

# **Klausurvorbereitung CM2**

## **1. Praktische Modellierung und Berechnung**

### **1.1 Beispiele für Wissens- und Verständnis-Fragen**

**Erklären Sie die Begriffe Solid Modeling und Direkte Generierung! Was versteht man unter der Top-Down- bzw. Bottom-Up-Arbeitsweise?**

**Nennen Sie die beim Solid Modeling eines Volumens (z.B. Quader) generierten geometrischen Größen! Geben Sie deren Hierarchie-Abfolge an!**

**Erklären Sie die Begriffe Mapped Meshing und Free Meshing an einem Beispiel!**

**Was versteht man unter der h- bzw. der p-Methode? Wie kann man bei den beiden Methoden die Genauigkeit der FE-Berechnung eines Bauteils erhöhen?**

**Was versteht man unter den Befehlen „Add“ bzw. „Glue“? Erklären Sie die Auswirkung der beiden Befehle am Beispiel zweier Flächen!**

**Was muß man tun, um eine FE-Berechnung im richtigen Einheitensystem durchzuführen? Erklären Sie anhand des Einheitensystems N-mm-s! Welche Einheiten haben dann Masse und Dichte? Geben Sie ein Beispiel an!**

**Mit welchen Parametern kann man die Netzfeinheit z.B. einer Fläche steuern? Geben Sie ein Beispiel an!**

**Was versteht man unter einer Modal-Analyse? Erklären Sie anhand eines Beispiels!**

## 1.2 Beispiele für Aufgaben

### Seismischer Sensor

Ein miniaturisierter Meßaufnehmer zur Messung von Schwingungen besteht im wesentlichen aus einem Metallgehäuse, in welches das eigentliche Herzstück, der sogenannte „seismische Sensor“, eingeklebt ist. Der seismische Sensor wird durch mikromechanische Ätzverfahren aus Silizium hergestellt. Die Federarme, mit denen die Schwingmasse verbunden ist, wirken als Biegefedern. Der Auflagerahmen ist an seiner Unterseite mit dem Gehäuse verklebt.

Wird das fest mit dem zu untersuchenden Bauteil verbundene Gehäuse durch die Bauteil-Schwingungen mitbewegt, so vollführt die Schwingmasse auf Grund von Trägheitskräften Schwingungen mit dem gleichen Frequenzinhalt wie das Bauteil. Durch die Messung der durch die Schwingungen bedingten Veränderung des elektrostatischen Potentials zwischen dem Gehäuse und der Schwingmasse steht ein Meßsignal, welches proportional zu den Bauteilschwingungen ist, zur Verfügung.

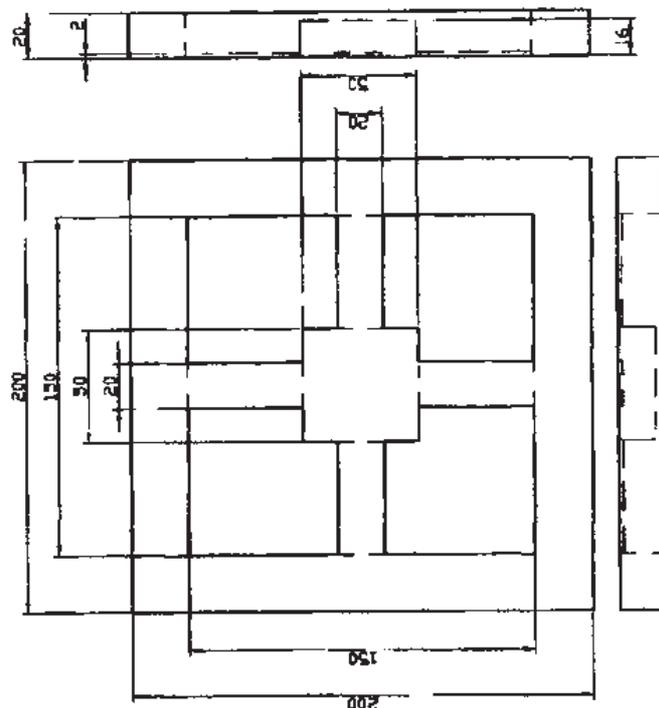
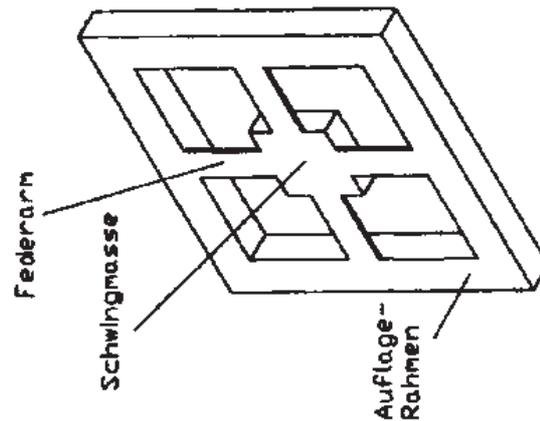
### Aufgabenstellung:

Bereiten Sie die gestellte Aufgabe entsprechend dem Checklisten-Verfahren für die FE-Berechnung auf! Berücksichtigen Sie dabei folgende Angaben:

- Der seismische Sensor weist 2 Symmetrieebenen auf (siehe Zeichnung)
- Der seismische Sensor soll als Volumenmodell mit der Einstellung „Mapped Meshing“ vernetzt werden. Erstellen Sie eine Skizze (evtl. auf der nachfolgenden Zeichnung), aus der die dafür erforderliche Segmentierung in Teil-Volumina hervorgeht! Ergänzen Sie Ihre Darstellung eventuell mit Handskizzen! Bestimmen Sie die für eine brauchbare Elementierung des Bauteils notwendige Unterteilung der Berandungslinien, wenn man in einem ersten Ansatz davon ausgehen kann, daß zur Modellierung der Dicke der Federarme zwei Volumenelemente ausreichen!
- Silizium ist auf Grund seiner Gitterstruktur ein in erster Näherung linearelastischer, aber orthotroper Werkstoff (d.h. in den 3 Koordinatenrichtungen sind unterschiedliche Werte für den E-Modul vorzugeben).
- Der seismische Sensor soll folgenden Analysen, die alle für die sogenannte Grundposition (Auflagerahmen auf seiner Unterseite in allen Freiheitsgraden fixiert, was der Verklebung im Gehäuse entspricht, Gravitation wirkt senkrecht nach unten) durchzuführen sind, unterzogen werden:
  1. Berechnung der statischen Ruhelage der Schwingmasse durch Eigengewichtsbelastung (Absenkung der Schwingmasse infolge Biegung der Federarme)
  2. Ermittlung der Eigenfrequenzen und Eigenformen
  3. Bestimmung der Resonanzkurve (vertikale Auslenkung der Schwingmasse bei einer im Mittelpunkt der Schwingmasse angreifenden, senkrecht nach unten wirkenden Kraft mit konstanter Amplitude in einem Erregerfrequenzbereich von 0 bis 50000 Hz) mit der sogenannten harmonischen Analyse
- Eine Handrechnung zur Verifikation der FE-Rechnungen ist für die statische Durchsenkung sowie die erste Eigenfrequenz durchzuführen (E=konst. für alle Koordinatenrichtungen, nur Formeln).

- Die Wirkung der elektrostatischen Kräfte zwischen Gehäuse und seismischem Sensor kann vernachlässigt werden.
- Die Geometrie des seismischen Sensors kann als IGES-Datei aus einer 3D-CAD-Zeichnung übernommen werden. Ein Defeaturing ist nicht erforderlich.
- Die Dokumentation soll die gesuchten Ergebnisse in grafischer Darstellung umfassen.

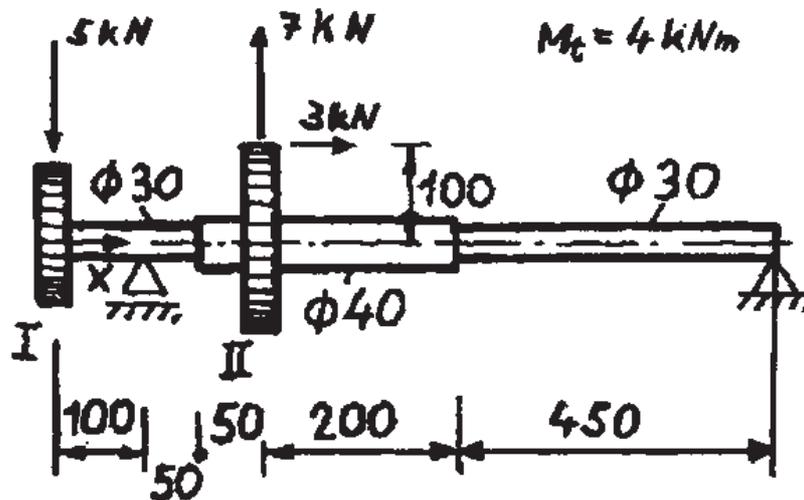
Seismischer  
Sensor



### Getriebewelle

Die im nachstehenden Bild gezeigte, zweifach gelagerte Getriebewelle wird an den Zahnrädern I und II durch die eingezeichneten Kräfte in radialer und axialer Richtung belastet. Außerdem wird von der Welle zwischen den beiden Zahnrädern das Drehmoment  $M_t$  übertragen.

Mit einer FE-Berechnung sollen der Biegemoment-Verlauf, die Spannungen in der Welle und die Durchbiegungen ermittelt werden. Für die FE-Modellierung sollen Balken-Elemente eingesetzt werden. Außerdem kann linear-elastisches Materialverhalten vorausgesetzt werden (E-Modul  $215000 \text{ N/mm}^2$ , Dichte  $7850 \text{ Kg/m}^3$ ).



### Aufgabenstellung:

Bereiten Sie die gestellte Aufgabe entsprechend dem Checklisten-Verfahren für die FE-Berechnung auf! Gehen Sie dabei auf folgende Teilpunkte genauer ein:

- An welchen Stellen ist die Verifikation der FE-Resultate für Biegemoment und Biegespannung ohne großen Aufwand möglich? Geben Sie entsprechende Werte an! Für die Handrechnung kann das Eigengewicht der Welle vernachlässigt werden.
- Welche Lasten (Kräfte, Momente) müssen in das FE-Programm eingegeben werden? Verdeutlichen Sie dies in einer Handskizze!
- Welches Balken-Element (Dimension!) ist angesichts der anzusetzenden Lasten zu verwenden und warum?

## 2. Mathematische Grundlagen der FE-Methode

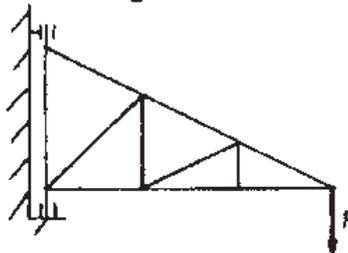
### 2.1 Beispiele für Wissens- und Verständnis-Fragen

Welche Aufgabe haben Ansatzfunktionen? Erläutern Sie die für Ansatzfunktionen notwendigen Eigenschaften!

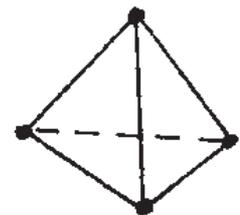
Erläutern Sie die grundlegenden Element-Typen der FEM! Welche Freiheitsgrade weisen diese Element-Typen auf und welche Lasten können jeweils aufgeprägt werden? Geben Sie Beispiele zur Verwendung der einzelnen Element-Typen!

Bei der Berechnung statischer Probleme mit der FEM weist die Steifigkeitsmatrix des Systems eine sogenannte Bandstruktur auf. Was versteht man darunter? Was bestimmt die Bandbreite der Matrix und wie wirkt sich eine große Bandbreite bei den Berechnungen aus?

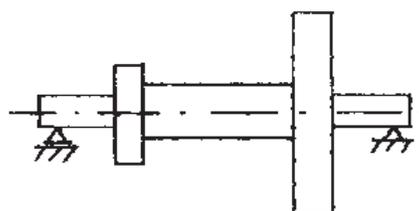
Wie gelangt man vom realen, statisch belasteten Bauteil unter Einsatz der Finite-Elemente-Methode zu einem Rechenmodell und zu den Verformungen und Spannungen des Bauteils? Erläutern Sie qualitativ die einzelnen Schritte des FEM-Formalismus anhand des in der nachfolgenden Skizze gezeigten Fachwerk-Krans!



Benennen Sie die nachfolgend dargestellten Element-Typen! Tragen Sie an jeweils einem Knoten die lokalen Knoten-Freiheitsgrade ein! Für welche Einsatzgebiete sind die einzelnen Element-Typen jeweils am besten geeignet?



Welche drei Möglichkeiten für die Element-Typ-Auswahl gibt es bei der in der nachfolgenden Skizze gezeigten Welle mit zwei Zahnrädern? Vergleichen Sie die drei Modellierungsarten hinsichtlich der berechenbaren Ergebnisse für Verformungen und Spannungen bei statischer Belastung sowie dem Rechenaufwand! Wann wird man welche Modellierungsart einsetzen?



Der oben skizzierte Fachwerks-Kran soll einmal mit Stab-Elementen und einmal mit Balken-Elementen modelliert werden. Welche Modellierungsart ist die realistischere Vorgehensweise, wenn man annimmt, daß die Verbindung der Fachwerkstäbe in den Knoten durch Schweißen erfolgt? Begründen Sie Ihre Antwort!

## 2.2 Beispiele für Aufgaben

### Maschinen-Gestell

Das Untergestell einer Maschine kann in grober Näherung als 2D-Stabfachwerk abgebildet werden (siehe untenstehende Skizze mit den entsprechenden Daten).

#### Aufgabenstellung:

Berechnen Sie die Verschiebungen  $U_5$  und  $U_7$  als allgemeine Ausdrücke unter Verwendung des Matrix-Formalismus der Finite-Elemente-Methode! Setzen Sie in die berechneten Formeln folgende Werte ein:

- E: 210000 N/mm<sup>2</sup>
- A: 100 mm<sup>2</sup>
- L: 1000 mm
- F: 1000 N

Wie groß sind die Spannungen in den Stäben 1 bis 4 mit den oben gegebenen Daten?

#### Skizze:

