

Themenübersicht März 2005

Ausgabe: 03 / 2005

- Nice to know
- Spotweld – Netzunabhängiger Schweißpunkt
- Gleichungslöser in ANSYS/ Workbench: Sparse Solver
- Einführung in die Mechanik
Teil 4: Kinematik (4)

- **Wichtige Termine rund um CADFEM**

- **Unter anderem in der nächsten Ausgabe:**

Berechnung des Wärmeübergangs in CFX 5.7.1

In eigener Sache:

Die Zusendung dieser Informationen erfolgt ausschließlich auf Wunsch des Empfängers und kann jederzeit unter www.cadfem.de beendet werden.

Wenngleich die vorliegenden Informationen mit größter Sorgfalt erstellt worden sind, weisen wir darauf hin, dass die Verwendung dieser unter Ausschluss jeglicher Gewährleistung erfolgt.

Impressum: CAD-FEM GmbH
Marktplatz 2
85567 Grafing b. München

Ansprechpartner:
Marc Vidal
mvidal@cadfem.de

Nice to know

ANSYS / Workbench

• Service Packs

Auf dem Customer Portal von ANSYS (www1.ansys.com/customer) sind die Service Packs für die aktuelle Produktreihe verfügbar.

ANSYS 9.0

Workbench 9.0

CFX 5.7.1

ICEM 5.1

Paramesh 3.0

Bitte beachten Sie unsere Hinweise zur Anmeldung auf dem Portal in der Januar 2005 Ausgabe unseres Newsletters.

http://www.cadfem.de/fileadmin/files/9_service_newsletter/2005/0501/Newsletter_01_2005.pdf

Achtung:

Da in Workbench sehr viele technische Neuerungen enthalten sind hat sich ANSYS entschieden eine Mixinstallation zu vermeiden. Der Service Pack ist eine Neuinstallation!

Workbench muss zuerst deinstalliert werden.

Danach ist das Service Pack zu installieren.

Auch das klassische ANSYS ist eine Neuinstallation. Dabei muss aber die Originalversion nicht deinstalliert werden.

Nice to know

ANSYS / Workbench

● Restart

- Macht man einen Restart innerhalb eines Loadsteps an dessen Anfang Lasten gelöscht worden sind, so muß man beim Restart diese Lasten nochmals löschen.
- Wird kein RESCONTROL gesetzt, kann bei einem kontrolliertem Abbruch der Berechnung (Stop Knopf) auf dem letzten Substep aufgesetzt werden. Wird der Lösungsprozess während der Berchnung unerwartet gekillt, so ist nur noch ein Einstieg beim letzten Lastschritt möglich.

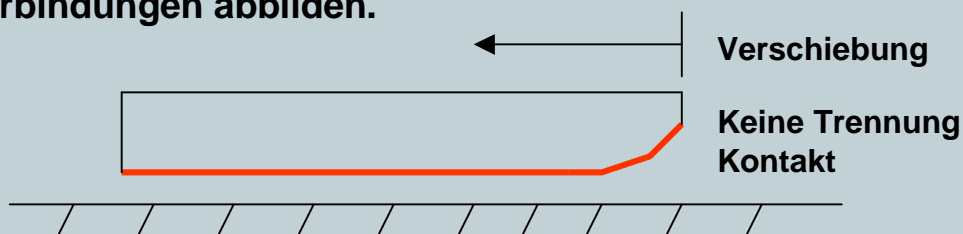
● Einflussfläche auf Knoten

ARNODE(Knotennummer) gibt die Fläche an, die dem Knoten von den umliegenden Elementen bei Aufbringen einer Surface-Last zuordnet ist.

Daraus wird intern die (äquivalente) Last auf den Knoten errechnet. ARFACE(Element) gibt die analog dazu die Fläche der Elementsurface an, auf die eine SFE Last aufgebracht wurde.

● Kontakte

Keine Trennung Kontakte (No separation) können gleitende Verbindungen abbilden.



Falsche Wahl der beteiligten Flächen: Der Bogen verhindert ein Gleiten, da keine Trennung gleichbedeutend ist mit „keine Verformung normal zur Oberfläche“. Der Bogen bewegt sich nicht tangential von seinem Gegenüber weg, sondern normal zur Oberfläche. Bei großen Verformungen bricht die Analyse mit highly distorted elements ab.

Nice to know

ANSYS / Workbench

● Kontakttool Workbench

Im Ergebnisordner Kontakttool können Reaktionskräfte und –momente über die rechte Maustaste eingefügt werden, wenn im Detailfenster als Auswahlmethode „Arbeitsblatt“ angewählt ist.

● Lizenzen

DesignSpace ist kein eigenständiges Produkt sondern eine Lizenzstufe.

Mit jeder Lizenzstufe (Multiphysics, Mechanical, Structural, Professional) kann sowohl die klassische Oberfläche als auch die Workbench Oberfläche betrieben werden.

Mit der DesignSpace Lizenz kann nur die Workbench Oberfläche betrieben werden und ist auf lineare Statik mit Kontakt, Modalanalyse und Eigenwertbeulen beschränkt.

● Winding Tool im DesignModeler

Im Windungseditor gibt es einen kleinen Fehler, der das Laden bereits gespeicherter Windungsschemata verhindert.

Grund ist eine Fehlinterpretation von Punkt und Komma in der deutschen OS-Umgebung.

Workaround: Löschen der Versionsbezeichnung im ASCII File vor dem Einladen.

Nice to know

ANSYS / Workbench

- **Speichereinstellungen für Workbench (Remote)**

Die vom klassischen ANSYS bekannten Speichervariablen `-m` und `-db` können mittel der Variablen `AMK MEMORY` und `AMK DBMEMORY` auch für Workbench gesetzt werden.

`AMK MEMORY` gibt dabei den gesamten für ANSYS reservierten Speicherbereich an. `AMK DBMEMORY` bezeichnet den für die Datenbasis benötigten Anteil des reservierten Speichers.

Diese Variablen können auch für einen Remote Solve verwendet werden und steuern damit den Speicher auf der Remote Maschine!

Die Eingabe der Variablen erfolgt unter Extras > Variablen Manager.

Das Häkchen muss gesetzt sein, damit die Variable benutzt wird.

Wird die Variable gesetzt, wenn bereits ein Modell eingeladen ist, ist eine Neuvernetzung notwendig. (Relevanzschieber um 1 verändern).

- **Materialdatenbank für Workbench**

Sie finden eine Materialdatenbank, die Sie auf der Seite der technischen Daten über den Importknopf einladen können, unter folgendem Link:

http://www.cadfem.de/fileadmin/files/9_service_newsletter/2005/0503/MaterialDB.zip

Nice to know

ANSYS / Workbench

- **Harmonische Analyse in Workbench**

In der Harmonischen Analyse in Workbench sollte der Frequenzbereich von unten her nicht beschränkt werden.

Bei der Verwendung der modalen Superposition werden fälschlicherweise entsprechend dem eingeschränkten Frequenzbereich auch die Grundmoden missachtet.

Workaround: Den Frequenzbereich nur nach oben begrenzen. Die untere Grenze sollte auf 0Hz bleiben.

Dieser Fehler ist für die Version 10.0 gelöst.

Nice to know

Ausgabe: 03 / 2005

ANSYS / Workbench

• Materialdatenbank aus vor 9.0 Daten erzeugen

Bis 9.0 wurde beim Speichern von Materialien für jedes Material eine eigene .xml Datei geschrieben.

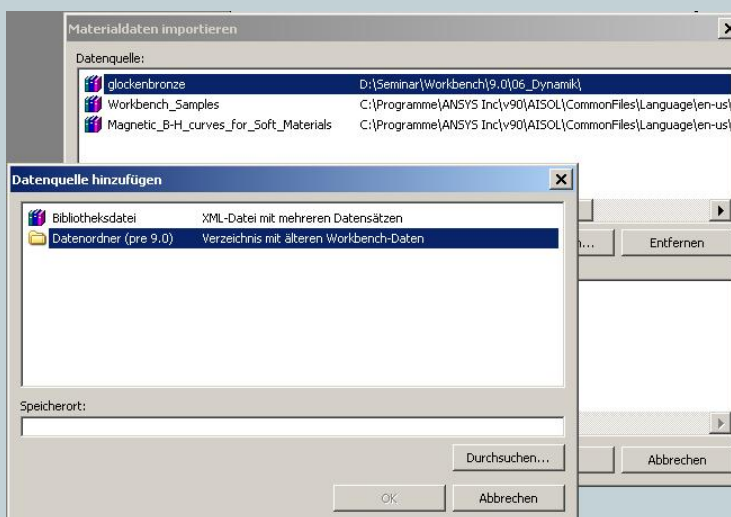
Ab 9.0 werden mehrere Materialien in einer Bibliotheksdatei (ebenfalls .xml) abgelegt.

Konvertierung vor 9.0 -> 9.0:

- Materialienmaske öffnen
- Rechte Mausmenü des Ordners Material: Importieren



- Hinzufügen anwählen und Ordner mit Materialdaten angeben



- Die Materialien können durch Anklicken der Häkchen in den Projektbaum übernommen werden. Über das Rechte Mausmenü kann dann ein Export in eine .xml Bibliothek vorgenommen werden.

Spotweld – Netzunabhängiger Schweißpunkt

Problem:

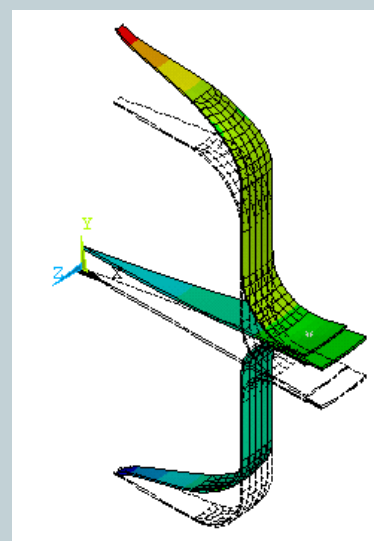
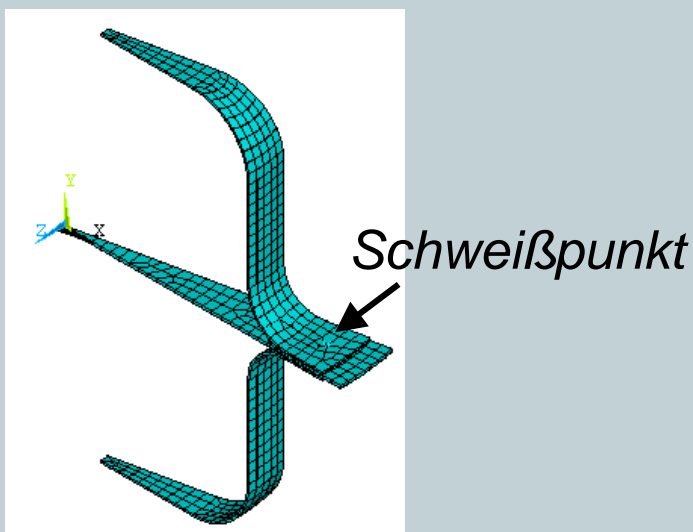
Oft sind zwei Körper an einer Stelle mit einem Schweißpunkt zu verbinden, an der keine Knoten direkt vorliegen oder die Netze stark unterschiedlich sind.

Lösung:

Um dies zu realisieren, können seit ANSYS 9.0 Spot Weld Elemente generiert werden.

Ein solcher Schweißpunkt kann an jedem beliebigen Ort definiert werden, um mehrere Körper miteinander zu verbinden – unabhängig vom Netz. Der Schweißpunkt wird über die zu verbindenden Flächen definiert und einem Spot Weld Knoten, der nahe bei diesen Flächen liegt. Dieser Knoten gibt den Ort der Schweißverbindung an.

Bei der Realisation des Spot Welds wird der Einfluss des 'Schweißpunktradius' berücksichtigt. Es werden RBE3 Elemente (MPCs) als Kontaktpaar an beiden zu verbindenden Flächen generiert. Der Radius gibt den Bereich der Kraftverteilung an. Um die Flächen zu verbinden, wird ein Balkenelement generiert. Man kann zwischen starrem (MPC) und verformbarem (BEAM) Verhalten der Schweißverbindung wählen.



Spotweld – Netzunabhängiger Schweißpunkt

Der Schweißpunkt wird mit:

SWGEN, *Ecomp, SWRD, NCM1, NCM2, SND1, SND2, SHRD, DIRX, DIRY, DIRZ, ITTY, ICTY*

erzeugt.

- Ecomp ist der Name, den die Element-Komponente, die vom Kommando erzeugt wird, erhält.
- SWRD ist der Spot Weld Ra-dius.
- NCM1 ist der Name der Komponente, die die beteiligten Knoten der 1. Fläche, NCM2 der Name der Komponente der beteiligten Knoten der 2. Fläche beinhaltet. Statt Komponenten können auch die Nummern der unterliegenden Flächen angegeben werden.
- SND1 und SND2 geben die Knotennummern auf der 1. bzw. 2. Fläche an, die für den Verbindungsbalken verwendet werden. Wird der SND2 nicht angegeben, erzeugt ANSYS automatisch diesen Knoten.

```
finish
/clear                                I,9,10
                                        I,10,11
                                        k,12,0,10,0
                                        lsel,s,line,,6,7
                                        arotat,all,,,,,9,12,12,1
                                        lsel,s,line,,1,5
                                        arotat,all,,,,,9,12,12,1
                                        areverse,1
                                        areverse,2
                                        asel,s,area,,3,7
                                        arsym,y,all, , , ,0,0
                                        allsel

/prepare
k,1,2,10,0                            !!! Schweißpunkt-Ort über Hardpoint
k,2,10,10,0                            hptcreate,area,7,0,coord,12.9,0.15,-1.36
k,3,10,0.15,0
k,4,14,0.15,0
l,1,2
l,2,3
l,3,4
lfillt,1,2,3
lfillt,2,3,2
k,9,0,0,0
k,10,11,0,0
k,11,15,0,0
```

Spotweld – Netzunabhängiger Schweißpunkt

Ausgabe: 03 / 2005

```
et,1,181
r,1,0.15
r,2,0.10
mp,ex,1,30e6
mp,prxy,1,0.3
esize,0.5
real,1
amesh,1
amesh,2
real,2
asel,s,area,,3,12
amesh,all
!!! Randbedingungen
lsel,s,line,,1,9
lsel,a,line,,12,17
lsel,a,line,,26,38,3
lsel,a,line,,24,36,3
nsl,s,1
wpstyle,0.05,0.1,-1,1,0.003,0,0,,5
wprota,,-90.000000
wpstyle,,,,,,,,,0
cswpla,11,1,1,1,1,
csys,11
nrotat,all
d,all,uy,0
d,all,rotx,0
csys,0
lsel,s,line,,23
nsl,s,1
d,all,uz,0
lsel,s,line,,17
nsl,s,1
d,all,uz,4
```

```
allsel
/view,1,1,1,1
/eshape,1
eplot
```

!!! Knotennummer Hard-Point-Knoten

```
ksel,s,kp,,33
nslk,s,1
*get,sw_node,node,,num,max
```

!!! Schweißpunkt-Erzeugung

```
swgen,sweld1,0.50,7,2,sw_node
swadd,sweld1,,12
```

```
/solu
nlgeom,on
time,4
autots,on
nsubst,10,25,5
outres,all,all
allsel
solve
finish
```

```
/post1
/dscale,1,1
plnsol,u,sum,2,1
andata,0.5,,2,1,7,1,0,1
```

FW

Gleichungslöser in ANSYS / Workbench

Ausgabe: 03 / 2005

Problem:

Nachdem in den vergangenen Jahren, vor allem durch ANSYS/Workbench, die Modellierung strukturmechanischer und thermischer Simulationsaufgaben vereinfacht wurde, wird die Gleichungslösung mehr und mehr zum bestimmenden Faktor der Bearbeitungszeit einer Berechnungsaufgabe. Häufig liefert vor allem Workbench mit den Standardeinstellungen zur Lösung Berechnungsergebnisse die hinsichtlich der Lösungszeit ggf. noch Optimierungspotenzial aufweisen.

In diesem ersten Artikel versuchen wir die Eigenschaften des Sparse Matrix Gleichungslöser gegenüber iterativen Lösern darzustellen und geben Hinweise für praktische Anwendungen.

Erläuterung:

Grundlegend setzt sich der Prozess der Gleichungslösung aus folgenden Schritten zusammen (Abbildung links):



Das im rechten Teil der Abbildung gezeigte Schema skizziert die zur Verfügung stehenden Löser in ANSYS (der FRONTAL Solver wurde hierbei vernachlässigt). Mit Ausnahme des DDS Solvers verwenden alle das bereits in 7.1 eingeführte Symbolic Assembly.

Abgesehen von den speziellen Lösungen im Rahmen der Parallelisierung werden vom Anwender in ANSYS und Workbench in erster Linie entweder der Sparse Matrix Solver – oder der PCG Solver verwendet:

Methoden zur Lösung $Kx=b$

Direkte Löser:

Sparse Solver

1. Faktorisierung

$$K = LDL^T$$

2. Lösung

$$Lz = b$$

$$z' = D^{-1}z$$

$$L^T x = z'$$

Bestimme L

Löse triang. System

Iterative Löser:

PCG Solver

1. Definition Startvektor x^0

2. Iteration

$$x^{k+1} = Px^k + c$$

bis

$$\|Kx^{k+1} - b\| \leq Tol$$

Bestimme Produkt Kx

Update des Vektors

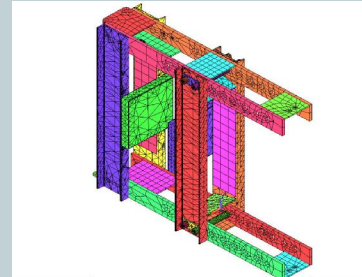
Gleichungslöser in ANSYS / Workbench

Ausgabe: 03 / 2005

Sparse Matrix Solver:

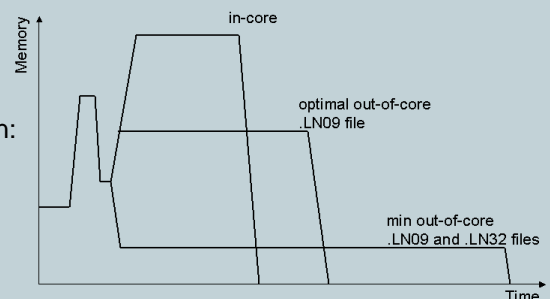
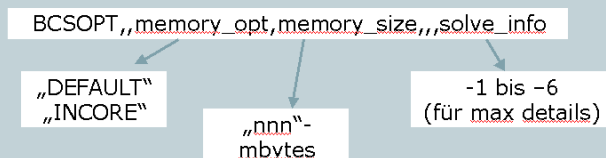
Dieser direkte Gleichungslöser (der für die meisten Anwendungen in ANSYS und Workbench Standard ist) zeichnet sich durch folgende Eigenschaften aus:

- unterstützt reelle, komplexe und symmetrische als auch unsymmetrische Matrizen
- geeignet für positive definite und indefinite Problemstellungen
- unterstützt Block Lanczos Eigensolver
- verwendbar für Generation-, Use- und Expansionpass
- anwendbar für alle Feldaufgaben (auser CFX)
- geeignet für Aufgaben mit aktiver mixed U-P Formulierung (Lagrange Elemente)
- verfügt über pivoting (partial) zur Stabilisierung schlecht konditionierter Probleme



Der Solver kann in 3 verschiedenen Betriebsmodi arbeiten, die nach verfügbarem Hauptspeicher ansprechbar sind (von ANSYS gewählt).

Zur Bestimmung des verwendbaren Speichers (zur späteren Anpassung) kann der ANSYS-Solver mit folgendem Kommando im BATCH-Mode gestartet werden:



Anpassungen hinsichtlich der Speichereinstellungen sind insofern notwendig, als dass der Solver zwar das „Dynamic memory“ (Dynamische Speicheradressierung) unterstützt – Faktorisierung und Lösung aber **UNFRAGMENTIERTE SPEICHERBEREICHE** brauchen. Da diese beiden Speichergrößen mittels BCSOPT nach einer ersten Berechnung bekannt sind – kann der Anwender diesen Speicher erweitert um den Databasebereich zum Start angeben – und damit ggf. „incore“ rechnen.

Speicherkonfiguration:

Zur Einstellung des für den Sparse Matrix Solver verfügbaren Speichers in ANSYS können die Settings im Launcher oder aber die Optionen (-m und -db) beim Kommandozeilenstart verwendet werden.

Diese Einstellungen haben **KEINEN** Einfluss auf die Bearbeitung mit ANSYS/Workbench!

Gleichungslöser in ANSYS / Workbench

Sparse Matrix Solver:

Ursache dafür ist die Standardoption der programmgestützten Auswahl des Gleichungslösers wobei Workbench zwischen direktem (Sparse Matrix) und iterativem Gleichungslöser (PCG) wählt.

Die Auswahl des Gleichungslösers wird die „Dicke“ des Modells herangezogen. Wenn also bei einem Modell die Mehrzahl der Elemente – Knoten an der Oberfläche ausweist, dann wird der Sparse Matrix Solver ausgewählt. Alternativ dazu wird der PCG Solver gestartet, wenn es eine dominierende Anzahl von Elementen im inneren der modellierten Struktur gibt. Diese Auswahl wird den Stärken der beiden Gleichungslöser gerecht.

Für die Speichereinstellungen in Workbench werden dann folgende Einstellungen verwendet:

- 1) Databasebereich (-db) entsprechend der Knotenanzahl im Modell (mindestens 32 Mb)
- 2) Workspacebereich (-m) entsprechend Databasebereich plus 50 Mb

Insbesondere dieser 2. Wert (Workspace) kann bei grösseren Modellen zu unzureichendem Speicher für den Sparse Matrix Solver führen, da dieser im Unterschied zum PCG ja nicht durchgängig mit der dynamischen Speicherverwaltung arbeiten kann.

Erfahrene Anwender können diese automatisch vom Programm gewählten Werte überschreiben, indem 2 Umgebungsvariablen in Workbench definiert werden:

- 1) „AMK DBMEMORY“ zur Definition des Databasebereiches
- 2) „AMK MEMORY“ zur Definition des Workspacebereiches

Vorraussetzung für eine entsprechend sinnvolle Anpassung ist jedoch die Verfügbarkeit von RAM und dessen Unterstützung vom Betriebssystem.

Zur weiteren Beschleunigung können folgende Hinweise dienen:

- vermeide small / negative Pivots (Kontrolle des Modells bzgl. Starrkörperbewegungen oder „weicher Anbindung“) ggf. pivoting ausschalten eqsl,sparse,-1
- reduziere die Anzahl der CP/CE um den Speicherbedarf zu verringern
- Starte grosse Jobs mit wenig Database Speicher (-db in ANSYS)

Dank dieser Eigenschaften ist der Solver besonders auch für Schalenmodelle und kleine und mittlere nichtlineare Aufgaben geeignet.

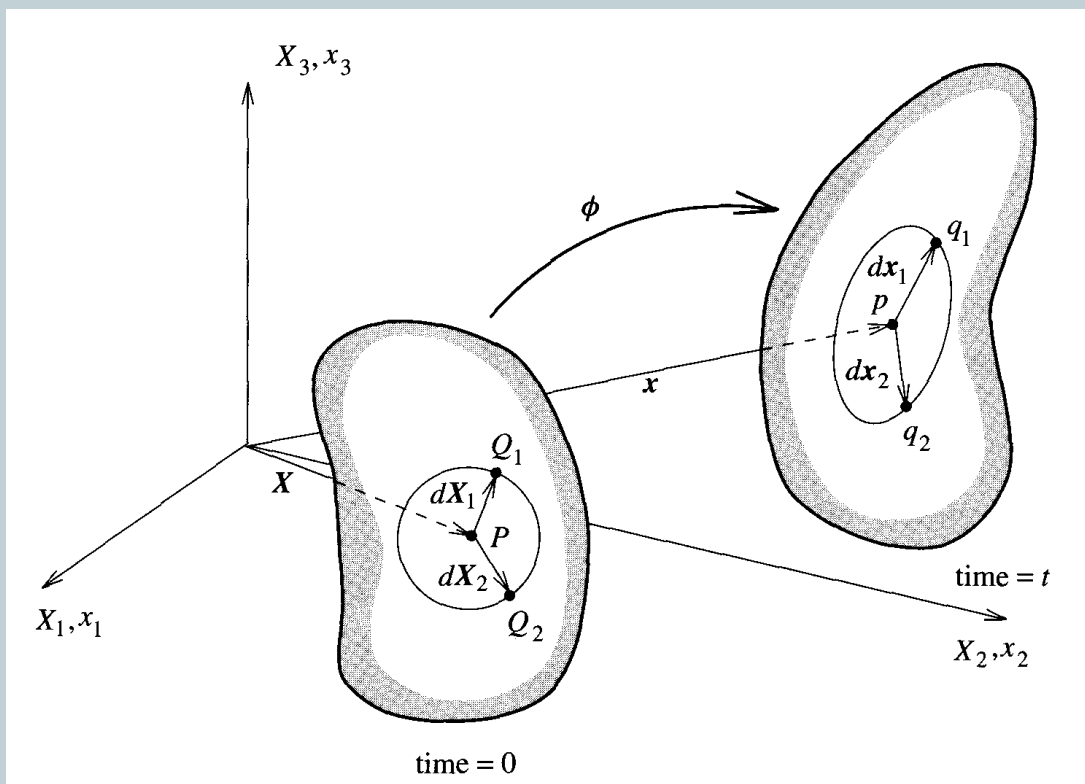
(JO)

Einführung in die Mechanik Teil 4: Kinematik (4)

Ausgabe: 03 / 2005

Im letzten Teil der Serie wurde bereits die Bereitstellung von Verzerrungstensoren angekündigt. Wie das Wort bereits impliziert muss ein Maß gefunden werden, das die Deformation des Kontinuums beschreibt.

Dies klingt zunächst zwar trivial, beinhaltet aber z.B. auch die Forderung, dass ein solches Maß **keine** Starrkörperanteile beinhalten darf. Was dies genau bedeutet werden wir im Laufe der Serie noch kennen lernen. Betrachten wir die Linienelemente in der Referenz- und Momentankonfiguration:



Für diese gilt:

$$d\mathbf{x}_1 = \mathbf{F}d\mathbf{X}_1 \quad \text{und} \quad d\mathbf{x}_2 = \mathbf{F}d\mathbf{X}_2$$

Einführung in die Mechanik Teil 4: Kinematik (4)

Ausgabe: 03 / 2005

Eine Deformation beinhaltet 2 Anteile: Eine Streckung des Linienelementes und eine mögliche Winkeländerung zwischen den Linienelementen. Für **beides** beinhaltet das Skalarprodukt der Linienelemente entsprechende Informationen:

$$d\mathbf{x}_1 \bullet d\mathbf{x}_2 = |d\mathbf{x}_1| |d\mathbf{x}_2| \cos(d\mathbf{x}_1, d\mathbf{x}_2)$$

Nun werden die zuvor definierten Abbildungsgleichungen für beide Linienelemente eingesetzt:

$$\begin{aligned} d\mathbf{x}_1 \bullet d\mathbf{x}_2 &= d\mathbf{X}_1 \bullet \mathbf{F}^T \mathbf{F} d\mathbf{X}_2 = d\mathbf{X}_1 \bullet \mathbf{C} d\mathbf{X}_2 \\ &\Rightarrow \quad \mathbf{C} = \mathbf{F}^T \mathbf{F} \end{aligned}$$

Hierzu drei Anmerkungen:

1. **C** ist ein weiterer, fundamentaler Tensor in der Kontinuumsmechanik. Er heißt "rechter Cauchy-Green Tensor". Rechts deshalb, weil **F** rechts von **F^T** steht.
2. Um das Skalarprodukt bilden zu können schreibt man:

$$d\mathbf{x}_1 = \mathbf{F} d\mathbf{X}_1 = d\mathbf{X}_1^T \mathbf{F}^T = d\mathbf{X}_1 \mathbf{F}^T$$

Dabei gilt für die Transposition eines Vektors schlicht:

$$d\mathbf{X}_1 = \begin{bmatrix} dX_1^1 \\ dX_1^2 \\ dX_1^3 \end{bmatrix} \Rightarrow d\mathbf{X}_1^T = [dX_1^1 \quad dX_1^2 \quad dX_1^3]$$

Das Transpositionssymbol wird dabei meist weggelassen.

3. Der rechte Cauchy-Green Tensor hat als Bezug die Referenzkonfiguration. Dies erkennt man daran, dass dieser mit den Linienelementen der Referenzkonfiguration multipliziert wird.

Einführung in die Mechanik Teil 4: Kinematik (4)

Ausgabe: 03 / 2005

Genau so kann natürlich das Skalarprodukt der Linienelemente in der Referenzkonfiguration durch die Linienelemente in der Momentankonfiguration ausgedrückt werden:

$$d\mathbf{X}_1 = \mathbf{F}^{-1} d\mathbf{x}_1 \quad \text{und} \quad d\mathbf{X}_2 = \mathbf{F}^{-1} d\mathbf{x}_2$$

Bevor wir nun fortfahren drei Rechenregeln zur Tensorrechnung:

1. $(\mathbf{A}^{-1})^T = (\mathbf{A}^T)^{-1} = \mathbf{A}^{-T}$
2. $(\mathbf{AB})^{-1} = \mathbf{B}^{-1} \mathbf{A}^{-1}$
3. $(\mathbf{AB})^T = \mathbf{B}^T \mathbf{A}^T$

In Worten: Die Reihenfolge Inversenbildung \mathbf{B}^{-1} \rightarrow Transposition ist vertauschbar. Deshalb auch die abkürzende Schreibweise $(-T)$. Die Inverse (Transposition) eines Tensorproduktes erhält man durch Invertierung (Transposition) der einzelnen Tensoren **und** Vertauschen der Reihenfolge.

Mit diesem Rüstzeug erhalten wir:

$$d\mathbf{X}_1 \bullet d\mathbf{X}_2 = |d\mathbf{X}_1| |d\mathbf{X}_2| \cos(d\mathbf{X}_1, d\mathbf{X}_2)$$

$$d\mathbf{X}_1 \bullet d\mathbf{X}_2 = d\mathbf{x}_1 \bullet \mathbf{F}^{-T} \mathbf{F}^{-1} d\mathbf{x}_2 = d\mathbf{x}_1 \bullet \mathbf{b}^{-1} d\mathbf{x}_2$$

$$\Rightarrow \mathbf{b}^{-1} = \mathbf{F}^{-T} \mathbf{F}^{-1} \quad \Rightarrow \quad \mathbf{b} = \mathbf{F} \mathbf{F}^T$$

b ist ein weiterer wichtiger Tensor in der Kontinuumsmechanik. Er heißt „linker Cauchy-Green Tensor“. Richtig: **F** steht nun auf der linken Seite!

Einführung in die Mechanik Teil 4: Kinematik (4)

Ausgabe: 03 / 2005

Nun aber genug der Vorarbeit. Wir kommen zurück zum eigentlichen Vorhaben: Der Definition von Verzerrungen. Wie wir schon festgestellt hatten eignet sich das Skalarprodukt hierfür. Um nun die Deformation zu beschreiben, bilden wir einfach die Differenz der Skalarprodukte:

$$d\mathbf{x}_1 \cdot d\mathbf{x}_2 - d\mathbf{X}_1 \cdot d\mathbf{X}_2 := d\mathbf{X}_1 \cdot 2\mathbf{E}d\mathbf{X}_2$$

$$\Rightarrow \quad \mathbf{E} = \frac{1}{2}(\mathbf{F}^T \mathbf{F} - \mathbf{1}) = \frac{1}{2}(\mathbf{C} - \mathbf{1})$$

\mathbf{E} definiert den sog. „Green-Lagrangeschen Verzerrungs-tensor“. Er ist, wie \mathbf{C} , auf die Referenzkonfiguration bezogen (Multiplikation mit den Linienelementen der Referenzkonfiguration). Bevor wir nun fortfahren andere Größen einzuführen, wollen wir uns \mathbf{E} noch etwas näher anschauen und versuchen „Ihn“ zu deuten:

1. $d\mathbf{X}_1 = d\mathbf{X}_2 = d\mathbf{X}$

Die linke Seite in obiger Gleichung ist dann nichts anderes als die Differenz der Beträge (quadriert) des Linienelementes (Skalarprodukt!). Damit gilt:

$$d\mathbf{x} \cdot d\mathbf{x} = ds^2 \quad ; \quad d\mathbf{X} \cdot d\mathbf{X} = dS^2$$

$$\frac{1}{2}(ds^2 - dS^2) = d\mathbf{X} \cdot \mathbf{E}d\mathbf{X}$$

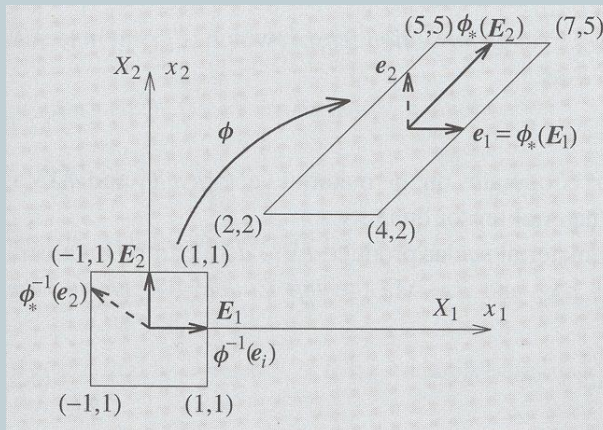
$$\Rightarrow \frac{1}{2} \left(\frac{ds^2 - dS^2}{dS^2} \right) = \frac{1}{2}(I^2 - 1) = \frac{d\mathbf{X}}{dS} \cdot \mathbf{E} \frac{d\mathbf{X}}{dS} = \mathbf{N} \cdot \mathbf{E}\mathbf{N}$$

$\lambda = ds/dS$ ist dabei die sog. **Streckung** und gibt das Verhältnis der Länge von Linienelementen vor und nach der Definition an. Man erhält diese nach obiger Gleichung durch Multiplikation mit der normierten, beliebigen Richtung \mathbf{N} ($|\mathbf{N}|=1$) und dem Verzerrungstensor.

Einführung in die Mechanik Teil 4: Kinematik (4)

Ausgabe: 03 / 2005

Beispiel: Wir verwenden das Beispiel aus Teil 3:



$$\mathbf{F} = \begin{pmatrix} 1 & 1,5 & 0 \\ 0 & 1,5 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Als Linienelement verwenden wir die X_2 -Richtung:

$$d\mathbf{X} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \mathbf{N} \quad ; \quad |\mathbf{N}| = 1$$

$$\Rightarrow d\mathbf{x} = \mathbf{F}d\mathbf{X} = \begin{pmatrix} 1 & 1,5 & 0 \\ 0 & 1,5 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,5 \\ 1,5 \\ 0 \end{bmatrix} \Rightarrow |d\mathbf{x}| = \frac{\sqrt{18}}{2}$$

$$\Rightarrow I = \frac{\frac{1}{2}\sqrt{18}}{1} = \frac{\sqrt{18}}{2} \Rightarrow \frac{1}{2}(I^2 - 1) = \frac{7}{4}$$

$$\mathbf{E} = \frac{1}{2} \left[\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1,5 & 1,5 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 1,5 & 0 \\ 0 & 1,5 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \right] = \frac{1}{4} \begin{pmatrix} 0 & 3 & 0 \\ 3 & 7 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\Rightarrow \mathbf{N} \bullet \mathbf{E} \mathbf{N} = [0 \quad 1 \quad 0] \frac{1}{4} \begin{pmatrix} 0 & 3 & 0 \\ 3 & 7 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{7}{4} \text{ !!!!!!!}$$

Einführung in die Mechanik Teil 4: Kinematik (4)

Ausgabe: 03 / 2005

Nun soll noch untersucht werden, welches Verzerrungsmaß sich unter der Annahme **kleiner** Dehnungen (also $ds \rightarrow dS$) ergibt. Dafür wird die linke Seite der Definition etwas umgeschrieben:

$$\frac{1}{2} \left(\frac{ds^2 - dS^2}{dS^2} \right) = \frac{1}{2} \left(\frac{(ds - dS)(ds + dS)}{dS^2} \right) \approx \frac{1}{2} \left(\frac{(ds - dS)2dS}{dS^2} \right) = \frac{(ds - dS)}{dS}$$

Hier wurde die Approximation $ds \approx dS$ verwendet. Der Ausdruck ganz rechts ist nicht anderes als die bekannte **Ingenieurdehnung** Δ/l . D.h. die Green-Lagrangeschen Verzerrungen gehen bei kleinen Deformationen in die Ingenieurdehnungen über. Das ist im Übrigen eine wesentliche Voraussetzung für die Definition von Verzerrungsmaßen!

Nachdem wir nun die Steckungen näher untersucht haben, werden wir im nächsten Teil der Serie noch die Gleitungen betrachten.

Außerdem ist es für eine weitergehende Betrachtung notwendig, Tensoren in Ihren Hauptachsen darzustellen. Dem gemäß wird diese Art der Transformation im nächsten Teil den Schwerpunkt bilden.

(AF)

Termine rund um CADFEM

Seminartermine

- **Update ANSYS 9.0**

Diese Kurse bringen Sie up to date. In kompakter Form stellen wir Ihnen die neuen Features vor und erläutern Ihnen anhand praktischer Beispiele deren Anwendung.

23.03.2005	Grafring
15.04.2005	Leinfelden-E.
21.04.2005	Liederbach/Frankfurt

- **Umsteigerkurs ANSYS Workbench**

Der Umsteigerkurs richtet sich an alle Anwender, die bislang mit der klassischen Oberfläche gearbeitet haben und nun die Vorteile von ANSYS Workbench für sich nutzen wollen.

30.06. – 01.07.2005	Leinfelden-Echterdingen
08.09. – 09.09.2005	Grafring

- **ANSYS DesignModeler**

Der ADM ermöglicht dem Berechnungsingenieur CAD-Daten für die Berechnung aufzubereiten oder, falls keine CAD-Daten existieren, das Berechnungsmodell vollständig selbst zu erstellen.

28.06. – 29.06.2005	Leinfelden-Echterdingen
06.09. – 07.09.2005	Grafring

Dieser Kurs ist kombinierbar mit dem Umsteigerkurs ANSYS Workbench