

Aufgabe 7

Einführung in Abaqus CAE: Simulation eines elastischen Aufpralls mittels explizitem Lösungsverfahren

Ziel der Übung:

- Kennenlernen von Abaqus CAE und Erstellen eines einfachen Modells
- Lösen eines Anfangswertproblems mittels Abaqus/Explicit
- Simulation eines Aufpralls eines perfekt elastischen Körpers
- Visualisierung hervorgerufener Druck- und Dichteschwankungen (Schall)

Modellbeschreibung

Wir möchten simulieren, was mit einem Gummi-Zylinder passiert, der aus einem Meter Höhe auf einen Steinboden fällt:

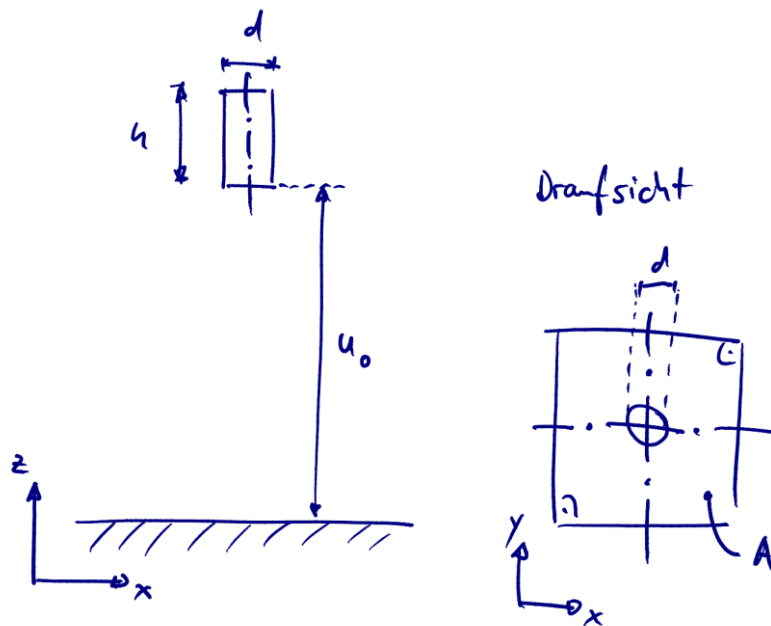


Tabelle 1: Modellparameter

Größe	Symbol	Wert
Fußbodenfläche	A	$200 \times 200 \text{ mm}^2$
Fallhöhe	u_0	1,0 m
Erdbeschleunigung	g	$9,81 \text{ m/s}^2$
Reibungskoeffizient	μ	0,3

Eigenschaften des Zylinders

Höhe		h	100 mm
Durchmesser		d	50 mm
E-Modul		E	10 MPa
Querkontraktionszahl		ν	0,475
Dichte		ρ	1 g/cm ³
Rayleigh-Dämpfung	massenproportional	α	0 s ⁻¹
	steifigkeitsproportional	β	10 ⁻⁷ s

Den freien Fall des Zylinders über 1 m hinweg müssen wir natürlich nicht explizit simulieren, da wir bereits wissen, was während dieser Zeit geschieht. Unser numerisches Modell soll daher nur die Zeitspanne unmittelbar vor dem Aufprall des Zylinders auf den Boden bis 5 ms danach umfassen.

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 1) den Knoten **Model-1** und gib Deinem Modell einen aussagekräftigen Namen (Abbildung 2).

Aktiviere das **Part**-Modul (standardmäßig aktiv) und erzeuge ein neues Bauteil (**Create Part** in der Part-Toolbox oder **Rechtsklick auf Parts im Modellbaum** → **Create**, Abbildung). Da wir zunächst den Starrkörper „Fußboden“ modellieren möchten, wähle als Part-Typ **Discrete rigid** und **Shell** als Shape-Option; lege außerdem eine ungefähre Größe von 20 cm fest (Abbildung 3).

Verwende nun die entsprechenden Werkzeuge des **Sketchers**, um ein Quadrat mit den in Tabelle 1 angegebenen Abmessungen zu erzeugen. Dabei ist es sinnvoll, das Zentrum des Quadrats in den Koordinatenursprung zu legen. Klicke dann zum Beenden des Sketchers und Akzeptieren der Zeichnung auf den **Done**-Button unterhalb des Viewports (Abbildung 4).

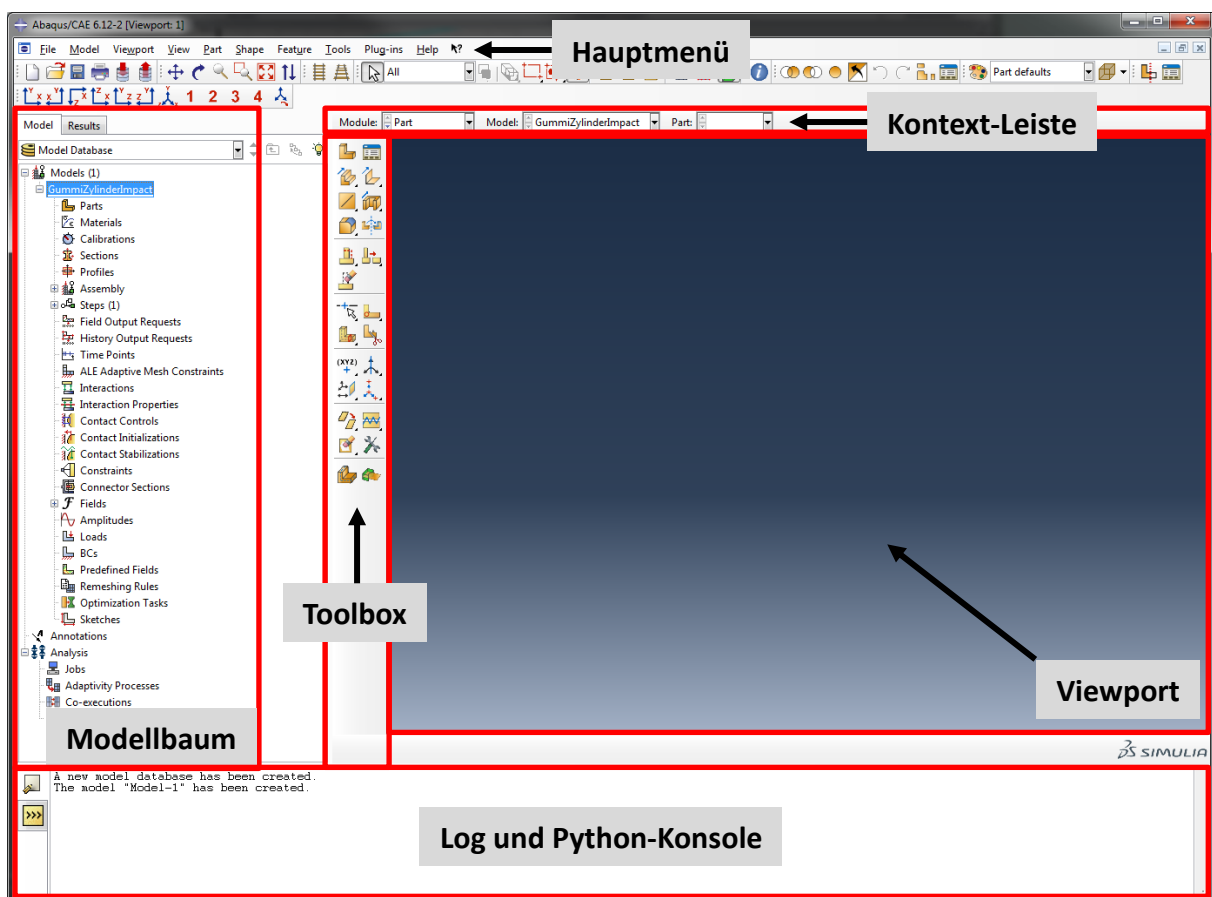


Abbildung 1: Aufbau der Abaqus CAE GUI

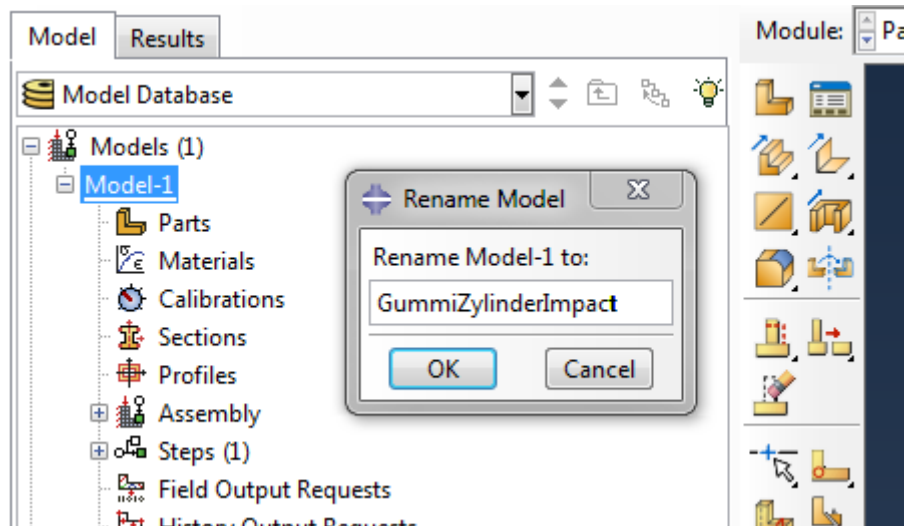


Abbildung 2: Benennen des Modells

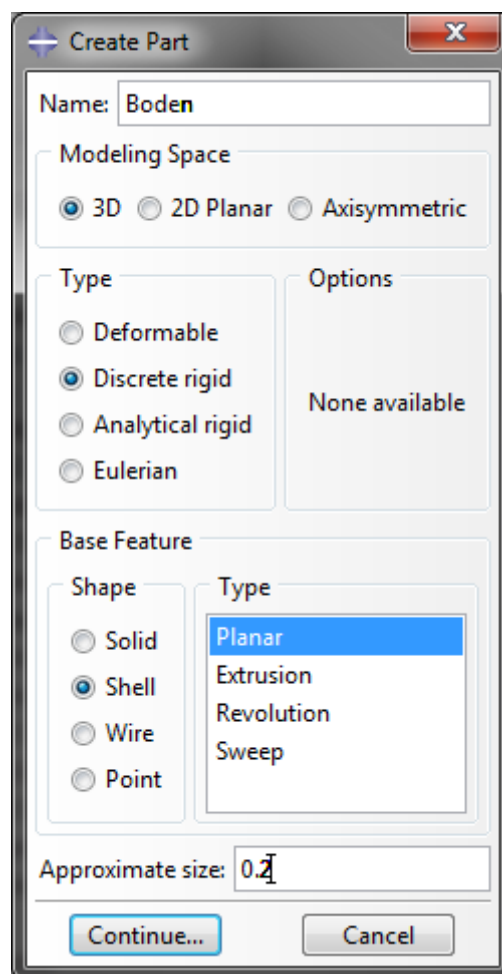


Abbildung 3: Erstellen des "Fußbodens"

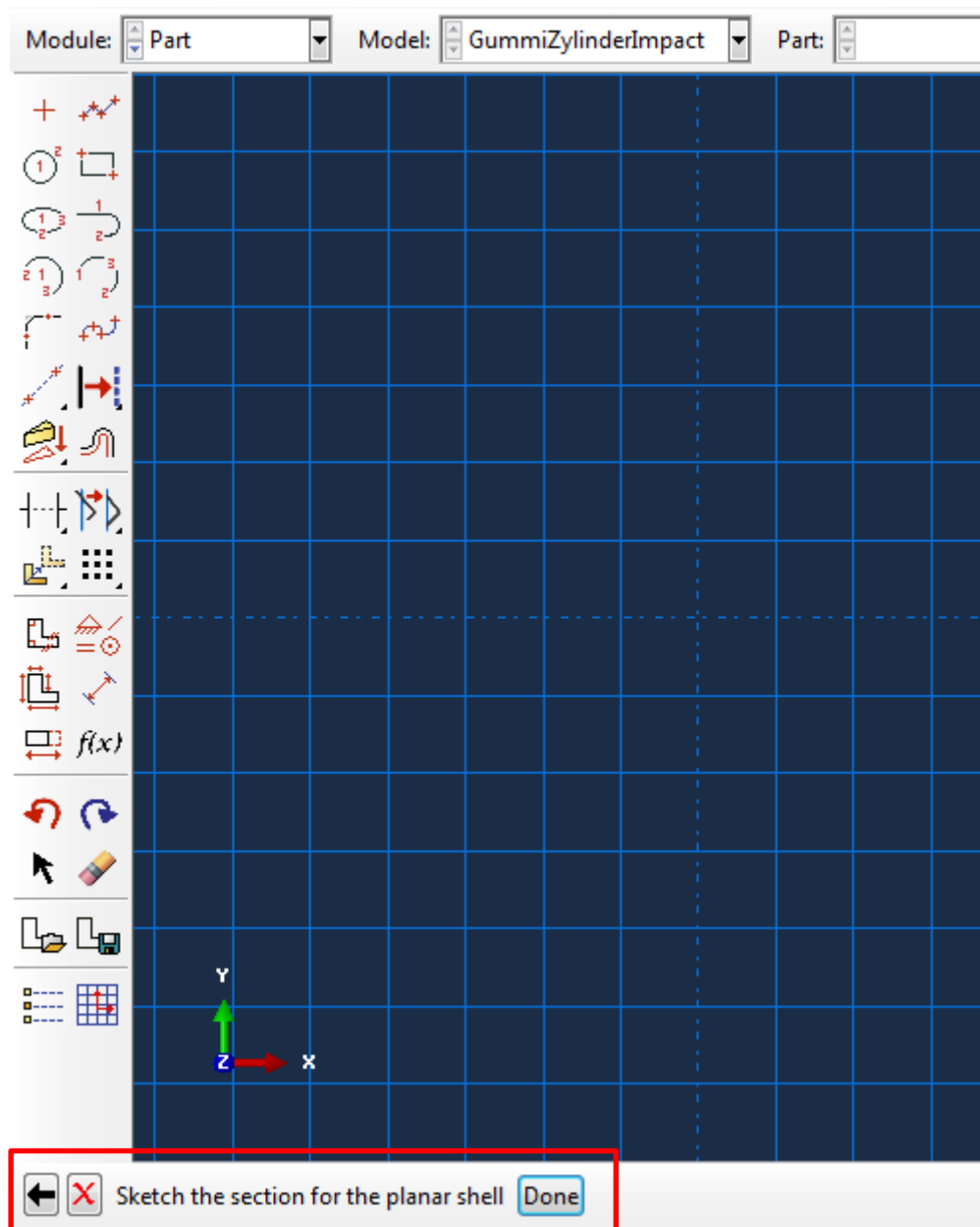


Abbildung 4: Sketch-Tool

Lagerungen und Lasten für Starrkörper können in Abaqus nur über einen sogenannten *Reference Point* definiert werden. Die Funktion zum Einfügen eines solchen Referenzpunktes findest Du im Menü unter **Tools** → **Reference Point...** Die Position des Referenzpunktes spielt grundsätzlich keine Rolle, aber (0, 0, 0) bietet sich an.

Erstelle nun ein Bauteil, das den Gummizylinder repräsentiert. Achte darauf, den richtigen Typ zu wählen (**Deformable**). Da es sich um einen Volumenkörper handelt, der aus einem Kreis hervorgeht, wähle **Solid** als Shape und die Option **Extrusion**. Erstelle im Sketcher den Zylinderquerschnitt mit den in Tabelle 1 angegebenen Abmessungen. Auch hier ist es sinnvoll, wenn das Kreiszentrum mit dem Koordinatenursprung koinzident ist. Bestätige Deine Skizze und gib im erscheinenden Extrusion-Dialog die gewünschte Tiefe (Höhe des Zylinders) ein (Abbildung 5).

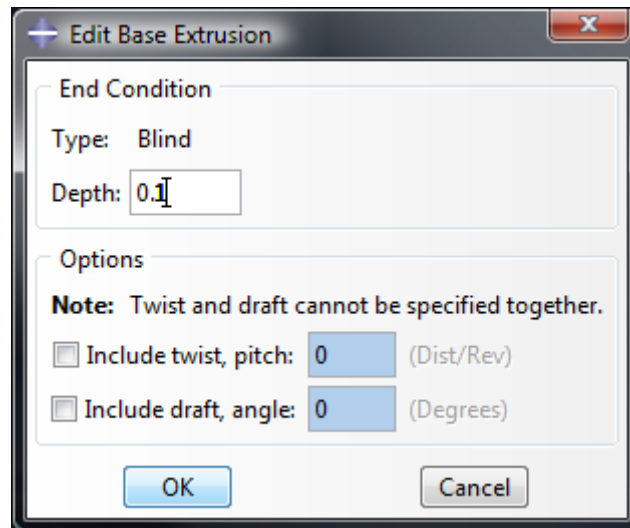


Abbildung 5: Extrusionsoptionen

Definition von Materialeigenschaften und „Sections“

Erzeuge ein neues Material (Rechtsklick auf **Materials** im Modellbaum → **Create...**) mit dem Namen „Gummi“ und den gegebenen Materialeigenschaften (Abbildung 6). 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 eine neue Section (Rechtsklick auf **Sections** im Modellbaum → **Create...**) vom Typ **Solid/Homogeneous**, gib ihr den Namen „GummiSection“ und ordne ihr das soeben erstellte „Gummi“-Material zu. Diese Section wiederum ordnen wir nun dem Zylinder zu: Rechtsklicke im Modellbaum auf den Knoten **Parts** → **Zylinder** → **Section Assignments** und wähle **Create...** Selektiere im Viewport nun den ganzen Zylinder (Auswahlrechteck um die Geometrie ziehen). Nenne das neue Set „ZylinderKomplett“ und bestätige Deine Wahl (Abbildung 7). Dein Modellbaum sollte nun so aussehen wie in Abbildung 8.

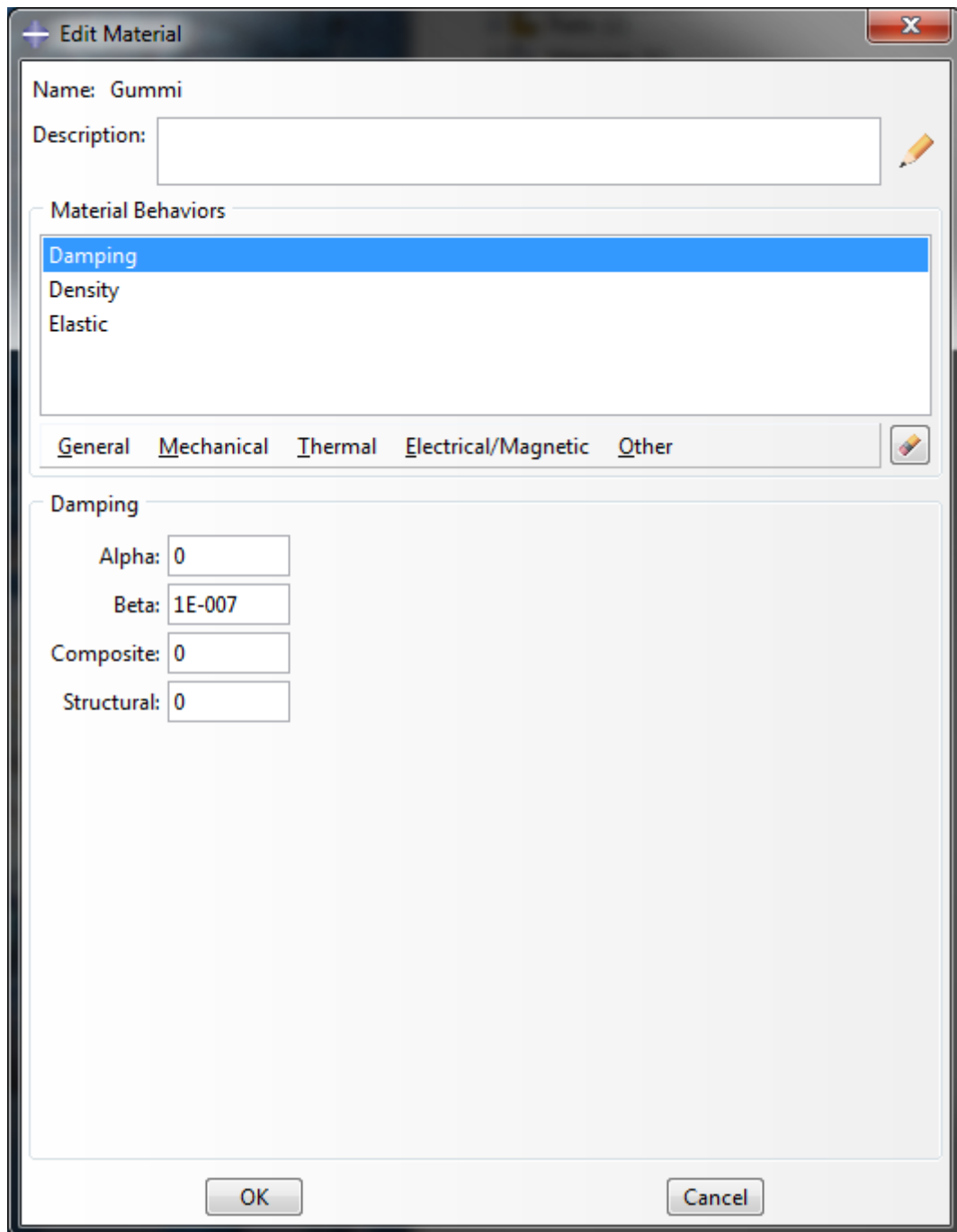


Abbildung 6: Definition des Zylindermaterials

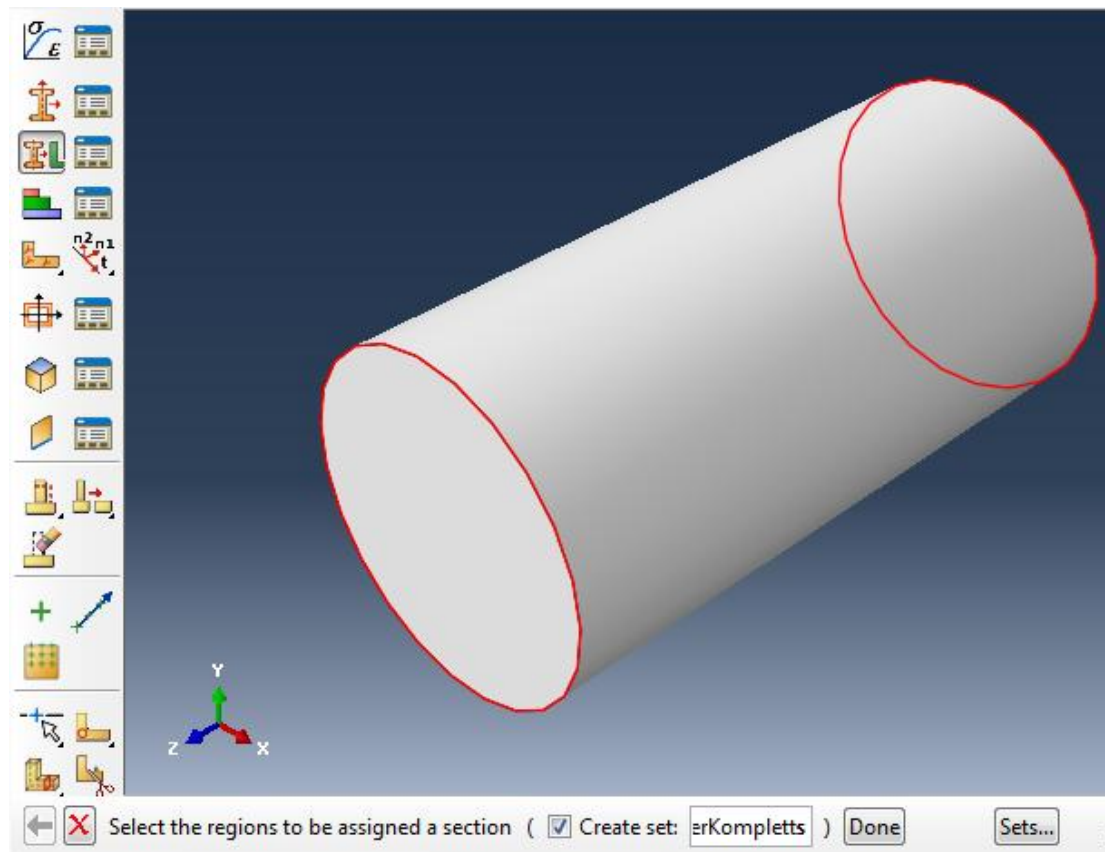


Abbildung 7: Erstellung eines neuen Sets

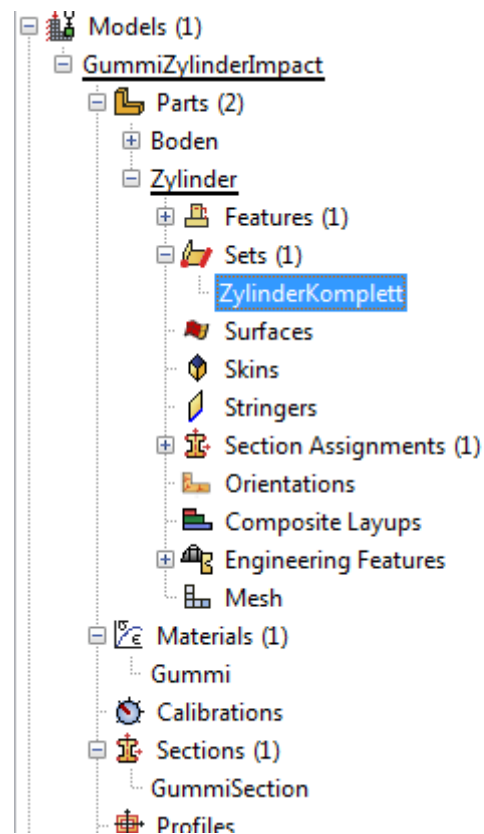


Abbildung 8: Modellbaum nach Zuweisung der Section

Vernetzung und Wahl der Elementtypen

Wähle in der Kontextleiste das Modul **Mesh** und aktiviere das Bauteil „Boden“ (oder wie auch immer Dein Fußboden-Bauteil heißt). Wähle aus der Toolbox das Werkzeug **Seed Part** und setze die Elementgröße (Kantenlänge) auf 20 cm, so daß der gesamte Boden später nur mit einem einzigen Element vernetzt wird (Abbildung 9).

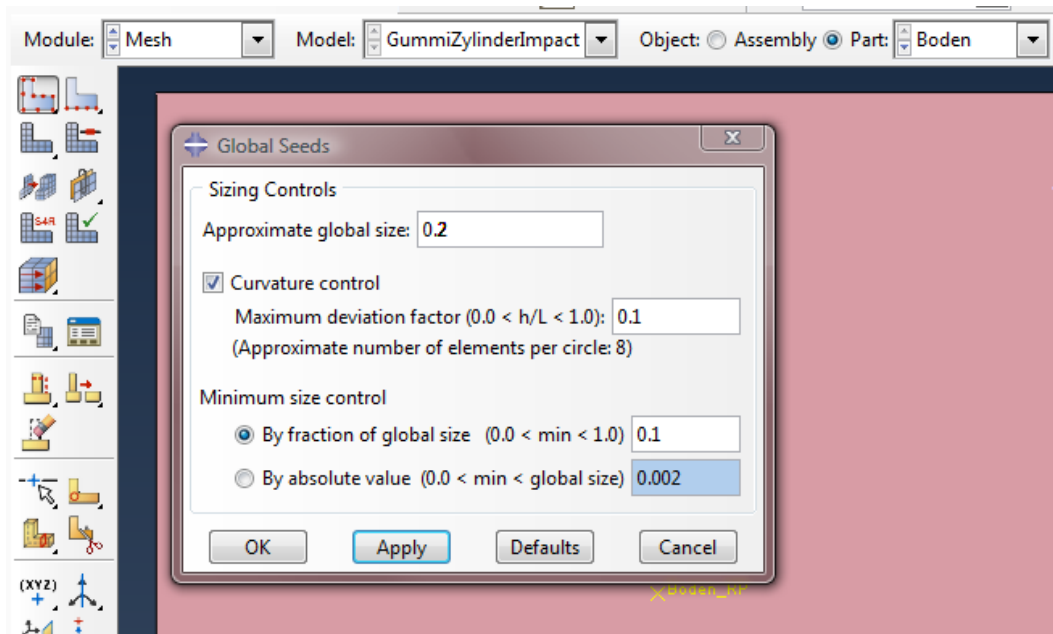


Abbildung 9: Einstellen der Elementkantenlänge

„Vernetze“ dann die Bodengeometrie mittels **Mesh Part**. Klicke nun auf das Tool **Assign Element Type** (oder: Hauptmenü **Mesh** → **Element Type...**) und wähle die Optionen gemäß Abbildung 10.

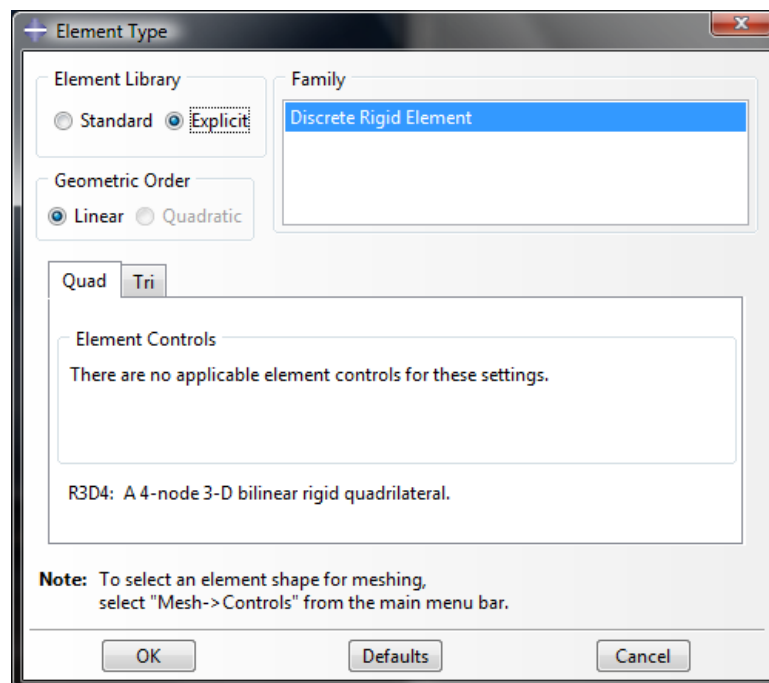


Abbildung 10: Auswahl des Element-Typs

Führe die Vernetzung des Zylinders in analoger Weise durch, aber wähle als Elementgröße 2,5 mm und den Elementtyp **C3D8R** (Explicit/3D Stress/Linear/Hex). Die Element Controls sollten ihre Standardeinstellungen behalten.

Um uns später die Definition der Output Requests zu erleichtern, erstellen wir nun noch ein Element- und ein Node-Set: Aktiviere zunächst die View-Toolbar (**View** → **Toolbars** → **Views**) und dort **Bottom View**. Starte denn mittels der **View Cut Toolbar** den **View Cut Manager** und wähle die Optionen wie in Abbildung 11, so daß Du einen Längsschnitt durch den Zylinder erhältst.

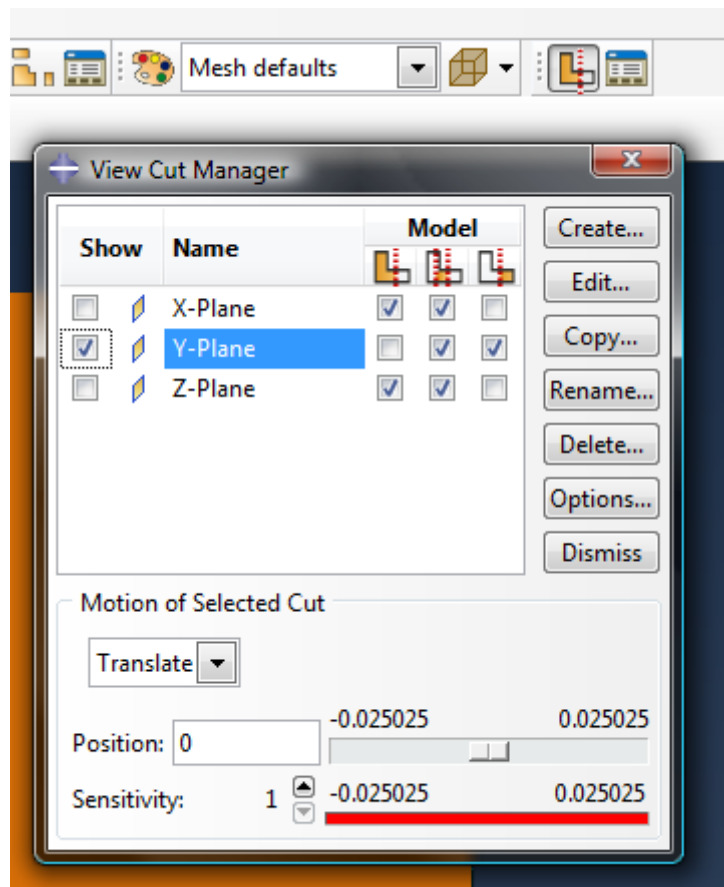


Abbildung 11: Festlegung der Schnittebene

Klicke nun im Modellbaum auf **Parts** → **Zylinder** → **Sets** → **Create...** und nenne das neue Set „ZylinderZentrum“ (Typ: **Node**). Nach einem Klick auf **Continue** mußt Du nun die gewünschten Knoten im Viewport wählen; selektiere dazu einige Knoten entlang der Längsachse des Zylinders (Shift-Taste gedrückt halten, Abbildung 12). Lege auf die gleiche Weise ein Element-Set an, das aus einem einzelnen Element im Zentrum am Boden des Zylinders besteht und nenne es „ZylinderBoden“ (Abbildung 13).

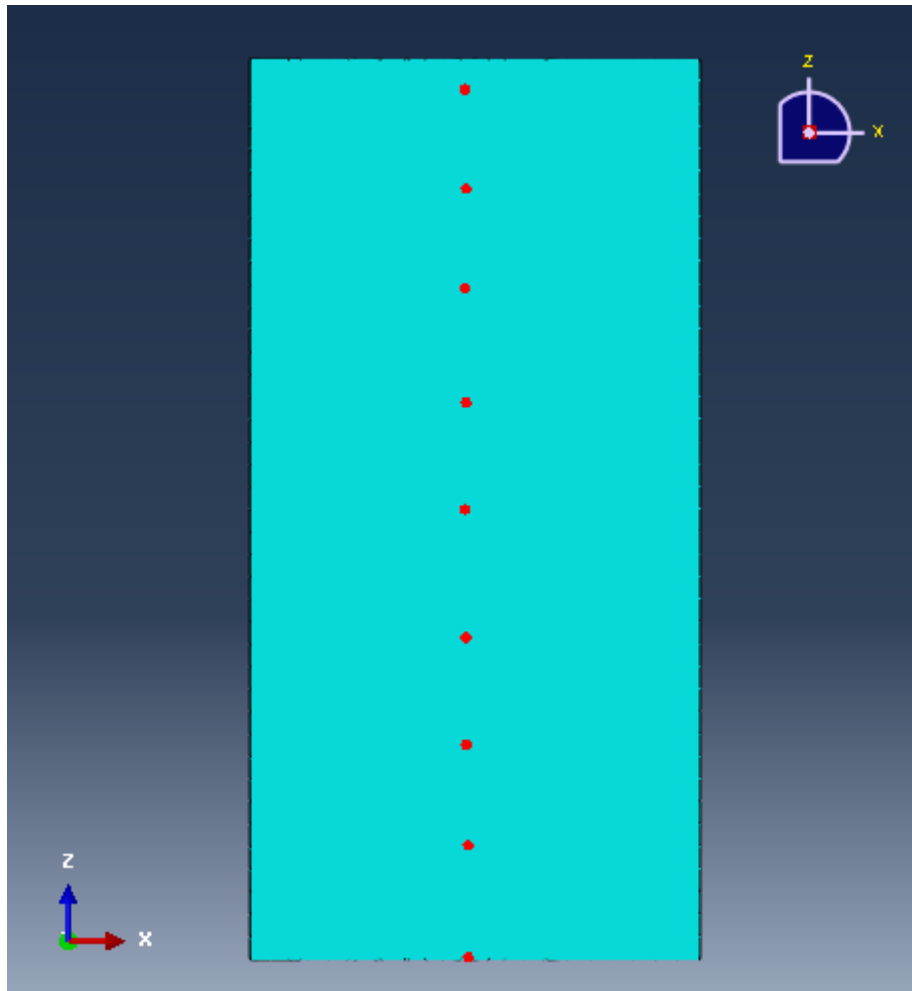


Abbildung 12: Selektion von Knoten entlang der Längsachse

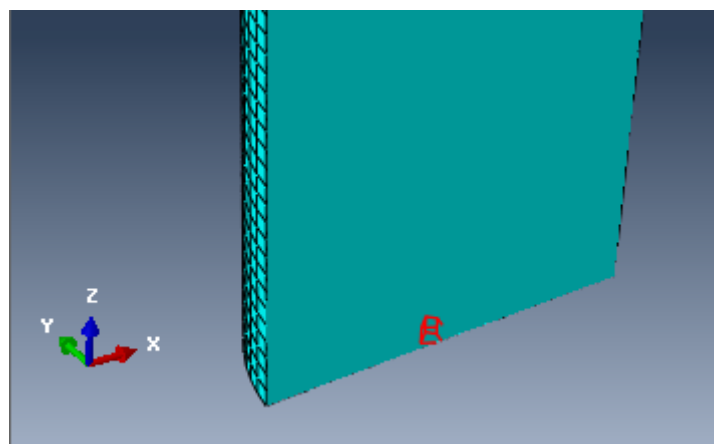


Abbildung 13: Selektion eines einzelnen Elements

Anordnen der Bauteile in einem Assembly (Baugruppe)

Ein Assembly ist eine beliebigen räumlichen Anordnung einer oder mehrerer Part-Instanzen. Unser Assembly wird aus einem Boden und einem Zylinder bestehen. Wechsle zunächst ins **Assembly-Modul**. Erstelle dort jeweils eine Instanz der Bauteile „Boden“ und „Zylinder“ mittels **Instance Part**. Das Ergebnis sollte wie in Abbildung 14 aussehen, sofern Du dich an die Empfehlungen bezüglich der Positionierung gehalten hast. Andernfalls mußt Du die Bauteile noch über die entsprechenden Werkzeuge (**Rotate/Translate**) positionieren.

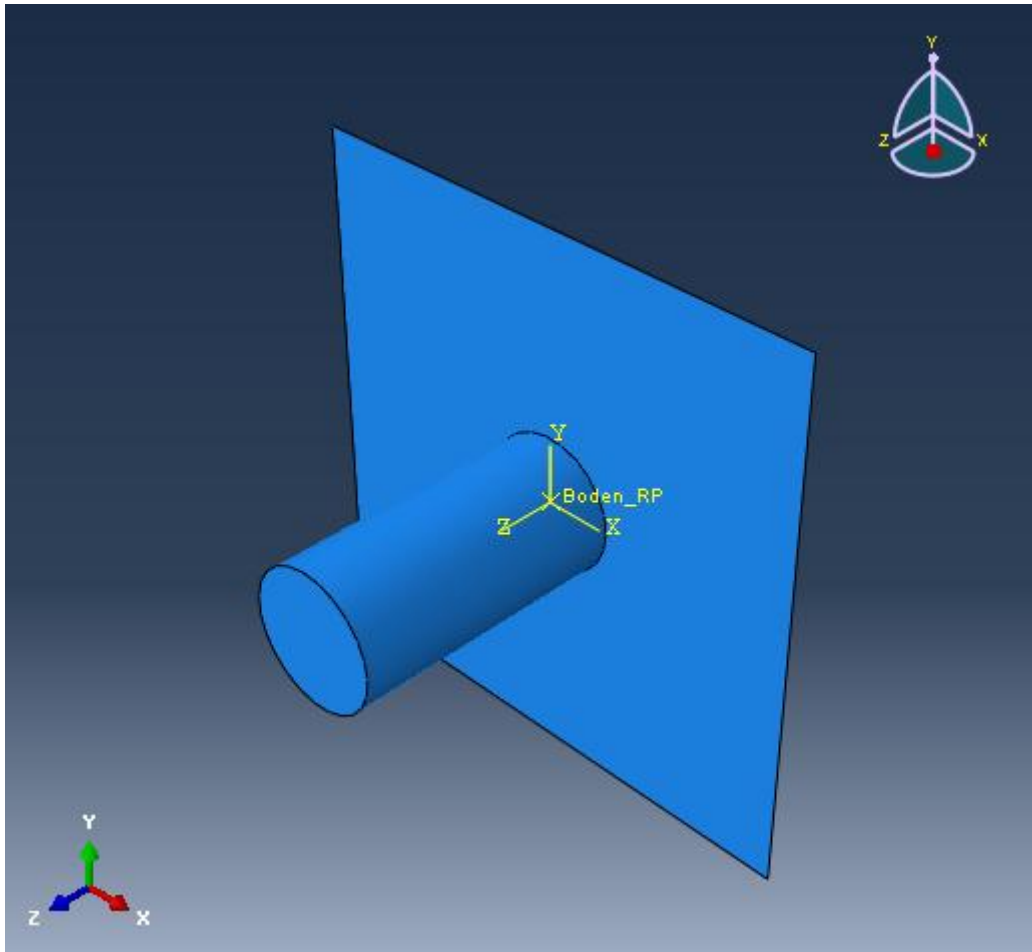


Abbildung 14: Assembly bestehend aus Gummi-Zylinder und Fußboden

Festlegung von Last- und Randbedingungen

Wechsle zum Step-Modul und erzeuge einen neuen Lastschritt vom Typ **Dynamic, Explicit**. Lege im Edit-Step-Dialog eine Zeitdauer von 5 ms fest (Abbildung 15). Die restlichen Parameter können auf ihren Standardwerten belassen werden. Fixiere nun den Fußboden, indem Du zunächst eine neue Randbedingung vom Typ **Symmetry/Antisymmetry/Encastre** erstellst (**Steps** → **Initial** → **BCs** → **Create ...**). Abaqus möchte nun wissen, für welche „Region“ diese BC gelten soll. Klicke dazu im Viewport auf den Referenz-Punkt des Bodens und nenne das neue Set „Boden_RP_Set“ (Abbildung 16). Wähle im nächsten Dialog die Option **ENCASTRE**.

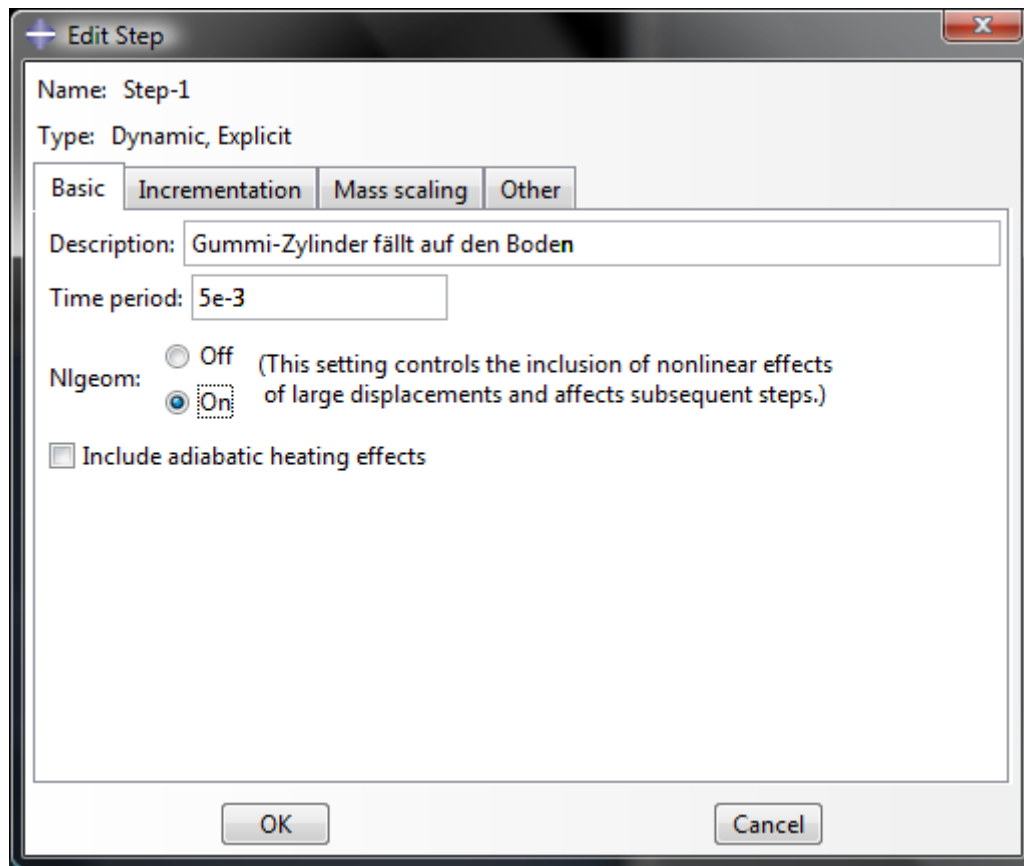


Abbildung 15: Einstellungsdialog für Step-1

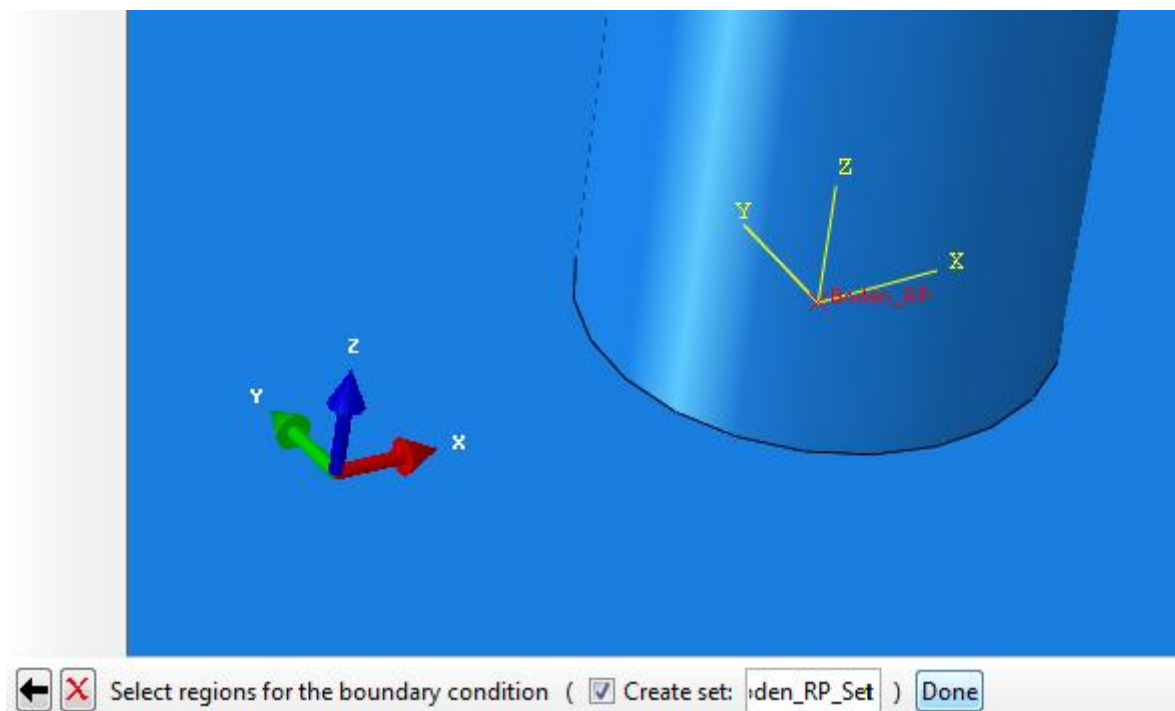


Abbildung 16: Wahl des Boden-Referenzpunktes

Lege nun die Anfangsgeschwindigkeit des Zylinders fest, indem Du ein neues Geschwindigkeitsfeld definierst (**Create Predefined Field**). Verwende das zuvor erzeugte Set „ZylinderKomplett“, um für den gesamten Zylinder die gewünschte Anfangsgeschwindigkeit festzulegen. Füge außerdem zu Lastschritt 1 (Step-1) eine Last vom Typ **Gravity** hinzu.

Wechsel zum Modul **Interaction** und definiere einen neuen Interaktionstyp vom Typ **Contact** (**Create Interaction Property** in der Toolbox). Wähle die Kontaktoptionen wie in Abbildung 17 dargestellt.

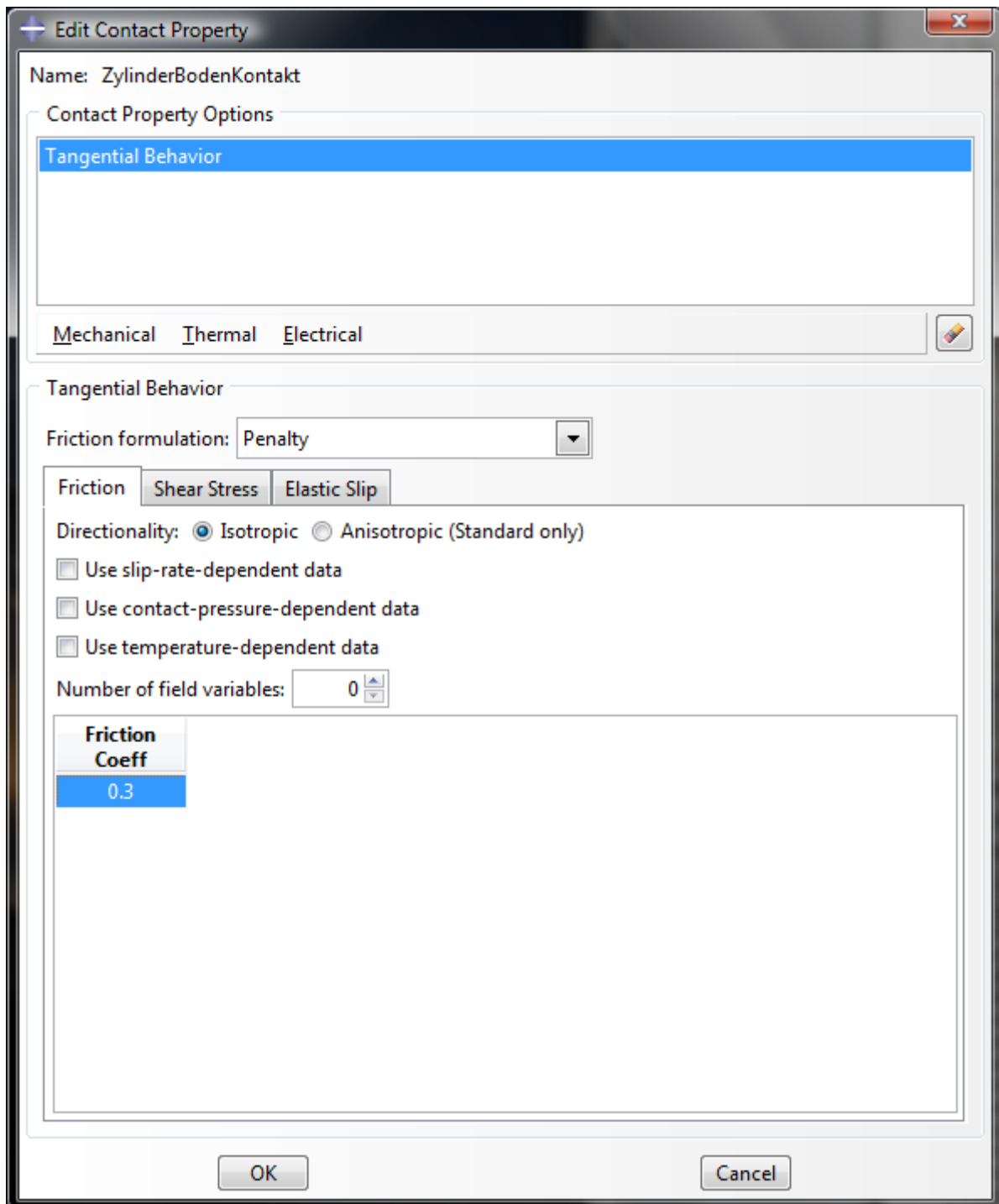


Abbildung 17: Kontakteigenschaften

Klicke dann auf **Create Interaction** und definiere einen **General contact (Explicit)**, dem Du ebenfalls einen sinnvollen Namen gibst. Im nun erscheinenden **Edit-Interaction**-Dialog mußt Du lediglich Deinen im vorherigen Schritt definierten Interaktionstyp auswählen (**Global property assignment**, Abbildung 18).

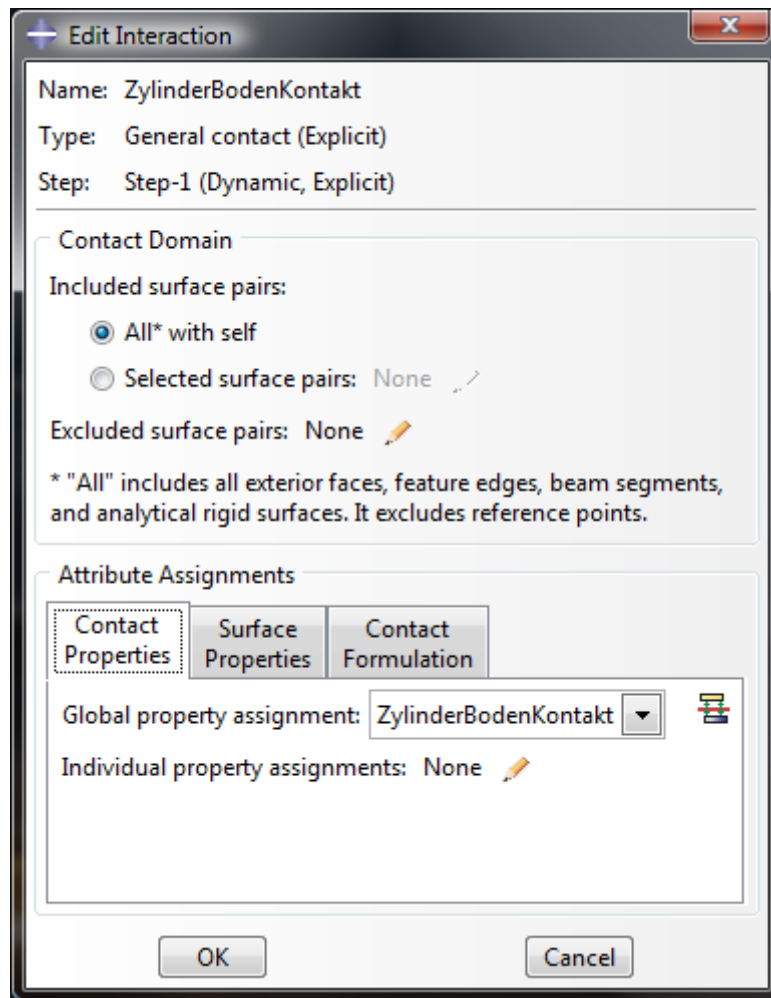


Abbildung 18: Definition der Kontakte

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 Lastschritts bereits einige Standard Output Requests erzeugt (**F-Output-1** und **H-Output-1** im Modellbaum). Wähle **F-Output-1** → **Edit...** um

die Ausgabe-Frequenz folgendermaßen anzupassen: **Every x units of time**; **x: 2.5e-5**. Füge zu den Output Variablen die aktuelle Dichte hinzu (**State/Field/User/Time** → **DENSITY**) und aktiviere außerdem das Antialiasing-Filter (Häkchen vor **Apply filter**, Abbildung 19).

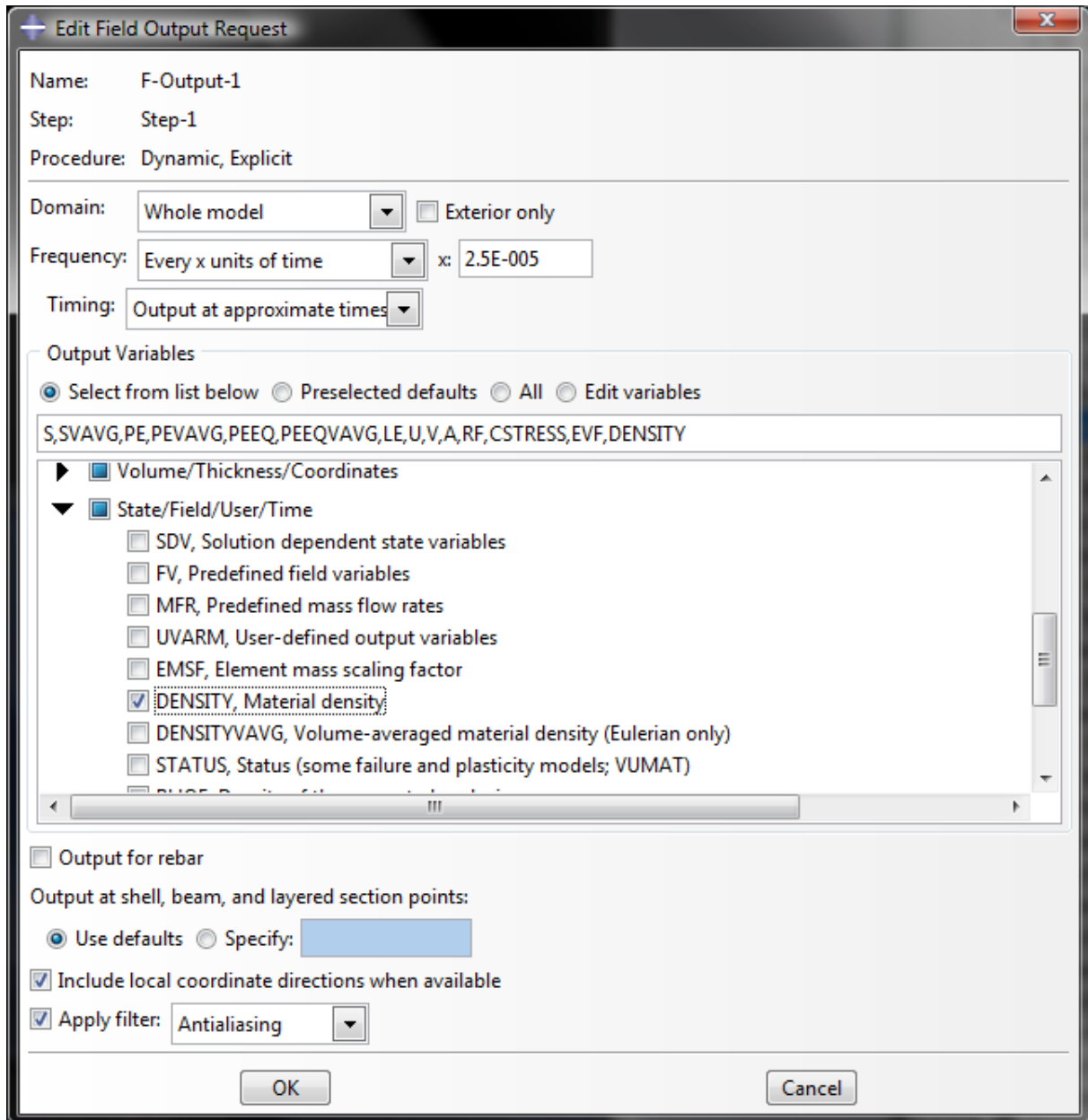


Abbildung 19: Modifizierter Field Output Request F-Output-1

Ähnlich verfahren wir nun mit dem vordefinierten H-Output-1, nur daß wir dort das Zeitintervall auf 10^{-6} s festlegen. Aktiviere auch hier das Antialiasing-Filter.

Klicke nun in der Toolbox auf **Create History Output** um einen weiteren History Output Request zu erzeugen und wähle die gewünschten Modellantworten für das Node-Set „ZylinderZentrum“ wie in Abbildung 20 dargestellt.

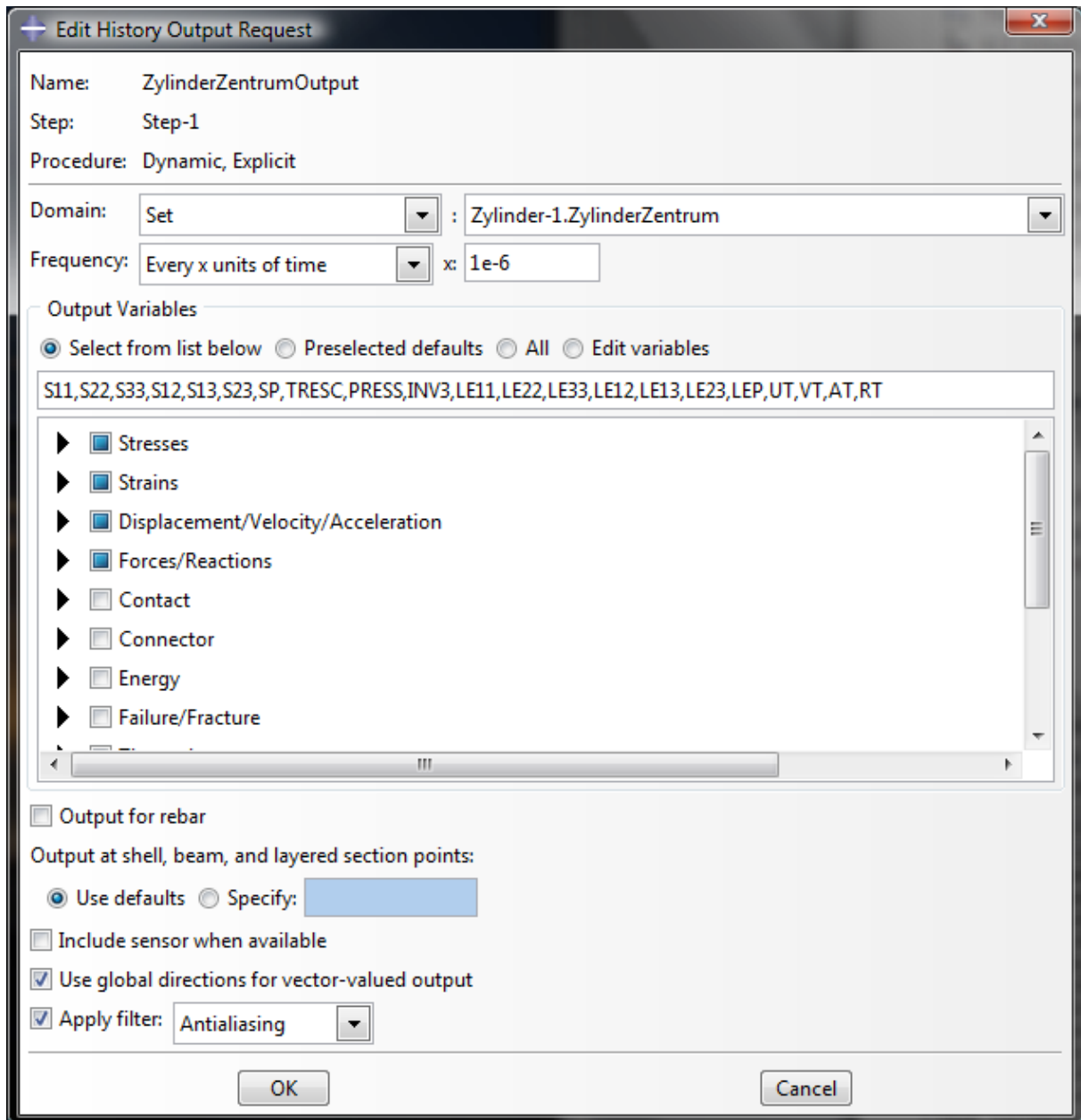


Abbildung 20: Output History Request für ZylinderZentrum

Definiere nun einen entsprechende History Request auch für das einzelne Boden-Element im Zentrum des Zylinders (Set „ZylinderBoden“, Abbildung 21).

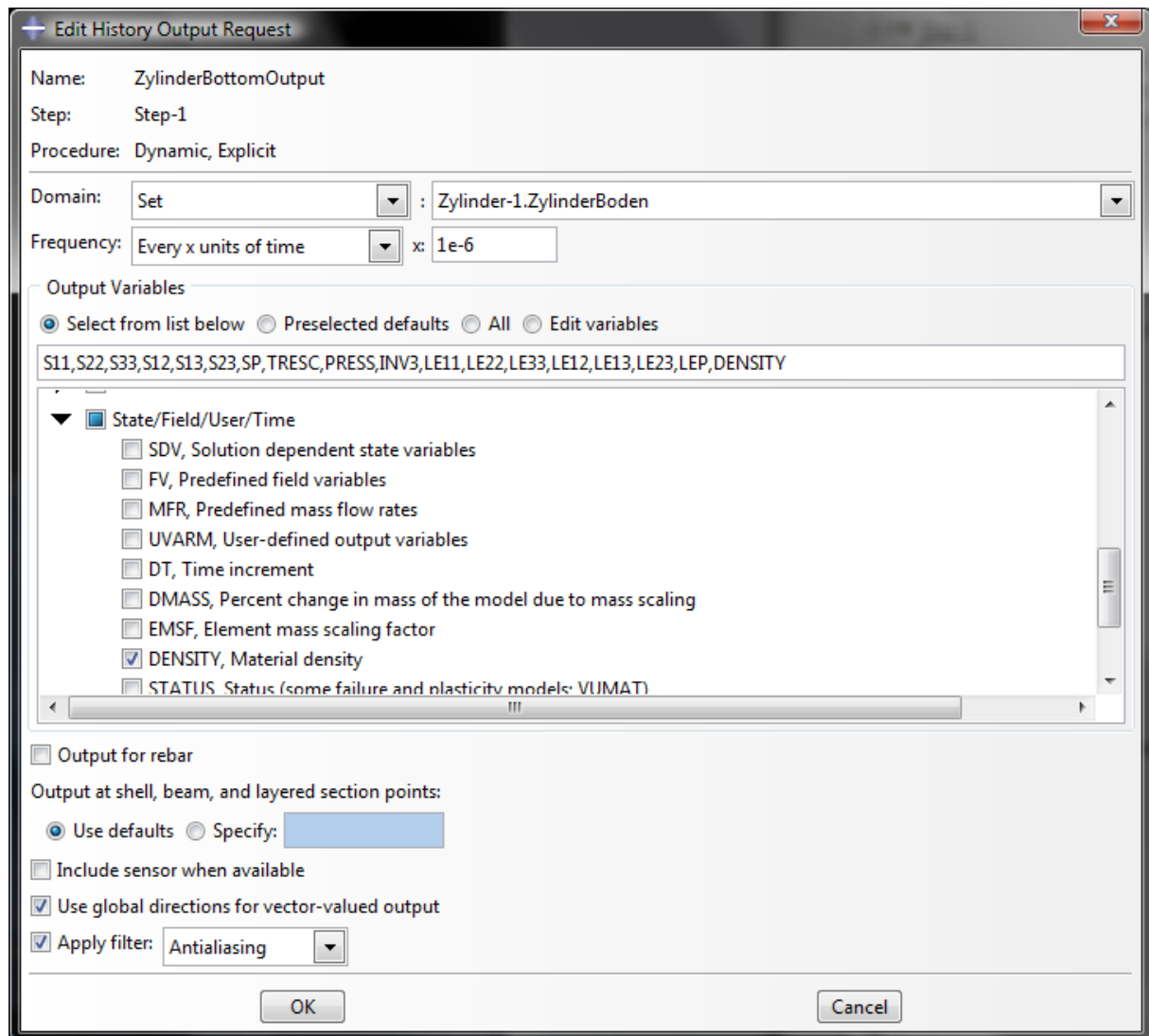


Abbildung 21: Output History Request für ZylinderBoden

Solution

Nun können wir die eigentliche Berechnung starten. Öffne den **Job Manager** im **Job-Modul** und erzeuge einen neuen Job (Button **Create...** in Abbildung 22). Achte darauf, die Job-Optionen so anzupassen, daß alle CPU-Kerne Deines Rechners Verwendung finden (Abbildung 23). 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.

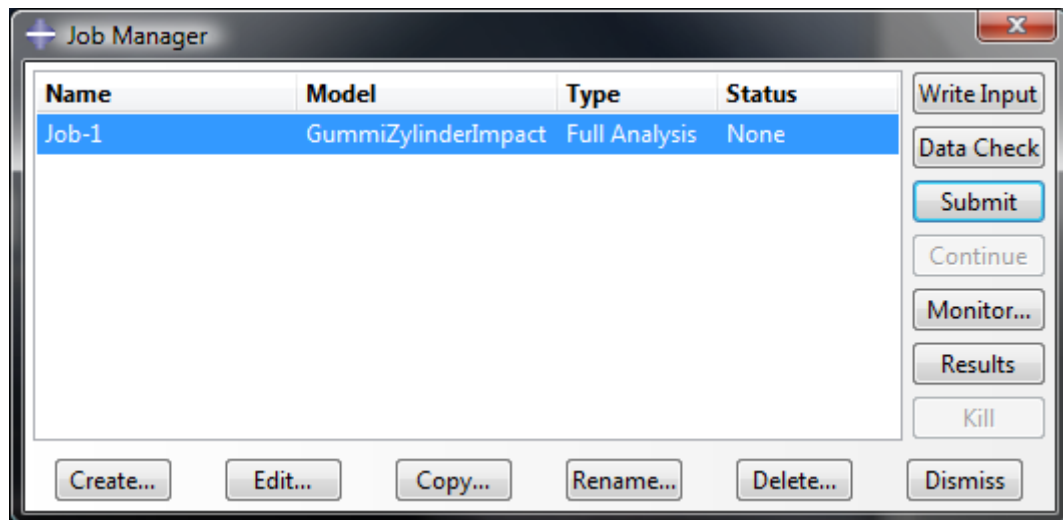


Abbildung 22: Job Manager

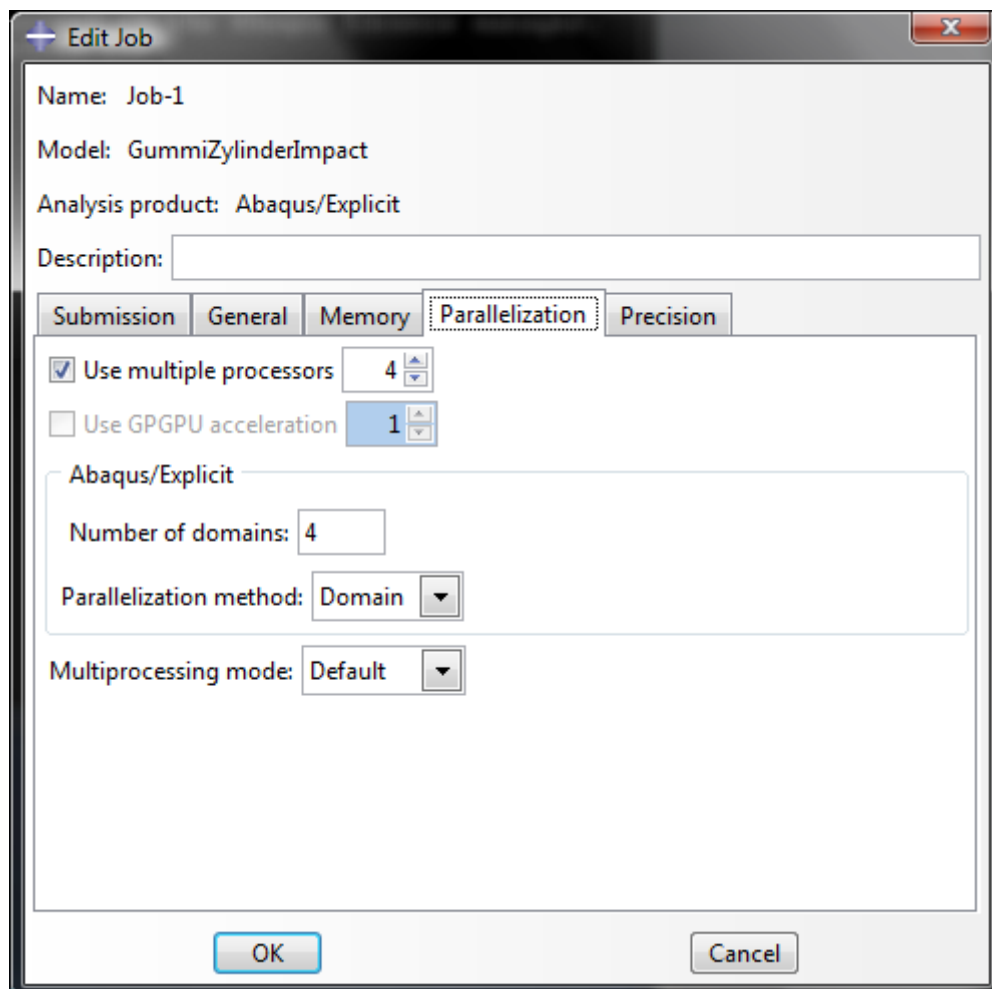


Abbildung 23: Job-Optionen

Post-Processing & Auswertung

Das **Visualization-Modul** ist Abaqus' Post-Processor. Nutze die gebotenen Möglichkeiten zur Modellauswertung, um folgende Fragestellungen zu beantworten:

Aufgaben & Fragen:

- Visualisiere die Ausbreitung der Druckwelle im Zylinder! Folgende Werkzeuge könnten sich als nützlich erweisen:
 - **Plot Contours on Deformed Shape**
 - **Contour Options**
 - **Animate: Time History**
 - **View Cut Manager**
 - **Options → Common... → Deformation Scale Factor**
- Worin besteht der grundsätzliche Unterschied zur Lösung eines impliziten Solvers (vgl. Aufgabe 6)?
- Wie hoch ist der Druck maximal? Plote hierfür die zeitliche Entwicklung des Drucks für das Element Set „ZylinderBoden“! (**Create XY Data → ODB History Output**)
- Stelle den zeitlichen Verlauf der Gesamtenergie des Systems dar (**Create XY Data → ODB History Output**)! Was fällt Dir auf? Stelle die kinetische Energie der Verformungsenergie gegenüber! Was beobachtest Du? Und wie verhält sich die Gesamtenergie im Verhältnis zu diesen beiden Komponenten?
- Ändere die Steifigkeit des Zylinders auf 1 MPa! Wie wirkt sich diese Änderung auf die Schallausbreitung aus? Wie wirkt sich eine Änderung der Dichte aus? Welche Auswirkungen haben diese Änderungen auf die Zeitschrittweite (stable time increment)?
- Wie beeinflusst eine Änderung der Elementgröße die Zeitschrittweite und wieso?
- Inwiefern unterscheidet sich die Ausbreitung der Druckwellen im Gummi-Zylinder von der Ausbreitung von Schallwellen in der Luft? Und woran liegt das?

