

Zur Ergebnisauswertung bei einer Simulation mit plastischem Material

Problemstellung:

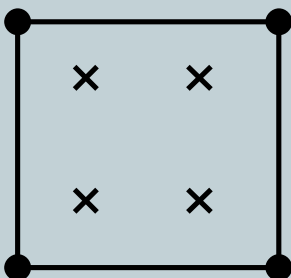
Es wurde eine strukturmechanische Berechnung mit plastischem Materialverhalten durchgeführt. Nun erhält man als Ergebnis eine Vergleichsspannung nach von Mises welche nach der eingegebenen Spannungs-Dehnungs-Charakteristik nicht zulässig ist. Rechnet das Programm falsch ???

Lösung:

Natürlich lautet die Antwort: „Nein. Das Programm rechnet nicht falsch.“ Man muss nur wissen, was bei der Ergebnisdarstellung bei plastischen Analysen im Postprocessing passiert. Dazu hier ein kleiner Exkurs:

In der FEM berechnet man die Steifigkeitsmatrix für Probleme der Strukturmechanik durch Auswertung eines Integrals. Im Computer kann nur numerisch integriert werden, was bedeutet, dass die zu integrierende Funktion nicht wirklich integriert wird, sondern lediglich zunächst an einzelnen Stellen ausgewertet und dann summiert wird. Diese einzelnen Stellen heißen Integrations-Punkte. Wird nach Gauß integriert spricht man auch von Gauß-Punkten.

Bei einem ebenen Vier-Knoten-Element (PLANE42 oder PLANE182) liegen die Integrations-Punkte etwa so, wie hier dargestellt, im Element:



Die Integrations-Punkte X können nicht sichtbar gemacht werden.

Im Bild links ist eine 2X2 Integration angezeigt. Diese ist für unverzerrte Elemente exakt.

Zur Ergebnisauswertung bei einer Simulation mit plastischem Material

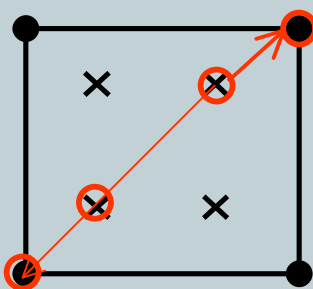
Lösung:

Was hat das Ganze nun mit der Spannungsauswertung von plastischen FE-Berechnungen zu tun?

Nun: Zunächst sollte man wissen, dass jede Ergebnisgröße in der FEM, die mittels einer Ableitung bestimmt wird, immer nur an den Integrations-Punkten berechnet wird. Nur dort liegen also diese Ergebnisse vor. Eine abgeleitete Größe ist etwa die Dehnung oder auch die Spannung.

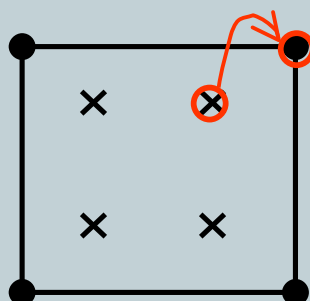
Stellt man nun in ANSYS Classic eine abgeleitete Größe mittels der „Element Solution“ (PLESOL,...) dar, so werden die Ergebnisse der Integrations-Punkte zu den Knoten hin extrapoliert. Dort wird dann aber nicht gemittelt. Folglich wird die Unstetigkeit von Spannungen und Dehnungen sichtbar, was streng nach FEM-Theorie auch korrekt ist.

Der Unterschied zur „Nodal Solution“ (PLNSOL,...) ist der, dass die nun vorliegenden Ergebnisse an den Knoten noch gemittelt werden. Dadurch geht die Unstetigkeit verloren. Streng nach FEM-Theorie ist diese Darstellung falsch und sollte erst nach einer Auswertung der „Element Solution“ veröffentlicht werden.



Worin besteht nun der Unterschied zwischen einer elastischen und plastischen Berechnung?

Sind *alle Integrations-Punkte elastisch*, so werden Ergebnisse an den Knoten durch eine *Extrapolation* der Werte, die an den Integrations-Punkten berechnet worden sind, ermittelt (oberes Bild).

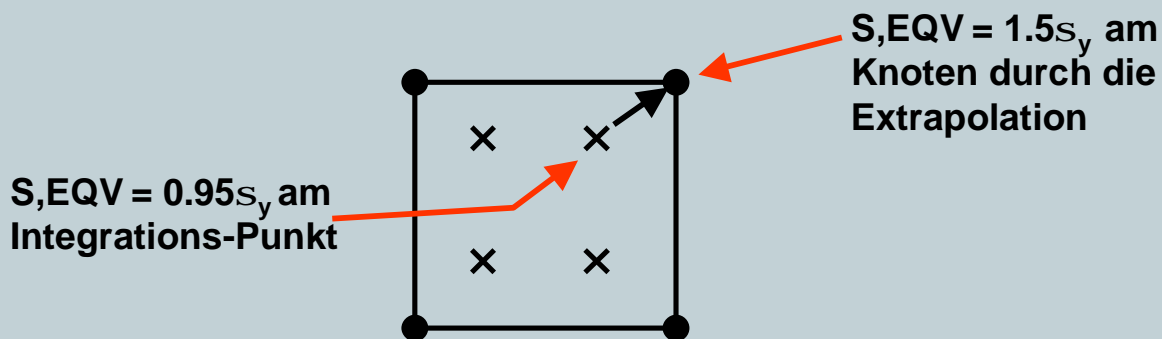


Sobald *ein Integrations-Punkt plastisch* wird, werden zu allen Knoten die Werte der Integrationspunkte *kopiert*, eine Extrapolation entfällt (unteres Bild).

Zur Ergebnisauswertung bei einer Simulation mit plastischem Material

Lösung:

Daraus nun folgt unmittelbar folgende Erkenntnis: Wenn jemand höhere Spannungen nach von Mises im Ergebnisplot findet als in der Spannungs-Dehnungs-Kurve eingegeben, so kann das betreffende Element allenfalls im elastischen Zustand sein, denn wenn es wirklich plastisch wäre, müsste ja das korrekte Ergebnis am Integrationspunkt zum Knoten kopiert worden sein und das Ergebnis dann stimmen. Bei Elastizität kann dagegen folgendes passieren:



Man sieht das die Vergleichsspannung (PLESOL,S,EQV) durch eine Extrapolation im elastischen Fall also durchaus einen Wert annehmen kann, der über der eingegebenen Spannung liegt.

Der einfachste Check wäre also im Falle von zu großen Spannungen, dass man sich einfach eine plastische Dehnung (PLESOL,NL,EPEQ) anschaut. Diese sollte dann nämlich im Modellfall komplett Null sein. Damit ist dann der Fall klar und kann dann kommentiert werden.

Eine zweite Möglichkeit bietet das Kommando ERESX,NO. Der Befehl, der vor dem Lösen (SOLVE) einzugeben ist, bewirkt, dass Ergebnisse immer von den Integrationspunkten zu den Knoten kopiert werden, also auch bei Elastizität. Da eine Extrapolation also nicht mehr stattfindet, kann auch keine Spannung mehr größer als die eingegebene sein.

Zur Ergebnisauswertung bei einer Simulation mit plastischem Material

Beispiel:

Beispiel in ANSYS Workbench (aus CADFEM Nichtlinearitäten Seminar):

Structural Steel - Bilinear Isotropic Hardening

Property	Value
Yield Strength MPa	200
Tangent Modulus MPa	0

Fließspannung 200 MPa

Equivalent (von-Mises) Stress MPa

Max: 2.048e+002
Min: 4.299e-004
2006/3/6 09:25

204,769

187,391

159,265

136,513

113,761

91,009

68,257

45,504

22,752

0,000

Equivalent (von-Mises) Stress MPa

Max: 1.874e+002
Min: 1.365e-004
2006/3/6 09:27

187,391

166,570

145,749

124,928

104,106

83,285

62,464

41,643

20,821

0,000

Model - ERESX,NO

- Geometry
- Mesh
- Environment
 - Fixed Support
 - Frictionless Support
 - Moment
 - Commands → ERESX,NO
- Solution
 - Solution Information
 - Total Deformation
 - Equivalent Stress