

# Aufgabe 6: Plastizität

## Ziel der Übung

- Kennenlernen von Abaqus CAE und Erstellen eines einfachen Modells
- Betrachtung von elasto-plastischen Materialeigenschaften
- Durchführung von Simulationen mit mehreren Lastschritten
- Berechnung von Strain/Work-Hardening am Kragbalken (Kaltumformung)

## Aufgabenstellung

Wir betrachten einen einfachen Kragbalken mit elasto-plastischen Materialeigenschaften und einer veränderlichen Last  $F$ :

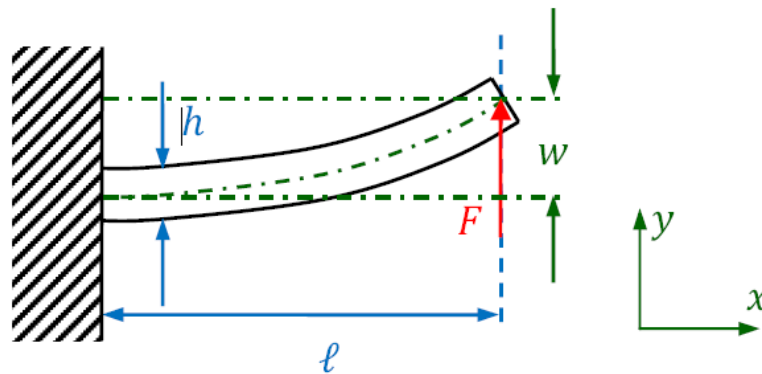


Abbildung 1: Kragbalken mit aufgebrachtener Last

Gegeben:

Tabelle 1: Geometrie- und Materialparameter

$l$	1000 mm	Balkenlänge
$h$	60 mm	Balkenhöhe
$t$	40 mm	Balkendicke
$F_1$	22000 N	Kraft für Lastschritt 1
$F_2$	-25000 N	Kraft für Lastschritt 2
$F_3$	0 N	Kraft für Lastschritt 3
$E$	73100 MPa	E-Modul (Aluminium)
$\nu$	0,33	Querkontraktionszahl
$E_t$	7310 MPa	Tangentenmodul
$\sigma_{\text{yield}}$	414 MPa	Fließgrenze

Die folgenden Seiten führen Dich Schritt für Schritt in die Bedienung von Abaqus CAE ein und erklären, wie Du mit diesem FE-Paket ein Modell von der oben beschriebenen Situation erstellen kannst, so daß Du am Ende in der Lage bist, mit Hilfe der Simulationsergebnisse einige Fragen zu beantworten. Los geht's!

## Anlegen des Modells und Erstellen der Geometrie

Starte Abaqus CAE und wähle im **Start Session** Dialog die Option **Create Model Database** → **With Standard/Explicit Model**. Wähle im Modellbaum (vgl. Abbildung 2) den Knoten **Model-1** und gib Deinem Modell einen aussagekräftigen Namen (Abbildung 3).

Aktiviere das **Part**-Modul (standardmäßig aktiv) und erzeuge ein neues Bauteil (**Create Part** in der Part-Toolbox oder **Rechtsklick auf Parts im Modellbaum** → **Create**). Wähle als Part-Typ **Deformable** und **Solid** als **Shape-Option**; lege außerdem eine ungefähre Größe von 60 mm fest (Abbildung 4).

Verwende nun die entsprechenden Werkzeuge des **Sketchers**, um ein Rechteck mit den Abmessungen des Balkenquerschnitts zu erzeugen. Dabei ist es sinnvoll, das Zentrum des Rechtecks in den Koordinatenursprung zu legen. Klicke dann zum Beenden des Sketchers und Akzeptieren der Zeichnung auf den **Done**-Button unterhalb des Viewports (Abbildung 5).

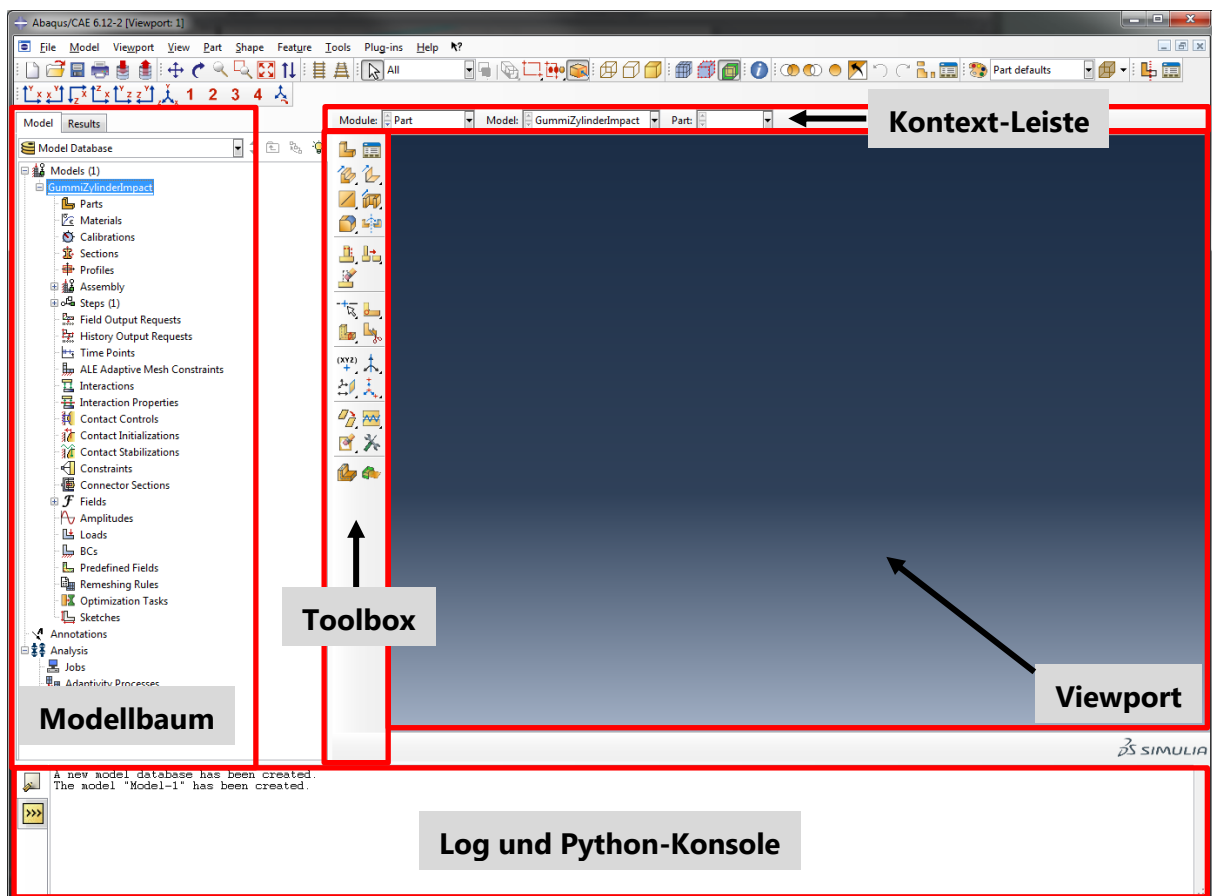


Abbildung 2: Aufbau der Abaqus CAE GUI

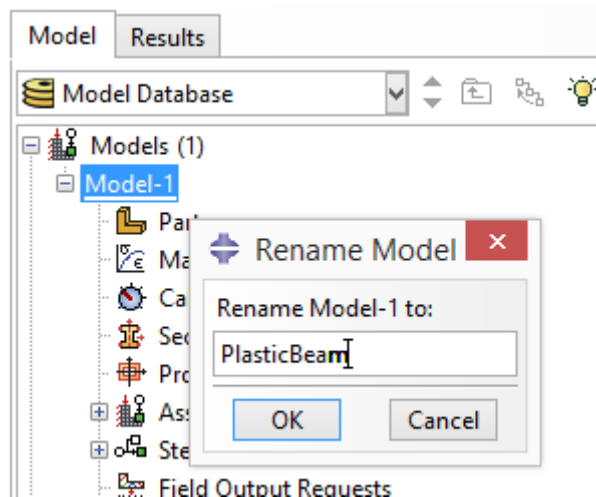


Abbildung 3: Benennen des Modells

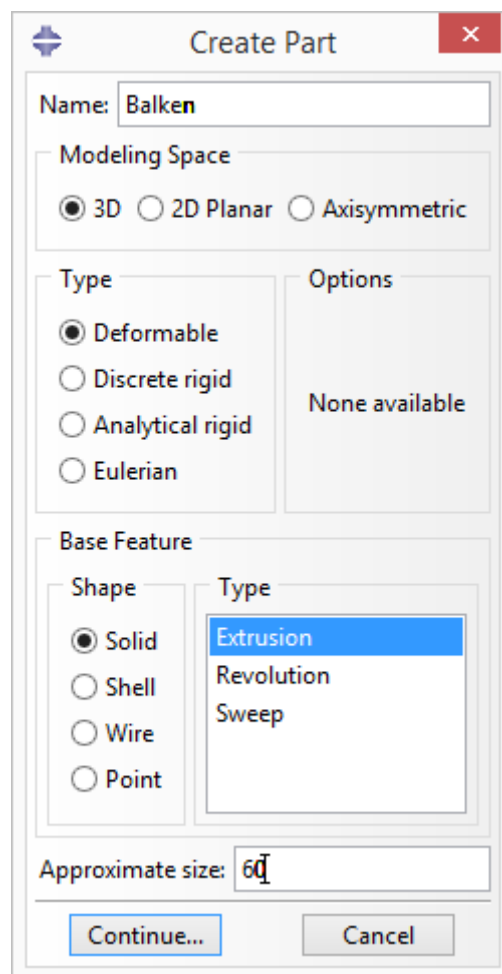


Abbildung 4: Erstellen der Balkengeometrie

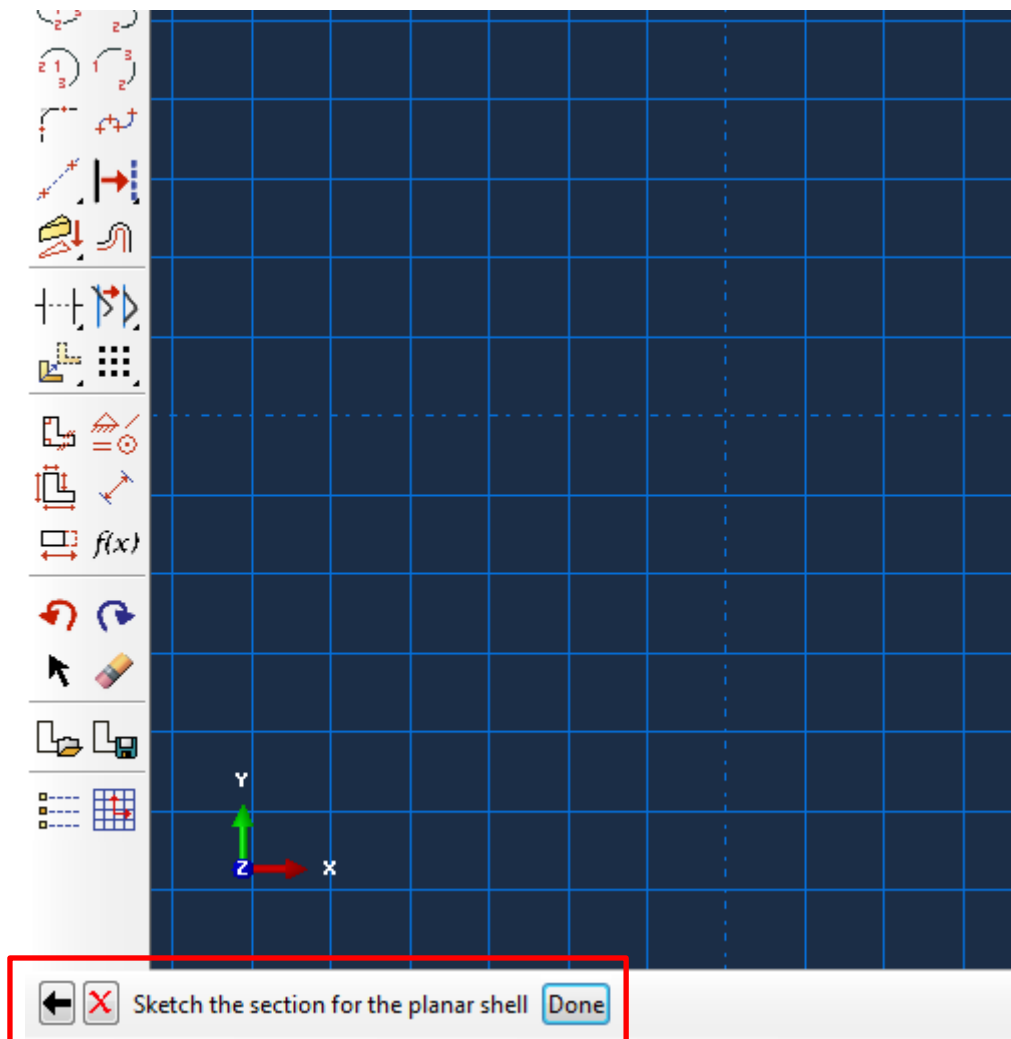


Abbildung 5: Sketch-Tool

Gib im nun erscheinenden Extrusion-Dialog die gewünschte Länge des Balkens ein (Abbildung 6). Nun sollte die 3D-Balkengeometrie im Viewport zu sehen sein.

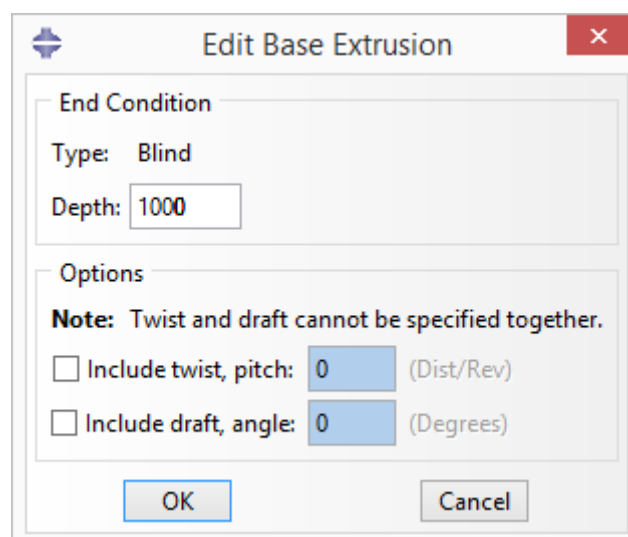


Abbildung 6: Extrusionsoptionen

## Definition von Materialeigenschaften und „Sections“

Erzeuge ein neues Material (Rechtsklick auf **Materials** im Modellbaum → **Create...**) mit dem Namen „Alu“ und den gegebenen Materialeigenschaften. Leider kann man in Abaqus den Tangentenmodul nicht direkt angeben. Statt dessen spezifiziert man zwei (oder mehr) Punkte auf der Spannungs-Dehnungs-Kurve, die das Verfestigungsverhalten im plastischen Bereich festlegen (Abbildung 7).

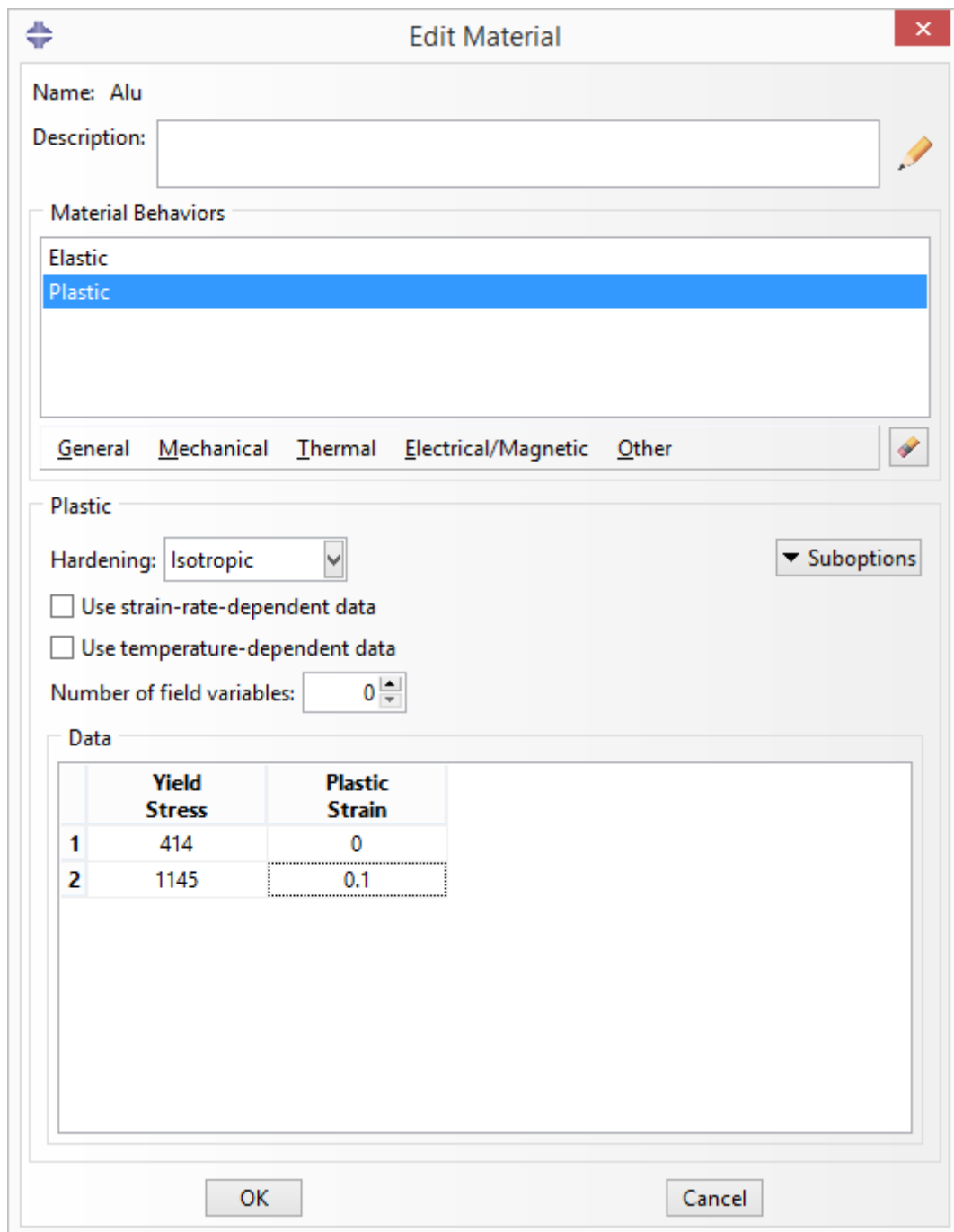


Abbildung 7: Definition des Balkenmaterials

Dieses Material müssen wir nun dem Zylinder zuweisen. In Abaqus ist dazu aber ein Umweg über eine sogenannte **Section-Definition** nötig, die das Materialmodell in Abhängigkeit vom Elementtyp (Solid, Shell, Beam etc.) mit weiteren Optionen verknüpft.

Erstelle deshalb eine neue Section (Rechtsklick auf **Sections** im Modellbaum → **Create...**) vom Typ **Solid/Homogeneous**, gib ihr z. B. den Namen „AluSection“ und ordne ihr das soeben erstellte „Alu“-Material zu. Diese Section wiederum ordnen wir nun dem Balken zu: Rechtsklicke im Modellbaum auf den Knoten **Parts** → **Balken** → **Section Assignments** und wähle **Create...** Selektiere im Viewport nun den ganzen Balken (Auswahlrechteck um die Geometrie ziehen). Nenne das neue Set „BalkenGeometrieSet“ und bestätige Deine Wahl (Abbildung 8). Dein Modellbaum sollte nun so aussehen wie in Abbildung 9.

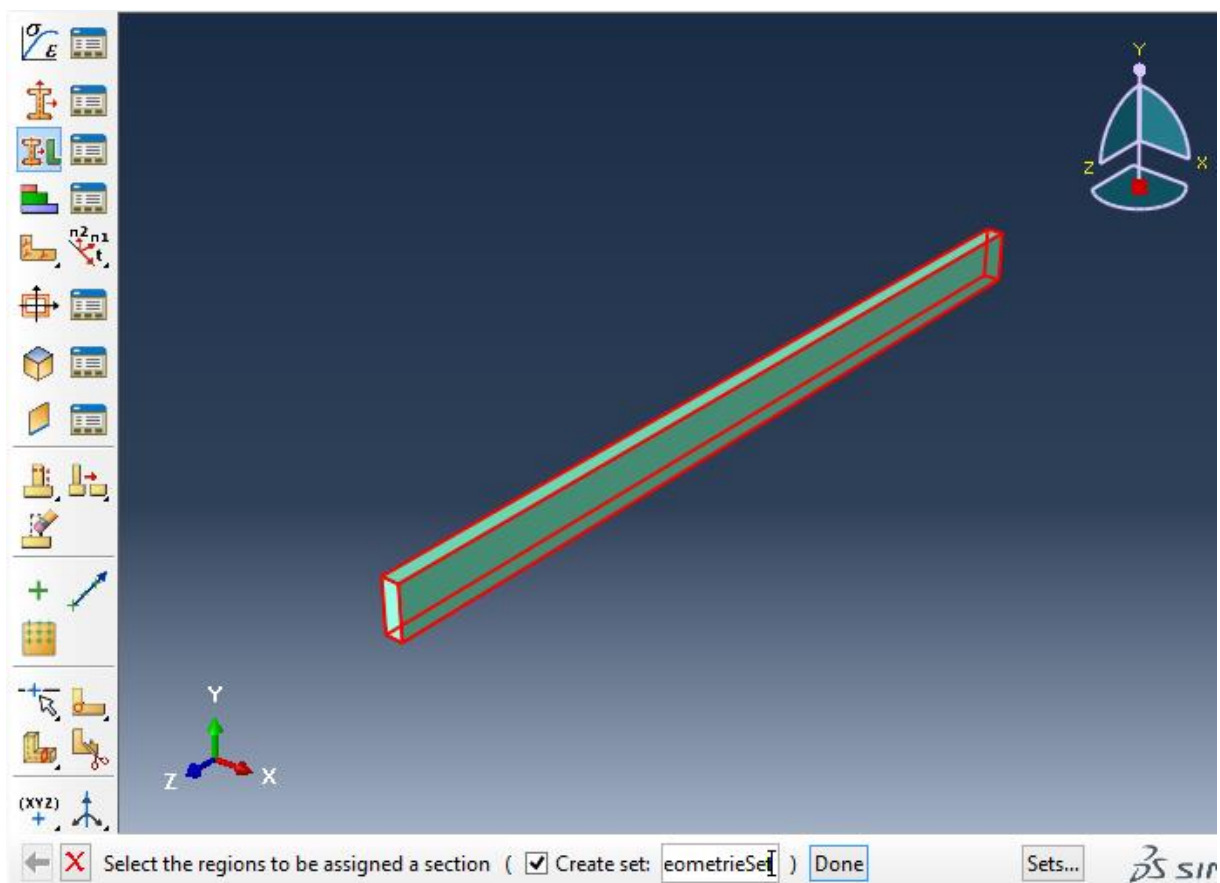


Abbildung 8: Erstellung eines neuen Sets

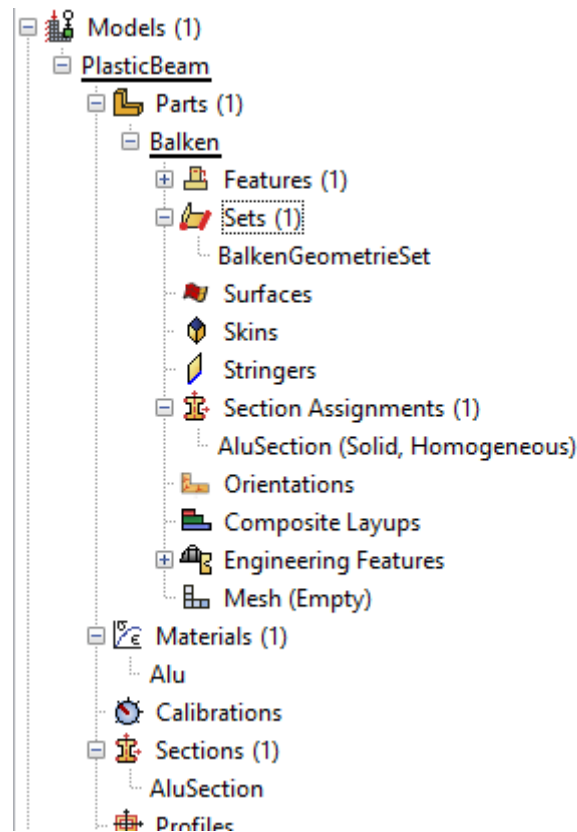


Abbildung 9: Modellbaum nach Zuweisung der Section

## Vernetzung und Wahl des Elementtyps

Wähle in der Kontextleiste das Modul **Mesh** und aktiviere das Bauteil „Balken“ (Part: Balken). Wähle aus der Toolbox das Werkzeug **Seed Part** und setze die Elementgröße (Kantenlänge) auf 10 mm (Abbildung 10).

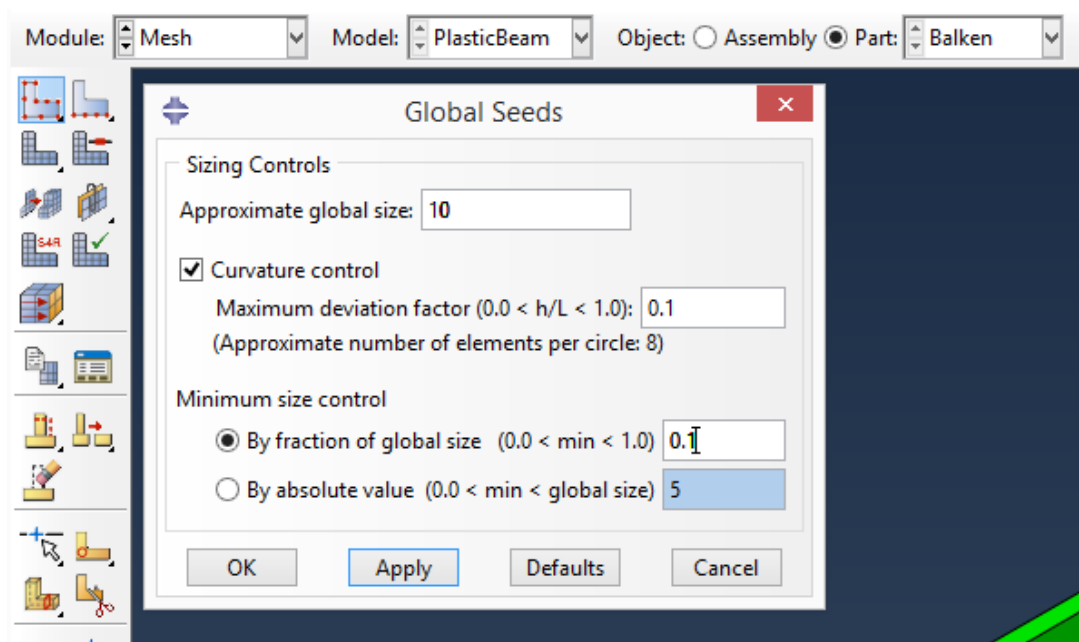


Abbildung 10: Einstellen der Elementkantenlänge

Vernetze dann die Balkengeometrie mittels **Mesh Part**. Klicke nun auf das Tool **Assign Element Type** (oder: Hauptmenü **Mesh** → **Element Type...**) und wähle für das Set „BalkenGeometrieSet“ den Elementtyp C3D20 (Abbildung 11).

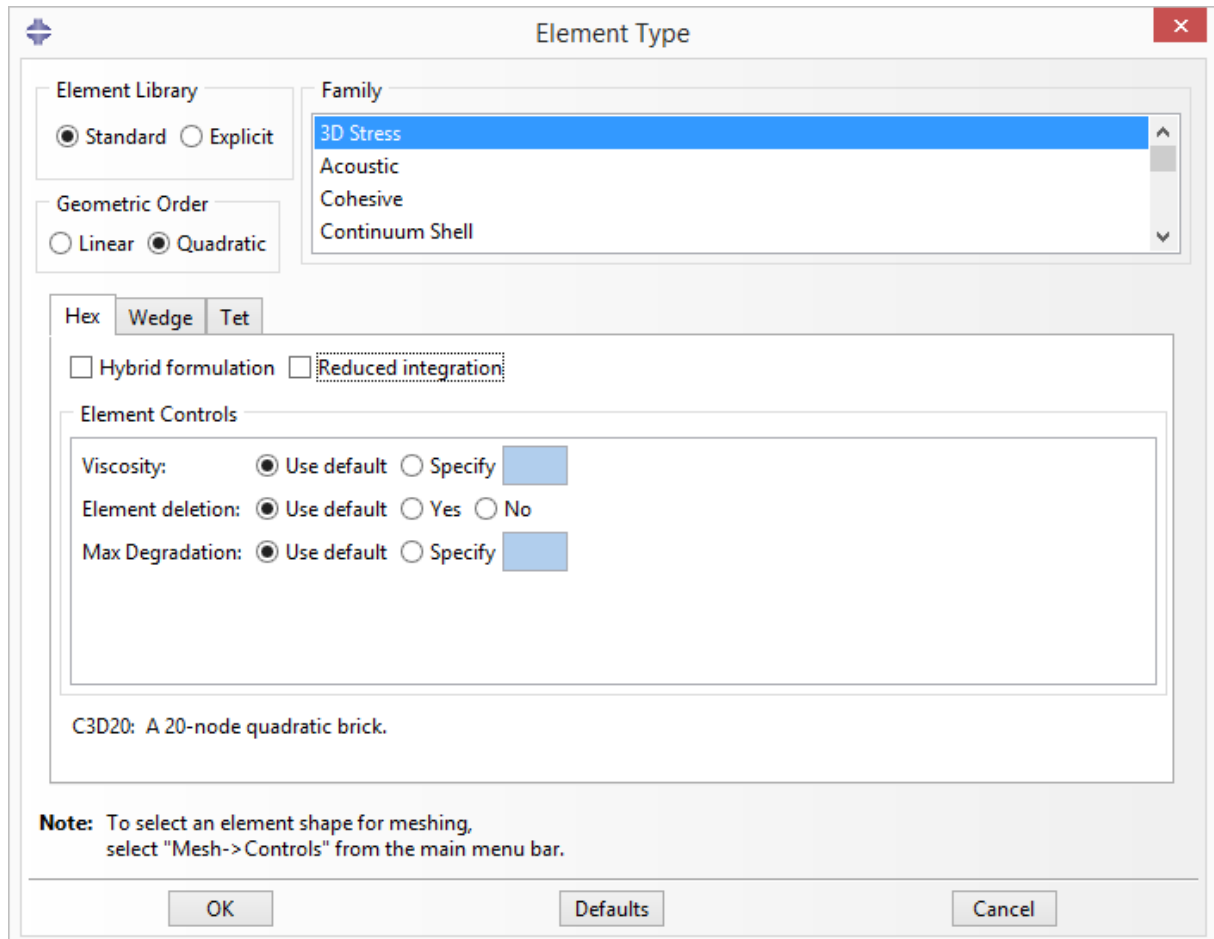


Abbildung 11: Auswahl des Element-Typs

## Anordnen der Bauteile in einer Assembly (Baugruppe)

Eine Assembly ist eine beliebigen räumlichen Anordnung einer oder mehrerer Part-Instanzen. Unsere Assembly wird nur aus einem Part (Bauteil), dem Balken, bestehen. Wechsle zunächst ins **Assembly-Modul**. Erstelle dort eine Instanz des Bauteils „Balken“ mittels **Instance Part**. Das Ergebnis sollte wie in Abbildung 12 aussehen, sofern Du dich an die Empfehlungen bezüglich der Positionierung gehalten hast. Andernfalls kannst Du die Bauteile bzw. den Balken noch über die entsprechenden Werkzeuge (**Rotate/Translate**) positionieren.



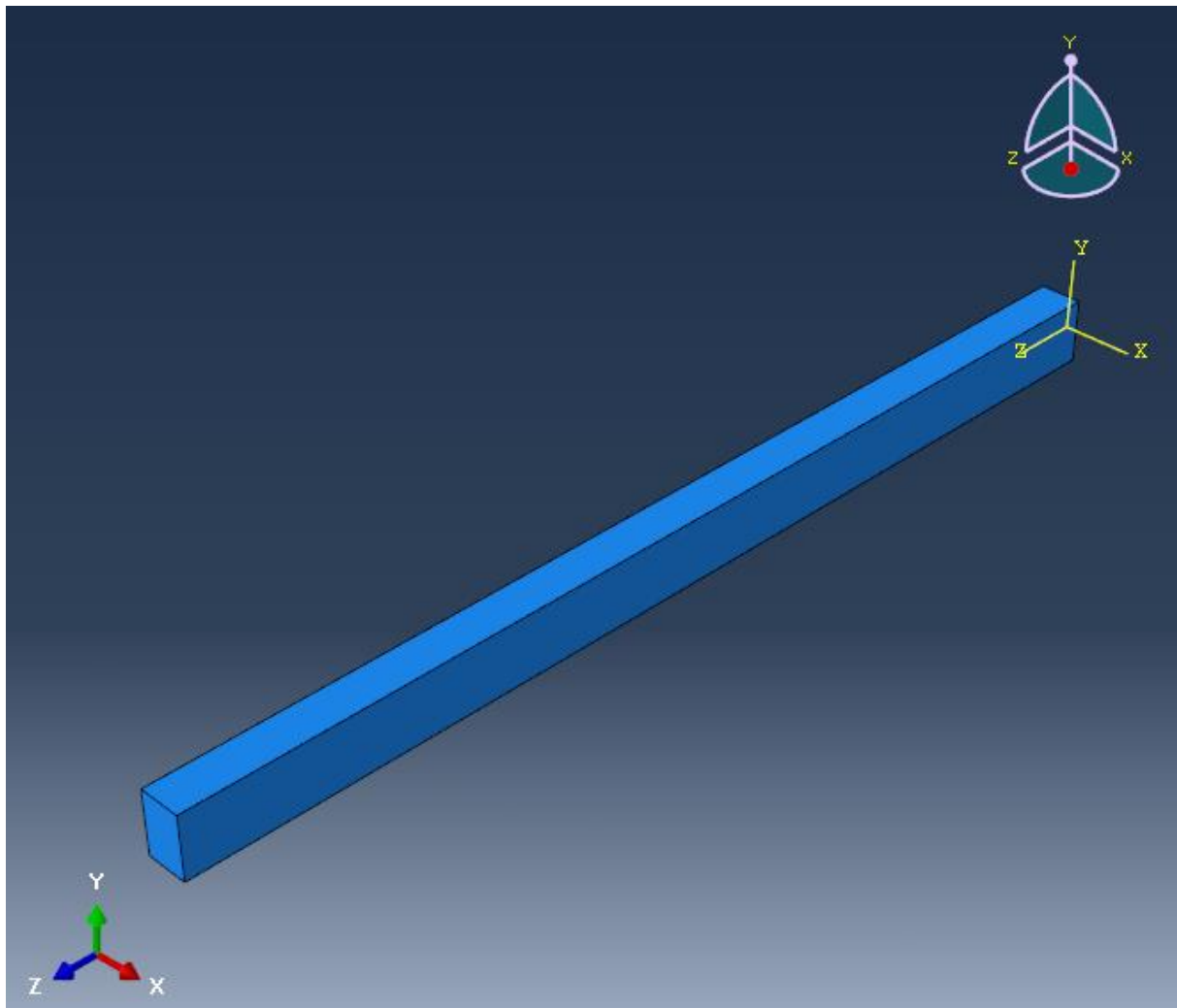


Abbildung 12: „Assembly“ bestehend aus einer Balken-Instanz

## Festlegung von Last- und Randbedingungen

Wechsle zum **Step**-Modul und fixiere zunächst ein Ende des Balkens mittels **Create Boundary Condition** (oder im Baum **Steps** → **Initial** → **BCs** → **Create**). Erstelle eine Randbedingung vom Typ **Symmetry/Antisymmetry/Encastre** und weise diese einem Ende des Balkens zu. Wähle **PINNED** im nun erscheinenden **Edit Boundary Condition**-Dialog.

Erzeuge nun einen neuen Lastschritt vom Typ **Static, General** (**Steps** → **Create**). Lege im **Edit-Step**-Dialog eine Zeitdauer von 1 fest und aktiviere **Nlgeom** (Abbildung 13). Die restlichen Parameter können fürs erste auf ihren Standardwerten belassen werden. Für diesen Lastschritt mußt Du nun die auf den Balken wirkende Kraft definieren (**Steps** → **Step-1** → **Loads** → **Create...**): Erzeuge eine **Concentrated Force** entsprechend  $F_1$  in Tabelle 1, die auf zwei Punkte am anderen Ende des Balkens verteilt wirken soll (Abbildung 14). Verfahre analog zur Definition der beiden weiteren Lastschritte (**Time period** 2 bzw. 3). Achte darauf, Lasten aus vorherigen Lastschritten ggf. zu deaktivieren.

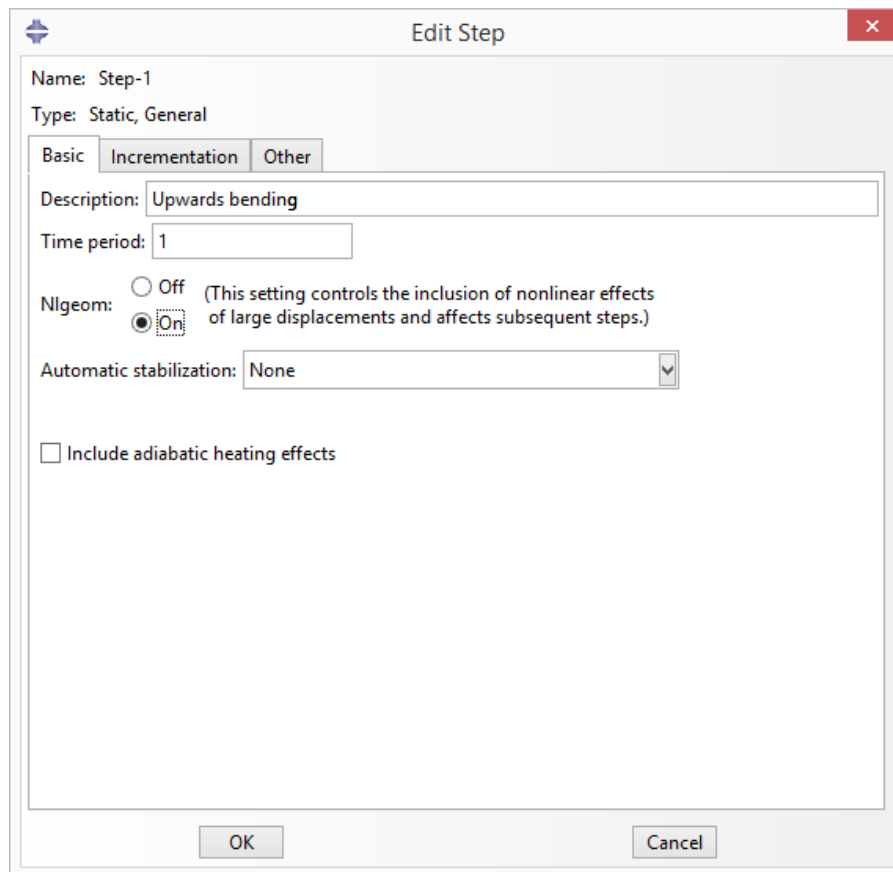


Abbildung 13: Einstellungsdialog für Step-1

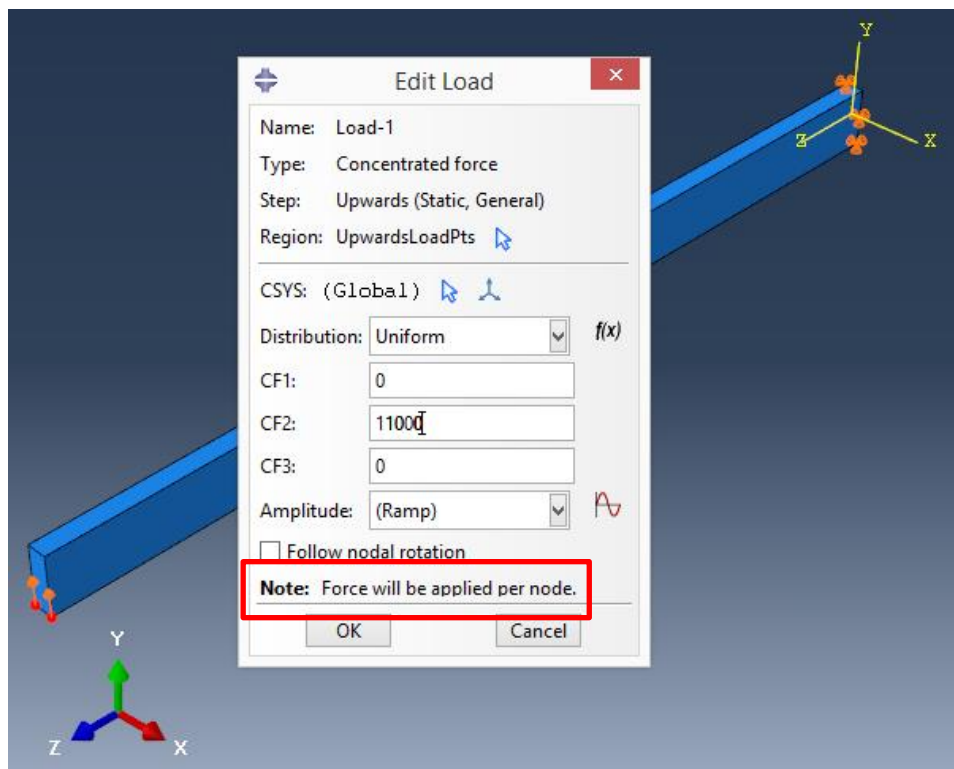


Abbildung 14: Definition der Kraft für Lastschritt 1

## Output Requests

Nun müssen wir nur noch festlegen, welche Ergebnisse und wie häufig Abaqus diese in die „Output Database“ (ODB) schreiben soll. Aktiviere dazu wieder das **Step-Modul**. Abaqus unterscheidet zwischen sogenanntem **History Output** und **Field Output**: Field Output bezieht sich i. d. R. auf das gesamte Modell und ist für Größen sinnvoll, die man z.B. als Kontur-Plot darstellen möchte und für die eine vergleichsweise geringe zeitliche Auflösung ausreicht (z.B. Verschiebungen, Dehnungen, Spannungen). Output Requests vom Typ History Output hingegen beschreiben die Historie einiger weniger Knoten oder Elemente. So kann man z.B. die Knotenverschiebungen einiger weniger Knoten zeitlich hoch aufgelöst verfolgen, ohne das komplette Verschiebungsfeld mit hoher Frequenz in die Output Database schreiben zu müssen.

Abaqus hat beim Erstellen des ersten Lastschritts bereits einige Standard Output Requests erzeugt (**F-Output-1** und **H-Output-1** unter **Steps** → **Step-1** → **Field/History Output Requests** im Modellbaum). Wähle **F-Output-1** → **Edit...** und aktiviere (mindestens) folgende **Output Variables**:

- Stresses: Stress components and invariants, Mises equivalent stress
- Strains: Total strain components, Plastic strain components, Elastic strain components
- Displacements: Translations and rotations

## Solution

Nun können wir die eigentliche Berechnung starten. Öffne den **Job Manager** im **Job-Modul** und erzeuge einen neuen Job (Button **Create...** in Abbildung 15). Achte darauf, die Job-Optionen so anzupassen, daß alle CPU-Kerne Deines Rechners Verwendung finden. Ein Klick auf **Submit** im Job Manager startet den Job, mittels **Monitor...** kann man den Fortschritt verfolgen. War die Simulation erfolgreich (**Status: Completed**) gelangt man mit einem Klick auf **Results** zum Post-Processing.

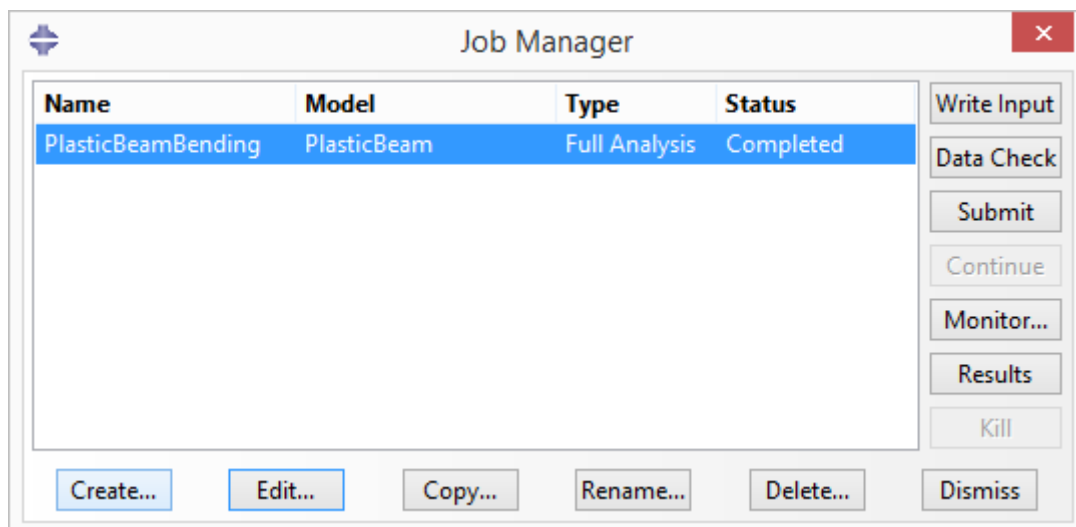


Abbildung 15: Job Manager

## Post-Processing & Auswertung

Das **Visualization-Modul** ist Abaqus' Post-Processor. U. a. folgende Werkzeuge könnten sich als nützlich erweisen:

- **Plot Contours on Deformed Shape**
- **Contour Options**
- **Animate: Time History**
- **Options** → **Common...** → **Deformation Scale Factor**

Nutze die gebotenen Möglichkeiten zur Modellauswertung, um folgende Fragen zu beantworten:

### Fragen

1. Stelle die plastischen und elastischen Dehnung in  $x$ -Richtung dar (Field Output PE33 bzw. EE33)! Wieso sind am Ende von Lastschritt 3 noch immer elastische Dehnungen vorhanden? Wie erklärst Du Dir das Muster?
2. Wie würde sich das Ergebnis verändern, wenn wir nur den ersten und den letzten Lastschritt aufbrächten?
3. Was ist die Ursache für die im Vergleich zu den vorherigen Modellen langen Lösungszeiten?