
FEM-Praktikum

Finite Element Analysis Program [FEAP]

Einführung



FE-Programm FEAP

FEAP: FE-Programm der *University of California, Berkeley*

- Stand-Alone-Programmsystem
- Lösung vielschichtiger Feldprobleme aus der Festkörpermechanik:
 - statische
 - transiente
 - dynamisch linear
 - dynamisch nichtlinear
- Temperaturfeldberechnungen und thermomechanisch gekoppelte Analysen
- Kontaktformulierungen zwischen Körpern mit inkompatiblen Netzen

FEAPpv: Frei zugängliches FE-Programm der *University of California, Berkeley*

- beschränkte Anzahl an Knoten
- beschränkte Anzahl an verfügbaren Elementen
- Eingeschränkter Befehlsumfang gegenüber FEAP



Bezug / Installation von FEAPpv

**Internetseite des Entwicklerteams unter Leitung von Prof. Robert Taylor,
University of California, Berkeley**

<http://www.ce.berkeley.edu/projects/feap/feappv/>

- Unter „Files to download“
- Windows Version 3.1 Revision f für 32 und 64 bit Betriebssysteme (12.08.2013)
- ausführbare Datei *feappv.exe* entpacken

Internetseite FG Numerische Mechanik

Lehre $\Rightarrow$ Praktikum FEM: Berechnung $\Rightarrow$ Praktikum (FEAP)

- Windows Version 2.0 Revision a für 32 bit Betriebssysteme (07.04.2005)
- ausführbare Datei *feappv.exe* entpacken

Nutzer: Passwort: berechnung



Aufbau FEAP (1)

Preprocessing (Modellaufbau)

- Kein grafischer Preprocessor vorhanden
- Modellaufbau erfolgt über Kommando- und Befehlsstruktur
- Problemformulierung im INPUT-File (ASCII-Datei)
 - Element
 - Knoten
 - Netz
 - Randbedingungen / Belastungen
 - Materialeigenschaften

```
!feap * * Übung ebene Scheibe * *
0 0 0 2 2 4
! 0 0 0 2D-3D DOFs/Knoten Knotenanzahl/Element

global                ! Nur bei 2D
plane strain          ! stress

parameter
n1 = 2                ! Anzahl der Elemente
n2 = 2                ! Anzahl der Elemente
a = 40                ! Abmessung
b = 50                ! Abmessung
d = 1                 ! Dicke
f = 1                 ! Kraft F
E = 1                 ! E-Modul
nu = 1/3.0            ! Querdehnzahl

block                 ! Erzeugt einen Block mit kart-Koord
cart n1 n2
1 0 0                ! Pkt. x-Koord. y-Koord.
2 a 0                ! Pkt. x-Koord. y-Koord.
```

Postprocessing (Ergebnisauswertung)

- visuell im Postprocessor mit grafischer Benutzeroberfläche
- EPS-Dateien (Bilddateien)
- Eingaben und Lösungsgrößen werden ins OUTPUT-File geschrieben
- gezieltes Herausschreiben von Größen wie Spannungen, Verschiebungen etc. in ASCII-Datensätze



Aufbau FEAP (2)

Solver

- Eingabe des Solvers in INPUT-File
- Verwendung von sogenannten Batch-Kommandos

```
batch
  tangent
  form
  solve
end
```

tangent

- Bildung der Steifigkeitsmatrix

K

form

- Aufstellen der rechten Seite

P

solve

- Lösen des Gleichungssystems

Ku = P



Ablauf der FE-Berechnung mit FEAPpv

Erzeugen einer Eingabedatei für FEAPpv (*Preprocessor*)

Anlegen einer Eingabedatei als unformatierte Textdatei (Windows Editor):

z.B. Ibeispiel1.txt → Dateiname *muss* mit großem „I“ beginnen

Eingabedatei enthält Informationen über:

- Geometrie, Knoten, Elemente
- Materialparameter
- Verformungsrandbedingungen, Lasteinwirkung
- Gleichungslöser

Starten des Programms FEAPpv (*Hauptprozess*)

- Aufruf der ausführbaren Datei → Angabe Eingabedatei *mit* Endung
- FE-System wird gelöst

Grafische Oberfläche (*Postprocessor*)

- Ergebnisdarstellung am Bildschirm oder als EPS-Grafik



FEAP-Dateien

Dateiname	Inhalt
<i>IName</i>	Datenbasis, Einstellungen, Geometrie, Material, Elemente,....
<i>OName</i>	Ergebnisse, Zusammenstellung der Eingabedaten, Ausgabe der Elementspannungen und Verzerrungen, Knotenverschiebungen, etc.
<i>RName, SName</i>	Restartdateien
<i>PNamea.str</i>	ASCII-Datei mit Spannungswerten
<i>PNamea.dis</i>	ASCII-Datei mit Verschiebungswerten
<i>FEAPAAAAA.eps</i>	EPS-Bild vom Grafikplot



Aufbau INPUT-File (1)

Struktureller Aufbau der INPUT-File

- Unterteilung der Datei in zwei Hauptabschnitte:
 1. Definition des Randwertproblems mit Befehlsblöcken
 2. Blöcke mit „Batch-Kommandos“
- Befehlsblock kann über mehrere Zeilen definiert werden

```
coord» »  
  1 1    0    0»  
  2 0   100    0
```

- Trennung einer Anweisung innerhalb einer Zeile eines Befehlsblocks mit
 - Komma
 - Leerzeichen
 - Tabulator

```
feap * * Beispiel gevouteter Stab  
0 0 0 2D-3D DOFs/Knoten Knotenanzahl/Element
```

```
... Definition des Randwertproblems  
end» » » »
```

```
batch» » » »  
... Batch-Kommando  
end
```

```
inter» Interactive: Grafischer Postprocessor  
stop|
```

Wichtig: Nach jedem Befehlsblock muss stets eine Leerzeile folgen!



Aufbau INPUT-File (2)

1. Kopfzeile
2. Information zur globalen Problemgröße
3. Parameterdefinition (optional)
4. Definition des Randwertproblems (RWP)
5. Solvereinstellungen
6. Steuerung des Postprozesses
7. Interaktiver Modus

```
feap * * Beispiel gevouteter Stab
0 0 0 2 2 2
```

```
parameter
E = 3*10^4
A = 10
```

```
coord > > >
1 1 0 0
2 0 100 0
```

```
elem > >
1 0 1 1 2
```

```
mate 1 >
truss
elastic isotropic E
cross section A
```

```
eboun, set > >
1 0 1 1
1 100 0 1
```

```
eforce > >
1 100 20 0
```

```
end > > >
```

RWP

```
batch !solver >
tangent
form
solve
end
```

```
batch !postprocess >
disp,all
stre,all
plot cont 1
end
```

```
inter > > >
stop
```



Aufbau INPUT-File (3)

Kopfzeile

- Schlüsselwort: Feap
- Problembezeichnung: Testbeispiel

```
feap Testbeispiel
```

Information zur globalen Problemgröße

- Die ersten drei Einträge werden von FEAP berechnet – Nullen eingetragen!
 1. Gesamtknotenanzahl
 2. Anzahl Elemente
 3. Anzahl Materialien
- Die letzten drei Einträge müssen angegeben werden

```
feap Testbeispiel
```

```
0 0 0
```

```
2 2 2
```

Dimension
2D / 3D

DOF pro
Knoten

Knoten pro
Element

DOF: Degrees of Freedom /
Freiheitsgrade

Parameterdefinition (optional)

- Definition von Parametern ohne Variablendeklaration
- Rechenoperationen mit Parametern möglich

```
parameter
```

```
a=20
```

```
b=10
```

```
c=a+b*a*b
```



Aufbau INPUT-File (4)

Definition des Randwertproblems (RWP)

- RWP wird zwischen dem *Kopf* und *end* definiert
- Definition der
 - Geometrie / Knoten
 - Elemente
 - Randbedingungen
 - Belastungen
 - Elementtyp (Feldgleichungen)
 - Materialdefinition

Solvereinstellungen

- Batch-Kommando nach *end* des RWP

Steuerung des Postprozesses

- Batch-Kommando nach *end* des Solvers
- Ausgabe in ASCII-Datei sowie in EPS-Grafikdatei

```
coord» » » »
  1 1    0    0»
  2 0   100    0

elem» » » »
  1 0 1 1 2» »

mate 1» »
  truss
  | elastic isotropic E
  | cross section A

eboun, set» » »
  1    0 1 1» » »
  1 100 0 1»

eforce» » » »
  1 100 20 0» » »

end» » » »
```

```
batch      !solver» »
  tangent
  form
  solve
end
```

```
batch      !postprocess»
  disp,all
  stre,all
  plot cont 1
end
```



Aufbau INPUT-File (5)

Interactive

- Der Befehl `inter` aktiviert den interaktiven Modus zur Ergebnisauswertung
- grafische Benutzeroberfläche des Postprocessors erscheint nach Berechnungsende im FEAP-Fenster

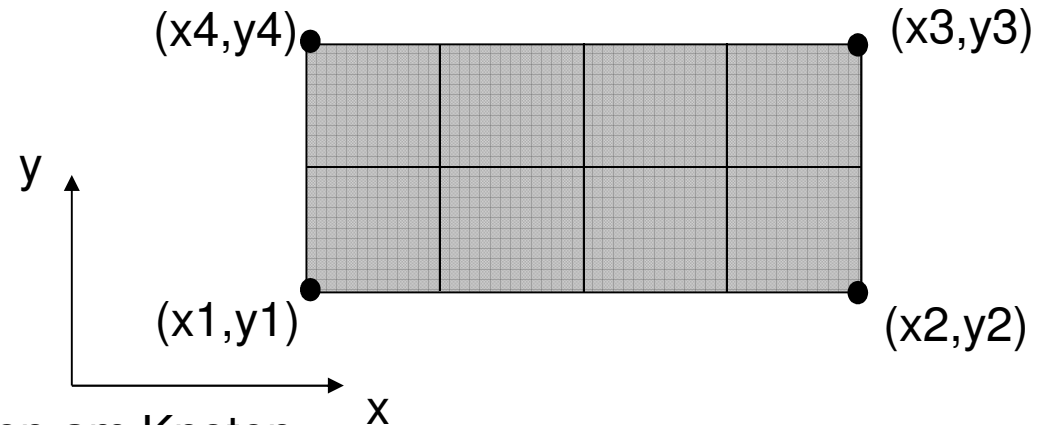
`inter`



Auswahl FEAP Befehle für INPUT-File (1)

- Erzeugung und Vernetzung von Flächen

```
block  
  cart, n1, n2  
  1, x1, y1  
  2, x2, y2  
  3, x3, y3  
  4, x4, y4
```



- Verschiebungsrandbedingungen am Knoten

```
boun  
  
Knt-Nr, Inkrem, DOF-1, DOF-2
```

- Verschiebung vorgeben (vorher Verschiebungsrandbed. mit „boun“ definieren!)

```
disp  
  
Knt-Nr, Inkrem, u1, u2
```

- Knotenkraft

```
force  
  
Knt-Nr, Inkrem, F1, F2
```



Auswahl FEAP Befehle für INPUT-File (2)

- Material und Elementtyp
 - Dehnstab:

```
Mate, Nr
truss
elastic isotropic E-Modul
cross section A
```



- Solidelement (2D):

```
Mate, Nr
Solid
elastic isotropic E-Modul nu
thick section t
```



- 2-D EVZ oder ESZ einstellen

```
global
plane strain ! oder stress
```

Auswahl FEAP Befehle für INPUT-File (3)

- Randbedingung entlang einer Kante definieren

eboun

Koord , Wert, DOF-1, DOF-2

z.B.

ebound

1, 0, 1, 1

- Kräfte für alle Knoten entlang einer Kante definieren

eforc

Koord , Wert, F1, F2

z.B.

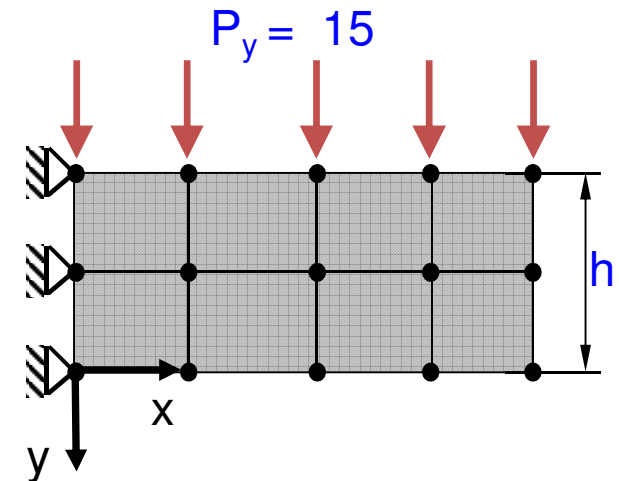
eforce

2, -h, 0, 15

- Element über die Knoten definieren

elem,

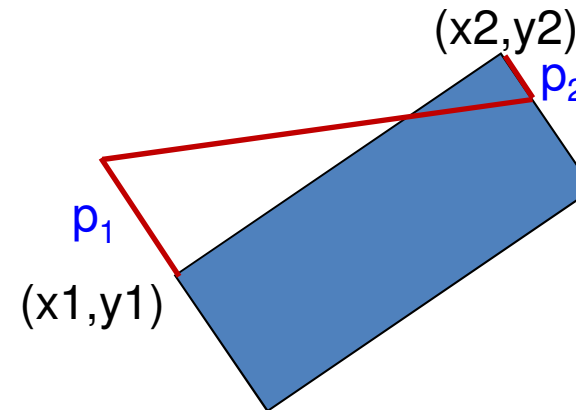
Elem-Nr, Inkrem, Mat.-Nr, 1.-Knt, i.-Knt



Auswahl FEAP Befehle für INPUT-File (4)

- Streckenlasten

```
csurface
normal, data
linear
1, x-Koord, y-Koord, p1
2, x-Koord, y-Koord, p2
```



Wichtig: Drehsinn der Elemente beachten!

- Lösung und Ausgabesteuerung in OUTPUT-File (OName)

```
batch
  tangent      ! Struktursteifigkeitsmatrix aufstellen
  form        ! rechte Seite bilden
  solve       ! Gleichungssystem lösen
  disp,all    ! alle Knotenverschiebung in O-Datei ausgeben
  stre,all    ! alle Spannungen in O-Datei ausgeben
  reac,all    ! alle Reaktionskräfte in O-Datei ausgeben
end
```

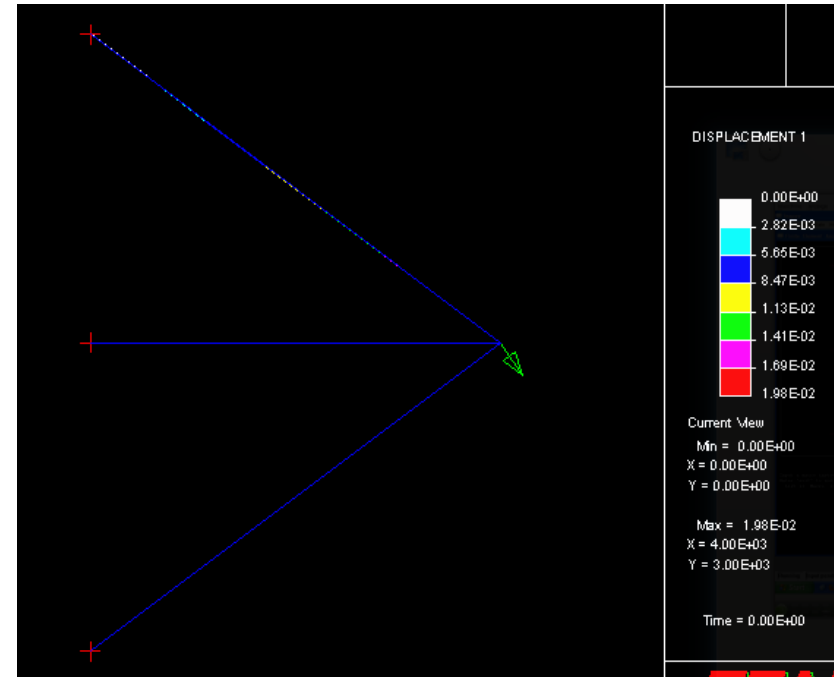
Postprozess (1)

Graphische Darstellung von Ergebnissen im Postprocessor

- Mit dem Befehl `plot` können
 - Knoten
 - Elemente
 - Randbedingungen etc.visualisiert werden
- Anwendung in grafischer Benutzeroberfläche (FEAP-Fenster)

Beispiel:

```
> plot
      > boun      : Randbedingungen
      > stre,1    : Spannung  $\sigma_{11}$ 
      > mesh      : Netz
```



- Alternativ: Batch-Befehle im INPUT-File

Postprozess (2)

Erstellen von Ausdrucken am Bildschirm und in EPS-Dateien über INPUT-File

batch

plot cont	→	contour: farbige Verläufe von Verschiebungen, Spannungen
plot disp	→	Knotenverschiebungen
plot stre	→	Spannungen
plot load	→	Belastung
plot boun	→	Verschiebungsrandbedingungen
plot mesh	→	FE-Netz
plot reac	→	Lagerreaktionskräfte
plot node	→	Knotennummerierung
plot elem	→	Elementnummerierung
plot axis	→	Koordinatenachsen
plot defo	→	Verformte Darstellung
plot clear	→	Bereinigen des Ausgabefensters

end

batch

plot postscript	→	öffnet *.eps Datei
plot mesh	→	erzeugt grafische Ausgabe in *.eps
plot postscript	→	schließt *.eps

end



Literatur

[1] FEAP Anleitung des Fachgebiets in Deutsch

Internetseite Fachgebiet:

Lehre → Praktikum FEM: Berechnung → Praktikum (FEAP)

[2] FEAP User-Manual

<http://www.ce.berkeley.edu/projects/feap/feappv/manual.pdf>

[3] FEAP Theorie-Manual

<http://www.ce.berkeley.edu/projects/feap/theory.pdf>

[4] FEAP Example-Manual

<http://www.ce.berkeley.edu/projects/feap/example.pdf>

