

Übung 7 – Benutzerdefiniertes Materialmodell

Achtung: Die Übung erfordert die Installation und Einrichtung eines Fortran-Compilers. Es wird daher empfohlen Aufgaben b) bis d) im KM-Pool zu bearbeiten.

[UMAT, Kapitel 1.1.40 User Subroutines Reference Manual]

ABAQUS bietet eine Schnittstelle, die es dem Benutzer erlaubt, ein eigenes Materialgesetz als Subroutine mit dem Namen `UMAT`¹ in der Programmiersprache Fortran90 zu definieren. Bei der Lösung eines Randwertproblems wird diese Subroutine an jedem Integrationspunkt, in jedem Zeit- und Iterationsschritt ausgewertet, was die Forderung nach einem numerisch möglichst effizienten Code mit sich bringt. Über die UMAT-Schnittstelle werden die Zustandsvariablen zu Beginn eines Zeitschritts zusammen mit dem Dehnungs- und Zeitinkrement übergeben und damit die Zustandsvariablen am Ende des Zeitschritts berechnet (siehe Abb. 1).

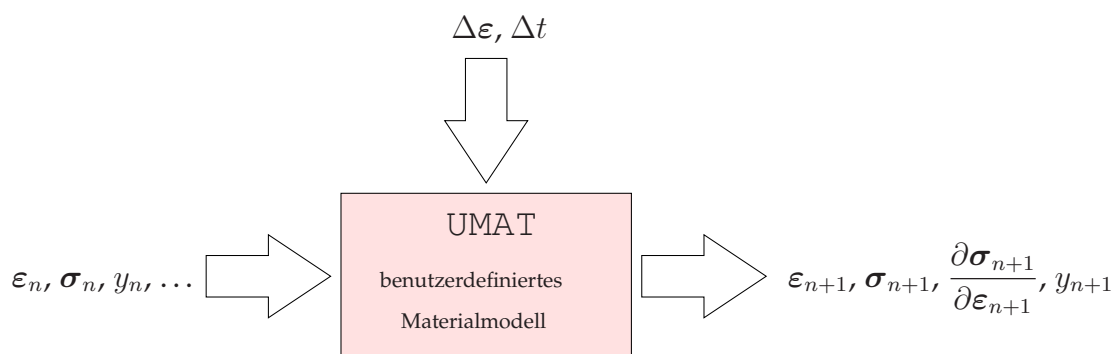


Abbildung 1: Update der Zustandsvariablen

Definition des Materialmodells in ABAQUS CAE

Um ein benutzerdefiniertes Materialmodell zu verwenden, wird wie bisher im *Property*-Modul ein Material erzeugt. Über die Option `General` → `User Material` wird dann das in der UMAT-Subroutine definierte Materialmodell aufgerufen. Die Materialkonstanten (z.B. E-Modul, Poissonzahl, ...) lassen sich hier unter *Mechanical Constants* auflisten, und werden als Feld `PROPS` an die UMAT übergeben.

Zusätzlich ist es möglich über die Option `General` → `Depvar` benutzerdefinierte Zustandsvariablen (*solution dependent state variables*) zu verwenden, die z.B. bei einem plastischen Materialmodell zum Abspeichern der Verfestigungsvariablen (y in Abb. 1) benötigt werden. Lediglich die Anzahl der Zustandsvariablen muss hier angegeben werden. Sie werden in ABAQUS

¹`user material`

mit SDV abgekürzt² und an die UMAT als Variablenfeld STATEV übergeben.

Beim Editieren eines Jobs muss der (relative oder absolute) Verzeichnispfad der verwendeten User-Subroutine unter General > user-subroutine file angegeben werden. Wird der Job über die Kommandozeile gestartet, lautet der entsprechende Befehl

```
abq614.. job=... user=....
```

UMAT-Subroutine

Das Materialmodell wird in der UMAT-Subroutine unter Verwendung der im ABAQUS-Manual angegebenen Vorlage in Fortran-Syntax mit einer Spaltenbreite von 72 Zeichen programmiert. Die wichtigsten Variablen dieser Schnittstelle sind in der Tabelle 1 angegeben, wobei die angegebenen Output-Variablen die entsprechenden Input-Variablen überschreiben. Zu beachten ist die ABAQUS-Notation von Spannungs-, Dehnungs und Steifigkeitstensor. Nach dieser wird die kontinuumsmechanisch begründete Konstitutivgleichung $\sigma = \mathbb{C}[\varepsilon]$ aufgrund der Symmetrie von Spannungs- und Dehnungstensor durch die kompaktere Form

$$\begin{pmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{33} \\ \sigma_{12} \\ \sigma_{13} \\ \sigma_{23} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} C_{1111} & C_{1122} & C_{1133} & C_{1112} & C_{1113} & C_{1123} \\ C_{2211} & C_{2222} & C_{2233} & C_{2212} & C_{2213} & C_{2223} \\ C_{3311} & C_{3322} & C_{3333} & C_{3312} & C_{3313} & C_{3323} \\ C_{1211} & C_{1222} & C_{1233} & C_{1212} & C_{1213} & C_{1223} \\ C_{1311} & C_{1322} & C_{1333} & C_{1312} & C_{1313} & C_{1323} \\ C_{2311} & C_{2322} & C_{2333} & C_{2312} & C_{2313} & C_{2323} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{22} \\ \varepsilon_{33} \\ 2\varepsilon_{12} \\ 2\varepsilon_{13} \\ 2\varepsilon_{23} \end{pmatrix}$$

beschrieben. Die Variablen STRESS und STRAN bzw. DSTRAN sind also eindimensionale Felder mit 6 Komponenten und die Steifigkeitsmatrix DDSDDDE ist ein zweidimensionales Array mit 6×6 Komponenten (erster Index Zeile, zweiter Index Spalte). Beachten Sie die verschiedenen Definitionen der Komponenten 4 bis 6 des Spannungs- und des Dehnungstensors.

²z.B. bei der Definition der Field Outputs bzw. beim Anzeigen der Ergebnisse

Tabelle 1: Wichtige Ein- und Ausgabe-Größen

Eingabe-Größen		Ausgabe-Größen	
STRESS	σ_n	STRESS	σ_{n+1}
DDSDDE	$\frac{\partial \sigma_n}{\partial \epsilon_n}$	DDSDDE	$\frac{\partial \sigma_{n+1}}{\partial \epsilon_{n+1}}$
STRAN	ϵ_n		
DSTRAN	$\Delta \epsilon_n = \epsilon_{n+1} - \epsilon_n$		
TIME	t_n		
DTIME	$\Delta t_n = t_{n+1} - t_n$		
STATEV	y_n	STATEV	y_{n+1}
PROPS	Materialkonstanten		

Aufgabe – Lochscheibensimulation mit benutzerdefiniertem Materialmodell

- Stellen Sie das isotrope Hooke'sche Gesetz in ABAQUS-Notation dar. Formulieren Sie dazu das isotrope Hooke'sche Gesetz in spannungsexpliziter Form in Tensorschreibweise. Bestimmen Sie die Komponenten für die Steifigkeitsmatrix.
- Programmieren Sie das isotrope, linear elastische Materialmodell in einer UMAT-Subroutine mit Hilfe der Vorlage `umat-hooke-iso-vorlage.f` mit den Materialkonstanten $E = 210 \text{ GPa}$ und $\nu = 0,3$. Nutzen Sie für die Parameterübergabe die ABAQUS Schnittstelle (PROPS).
- Berechnen Sie das Lochscheibenproblem mit ihrer eigenen UMAT und zum Vergleich mit dem elastischen Materialmodell aus ABAQUS. Vergleichen Sie die Berechnungszeiten. Das gegebene Modell (`lochscheibe.cae`) ist bis auf die Materialdefinition vollständig.
- Programmieren Sie eine UMAT-Subroutine zur Berechnung des elastischen Materialverhalten eines unidirektionalen Verbundwerkstoffes, der eine transversalisotrope Materialsymmetrie aufweist. Verwenden Sie dazu die Vorlage `umat-verbund-vorlage.f`. Der Steifigkeitstensor wird dabei mit fünf unabhängigen Materialkonstanten C_{1111} , C_{1122} , C_{2222} , C_{2233} und C_{1212} beschrieben (siehe **Anhang A**). Der richtungsabhängige E-Modul lässt sich graphisch veranschaulichen, wie in Abb. 2 für einen unidirektionalen Epoxidharz-Glasfaserverbund mit $C_{1111} = 114.4 \text{ GPa}$, $C_{2222} = 28.8 \text{ GPa}$, $C_{1122} = 40.8 \text{ GPa}$, $C_{2233} = 18.8 \text{ GPa}$ und $C_{1212} = 5.5 \text{ GPa}$ gezeigt.

Führen Sie jeweils eine Berechnung für ein Material mit einer Faserausrichtung in x - und y -Richtung und eine Berechnung für ein Material mit einer Faserausrichtung, die 45° zur x -Achse um die z -Achse verdreht ist, durch. (siehe **Anhang B**)

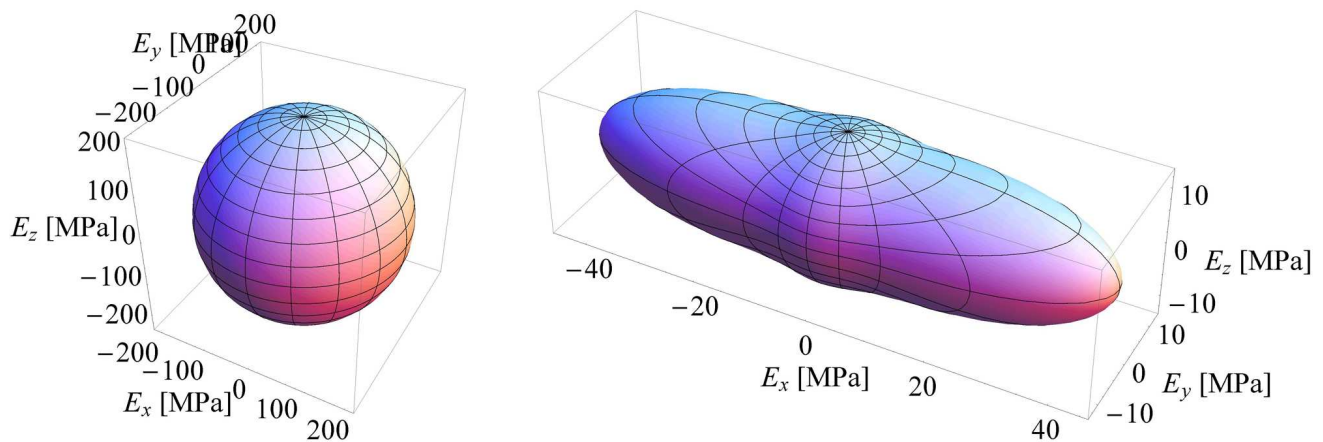


Abbildung 2: E-Modul-Figuren: Isotrop links, Transversal isotrop rechts

Postprocessing:

Vergleichen Sie die v. Mises Spannung der drei Faserorientierungen des Verbundwerkstoffes und die Lösung für Stahl.

Material	v. Mises-Spannung [MPa]
Stahl	
Verbund 0°	
Verbund 45°	
Verbund 90°	

Was fällt Ihnen auf? Stellen Sie die Verschiebungen in die y -Richtung auf der Lochscheibe mit einer Überzeichnung von 100 (Deformation Scale Factor > Nonuniform > 1/100/1) in y -Richtung dar und vergleichen Sie diese. Erklären Sie die Verformung für die 45°-Faserausrichtung. Wäre es auch möglich gewesen, in gewissen Fällen zur Modellierung des Problems geometrische Symmetrien der Lochscheibe auszunutzen? Begründen Sie Ihre Antworten.