von Aufhängung zu Aufhängung:

- Länge  $\ell = 82$  mm,
- Höhe  $h = 2,10$  mm,
- Breite  $b = 20$  mm.

Außerdem ist uns bekannt, dass Stahl folgende Eigenschaften aufweist:

- E-Modul  $E = 210000$  MPa,
- Querkontraktionszahl  $\nu = 0,3$  und
- Dichte  $\rho = 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ .

Im Folgenden werden wir versuchen, die Eigenschaften dieses Xylophon-Tons zu simulieren. Dazu benutzen wir das Programm ANSYS. Wir interessieren uns im Wesentlichen für die Eigenfrequenzen und Eigenmoden des Tons und wollen herausfinden, wie der Ton auf unterschiedliche Veränderungen wie zum Beispiel des Materials, der Länge, Breite, Höhe und Form des Tonstabes reagiert.

### Teil II: Umsetzung in ANSYS Classic

#### 1. Starten von ANSYS Classic

- 1.a. Terminal öffnen und auf „zeus“ (oder „hera“ oder „andromeda“) mit KIZ Account einloggen.

```
ssh -X s_bwieland@zeus.rz.uni-ulm.de
```

- 1.b. Passendes Modul laden und ANSYS starten.

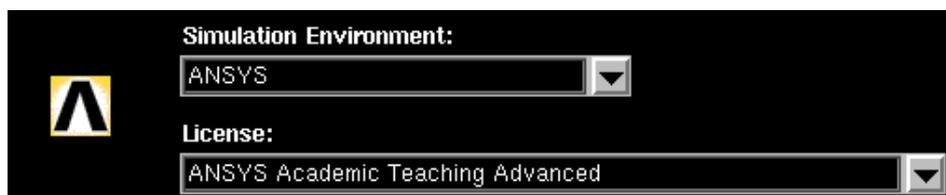
```
zeus$ module load cae/ansys
```

```
IMPORTANT: The ANSYS Academic site license is available to employees and
enrolled students of the University of Ulm only. The license is available
for teaching or research only. Commercial applications are not permitted.
```

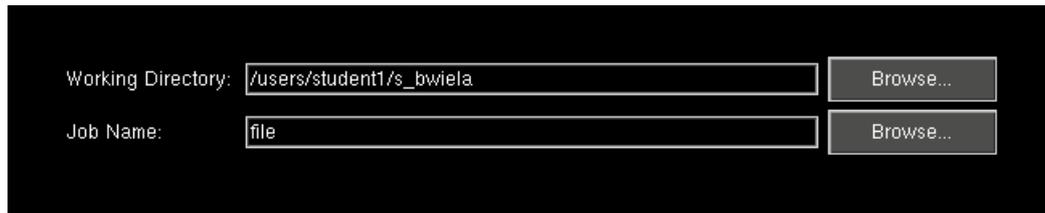
```
zeus$ launcher130 &
```

- 1.c. Es öffnet sich das Startfenster.

**Wichtig: IMMER** darauf achten, dass als Lizenz „**ANSYS Academic Teaching Advanced**“ eingestellt ist. **NIEMALS** „~~ANSYS Academic Research~~“.

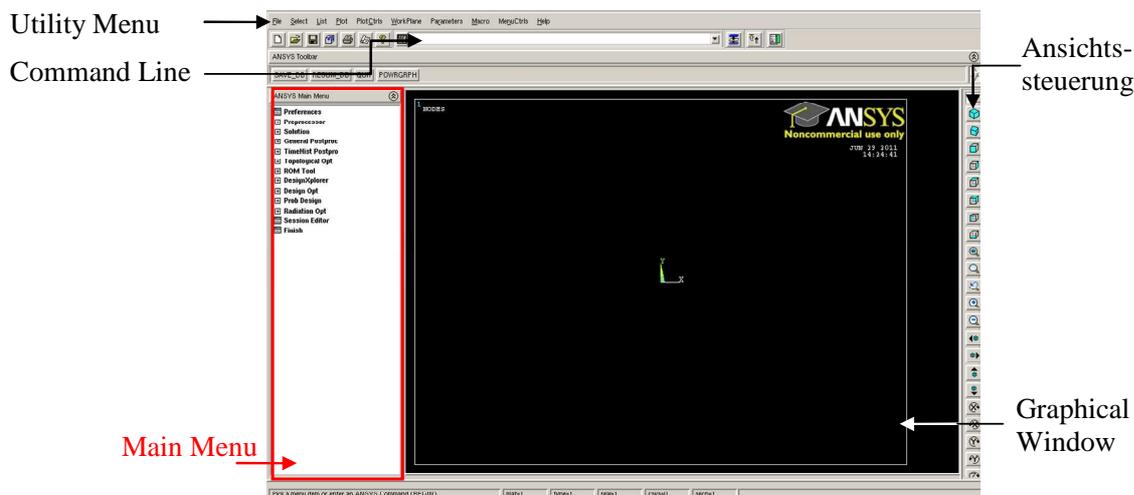


Außerdem kann im Startfenster der Ordner festgelegt werden, in dem die Dateien des Projekt abgespeichert werden sollen und ein Projektnamen festlegen.



1.d. Wir starten das Programm mit der Schaltfläche „Run“.

## Elemente des ANSYS GUI



## Bedienung von ANSYS Classical

ANSYS lässt sich auf drei unterschiedliche Arten bedienen.

Zum einen kann man über das Main Menu und das Utility Menu sämtliche Modell-, Modellierungs- und Simulationseinstellungen vornehmen. Diese Menus sind baumartig aufgebaut, am Ende öffnet sich in der Regel jeweils ein kleines Fenster, in dem man einige Einstellungen vornehmen kann.

ANSYS Classical lässt sich auch komplett über die Command Line bedienen. In den oben erwähnten Einstellungsfenstern steht häufig in [eckigen Klammern] ein Befehl, mit dessen Hilfe man die entsprechenden Einstellungen auch direkt angeben lassen. Die Form ist dabei in der Regel „*COMMAND, input1, input2, ...*“. Steht kein Befehl explizit im Fenster dabei, so kann man diesen in der Regel auch über die Hilfe-Funktion erhalten (s.u.). Dort erfährt man auch mehr über die erwarteten Input-Argumente. ANSYS ist nicht Case-Sensitiv.

Sämtliche Befehle lassen sich auch zu sogenannten APDL Scripts zusammenfassen, in der Regel einfache Textdateien mit Dateiondung „*inp*“. Hier lassen sich Befehle zusammenfassen und in der Command Line mittels „*/INPUT, filename.inp*“ komplett ausführen.

## ANSYS Hilfe

ANSYS besitzt sehr umfangreiche Dokumentationen bzw. Hilfe-Seiten. Öffnen sich Einstellungsfenster, so gibt es in der Regel eine „*Help*“-Schaltfläche. Alternativ kann man auch in der Command Line mittels „*HELP, command*“ die entsprechende Hilfeseite öffnen. Es öffnet sich ein eigenes Hilfe-Fenster (kann unter Umständen auf unseren Rechnern etwas dauern). Teilweise kann man auf einzelne Schaltflächen/Menüpunkte auch mit Hilfe eines Rechtsklicks und der Auswahl „*What's this?*“ kurze Informationen über die Funktionsweise erfahren.

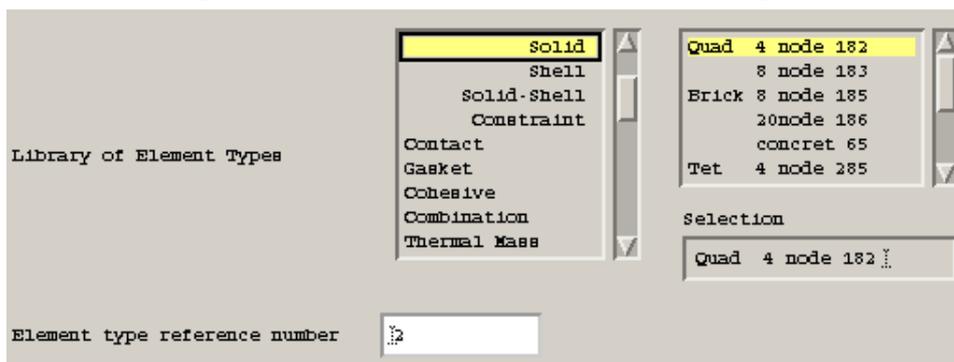
## Bildschirmfoto

Um Bildschirmfotos zu erstellen klickt man im Utility Menu auf „*PlotCtrls*→*Hard Copy*...“ und kann im sich öffnenden Fenster Farbe, Bildformat, ... einstellen.

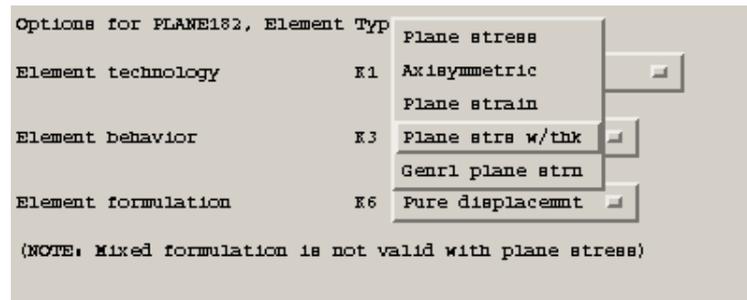
## 2. Preprocessor: Xylophon erstellen

Beginnen wir mit der Modellierung des Xylophons. Wir erstellen lediglich ein 2D Modell. Die Breite des Tonstabes kann über eine Zusatzangabe nachträglich eingefügt werden.

- 2.a. Es reicht also aus, ein Rechteck zu erstellen. Dies geschieht zum Beispiel über die Verbindung von sogenannten Keypoints. Um diese zu erzeugen öffnen wir im Main Menu „*Preprocessor – Modeling – Create – Keypoints – In Active CS*“. Über dieses Fenster geben wir nacheinander vier Keypoints an, durchnummeriert von 1 bis 4, mit Koordinaten x, y und z in Meter (!) passend zu unserem Modell (wobei  $z \equiv 0$ , da wir nur ein 2D Modell betrachten).
- 2.b. Nun verbinden wir die Keypoints zu Linien über „*Preprocessor – Modeling – Create – Lines – Lines – Straight Line*“. Dies wiederholen wir vier Mal, bis wir die Umrisse eines Rechtecks erhalten.
- 2.c. Nun erzeugen wir die tatsächliche Fläche (ja, ist etwas umständlich so, trotzdem!) über „*Preprocessor – Modeling – Create – Areas – Arbitrary – By Lines*“ und wählen die Linien durch anklicken.
- 2.d. Nun machen wir uns ans Vernetzen. Dazu müssen wir allerdings zuerst den Element-Typ der Finiten Elemente angeben. Dies geschieht über „*Preprocessor – Element Type – Add/Edit/Delete*“. Im sich öffnenden Fenster klicken wir auf „*Add*“ und fügen wie in der Abbildung das Element „*Structural Solid – quad 4 node 182*“ hinzu.

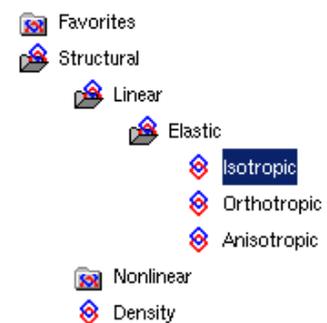


Anschließend klicken wir auf „Optionen“ und wählen unter „Element Behavior“ „Plane Stress with thickness“ aus. So können wir später angeben, dass unser Objekt auch eine gewisse Dicke besitzt. Nun



rufen wir „Preprocessor – Meshing – Mesh Tool“ auf und markieren „Smart Size“ mit einer Feinheit 4, betätigen den „Mesh“ Knopf, picken die Fläche und bestätigen.

- 2.e. Kommen wir zu den Materialeigenschaften: unter „Preprocessor – Material Props – Material Models“. Hier wählen wir das einfachste Materialmodell: „Structural – Linear – Elastic – Isotropic“ und geben im sich öffnenden Fenster E-Modul und Querkontraktionszahl an (Achtung: die Einheiten müssen auf Meter angepasst werden!). Außerdem wählen wir im Fenster das Feld „Density“ aus und geben die passende Dichte an.



- 2.f. Um die Thickness, also die Breite, anzugeben, klicken wir auf „Preprocessor – Real Constants – Add/Edit/Delete“, dann auf „Add“ , „OK“ und geben die Dicke (in Meter) an.
- 2.g. Als letztes bevor wir den Preprocessor verlassen müssen wir noch Randbedingungen setzen: „Preprocessor – Loads – Define Loads – Apply – Structural – Displacement“. Ob man nun „On Lines“, „On Keypoints“ oder „On Nodes“ auswählt, erzeugt keine großen Unterschiede und steht frei. Wir wählen auf jeden Fall den linken und rechten Rand und setzen das Displacement in alle Richtungen auf Null.

### 3. Solution

- 3.a. Zunächst wählen wir den Lösungstyp, den wir benötigen, um Frequenzen und Moden zu erhalten: „Solution – Analysis Type – New Analysis – Modal“.
- 3.b. Wir wählen weitere Optionen unter „Solution – Analysis Type – Analysis Options“. Die „Mode extraction method“ wird definiert als „reduced“. Für die Anzahl der Moden wählen wir in beiden Fällen 12. Im nächsten Fenster übernehmen wir die Einstellungen.
- 3.c. Wir lösen über „Solution – Solve – Current LS“.

### 4. Postprocessing

- 4.a. Die Frequenzen werden über „General Postproc – Results Summary“ ausgegeben.
- 4.b. Die Moden werden ausgegeben durch  
 „General Postproc – Read Results – First Set“  
 „General Postproc – Plot Results – Deformed Shape“  
 „General Postproc – Read Results – Next Set“  
 ...

- 4.c. Außerdem kann man jede Mode auch einfach animieren. Im Utility Menu wählen wir „*PlotCtrls – Animate – Mode Shapes*“. Wir wollen uns 20 Schritte mit einer Verzögerung von jeweils 0,05 Sekunden ausgeben.

## 5. APDL Skript

Auf der Homepage gibt es nun ein APDL Skript zum Download, das im Wesentlichen alle obigen Schritte beschreibt. Zum Test, öffne es über die Command Line mittels „*/INPUT, blatt8.inp*“. Versuche die einzelnen Schritte zu verstehen und mit den Punkten oben zu vergleichen.

## 6. Fragen und Aufgaben

- 6.a. Betrachte die ersten 12 Eigenmoden. Ist die Auflösung zu schlecht, passe gegebenenfalls das Netz an. Nutze dazu das APDL Skript und die darin vorgeschlagene verbesserte Netzgenerierung.
- 6.b. Prüfe den Einfluss des Werkstoffs auf die 1. Eigenfrequenz. Verwende zum einen Aluminium ( $E = 71000 \text{ MPa}$ ,  $\rho = 2700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ) und zum anderen Holz ( $E = 1000 \text{ MPa}$ ,  $\rho = 650 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ). Wie verändert sich der Ton bzw. die 1. Eigenfrequenz.
- 6.c. Welchen Einfluss hat die Dicke auf die 1. Eigenfrequenz? Warum ist das so?
- 6.d. Welchen Einfluss hat die Höhe auf die 1. Eigenfrequenz? Hast du für diesen Effekt eine Erklärung?
- 6.e. Was passiert, wenn man die Einspannung komplett aufhebt? Betrachte alle Frequenzen und Moden. Ist diese Einstellung Realistisch? Was wäre eine realistischere Einspannung? Implementiere diese. Den passenden Befehl kannst du über Auswahl im Main Menu unter Benutzung der Hilfe-Funktion finden.
- 6.f. Baue ein Loch in den Werkstoff und betrachte die neuen Eigenschwingungen und Frequenzen. Benutze dazu den entsprechenden im APDL Skript auskommentierten Teil. Wird der Ton dadurch höher oder Tiefer?

Im Übrigen gilt, dass die 1. Eigenfrequenz proportional zur Wurzel des Quotienten aus E-Modul und Dichte ist (siehe Ergebnisse aus Aufgabe 6.b).