# Übung 7: 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 740 Hz bestimmt ist, folgende Maße von Aufhängung zu Aufhängung:

- Länge  $\ell = 82 \text{ mm}$ ,
- Höhe h = 1,90 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.

Anschließend wollen wir digital ein E-Xylophon bauen und versuchen, den Ton so gut wie möglich am Computer zu erzeugen.

# **Teil II: Umsetzung in ANSYS Classic**

## 1. ANSYS Classic

- 1.a. Terminal öffnen und auf "zeus" (oder "hera" oder "andromeda") mit KIZ Account einloggen mittels "ssh -X s\_username@zeus.rz.uni-ulm.de"
- 1.b. Passendes Modul laden und ANSYS starten mittels "module load cae/ansys" und "launcher140 &"
- 1.c. Es öffnet sich das Startfenster.

Wichtig: IMMER darauf achten, dass als Lizenz "ANSYS Academic Teaching Advanced" eingestellt ist. 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 ANYSY 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 Dateiendung "*inp*". Hier lassen sich Befehle zusammenfassen und in der Command Line mittels "*/INPUT, filename.inp*" komplett ausführen.

## ANYSY 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.

## 2. ANSYS Script

Auf der Homepage befindet sich ein APDL Script, in dem die wesentlichen Teile der Modellierung und Simulation bereits enthalten sind. Beginnen wir mit der Modellierung des Xylophons. Wir erstellen ein 3D Modell. Im Folgenden beschreiben wir zunächst die einzelnen Punkte des bestehenden Scripts.

- 2.a. Im A.1 wurde das Xylophon mit Hilfe des Befehls "BLOCK,x1,x2,y1,y2,z1,z2" erstellt. Die Koordinaten beschreiben zwei Eckpunkte des Rechtecks.
- 2.b. In A.2 wird zuerst der Element-Typ der finiten Elemente als "SOLID" Element festgelegt. Durch "MAT" und "TYPE" wird festgelegt, welchem FE Typ und welchem Materialtyp die anschließend erzeugten Elemente zugeordnet werden sollen. Anschließend geben wir über den Befehl "SMRTSIZE" die Netzfeinheit an und mit "MSHAPE" legen wir fest, dass wir ein 3D Modell mit Tetraedern vernetzen wollen.
- 2.c. In A.3 legen wir die Materialeigenschaften des Materials der Nummer 1 an.
- 2.d. In A.4 werden Randbedingungen festgelegt. Betrachte dazu die Hilfeseiten der Funktionen "NSEL" und "D".
- 2.e. In B.1 wird der Analysis Typ auf Modalanalyse gesetzt und wir legen fest, dass die ersten 12 Eigenfrequenzen und Moden (also Eigenschwingungen) berechnet werden sollen.
- 2.f. Mit "SET,LIST" geben wir eine Liste der ersten 12 Eigenfrequenzen aus. Mit "SET,FIRST" und "PLDISP" wird die erste Mode ausgegeben. Mit "SET,NEXT" wird jeweils die nächste Mode ausgewählt. Einfacher können die Moden auch über das Main Menu unter "General Postproc -> Results Viewer" betrachtet werden. Unter "Nodal Solution -> DOF Solution -> Displaced Structure" werden diese angezeigt. Man kann die Moden auch animieren mit Hilfe des Befehls "ANMODE" wie im Script beschrieben.

Auf der Homepage steht auch eine 2D Version des gleichen Problems.

## 3. Fragen und Aufgaben

- 3.a. Betrachte die ersten 12 Eigenmoden mit einer der in 2.f beschriebenen Methoden. Ist die Auflösung zu schlecht, passe gegebenenfalls das Netz an. Nutze dazu das APDL Skript und die darin vorgeschlagene verbesserte Netzgenerierung.
- 3.b. Stimmen die bisher gewählten Einspannungen mit unserem Xylophon Modell überein? Passe diese gegebenenfalls an und vergleiche die Eigenfrequenzen.
- 3.c. Auf der Homepage befindet sich auch eine 2D Version des gleichen Problems. Vergleiche die ersten Eigenmoden und Eigenfrequenzen. Wie könnte man die 3D Einspannungen verändern, um zum 2D Modell entsprechende Moden und Frequenzen zu bekommen?
- 3.d. Was passiert, wenn man die Einspannung komplett aufhebt? Was stellen nun die ersten 6 Moden dar?
- 3.e. Zurück zu den Einspannungen aus Aufgabenteil 3.b/3.c. Berechne die ersten 12 Eigenfrequenzen mit Hilfe der Formel auf Seite 37 des MMSM Skriptes. Gerne darf dabei auf Matlab zurückgegriffen werden (Programmrumpf auf Homepage). Gib

anschließend nochmals in ANSYS die ersten 12 Eigenfrequenzen aus und vergleiche. Wodurch erklärst du dir den Unterschied?

- 3.f. Prüfe nun den Einfluss des Werkstoffs auf die 1. Eigenfrequenz. Verwende zum einen Aluminium (E = 71000 MPa,  $\rho = 2700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ) und zum anderen Holz (E = 1000 MPa,  $\rho = 650 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ). Wie verändert sich der Ton bzw. die 1. Eigenfrequenz. (Vorsicht mit den Einheiten).
- 3.g. Welchen Einfluss hat die Dicke auf die 1. Eigenfrequenz? Welchen Einfluss hat die Höhe auf die 1. Eigenfrequenz? Hast du für diesen Effekt eine Erklärung? Stimmen die beobachteten Effekte mit den aus der analytischen Formel erwarteten überein?
- 3.h. "Fräse" ein Loch in den Werkstoff an der Unterseite und betrachte die neuen Eigenschwingungen und Frequenzen. Benutze dazu den entsprechenden im APDL Skript auskommentierten Teil. Wird der Ton dadurch höher oder tiefer? Stelle zunächst eine Vermutung auf. Beim Vernetzen bietet sich nun wieder das "einfache" Netz an. (Achtung: Vergleiche der Eigenfrequenzen sollten auch mit derselben Netzgenerierungsmethode erstellt werden).

# 4. Das E-Xylophon

In Matlab gibt es die Funktion wavwrite, mit der man .wav Audiodateien erstellen kann. Auf Seite 38 im MMSM Skript ist eine Formel gegeben, um die tatsächliche Schwingung in Abhängigkeit der Eigenfrequenzen darzustellen (den x-abhängien Teil können wir für Audio Signale ignorieren, ebenso die Phasenverschiebung  $\alpha_n$ ). Ein Ton besteht also nicht nur aus einer Vielzahl an Schwingungen, nicht wie oft angegeben lediglich der ersten Eigenfrequenz. Der tatsächliche Klang hängt im wesentlich von der Zusammensetzung der Eigenschwingungen ab, also hier von den Koeffizienten  $\hat{c}_{2,n}$ .

4a. Erzeuge mit Hilfe der Matlab Funktion wavwrite einen Ton, der dem Xylophon möglichst ähnlich klingt. Benutze den Programmrumpf auf der Homepage und die von ANSYS berechneten Eigenfrequenzen.