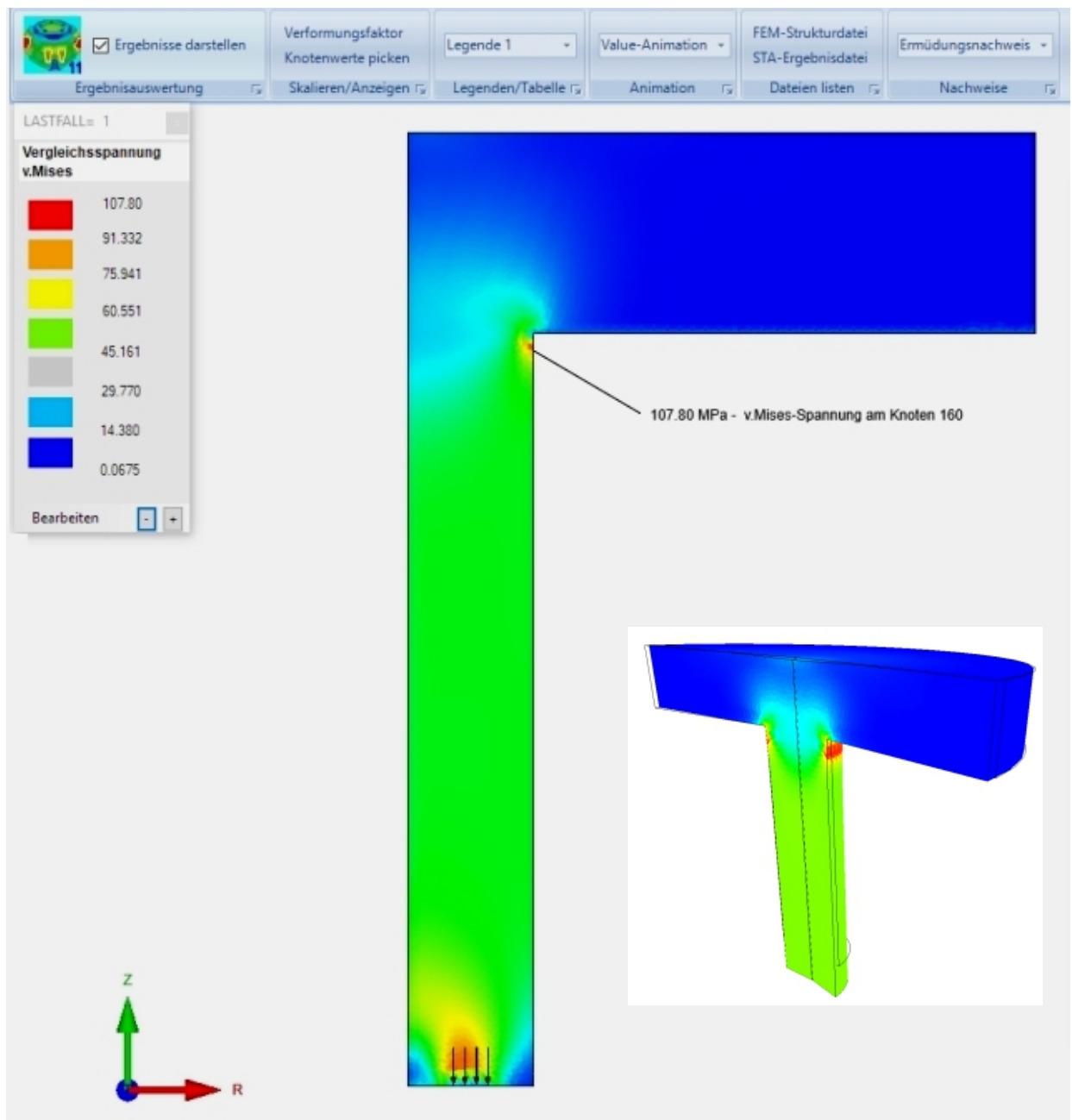


# FEM-System *MEANS V12*

## Axialsymmetrische FEM-Analyse mit Vergleich zwischen 2D-Rotationsnetzen und 3D-Volumennetzen



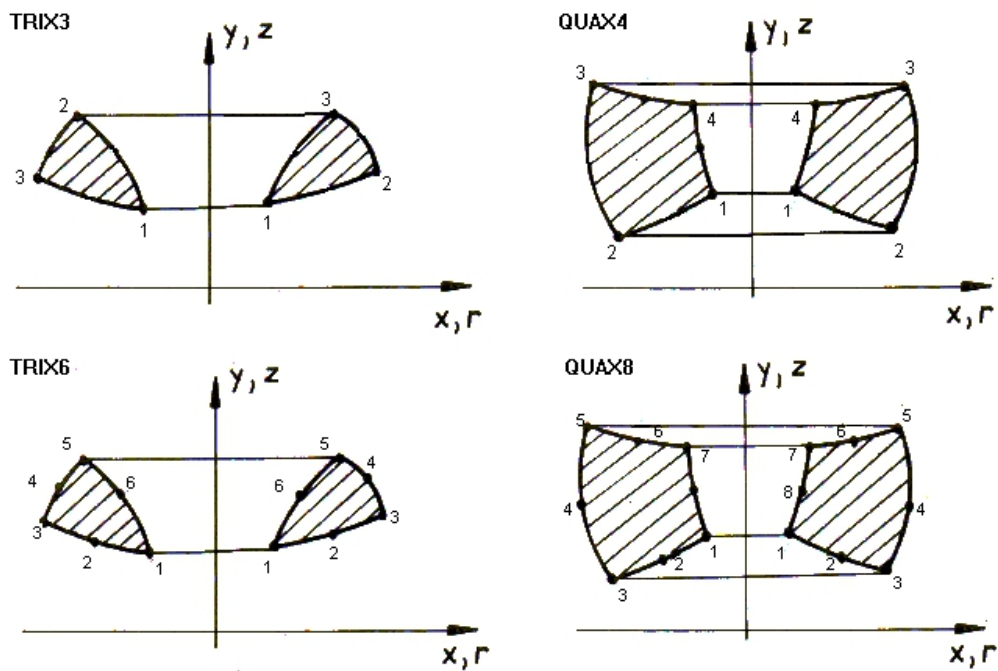
[www.femcad.de](http://www.femcad.de)

[www.fem-infos.com](http://www.fem-infos.com)

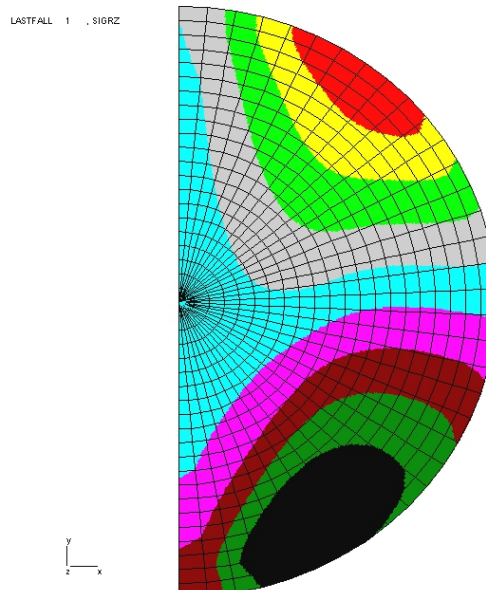
## Kapitel 8: Axialsymmetrische FEM-Analyse mit MEANS V12

Für die Berechnung von räumlichen Bauteilen mit einer rotationssymmetrischen Geometrie und Belastung werden die axialsymmetrischen Ringelemente TRIX3, QUAX4, TRIX6 und QUAX8 verwendet. Durch diese Elemente wird eine erhebliche Vereinfachung der Berechnung erzielt, da die Analyse in einem zweidimensionalen Koordinatensystem durchgeführt werden kann.

### Axialsymmetrische Ringelemente:

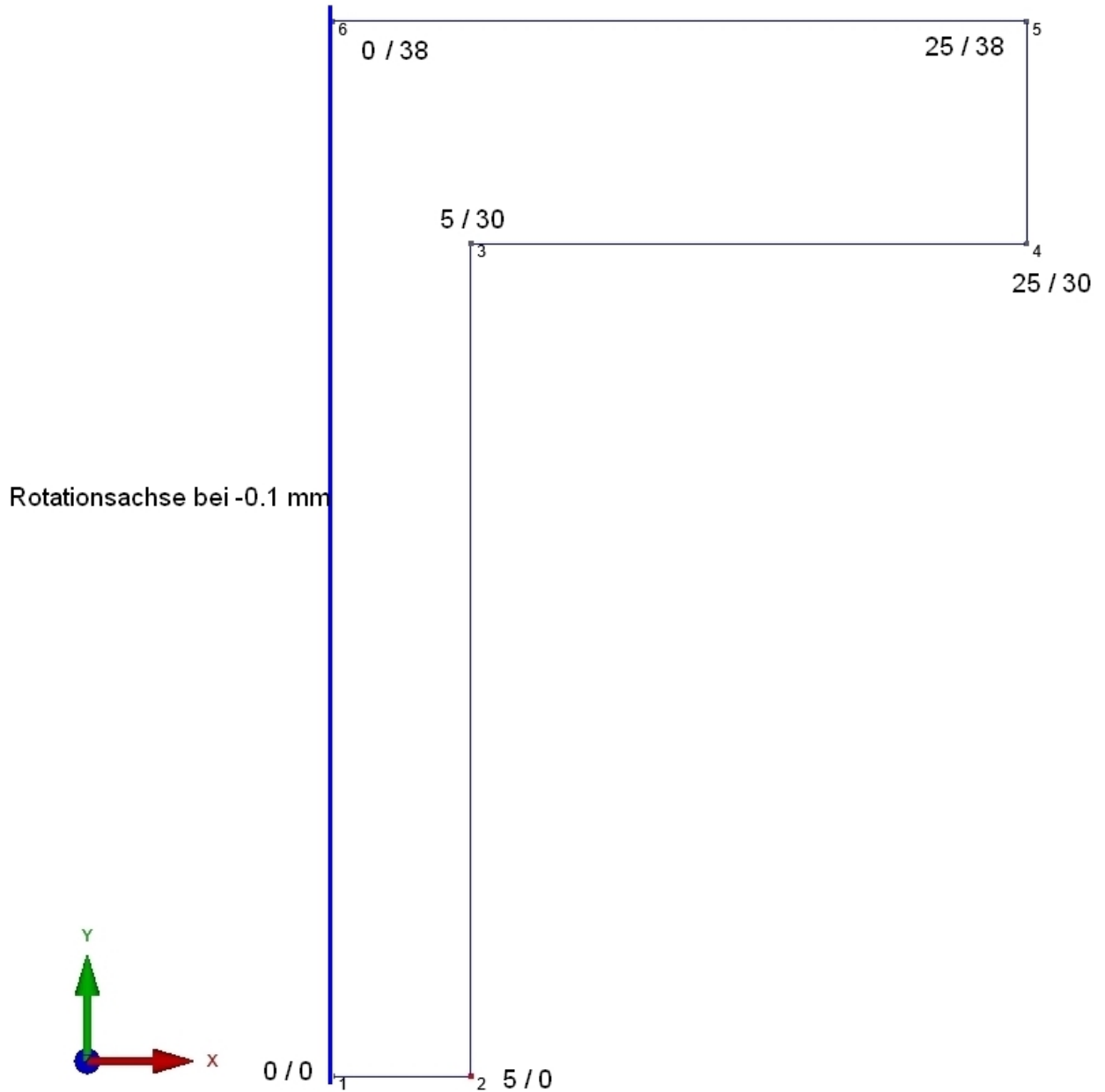


### Beispiel Kristallglaskörper berechnet mit Rotationselementen:



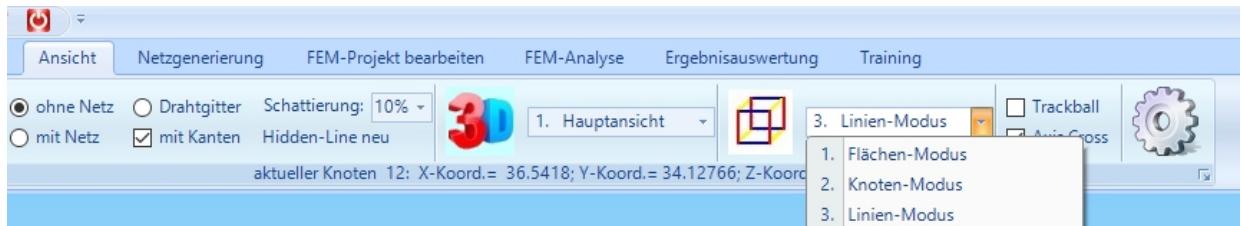
## Beispiel: Zugbelastete Aufhängung

Die Aufhängung besteht aus einer runden Stange mit 10 mm Durchmesser und einer runden Auflagefläche mit einem Durchmesser von 50 mm. Wegen der Axialsymmetrie wird nur die rechte Hälfte benötigt. Am Stabende wird die Aufhängung mit einem Gewicht von 400 Kilo bzw. 4000 N belastet.

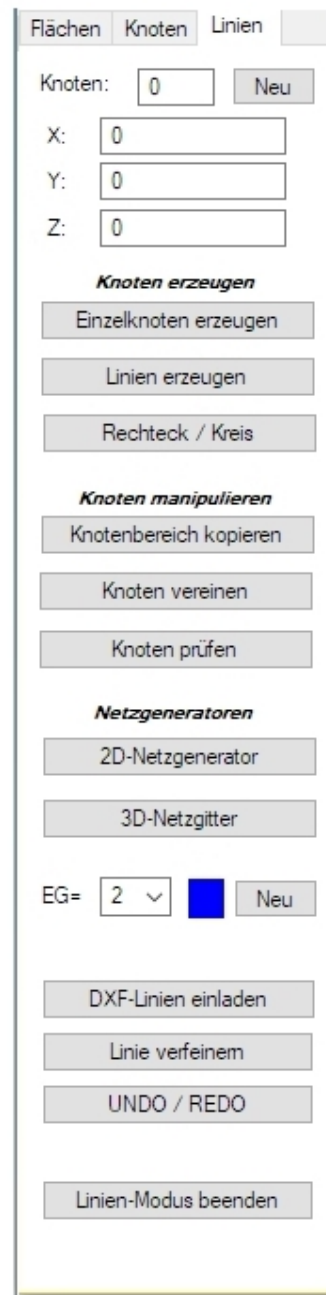
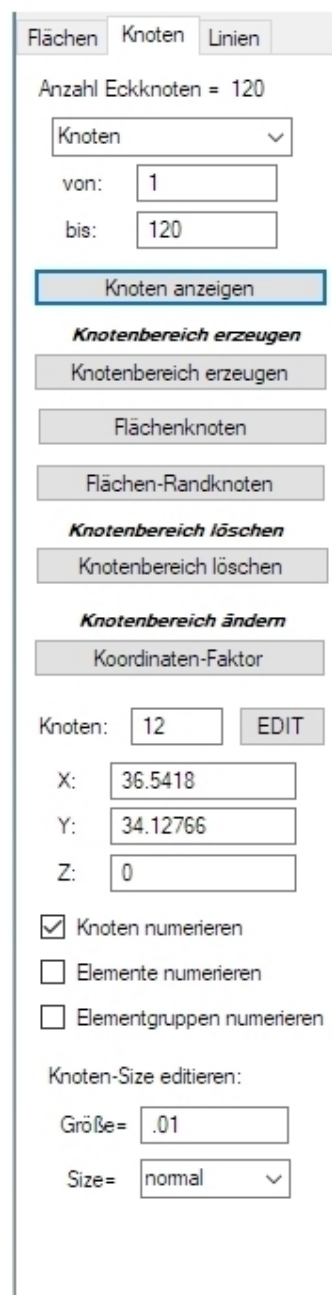


## Linienmodell erzeugen

Mit MEANS V12 wird zuerst das Register „Ansicht“ und „Linien-Modus“ gewählt ein Liniemodell mit 6 Knoten und 6 Linien einzugeben.



Während der Eingabe kann zwischen Knoten- und Linien-Modus gewechselt werden.



## Erzeugen Sie nun folgende 6 Knotenkoordinaten

Wählen Sie im Linien-Modus das Menü "Neu" um den Knoten 1 zu erzeugen und geben die Knotenkoordinaten  $X = 0$ ,  $Y = 0$ ,  $Z = 0$  ein. Danach wählen Sie Menü "Einzelknoten erzeugen" um den Knoten 1 in das FEM-Netz zu addieren.

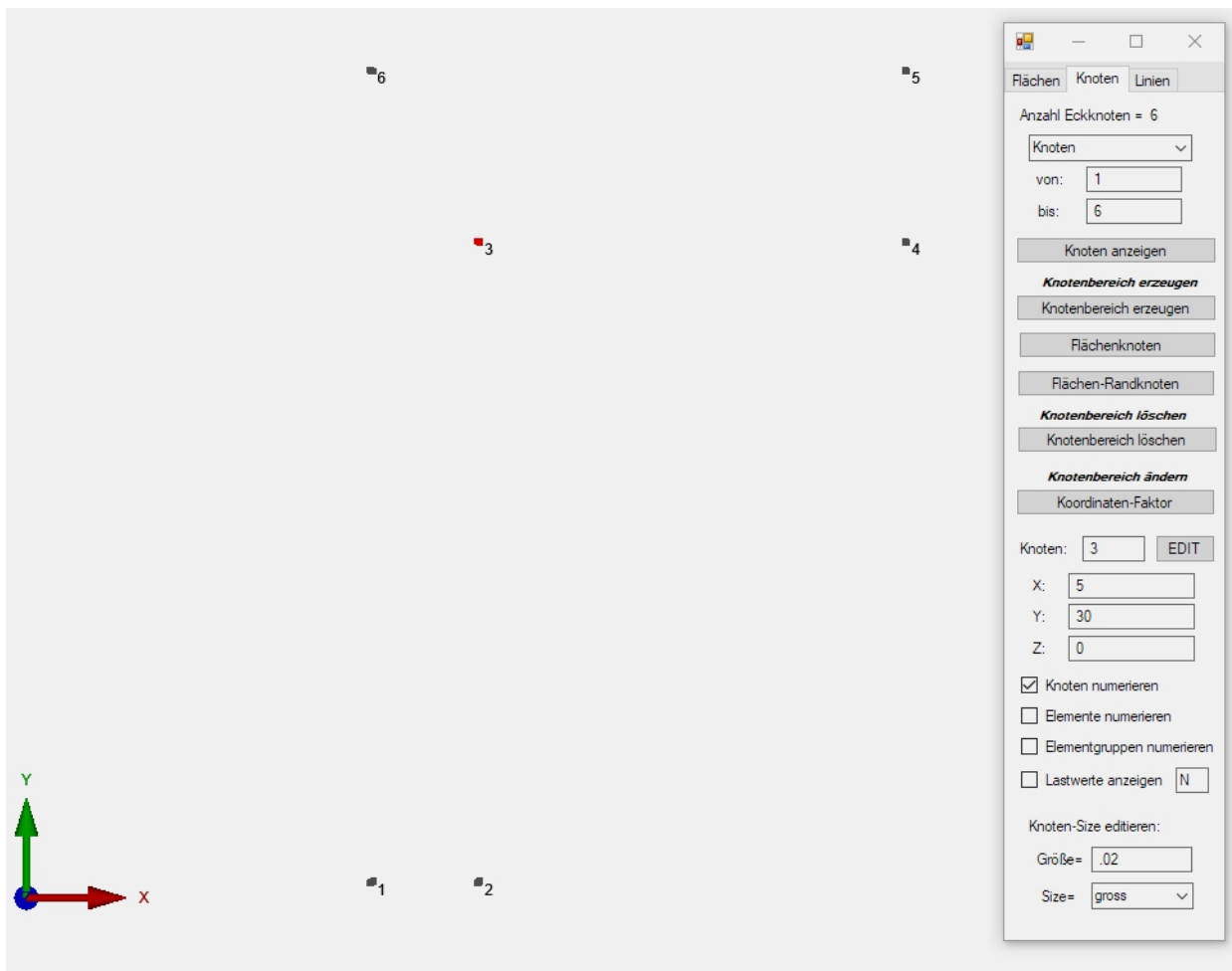
Wählen Sie im Linien-Modus das Menü "Neu" um den Knoten 2 zu erzeugen und geben die Knotenkoordinaten  $X = 5$ ,  $Y = 0$ ,  $Z = 0$  ein. Danach wählen Sie Menü "Einzelknoten erzeugen" um den Knoten 2 in das FEM-Netz zu addieren.

Wählen Sie im Linien-Modus das Menü "Neu" um den Knoten 3 zu erzeugen und geben die Knotenkoordinaten  $X = 5$ ,  $Y = 30$ ,  $Z = 0$  ein. Danach wählen Sie Menü "Einzelknoten erzeugen" um den Knoten 3 in das FEM-Netz zu addieren.

Wählen Sie im Linien-Modus das Menü "Neu" um den Knoten 4 zu erzeugen und geben die Knotenkoordinaten  $X = 25$ ,  $Y = 30$ ,  $Z = 0$  ein. Danach wählen Sie Menü "Einzelknoten erzeugen" um den Knoten 4 in das FEM-Netz zu addieren.

Wählen Sie im Linien-Modus das Menü "Neu" um den Knoten 5 zu erzeugen und geben die Knotenkoordinaten  $X = 25$ ,  $Y = 38$ ,  $Z = 0$  ein. Danach wählen Sie Menü "Einzelknoten erzeugen" um den Knoten 5 in das FEM-Netz zu addieren.

Wählen Sie im Linien-Modus das Menü "Neu" um den Knoten 6 zu erzeugen und geben die Knotenkoordinaten  $X = 0$ ,  $Y = 38$ ,  $Z = 0$  ein. Danach wählen Sie Menü "Einzelknoten erzeugen" um den Knoten 6 in das FEM-Netz zu addieren.

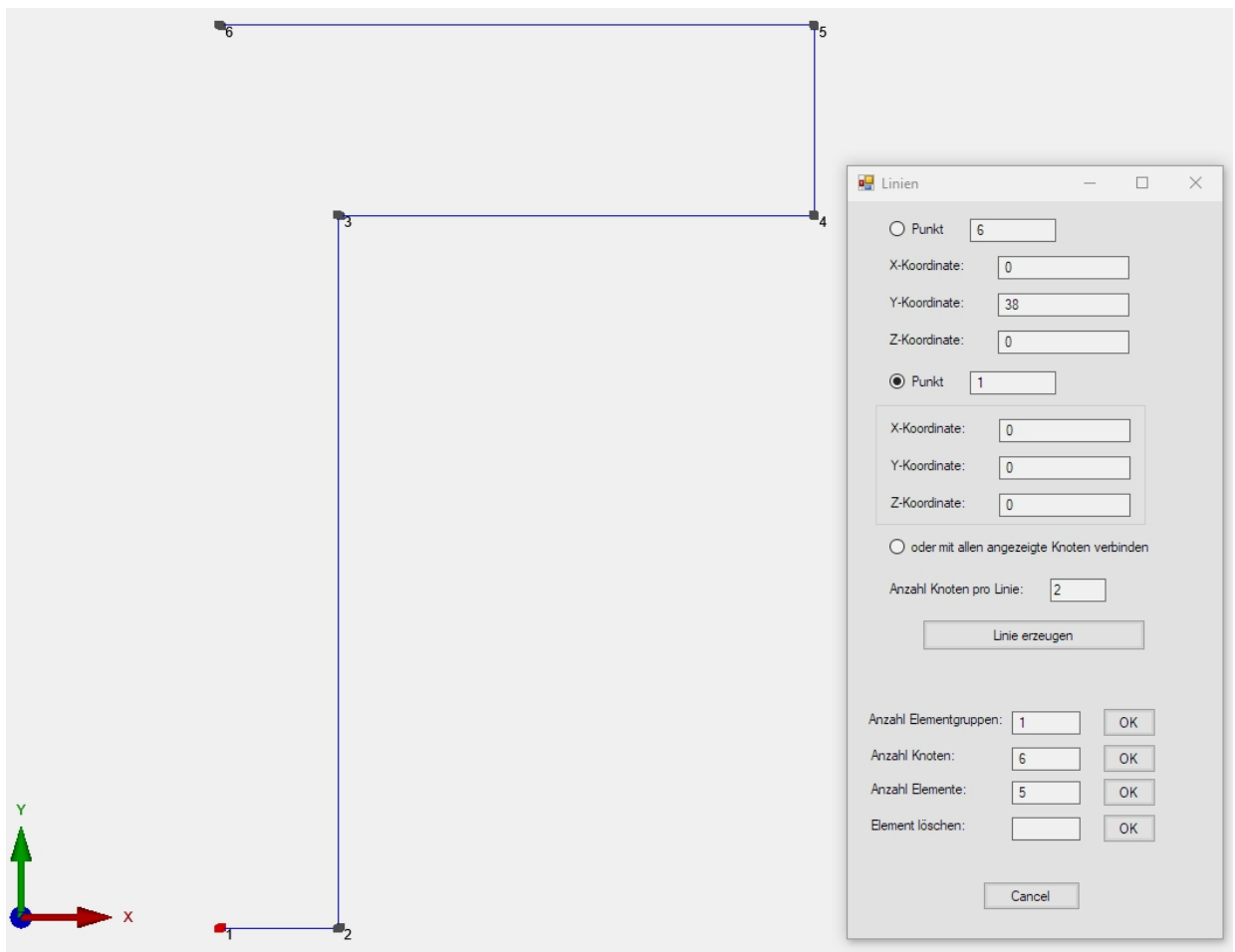


## Linien erzeugen

Wählen Sie nun das Menü "Linien erzeugen" und verbinden die Knotenpunkte

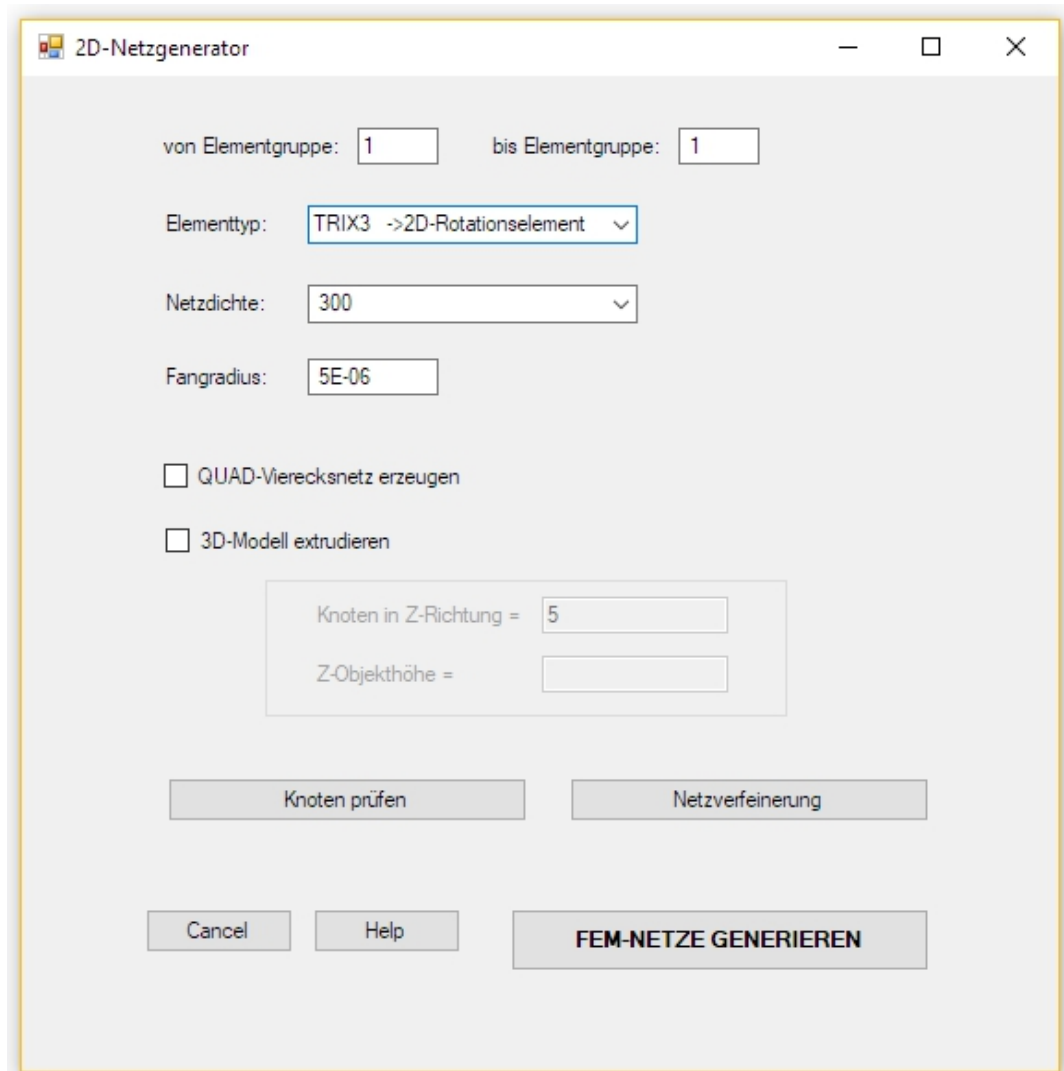
- 1 - 2
- 2 - 3
- 3 - 4
- 4 - 5
- 5 - 6
- 6 - 1

zu 6 Außenlinien, damit die Aufhängung mit TRIX3-Elementen vernetzt werden kann.



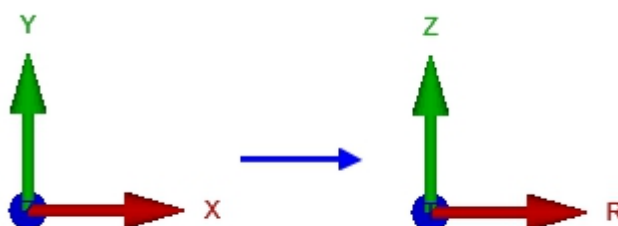
## Netzgenerierung

Sichern Sie nun das Linienmodell unter einem beliebigen Namen und wählen Menü „2D-Netzgenerator“ um ein Netz mit dem Elementtyp „TRIX3“ und einer Netzdichte von „300“ zu generieren.

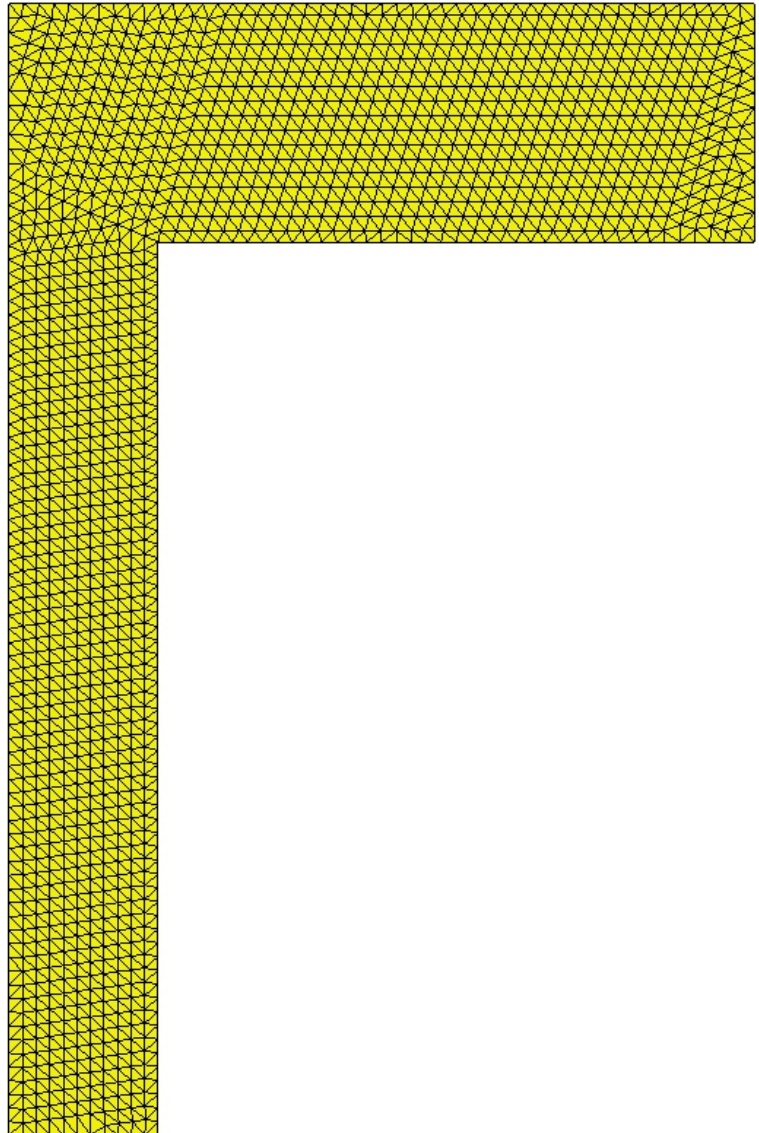
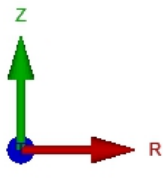


Wählen Sie die Ansicht „Von Vorne“ damit das 2D-Netz in der XY-Ebene zu sehen ist, dannach wählen Sie das Register „FEM-Projekt bearbeiten“ und „Elementgruppen“ um der Elementgruppe eine beliebige Farbe z.B. Gelb zu geben.

Das Koordinatensystem hat jetzt auch von der XY-Ansicht in die RZ-Ansicht gewechselt.



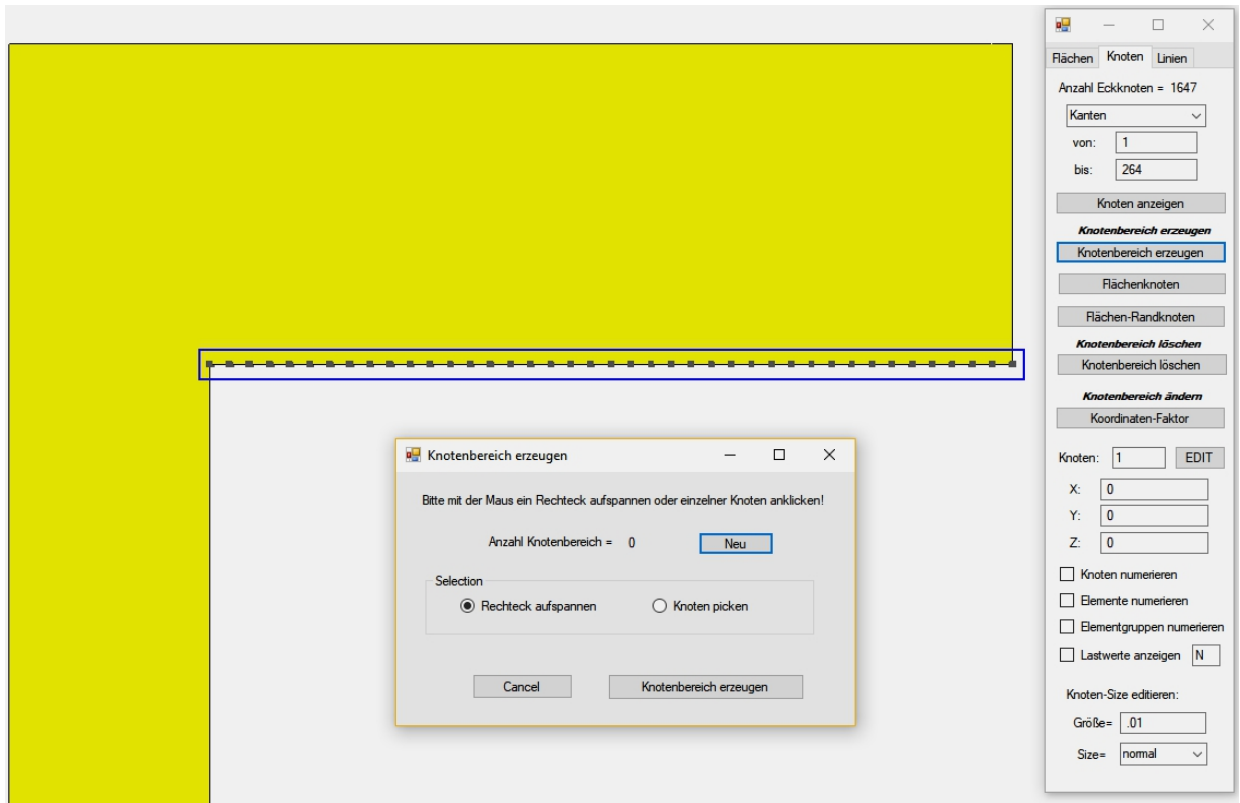
Nach der 2D-Netzgenerierung erhält man ein FEM-Netz bestehend aus 3135 TRIAX3-Rotationsscheiben und 1647 Knotenpunkten



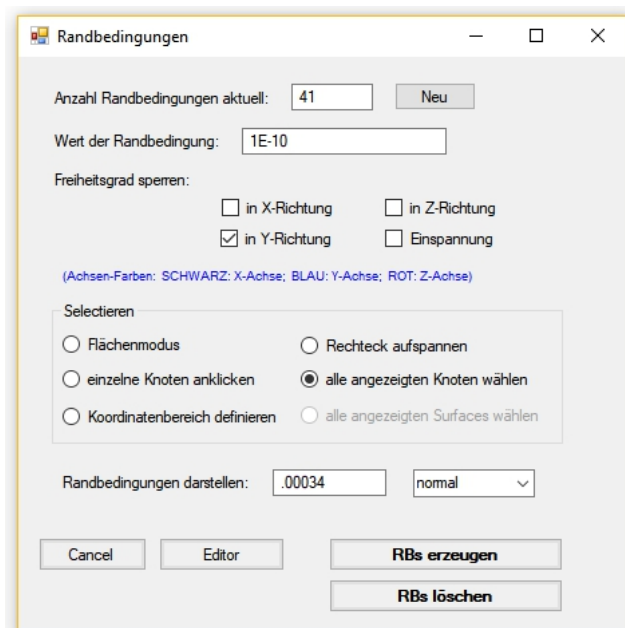


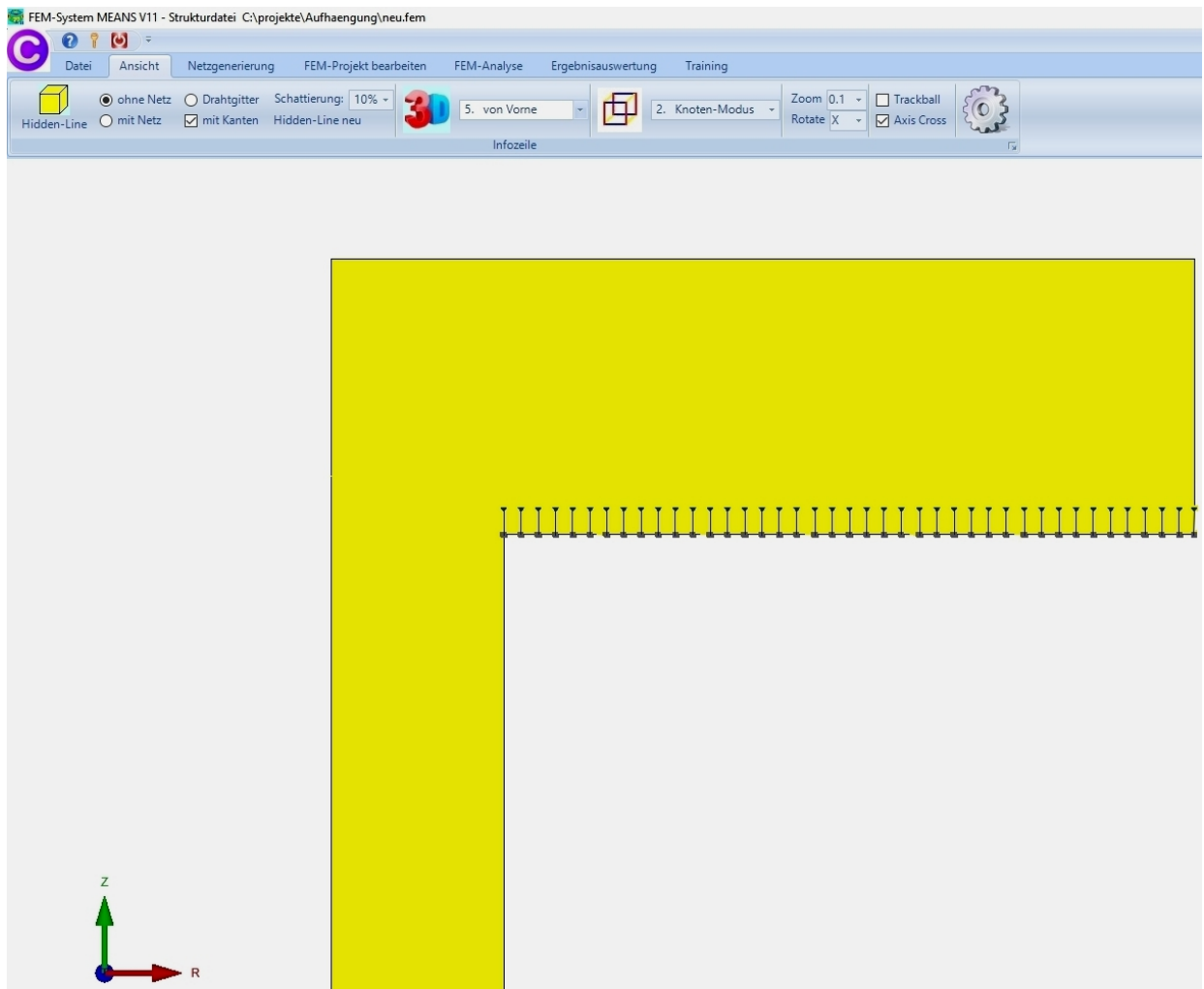
## Randbedingungen erzeugen

Die Unterseite der Aufhängung wird in Z-Richtung gelagert. Wählen Sie im Knoten-Modus das Menü "Knotenbereich erzeugen" und ziehen mit gedrückter Maustaste ein Rechteck über den gewünschten Knotenbereich wie es unten im Bild zu sehen ist und lassen dann die Maustaste wieder los.



Dannach werden die selektieren Knoten angezeigt, wählen Sie Register "FEM-Projekt bearbeiten" und "Randbedingungen" und erzeugen die 41 Randbedingungen in "Y-Richtung" mit der Selektion "alle angezeigten Knoten wählen" und Menü "RBs erzeugen".

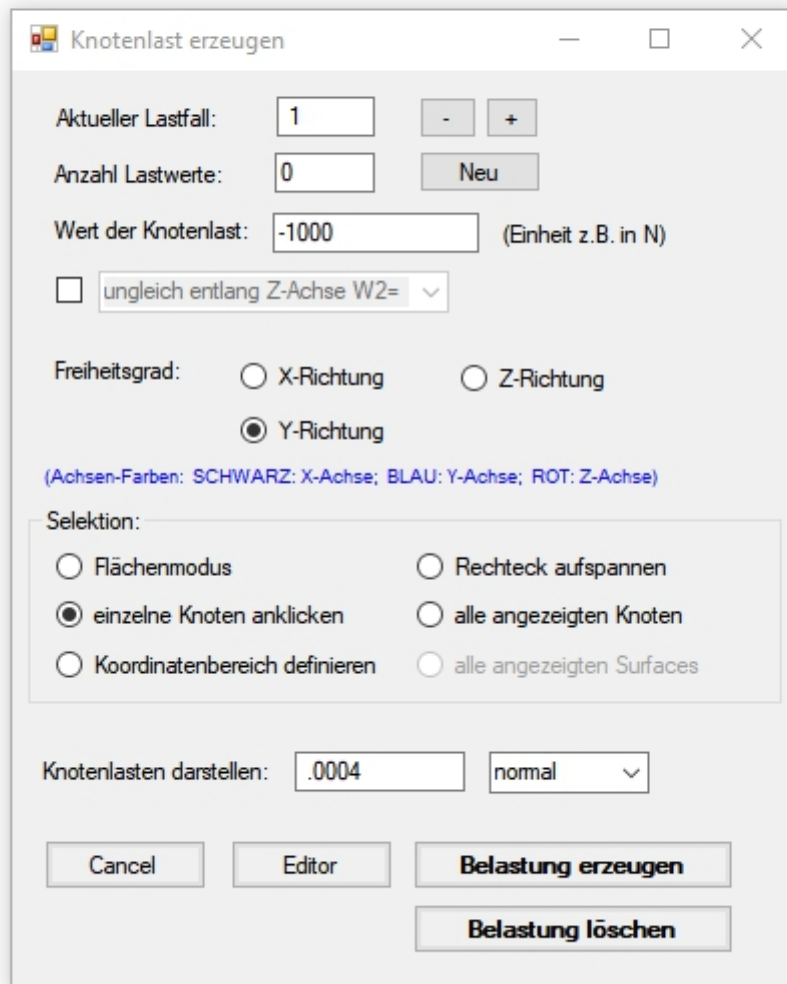




## Gewichtsbelastung erzeugen

Die Aufhängung wird mit einem Gewicht von 400 Kilo bzw. 4000 N belastet.

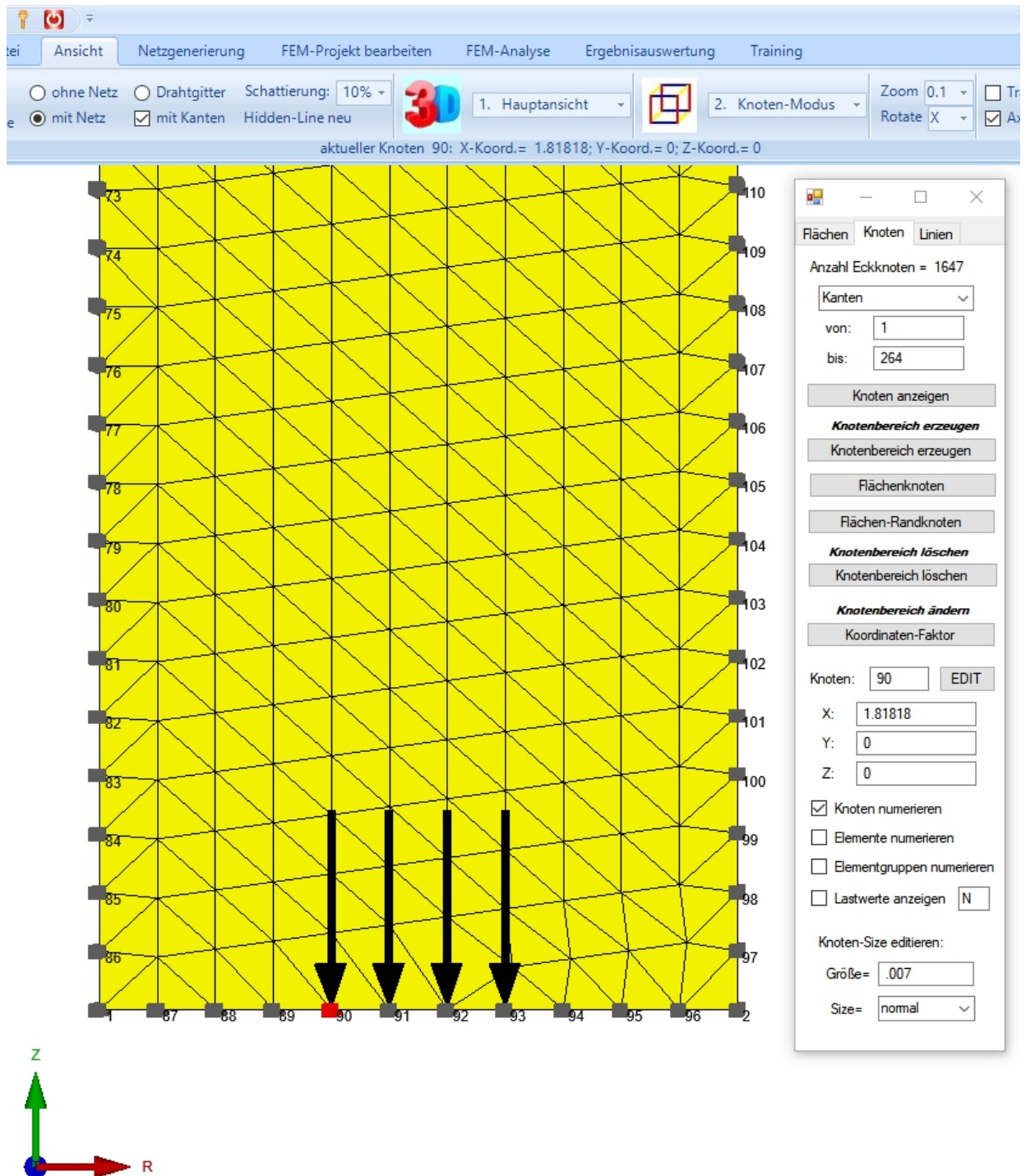
Wählen Sie zuerst das Register "FEM-Projekt bearbeiten" und "Knotenbelastung" um eine Knotenbelastung einzugeben. Stellen Sie den Wert "-1000" in "Y-Richtung" ein und wählen die Selektion "einzelne Knoten anklicken" und wählen "Belastung erzeugen".



Zuerst zoomen und positionieren Sie das FEM-Modell mit dem Wheel-Rad und der rechten Maustaste wie unten dargestellt

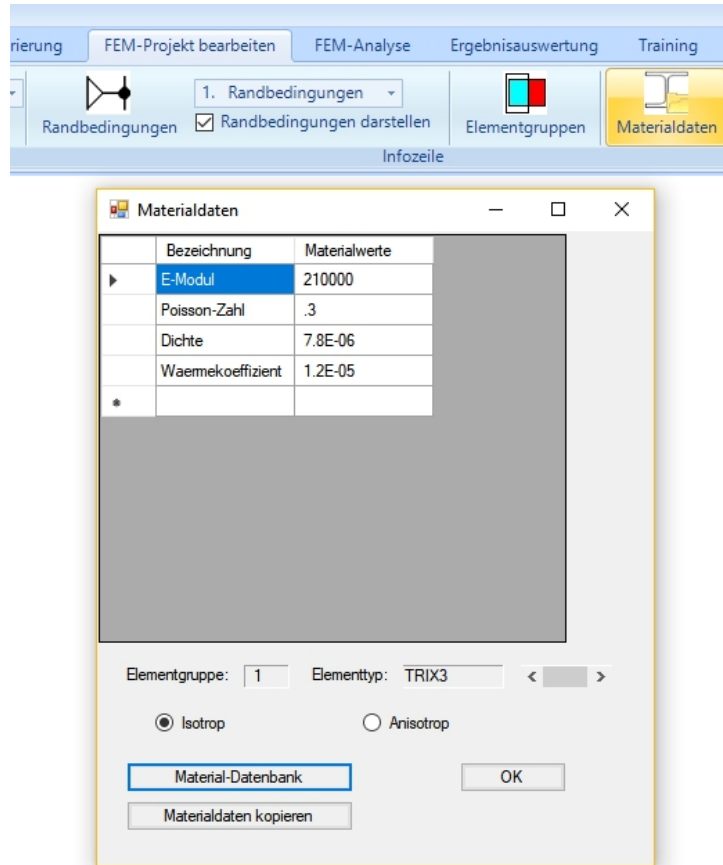
Dann wählen Sie "Knoten-Modus" und "Knoten anzeigen" sowie "Knoten numerieren" um die Kantenknoten numeriert anzuzeigen.

Jetzt klicken Sie auf die 4 Knoten 90, 91, 92 und 93, die Knoten werden in der Selectbox angezeigt. Dort "Erzeugen" wählen um die Knotenlast zu erzeugen.



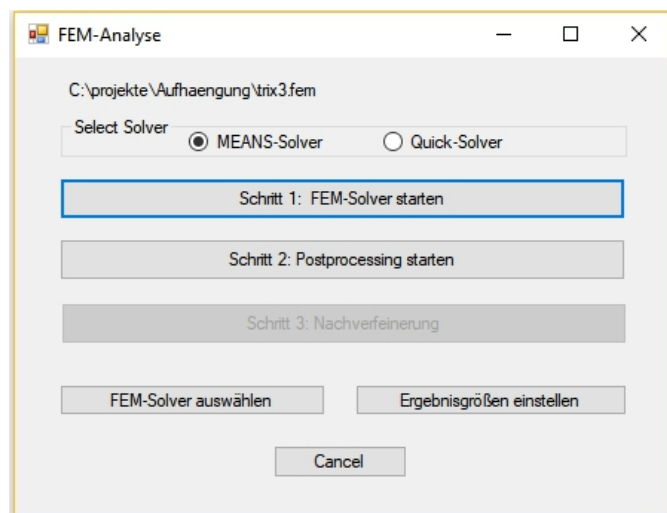
## Materialdaten eingeben

Wählen Sie das Register “FEM-Projekt bearbeiten” und “Materialdaten” um den E-Modul und die Poisson-Zahl für Stahl einzugeben. Da Stahl immer voreingestellt ist braucht dieses Menü nur zur Kontrolle aufgerufen zu werden.




## FEM-Analyse

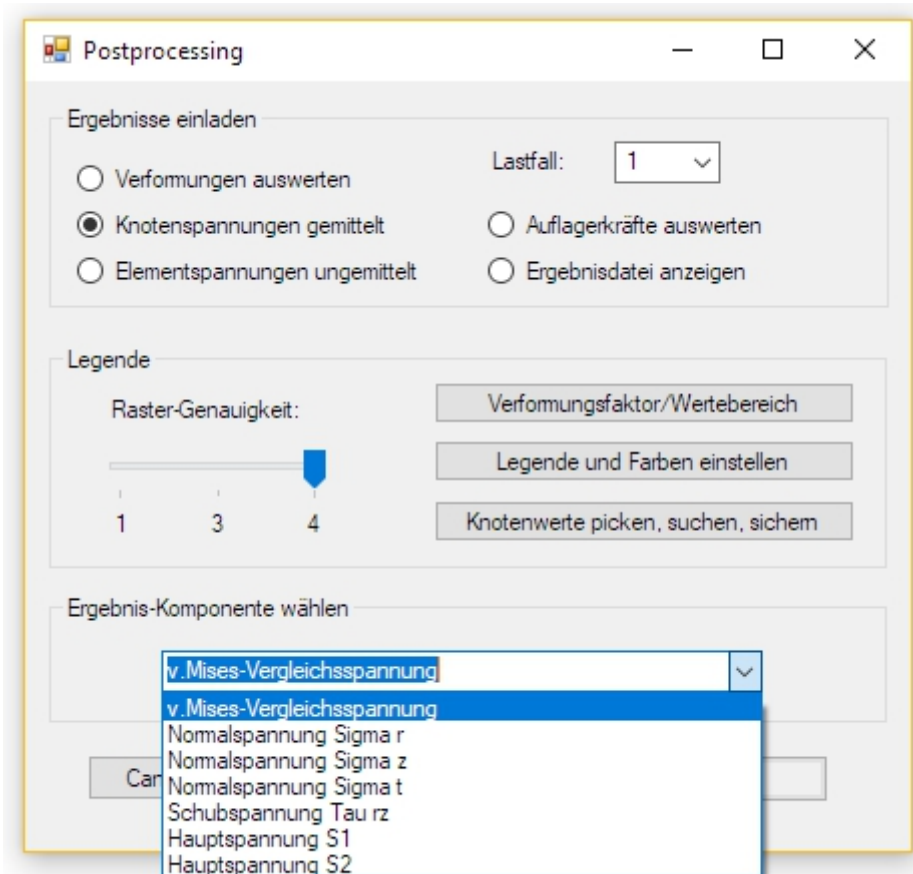
Sichern Sie jetzt das Modell mit Register “Datei” und “Sichern” unter einem Namen in das Projekt-Verzeichnis ab und wählen Register “FEM-Analyse” und “Statik” um die Verformungen und Spannungen mit dem MEANS-Solver oder Quick-Solver zu berechnen.



## Postprocessing



Wählen Sie das Register “Ergebnisauswertung” und das Icon  um die Verformungen und Spannungen darzustellen.



**Zu den Haupt- und Vergleichsspannungen gehören:**

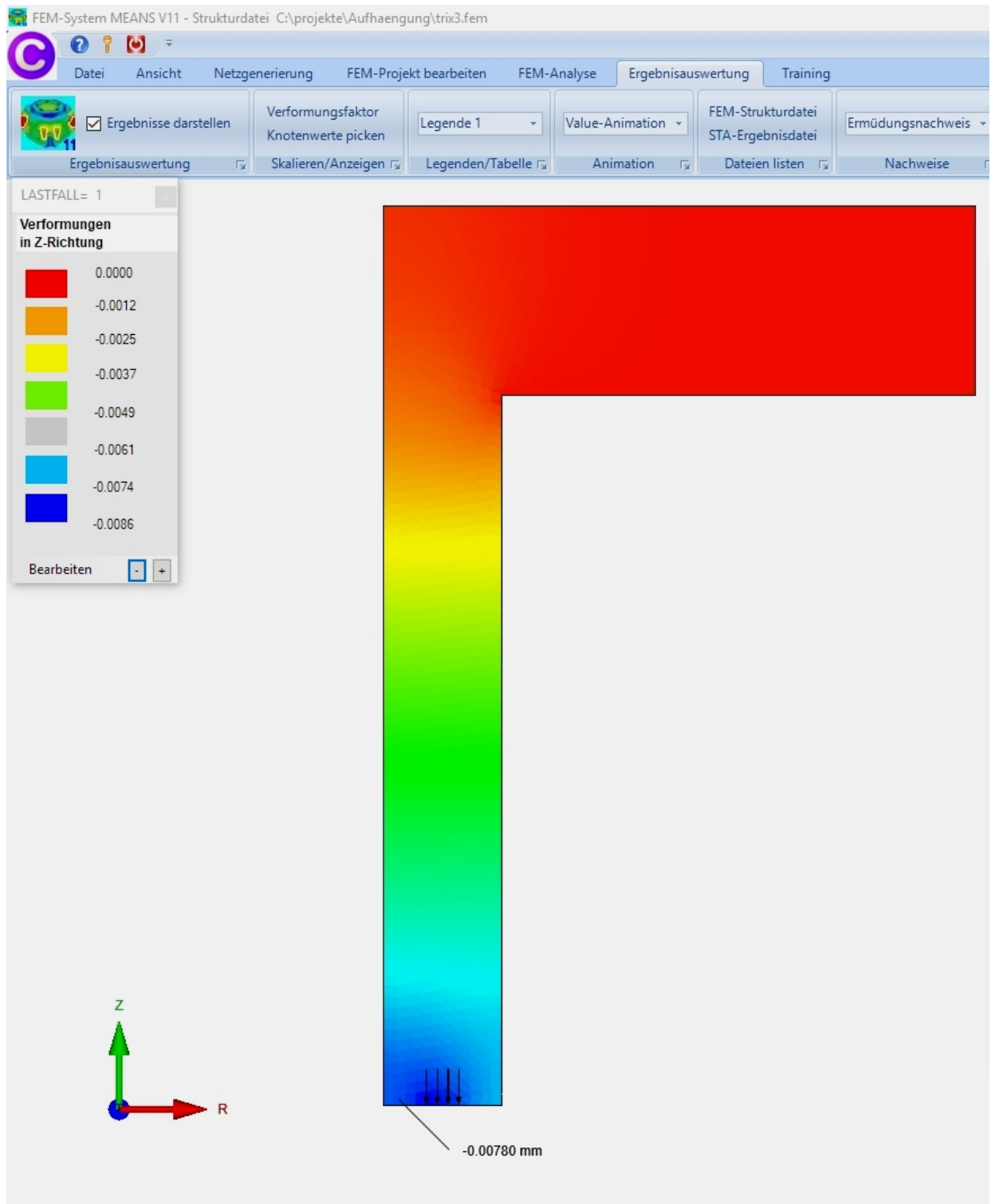
- v.Mises-Vergleichsspannung
- max. Hauptspannung S1
- min. Hauptspannung S2

**und zum Rotationssymmetrischen Spannungszustand gehören**

- Normalspannung Sigma r
- Normalspannung Sigma z
- Normalspannung Sigma t
- Schubspannung Tau rz

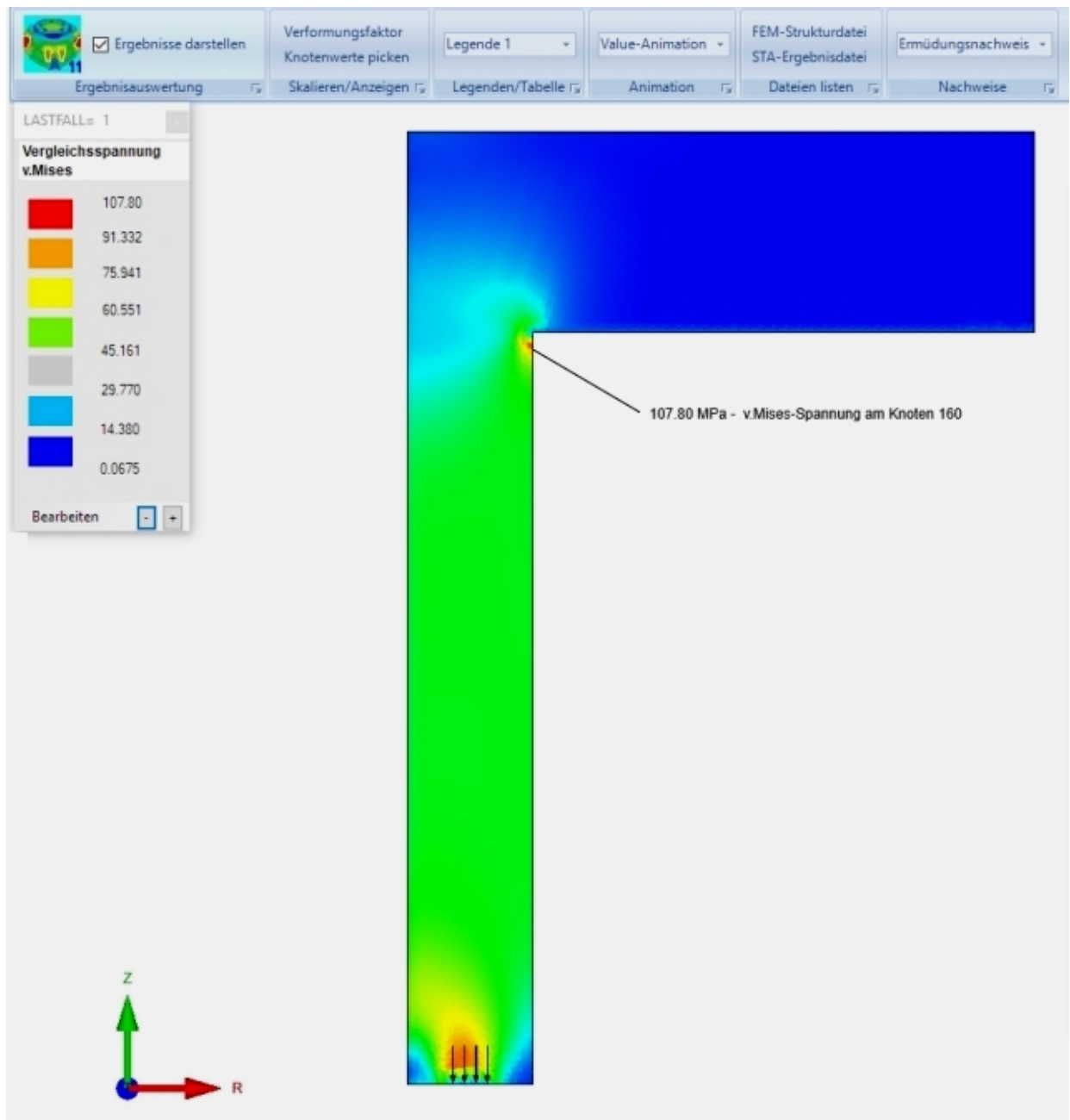
## Max. Verformungen in Z-Richtung

Die maximalen Verformungen in Z-Richtung betragen 0.0078 mm.



## Max. v.Mises-Knotenspannungen

Die maximal gemittelten v.Mises-Knotenspannungen betragen 107.8 MPa



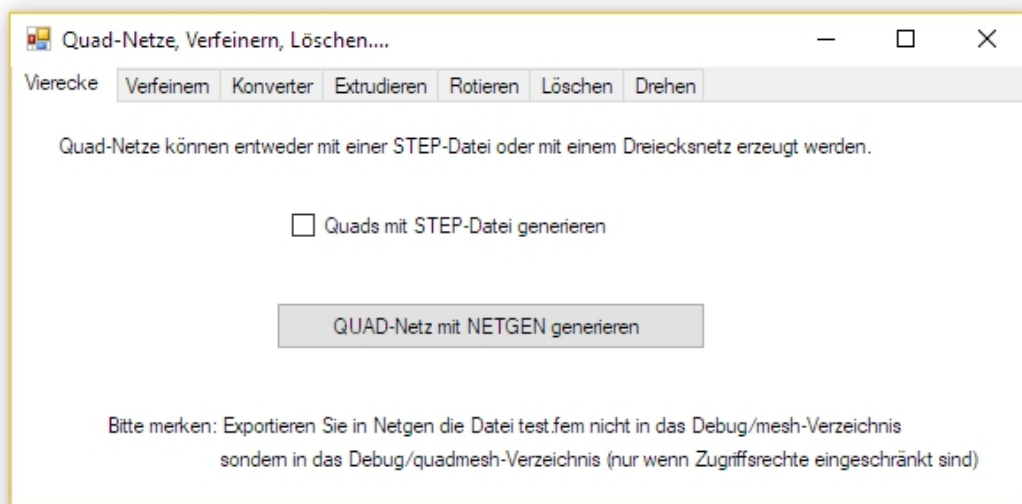


## 2D-Rotationsnetz in ein 3D-Volumennetz umwandeln

Sind die Belastungen nicht mehr axialsymmetrisch dann können Rotationsscheiben nicht mehr verwendet werden. Es besteht dann aber noch die Möglichkeit das 2D-Rotationsnetz in ein 3D-Volumennetz mit einem 3D-Rotationsgenerators umzuwandeln. So kann ein TRIX3-/TRIX6-Netz in ein PEN6-/PEN15-Netz oder ein QUAX4-/QUAX8-Netz in ein HEX8-/HEX20-Netz umgewandelt werden.

## Dreiecksnetz in ein Vierecksnetz umwandeln

Laden Sie zuerst das TRIX3-Netz wieder in MEANS V12 ein und wählen das Register "Netzgenerierung" und "Quad-Netze, Verfeinern, Löschen" sowie Menü "QUAD-Netz mit NETGEN generieren".

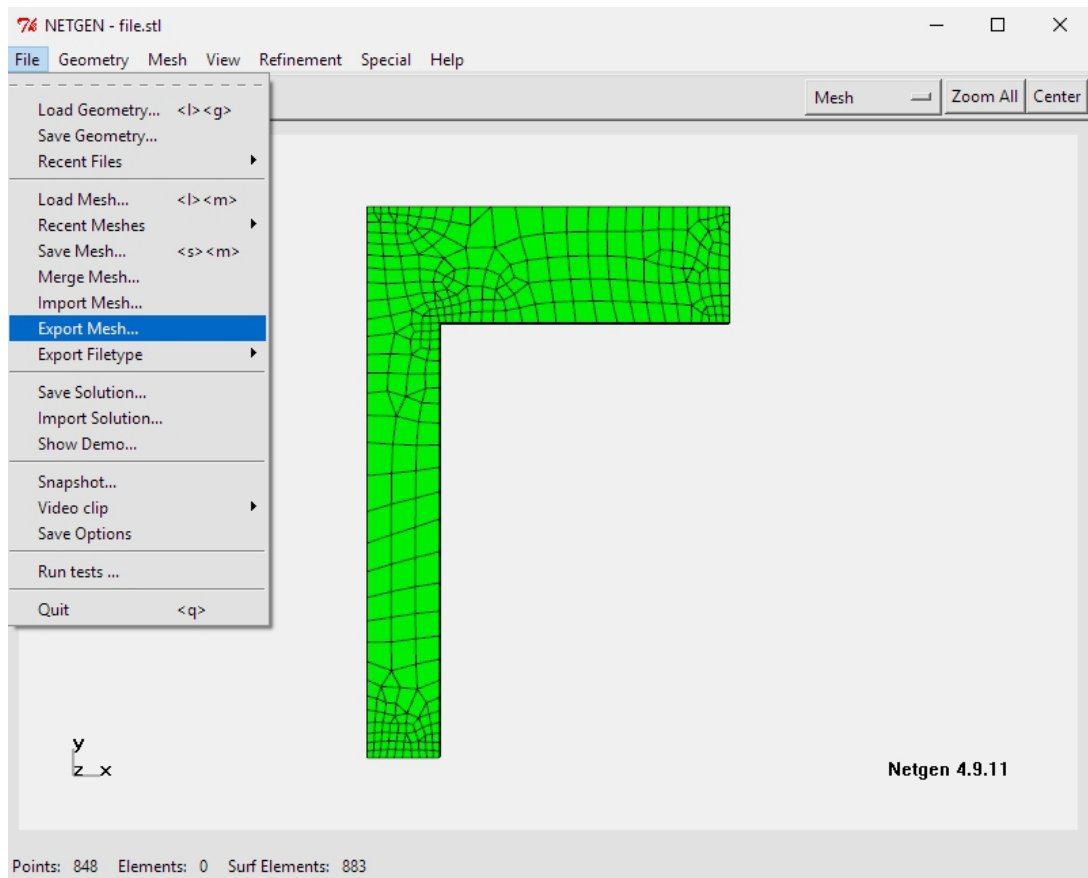
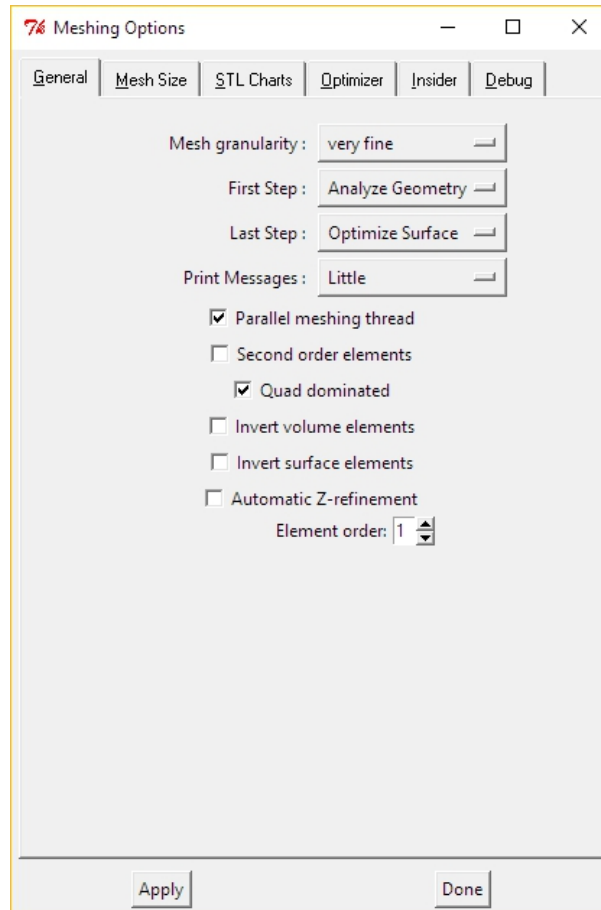


Das Modell wird nun in dem bekannten Tetraeder-Netzgenerator NETGEN in einem neuen Windows-Fenster blau dargestellt.

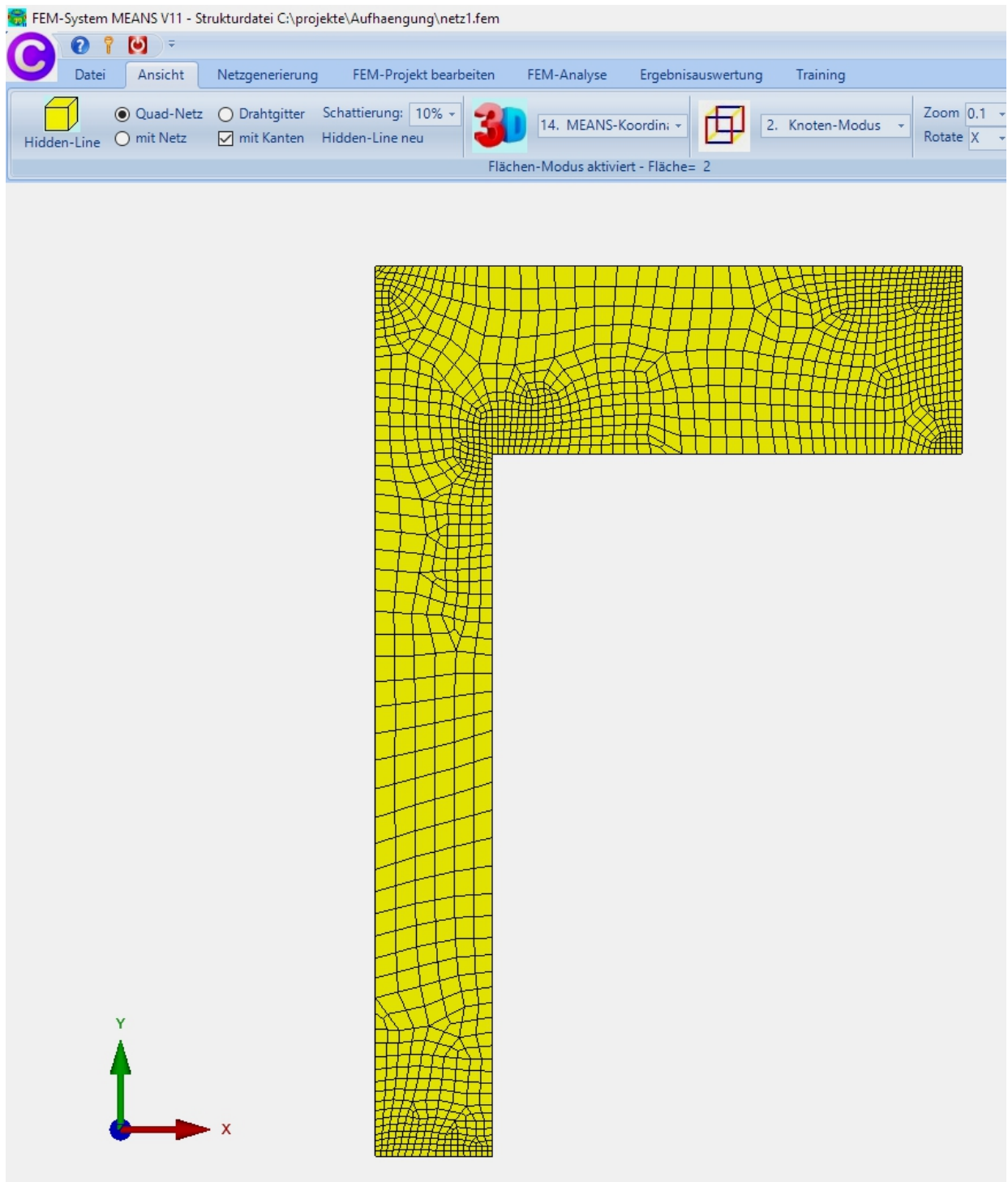
Stellen Sie mit Menü "Mesh" und "Meshing Options" die Netzdichte "very fine" ein und wählen dannach "Generate Mesh" um ein Vierecksnetz mit 848 Knoten und 883 Surface-Elementen zu generieren.

Beachten Sie daß das Netz nicht mehr als 1000 Knoten hat ansonsten werden zu große HEX8-Modelle bei der 3D-Rotation erzeugt.

Dannach wählen Sie "File" und "Export Mesh" und sichern das Netz unter dem Namen "test.fem" in das Debug\quadmesh-Verzeichnis (aber bitte nicht in das Debug\mesh-Verzeichnis für Tetraeder) ab um es dann automatisch in MEANS V12 einzuladen.



Nach der Knoten-Überprüfung wird ein QUAD-Netz mit 1326 QUA4S-Elementen und 1895 Knoten dargestellt.



## X-Y-Achse vertauschen

Die Rotationsachse liegt vertikal, da aber zur Zeit nur Rotationsmodelle mit einer horizontalen Achse erzeugt werden können muß die X-Achse mit der Y-Achse vertauscht werden.

Wählen Sie Register "FEM-Projekt bearbeiten" sowie "Knotenkoordinaten" und in der neuen Koordinaten-Dialogbox das Menü "Koordinaten-Faktor".

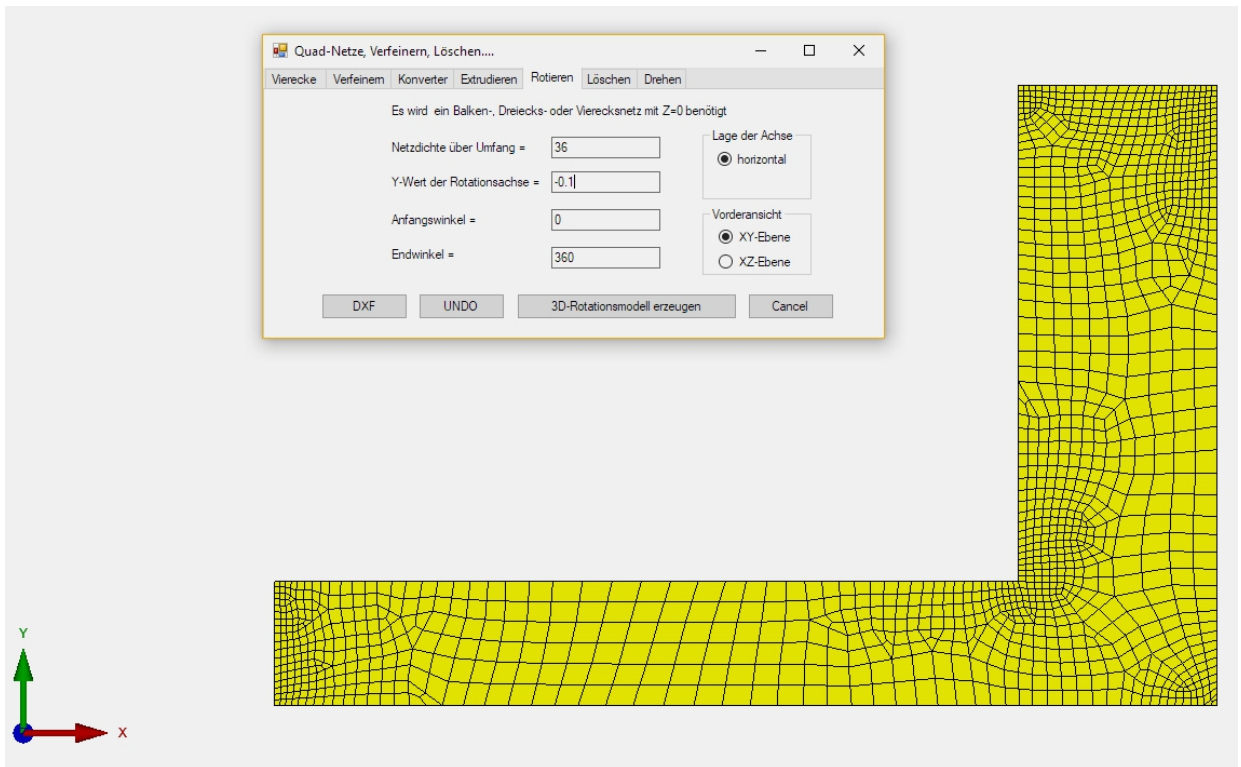
Es wird wieder eine neue Dialogbox geöffnet mit der die Koordinaten mit einem Faktor multipliziert, addiert oder ersetzt werden können. Es können aber auch Achsenvertauschungen, Nullpunktverschiebungen oder Verformungen hinzugefügt werden. Wählen Sie jetzt "X-Werte mit Y-Werte vertauschen" und wählen "Koordinaten mit Faktor verändern" sodaß das Modell um 90 Grad gedreht wird.

The screenshot shows the 'Knotenkoordinaten' dialog box in the MEANS V12 software. The 'Koordinaten-Faktor' menu is open, showing options for coordinate modification. The 'Achsens vertauschen' section has 'X-Werte mit Y-Werte vertauschen' selected. The 'Koordinaten mit Faktor verändern' section has 'X-Koordinaten', 'Y-Koordinaten', and 'Z-Koordinaten' checked. The 'von Knotenpunkt' is set to 1 and 'bis Knotenpunkt' is set to 1647. The 'Koordinatenfaktor' is set to 1. The 'Nullpunktverschiebung durch Knotenpunkt' is set to 1. The 'Verformungen mit Faktor zu den Koordinaten addieren' section is also visible with a 'Verformungs-Faktor' of 1.

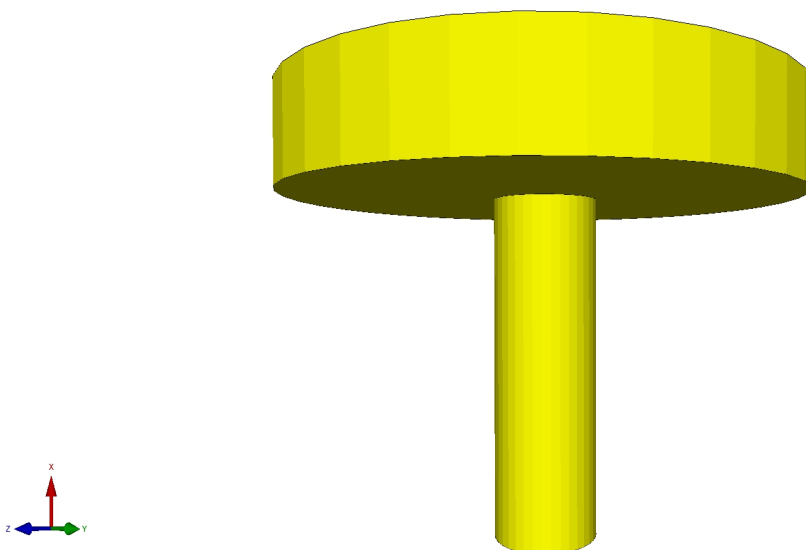
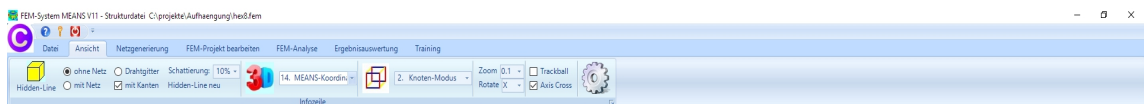
Nr.	X-Koordinaten	Y-Koordinaten	Z-Koordinaten
1	0	0	0
2	5	0	0
3	5	30	0
4	25	30	0
5	25	38	0
6	0	38	0
7	-8.88178E-16	32.1597	0
8	4.54545	30.1963	0
9	4.09091	30.3927	0
10	3.63636	30.589	0
11	3.18182	30.7853	0
12	2.72727	30.9817	0
13	2.27273	31.178	0
14	1.81818	31.3744	0
15	1.36364	31.5707	0
16	.909091	31.767	0
17	.454545	31.9634	0
18	-8.7549E-16	31.7003	0
19	-8.62802E-16	31.2409	0

## 3D-Rotationsgenerator

Wählen Sie wieder das Menü “Quad-Netze, Verfeinern, Löschen” sowie “Rotieren” und geben eine Netzdichte von “36” und einen Y-Wert der Rotationsachse von “-0.1” ein um bei  $R = 0$  ein sehr kleines Mittelloch zu erzeugen. Diese Maßnahme hat keinen Einfluß auf das Endergebnis aber den großen Vorteil daß Pentaeder-Elemente mit einer negativen Jacobi-Determinante vermieden werden können.



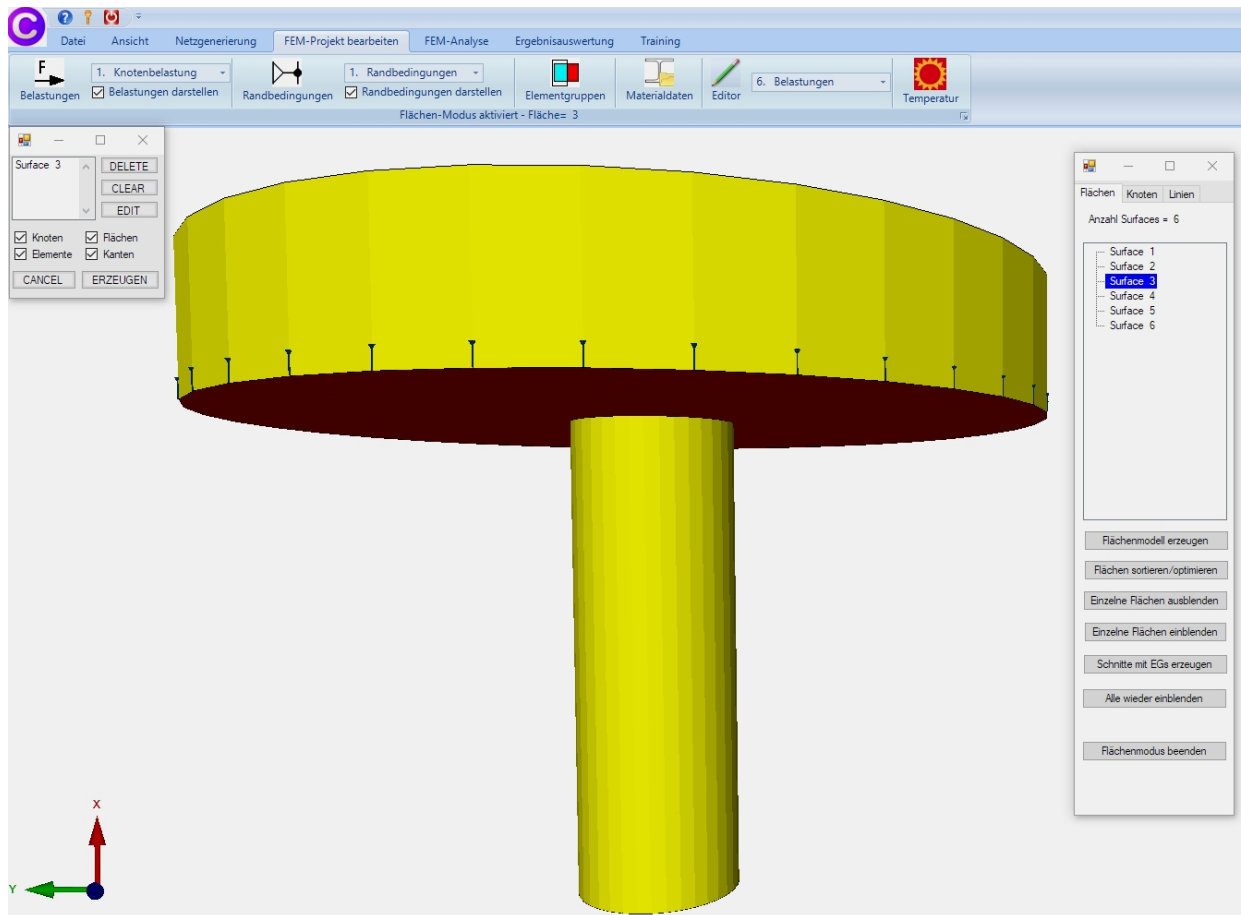
Man erhält ein HEX8-Volumenmodell mit 47736 HEX8-Elementen und 52380 Knoten.



## Eingabe der Randbedingungen

Um die Unterseite in X-Richtung zu lagern muß zuerst mit Register "Ansicht" und "Flächen-Modus" ein Flächenmodell mit 6 Flächen erzeugt werden.

Dannach mit Register "FEM-Projekt bearbeiten" und Menü "Randbedingungen" die Unterfläche 3 in X-Richtung lagern.



## Eingabe der Flächenlast

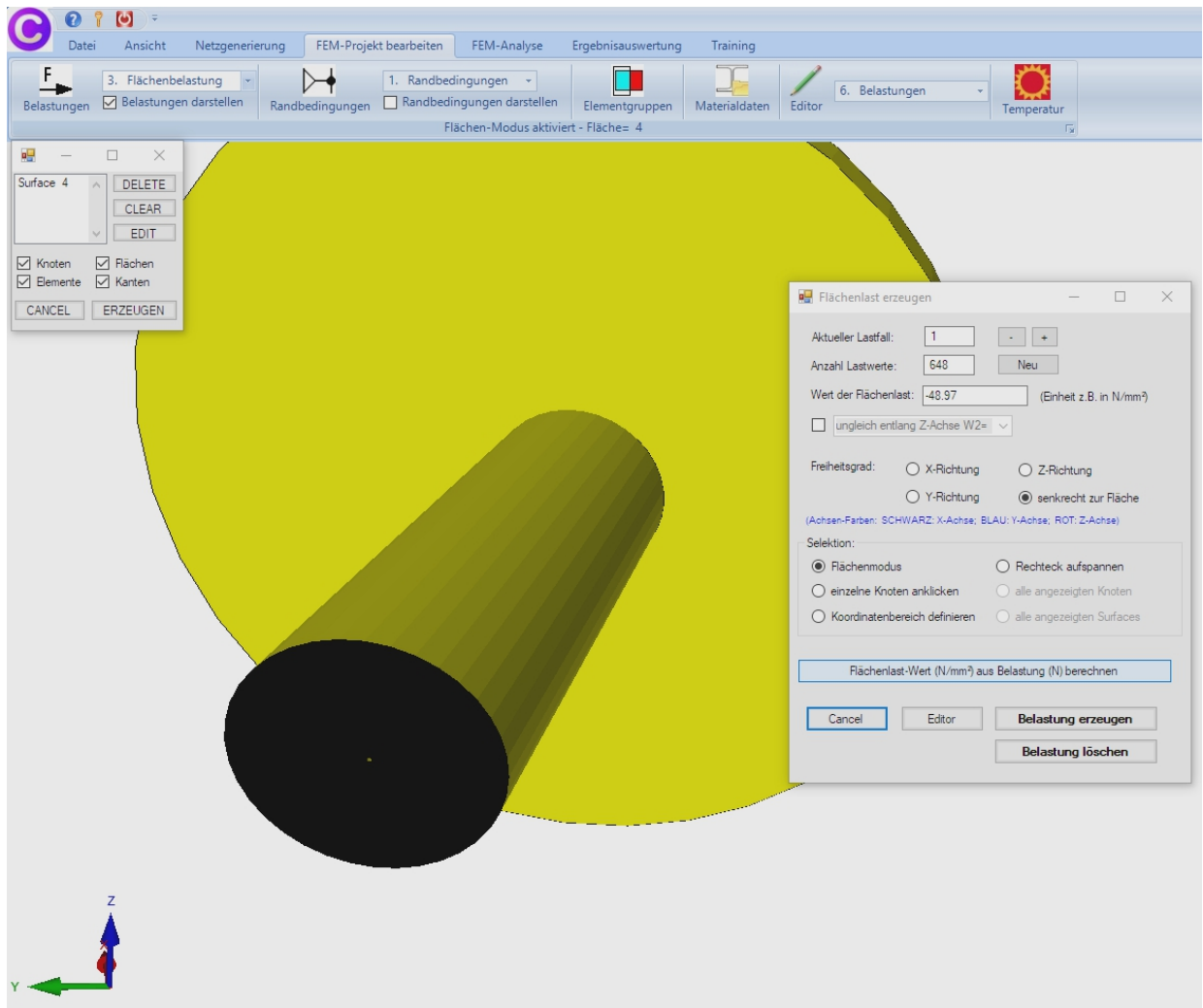
Am unteren Stabende wird die Fläche 4 mit einer Gewichtslast von 4000 N in X-Richtung belastet. Für die Flächenlast muß der Wert 4000 N durch die Fläche

$$D = 10.2 \text{ mm} * 10.2 \text{ mm} * 3.1416 / 4 - 0.2 \text{ mm} * 0.2 \text{ mm} * 3.1416 / 4 = 81.68 \text{ mm}^2$$

dividiert werden, so ergibt sich der

$$\text{Flächenlastwert} = 4000 \text{ N} / 81.68 \text{ mm}^2 = 48.97 \text{ N/mm}^2$$





## Materialdaten eingeben

Wählen Sie das Register "FEM-Projekt bearbeiten" und "Materialdaten" um den E-Modul und die Poisson-Zahl für Stahl einzugeben. Da Stahl immer voreingestellt ist, braucht diese Menü nur zur Kontrolle aufgerufen zu werden.

## FEM-Analyse

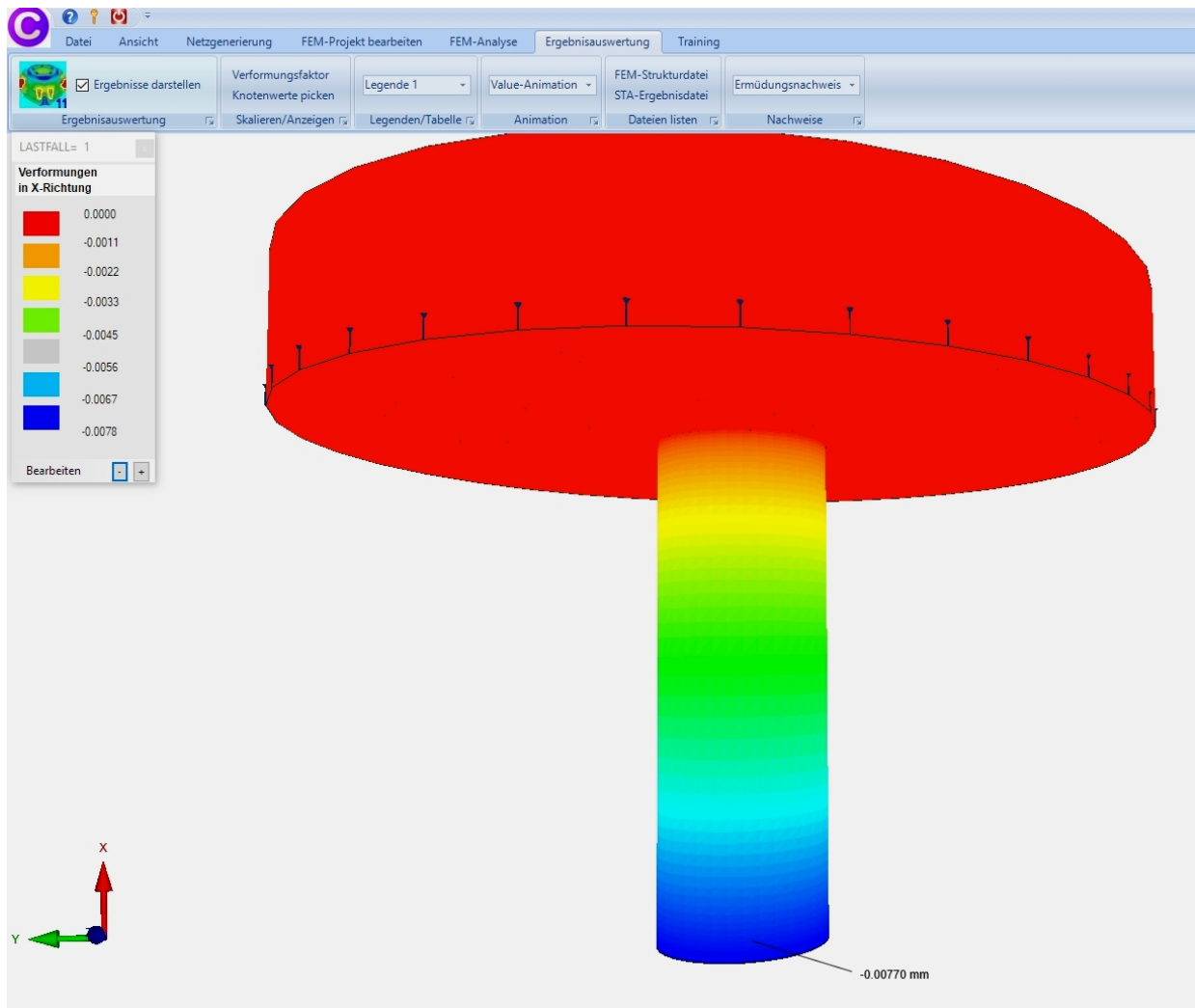
Sichern Sie jetzt das Modell mit Register "Datei" und "Sichern" unter einem Namen in das Projekt-Verzeichnis ab und wählen Register "FEM-Analyse" und "Statik" um die Verformungen und Spannungen mit dem MEANS-Solver oder Quick-Solver zu berechnen

## Postprocessing



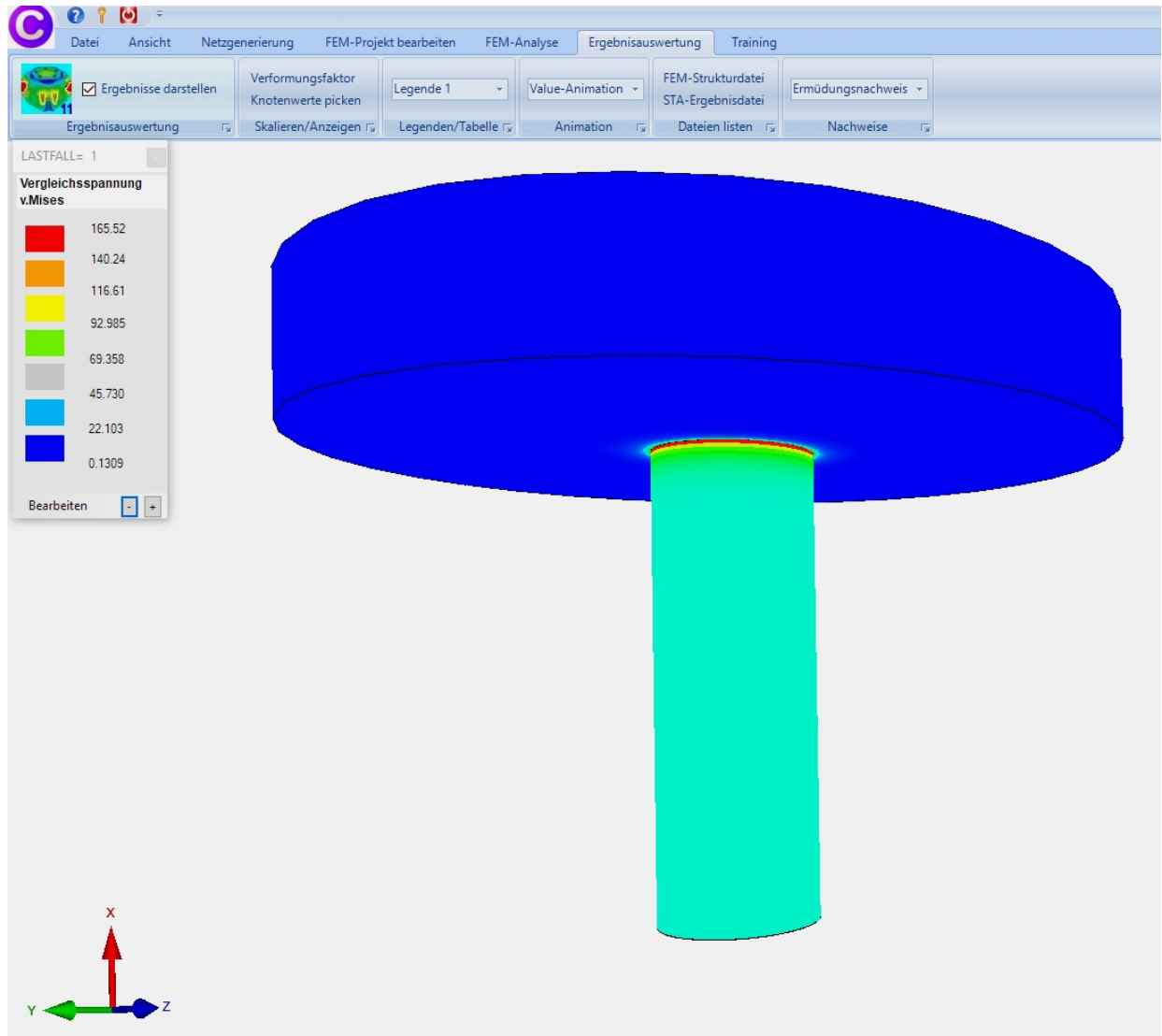
Wählen Sie das Register "Ergebnisauswertung" und das Icon um die Verformungen und Spannungen darzustellen.

**Max. Verformung in X-Richtung = -0.0078 mm**





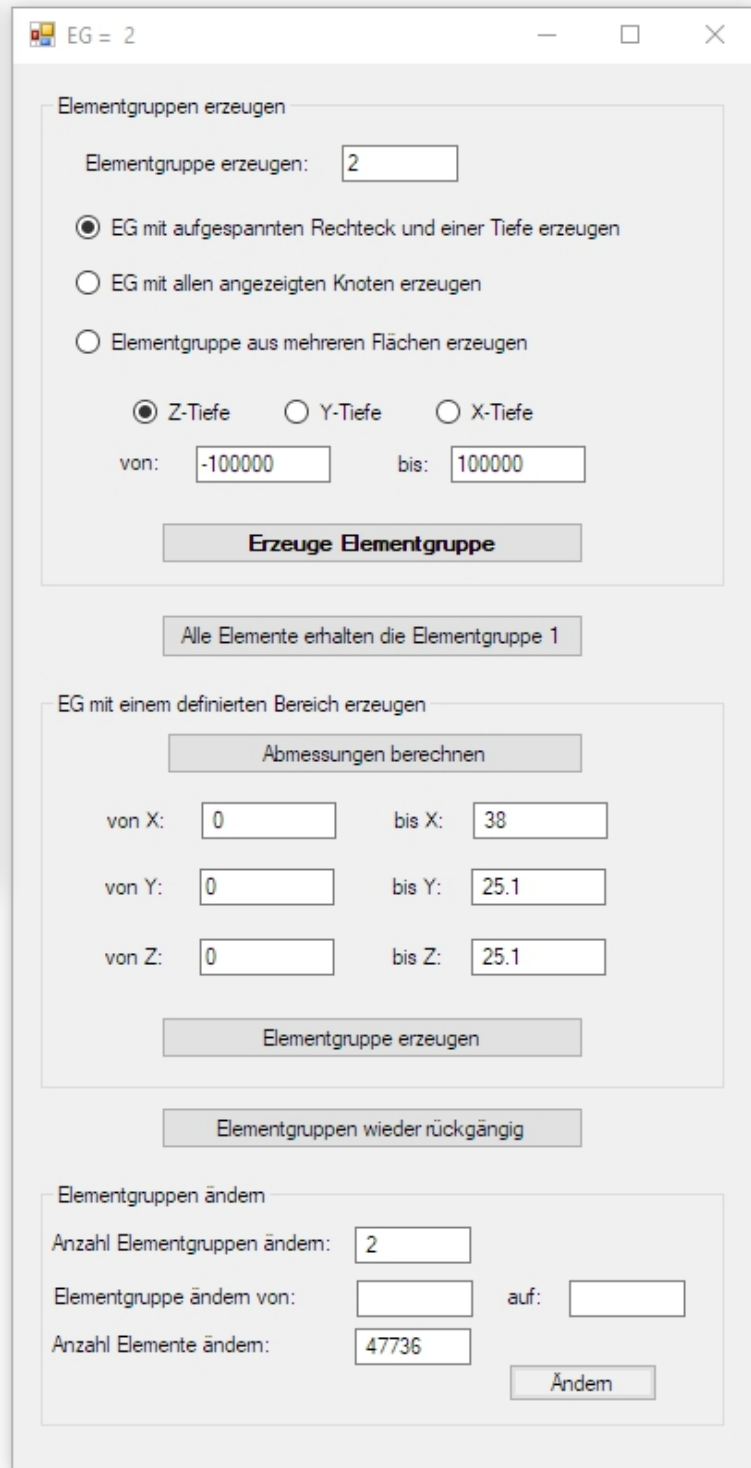
**Max. v.Mises-Vergleichsspannung = 165 MPa**



**Schnitt erzeugen**

Wählen Sie das Register “FEM-Projekt bearbeiten” und “Elementgruppen” sowie in der neuen Dialogbox “Neue Elementgruppe erzeugen” um die Elementgruppe 2 zu erzeugen. Wählen Sie “Abmessungen berechnen” und wählen von Y = 0 bis Y =25.1 sowie Z = 0 und Z = 25.1. Zum Schluß muß die neue Elementgruppe ausgeblendet werden und mit Register “Ansicht” und “Hidden-Line neu” der Hidden-Line neu berechnet werden.

Abmessungen berechnen		Abmessungen berechnen	
von X:	<input type="text" value="0"/>	bis X:	<input type="text" value="38"/>
von Y:	<input type="text" value="-25.1"/>	bis Y:	<input type="text" value="25.1"/>
von Z:	<input type="text" value="-25.1"/>	bis Z:	<input type="text" value="25.1"/>



## Erzeugter Schnitt mit Spannungsverteilung

