

8.1 Das FE Programm FEAP_{pv} für das WINDOWS-Betriebssystem

Das in diesem Abschnitt vorgestellte *Finite Element Analysis Programm* (FEAP) ist ebenfalls wie das ANSYS ein Stand-Alone-Programmsystem. Das Programm ist für vielschichtige Feldprobleme primär aus der Festkörpermechanik ausgelegt, diese können von folgender Natur sein: statische, transiente oder dynamische lineare oder nicht lineare Probleme mit komplexen Materialformulierungen. Auch Temperaturfeldberechnungen und thermomechanisch gekoppelte Berechnungen sind durchführbar. Weiterhin ist es möglich Kontaktformulierungen zu definieren, so dass unterschiedliche Körper in gegenseitige Interaktion treten können.

Das FEAP_{pv} ist eine frei zugängliche Software (Index pv steht für Personal Version), welche sich von FEAP durch Restriktionen an die maximale Knotenanzahl und die zur Verfügung stehenden Elemente unterscheidet. Es können sämtliche Beispiele genutzt werden, die für das FEAP bereit stehen. Im Vorfeld muss nur überprüft werden, ob auch alle Befehle im FEAP_{pv} zur Verfügung stehen.

Der gesamte Modellaufbau erfolgt mit einer reinen Kommando- und Befehlsstruktur, welche in einem *Inputfile* abgesetzt werden. Das FEAP besitzt somit keinen *Preprozessor*, aber es steht für die Auswertung ein einfacher *Postprozessor* zur Verfügung. Der Vorteil von FEAP (bei FEAP_{pv} nur unter LINUX) ist der vollständig vorhandene Quellcode, welcher eine gezielte Manipulation von Elementen und Materialmodellen zulässt.

8.1.1 Installation von FEAP_{pv}

Die Installation ist denkbar einfach! Auf der Internetseite <http://www.ce.berkeley.edu/~rlt/feappv> findet man unter „Files to download“ den Link „FEAP_{pv} ver 2.0 executable“ mit dem ZIP-File für WINDOWS. Dieses File sowie unter „User Manual“ die pdf-Datei in ein Verzeichnis kopieren. Anschließend muss dann noch das ZIP-File entpackt werden, um die ausführbare-Datei FEAPPV zu erhalten. Weiterhin besteht noch die Möglichkeit unter dem Abschnitt „Test Problem“ ein Beispiel für eine *Inputdatei* sowie *Outputdatei* downzuladen.

8.1.2 Das Programm

Das Starten von FEAP_{pv} unter WINDOWS gestaltet sich nicht so komfortabel, wie unter LINUX, da es auf einen direkten Zugriff auf die DOS-Ebene angewiesen ist. Dies lässt sich umgehen, wenn man für jedes Beispiel ein eigenes Verzeichnis anlegt, was auch die spätere Zuordnung und Auswertung erheblich erleichtert. In dieses wird jeweils die ausführbare-Datei FEAPPV hineinkopiert, ein Doppelklick auf das Symbol öffnet das DOS-Eingabefenster.

Eine Berechnung kann gestartet werden, indem zuerst der *Inputdatei*-Name eingegeben wird (ohne Unterverzeichnisse). Die Namensgebung ist beliebig, sie muss aber immer mit einem vorgeschalteten großen *I* (für *Input*) beginnen. Zu beachten ist, dass bei Verwendung von Textdateien (*.txt) die Dateikonfiguration zusätzlich angegeben wird (z.B.: *IBeispiel.txt*). Nachdem der *Inputdatei*-Name bestätigt ist, überprüft FEAP_{pv}, ob dieser Name auch wirklich in dem Verzeichnis existiert. Danach müssen die Namen für die *Outputdatei* und für die beiden *Restartdateien* angegeben werden. Sinnvoll ist hier die Übernahme der *default*-Einstellungen. Die *Outputdatei* wird dann mit dem gleichen *Inputdatei*-Namen versehen, nur das *I* wird durch ein *O* (Output) ersetzt, gleiches erfolgt auch mit den *Restartdatei*-Namen. Nach der Eingabeprozedur müssen alle Namen noch einmal mit *yes* bestätigt werden und das Programm startet dann automatisch mit der Berechnung.

8.1.3 Angelegte Dateien

Wie im vorherigen Abschnitt schon kurz beschrieben, legt FEAP_{pv} eine Vielzahl von Dateien an. Die *In-* und *Outputdatei* wird immer angelegt, stattdessen werden die *Restartdateien* nach erfolgreicher Berechnung wieder gelöscht. Zusätzlich können noch Nutzerspezifische-Dateien erstellt werden. Diese sind z.B.: Auflistung von Verschiebungen (*.dis) ausgewählter Knoten und oder Spannungskomponenten (*.str) einzelner Elemente. Diese Dateien werden mit einem ASCII-Datenformat (Textformat) abgelegt, weiterhin besteht die Möglichkeit, Grafikplots als EPS-Bilder zu speichern. Die wichtigsten Dateiformate sind nachfolgend aufgeführt:

Dateiname	Inhalt
<i>IName</i>	Datenbasis, Einstellungen, Geometrie, Material, Elemente,....
<i>OName</i>	Ergebnisse
<i>RName, SName</i>	Restartdateien
<i>PNamea.str</i>	ASCII-Datei mit Spannungswerten
<i>PNamea.dis</i>	ASCII-Datei mit Verschiebungswerten
<i>FEAPAAAA.eps</i>	EPS-Bild vom Grafikplot

8.1.4 Die *Inputdatei*

Das FEAP_{pv} verfügt über keinen *Preprozessor*, deshalb müssen alle geometriebezogenen Operationen mittels einer Befehlsstruktur innerhalb der *Inputdatei* erzeugt werden.

Die *Inputdatei* ist eine ASCII-Code bezogene Textdatei, die unter WINDOWS vorzugsweise mit dem Standard-Editor bzw. dem WordPad oder dem optionalen WinEditor erstellt werden sollte. Das Programm Word eignet sich hierfür nicht, da es ein Textverarbeitungsprogramm mit verdeckten Formatierungseigenschaften ist, diese können zu Fehlern beim Einlesen der *Inputdatei* in das FEAP_{pv} führen.

Der prinzipielle Aufbau der *Inputdatei* gliedert sich in sechs Abschnitten. Jeder Befehlsblock kann über mehrere Zeilen definiert sein und muss mit einer Leerzeile beendet werden. Innerhalb eines Befehls können die einzelnen Anweisungen mit Kommata, Leerzeichen oder Tab getrennt werden.

Struktureller Aufbau:

```
feap * * Überschrift
    0 0 0 2D-3D DOFs/Knoten Knotenanzahl/Element
...
end

batch
...
end

inter
stop
```

Die erste Zeile ist eine Kopfzeile mit Angaben zum Programm und einer Kurzbeschreibung des Feldproblems. Die zweite Zeile gibt die grundlegenden Daten des Gesamtmodells wieder. Dabei werden die ersten drei Größen (es muss jeweils eine Null eingegeben werden) direkt von FEAP_{pv} berechnet. Dies sind die Gesamtknoten-, Gesamtelemente- und Materialsetanzahl. Der vierte Eintrag ist die Dimension des Problems (2 für 2D oder 3 für 3D eintragen). Der vorletzte Eintrag gibt die maximale Anzahl der Freiheitsgrade (DOF) eines Knotens an und der letzte Wert die max. Knotenanzahl pro Element. Bis zum Befehl `end` werden sämtliche Operationen für die Netzgenerierung, inklusive Randbedingungen und äußere Lasten sowie die Materialformulierungen definiert. Die Reihenfolge der einzelnen Befehle unterliegt keiner Restriktion. Nach der Netzgenerierung können die Gleichungslöser und die Anweisungen für das *Postprocessing* innerhalb von *Batch-Befehlsblöcken* deklariert werden. Der Befehl `inter` öffnet den interaktiven *Postprozessor* von FEAP_{pv} und die `stop` Anweisung schließt das Programm nach erfolgreicher Berechnung.

8.1.5 Erstellen von Ausdrucken

Das Erzeugen von farbigen Grafikplots kann auf unterschiedliche Weise erfolgen. Die schnellste Variante ist die Erstellung von Grafiken mit dem *Interactiv-Modus* (Befehl `inter`), dem Postprozessor

von FEAP_{pv}. Dieser erzeugt einfache Spannungsverlaufs- oder Verschiebungsbilder. Mit dem Kommando `plot` wird die interaktive Eingabe gestartet. Der Befehl `help` listet alle wichtigen Kommandos für den *Interactiv-Modus* auf. Eine Darstellung der Spannungen in x,y,z-Richtung kann mit dem Kommando `stre,i` (*i* ist der Index für die Koordinate, z.B.: *i*=1=x-Richtung) realisiert werden. Das Verschiebungsfeld wird mit `cont,i` (*i*=1,2,3) aufgerufen. Das Ablegen der Daten als externes Bildmaterial erfolgt mit dem Kommando `post`, alle nun abgesetzten Kommandos im *Interactiv-Modus* erzeugen ebenfalls ein zusätzliches EPS-Bild mit eben gleichen Inhalten, bis `post` ein zweites mal eingegeben wird.

Eine andere Möglichkeit ist die direkte Steuerung der Grafikausgabe über die *Inputdatei*. Hierzu werden die gleichen Kommandos direkt in einen *Batch-Befehlsblock* eingegeben:

```
batch
  plot cont
  plot disp
  plot stre
  plot load
  plot boun
  plot mesh
  plot reac
  plot node
  plot elem
  plot axis
end
```

Das Ergebnis ist eine Grafikausgabe mit diesen Optionen im *Interactiv-Modus*. Soll die Ausgabe aber in einem externen EPS-Bild erfolgen, so müssen die `plot`-Kommandos zwischen dem Kommando `plot postscript` eingebettet werden:

```
batch
  plot postscript
  plot cont
  plot disp
  plot stre
  plot load
  plot boun
  plot mesh
  plot reac
  plot node
  plot elem
  plot axis
  plot postscript
end
```

8.1.6 Häufige FEAP_{pv}-Befehle

Diese Einführung in das FE-Programm FEAP_{pv} soll nur als Ergänzung und als Schnelleinführung dienen. Aus diesem Grund stellen die nachfolgenden Befehle nur einen Auszug aus dem Benutzerhandbuch von FEAP_{pv} dar. Für eine ausführliche Beschreibung wird ausdrücklich auf das *User Manual* vom FEAP_{pv} verwiesen.

Befehl	Inhalt
! ...	Kommentar
Mesh-Umgebung:	
<pre>block cart n1 n2 1 x-Koord y-Koord 2 x-Koord y-Koord 3 x-Koord y-Koord 4 x-Koord y-Koord</pre>	<p>Erzeugt ein Netz im kartesischen Koord. Mit Anzahl der Elemente in x-Richtung (<i>n1</i>) und y-Richtung (<i>n2</i>). Es müssen die vier Eckkoordinaten angegeben werden.</p>

boun Knt-Nr Inkrem DOF-1 DOF-2	Den Knotennummern die Randbedingungen zuweisen
csurface normal, data linear 1, x-Koord, y-Koord, Last 2, x-Koord, y-Koord, Last	Streckenlast normal zur Kante mit linearer Verteilung. Die <code>Last</code> hat die Dimension einer Streckenlast. Es muss die Anfangs- und Endposition auf der Kante in Normalenrichtung angegeben werden.
coord KnotenNr Inrem x-Koord y-Koord	Knotendefinition
disp Knt-Nr Inkrem Versch-1 Versch-2	Verschiebungsrandbedingung. Wichtig: Nur Aktiv wenn vorher der Knoten mit <code>boun</code> oder <code>eboun</code> festgehalten wurde
eboun Koord Abstand DOF-1 DOF-2	Edgeboundary legt die Randbedingung entlang einer Kante fest
eforc Koord Abstand Kraft-1 Kraft-2	Edgeforce legt die Randlast entlang einer Kante fest
elem Elem-Nr Inkrem Mat.-Nr 1.-Knt i.-Knt	Elementdefinition
forc Knt-Nr Inkrem Kraft-1 Kraft-2	Lasten den Knotennummern zuweisen
global plane strain ! oder stress	Ebener Verzerrungs- oder Spannungszustand, nur möglich bei einer 2D-Berechnung
mate Nr truss elastic isotropic E-Modul cross section A	Materialmodell für den Dehnstab: elastisch mit E-Modul und Stabquerschnitt A
mate Nr solid elastic isotropic E-Modul nu thick section t	Materialmodell für ebenes Solidelement: elastisch mit E-Modul und Querdehnzahl sowie Elementdicke t
parameter Variable = Funktion	Parameterzuweisung: Variablenname darf nur zwei Zeichen beinhalten; mögliche Funktionen siehe <i>User-Manual</i>
Batch-Umgebung:	
batch ... end	Batch-Befehlsblock
batch tangent form solve disp all stre all reac all end	Starten des Gleichungslösers: Bilden der Steifigkeitsmatrix Aufstellen der rechten Seite Lösen des Gleichungssystems Ausgabe aller Verschiebungen Ausgabe aller Spannungen Ausgabe aller Reaktionskräfte
inter	Öffnet Interactiv-Modus
stop	Stoppt FEAP und schließt die

8.1.7 Beispiel Stabwerk

```
feap * * Beispiel Stabwerk
```

```
0 0 0 2 2 2
```

```
coord
```

```
1 0 0 0
2 0 4000 3000
3 0 0 6000
4 0 0 3000
```

```
elem
```

```
1 0 1 1 2
2 0 1 4 2
3 0 1 3 2
```

```
boun
```

```
1 0 1 1
3 0 1 1
4 0 1 1
```

```
forc
```

```
2 0 2000 -3000
```

```
mate 1
```

```
truss
```

```
elastic isotropic 200000
cross section 1000
```

```
end
```

```
batch
```

```
tangent
form
solve
disp,all
stre all
react all
plot cont
plot load
plot boun
plot mesh
```

```
end
```

```
inter
```

```
stop
```

8.1.8 Beispiel Kragbalken Version A

```
feap * * Beispiel Kragbalken
```

```
0 0 0 2 2 4
```

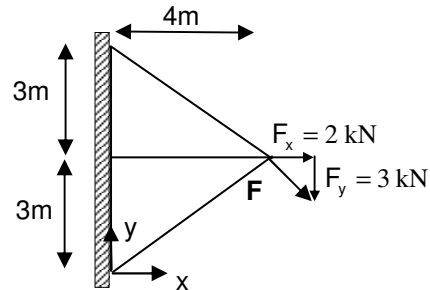
```
global
```

```
plane strain ! oder stress
```

```
parameter
```

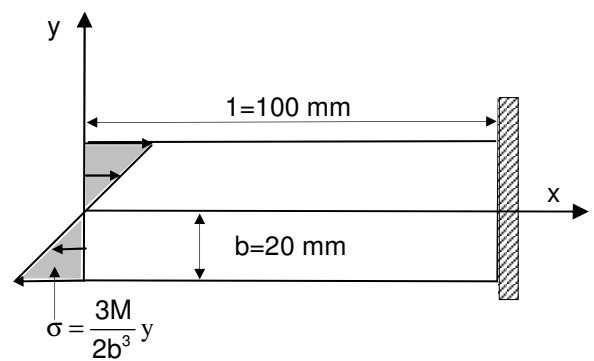
```
n1 = 1
```

```
n2 = 1
```



$E=200.000 \text{ MPa}$

$A=1000 \text{ mm}^2$



mit $M = 10 \text{ Nmm}$

```
k = 100
b = 20
m = 10
st = 3*m*b/(2*b^3)

block
  cart n1 n2
    1 0 b
    2 0 -b
    3 k -b
    4 k b

eboun
  1 k 1 1

csurface
  normal, data
  linear
  1, 0, k, -st
  2, 0, -k, st

mate 1
  solid
    elastic isotropic 200000 0.3
    thick section 1

end

batch
  tangent
  form
  solve
  disp,all
  stre all
  reac all
! plot cont
  plot stress
  plot load
  plot boun
! plot mesh
end

inter
stop
```