

Kapitel 21: Glasplatte mit verschiedenen FEM-Modellen für Biegung

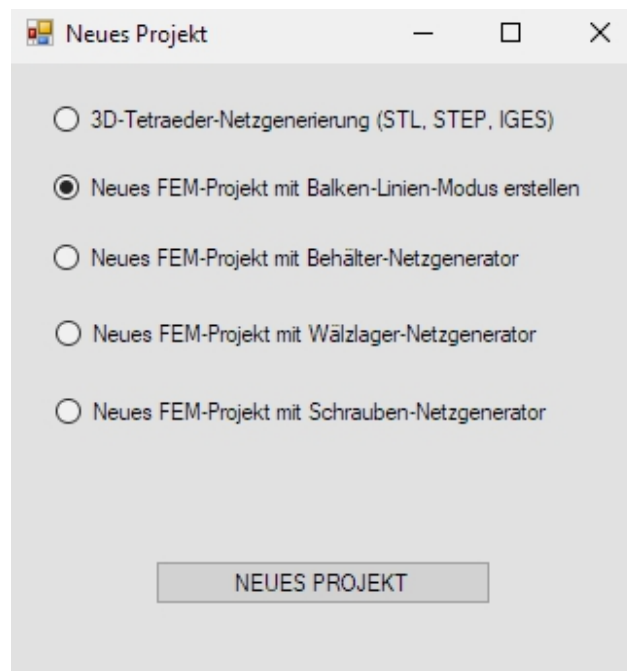
Im folgenden wird gezeigt wie man mit MEANS V12 eine am Außenrand frei aufliegende Glasplatte generieren und berechnen kann.

Zuerst wird im Linien-Modus ein 2D-Platten-Modell erzeugt, daraus wird dann ein 3D-Pentaeder-Volumenmodell extrudiert.

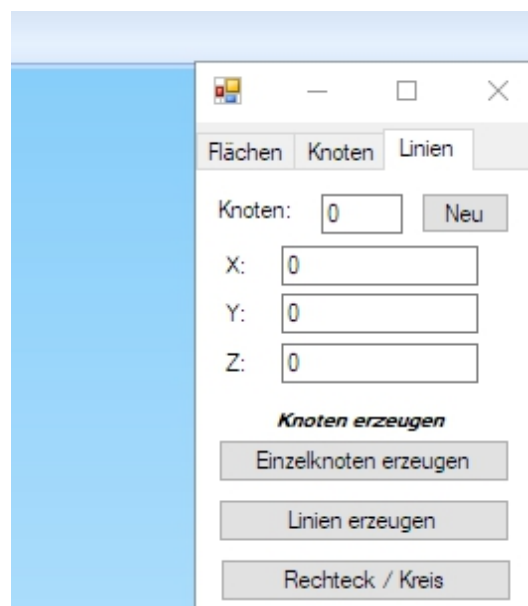
Die Glasplatte läßt sich aber auch mit einem 3D-CAD-System erstellen und über die STEP-Schnittstelle mit Tetraedern vernetzen.

Am Ende werden die verschiedenen Netze mit dem exakten Ergebnis verglichen.

Wählen Sie "Neues FEM-Projekt mit Balken-Linien-Modus erstellen",

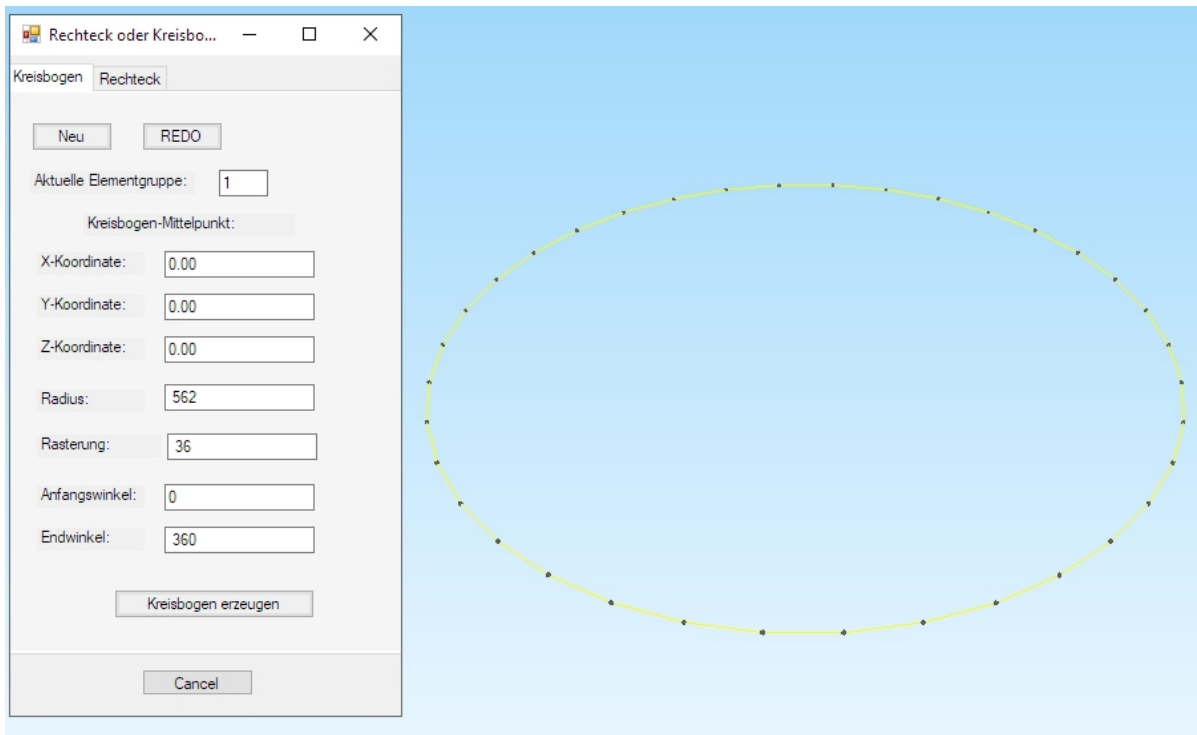


es erscheint das Linien-Modus-Menü hier können Knotenpunkte, Linien, Kreise oder Rechtecke für die Netzgenerierung eingegeben werden.

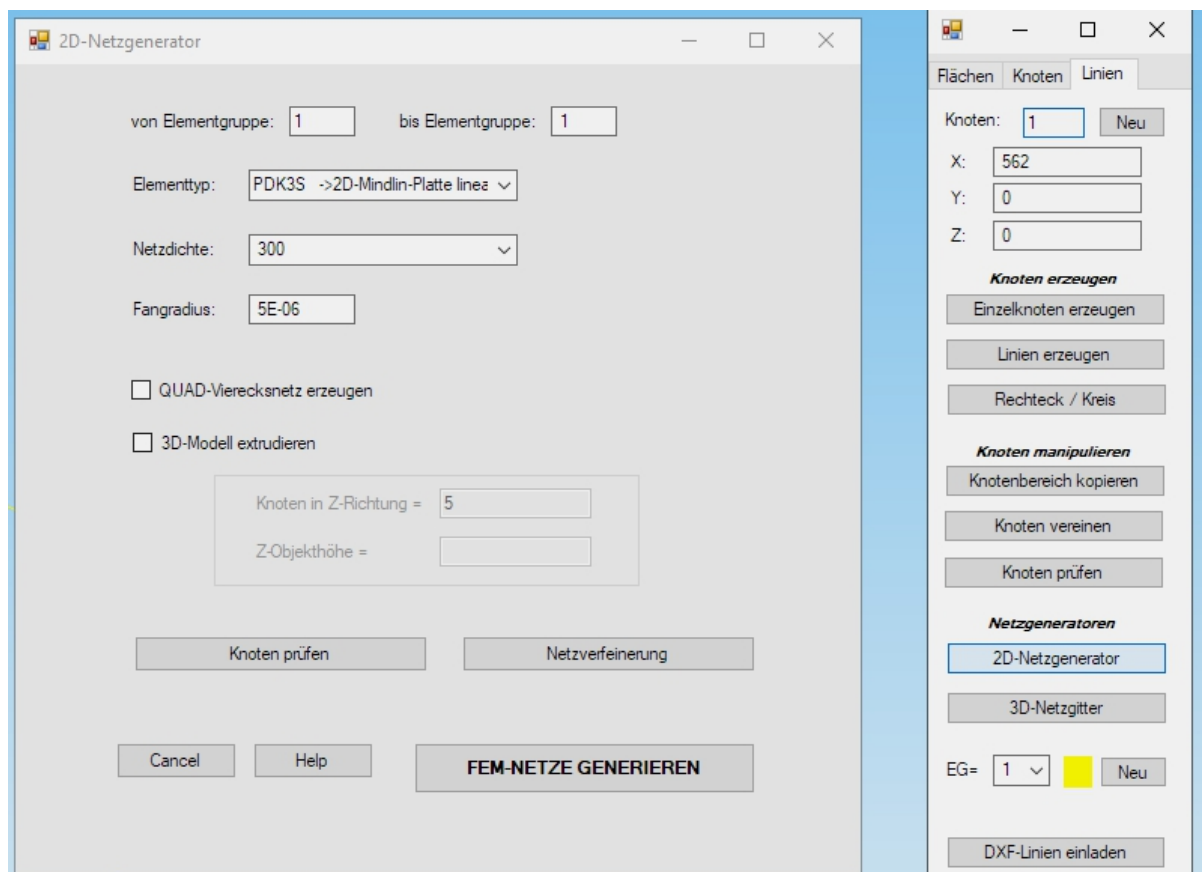


Mit den Registern “Flächen”, “Knoten” und “Linien” kann zwischen dem Flächen-, Knoten- und Linien-Modus hin und her gewechselt werden.

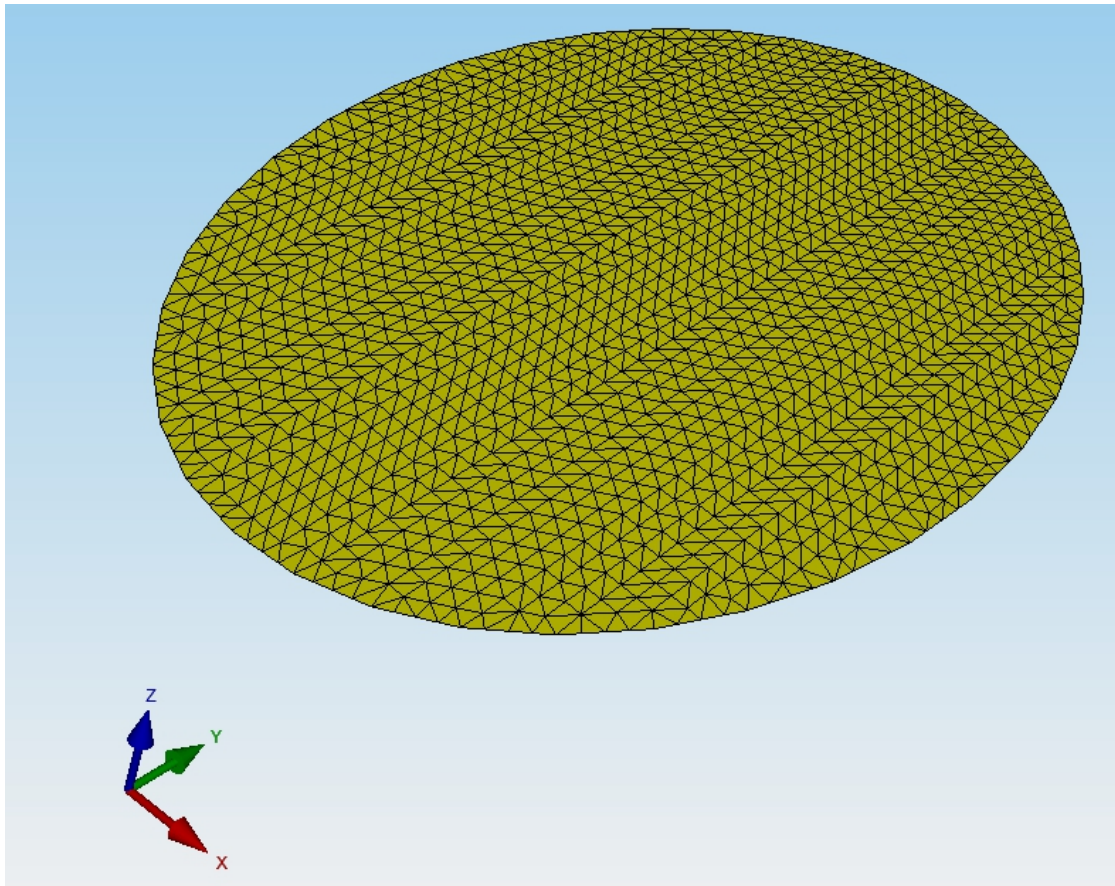
Wählen Sie Menü “Rechteck/Kreis” und erzeugen einen Kreis mit Radius = 562 mm.



Mit Menü “2D-Netzgenerator” erzeugen Sie mit der Elementdichte “300” und dem

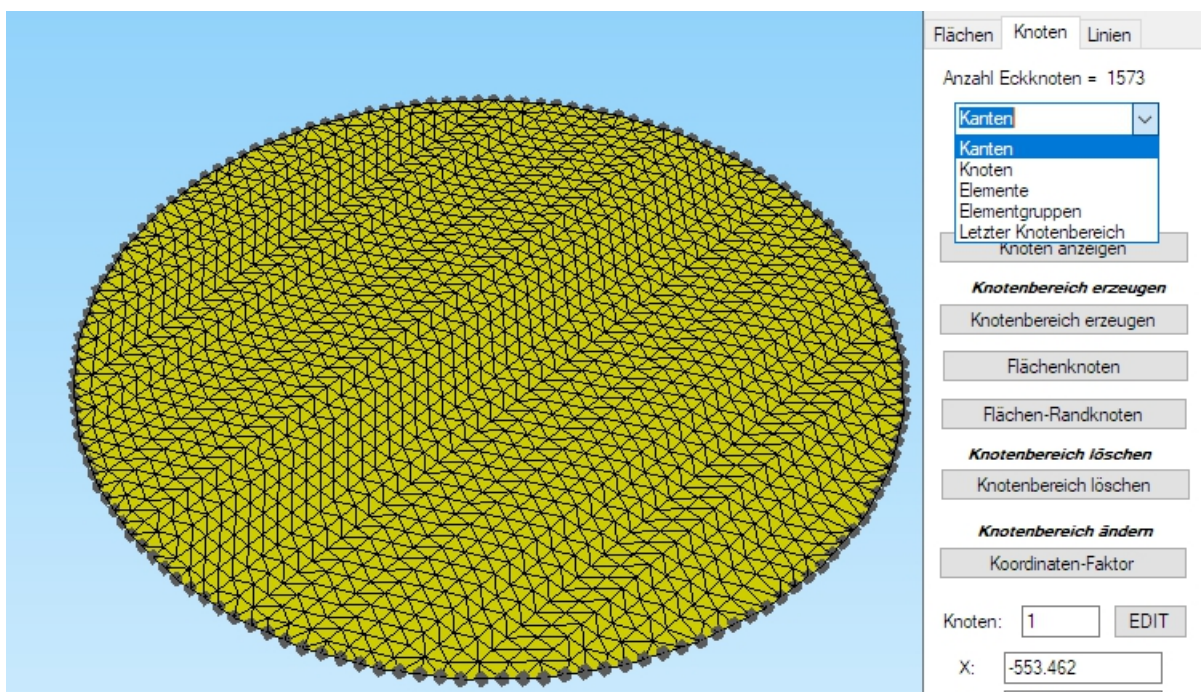


Elementtyp "PDK3S" ein Netz bestehend aus 3000 PDK3S-Platten und 1573 Knoten.

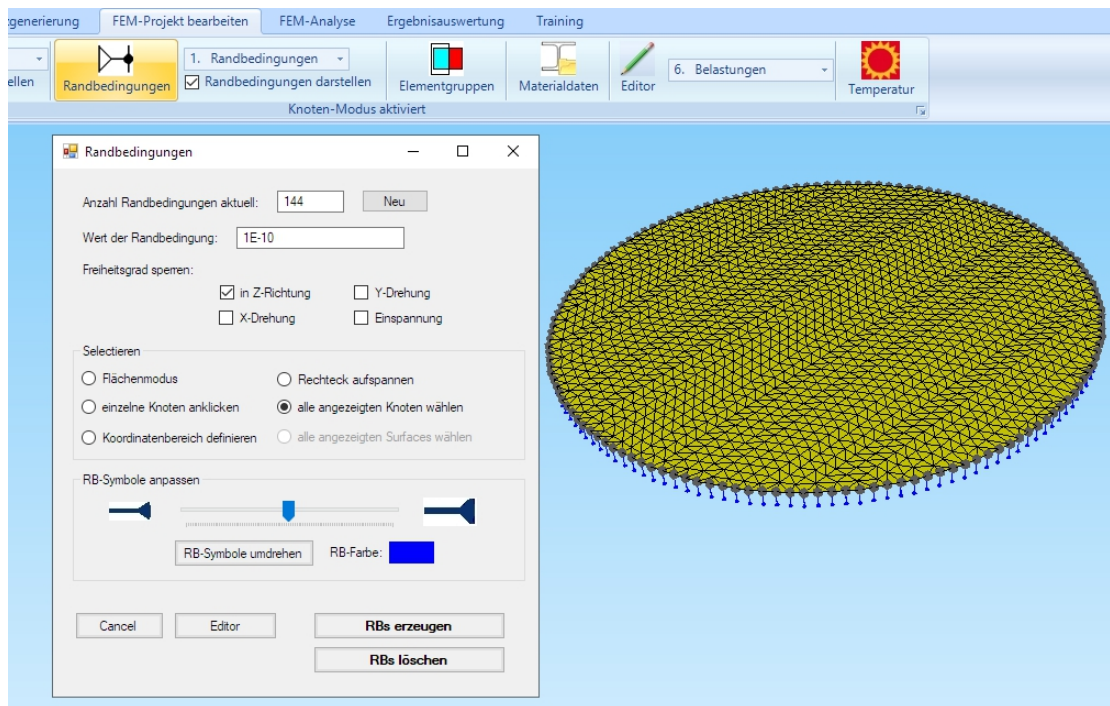


Glasplatte lagern

Die Glasplatte ist am Rand in Z-Richtung gelagert. Wählen Sie Register "Knoten" und Menü "Flächen-Randknoten" und klicken auf "Surface 1" oder wählen Sie aus dem Dropdown-Menü "Kanten" und "Knoten anzeigen" um die Knoten anzuzeigen.

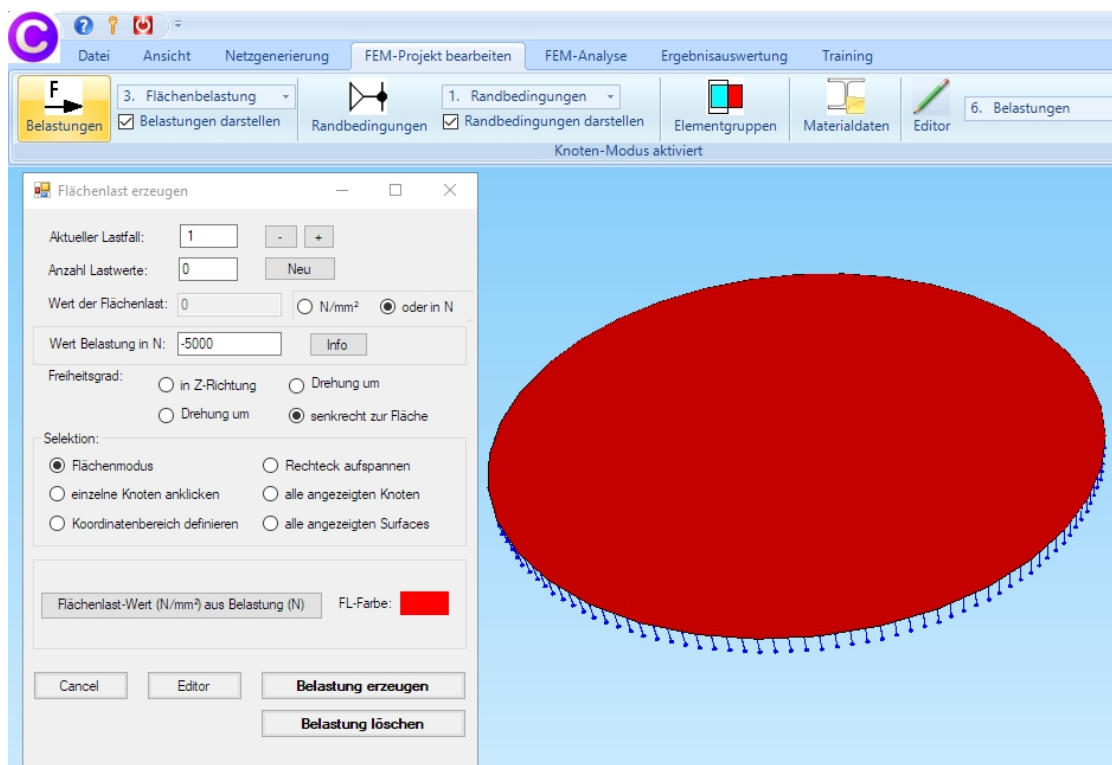


Wechseln Sie oben in das Menüleisten-Register “FEM-Projekt bearbeiten” und wählen das Icon “Randbedingungen” aus und erzeugen mit der Selektion “alle angezeigten Knoten” die Randbedingungen in Z-Richtung. Weiterhin können Sie die RB-Symbole umdrehen oder mit einer anderen Farbe darstellen.



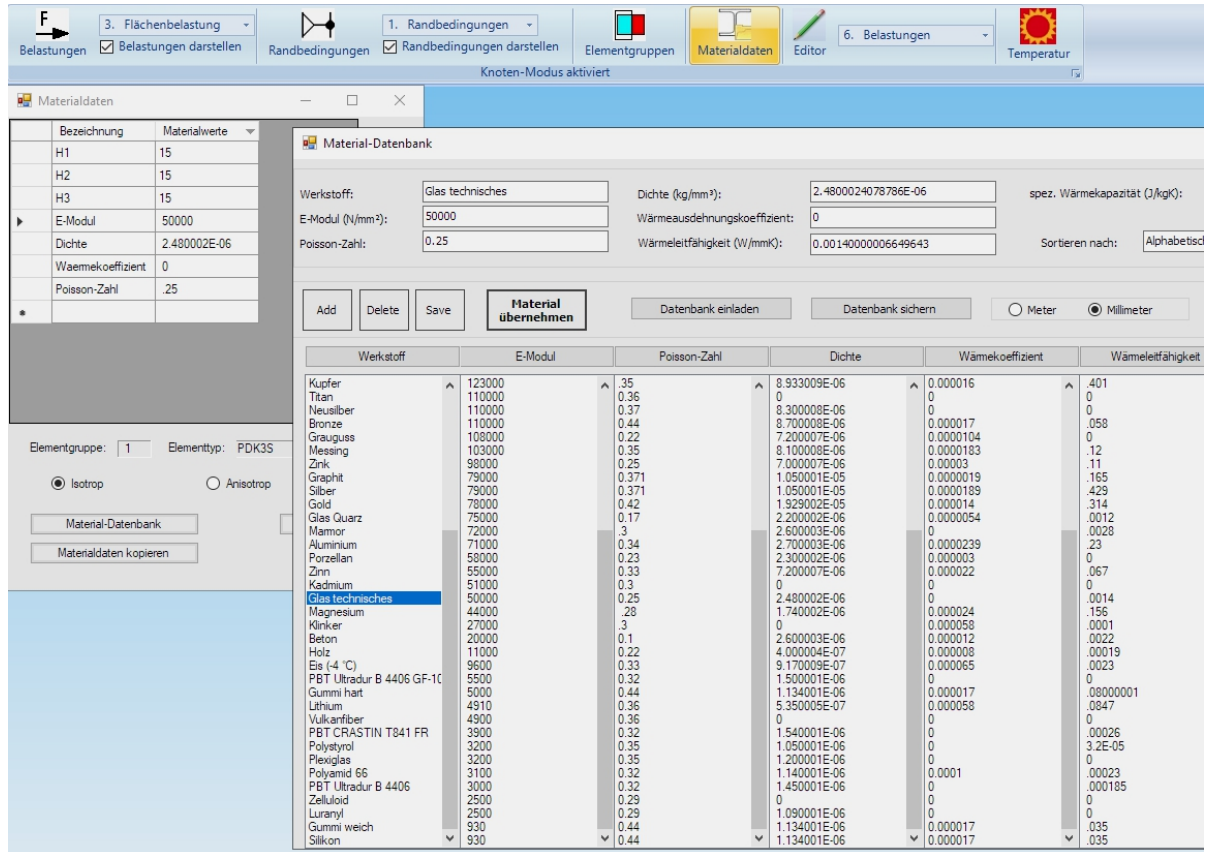
Flächenlast erzeugen

Die Glasplatte wird mit - 5000 N in Z-Richtung belastet, wählen Sie aus dem Dropdown-Menü “3. Flächenbelastung” und erzeugen eine Flächenlast mit -5000 N mit der Selektion “Flächenmodus” und senkrecht zur Fläche.



Materialdaten eingeben

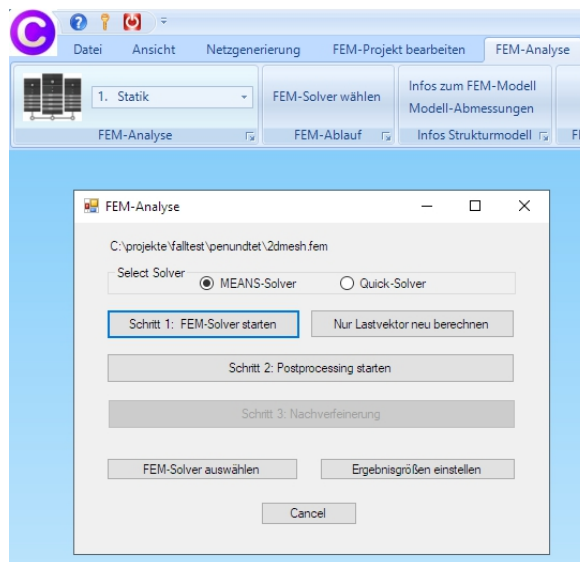
Wählen Sie “Materialdaten” und geben die Plattendicken H_1, H_2 und $H_3 = 15$ mm ein. Mit Menü “Material-Datenbank” wählen Sie aus der selbsterweiterbaren Material-Datenbank mit Menü “Material übernehmen” das Material “Glas technisches” mit E-Modul = 50 000 N/mm², Dichte = 2.48E-06 kg/mm³ und Poisson-Zahl = 0.25.



FEM-Analyse



Wählen Sie “FEM-Analyse” und das Icon um mit dem MEANS-Solver die Verschiebungen und Spannungen mit dem Elementtyp PDK3S zu berechnen.

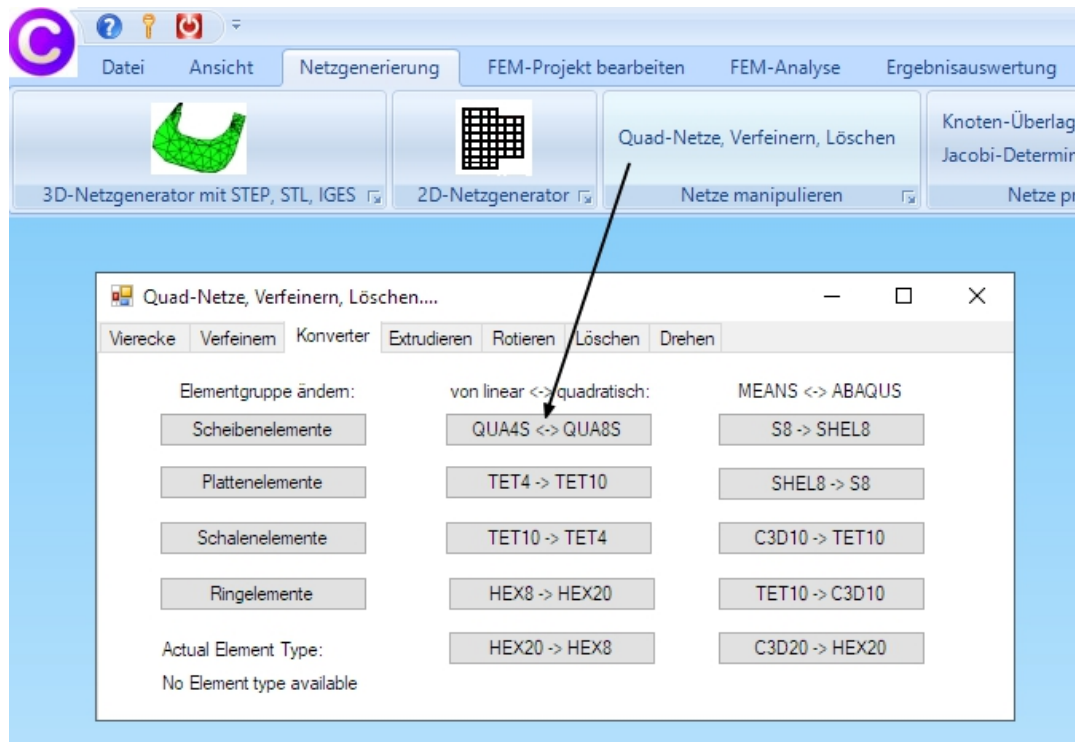


Erzeugung weiterer Elementtypen für Biegung

Erzeugen Sie weitere für Biegungsprobleme geeignete FEM-Netze mit linearen und quadratischen Elementtypen wie PLA6S, SHEL6, PEN6, PEN15, TET4 oder TET10.

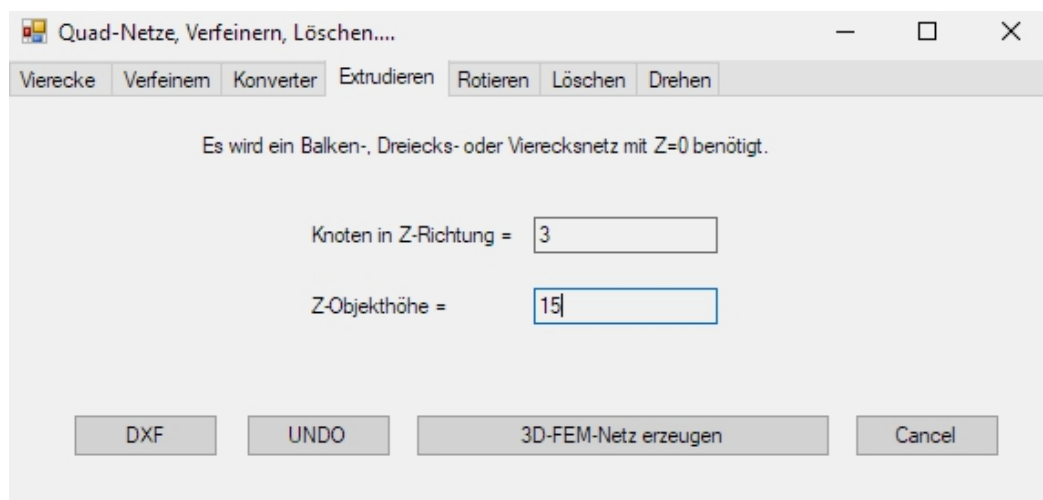
Glasplatte mit PLA6S-Plattenelementen

Wählen Sie Register "Netzgenerierung" und "Quad-Netze, Verfeinern, Löschen" und dort Register "Konverter" und "QUA4S<->QUA8S" um aus der 3-knotigen Kirchhoff-Platte PDK3S die 6-knotige quadratische Mindlin-Platte PLA6S zu erzeugen.



Glasplatte mit PEN6-Volumenelementen

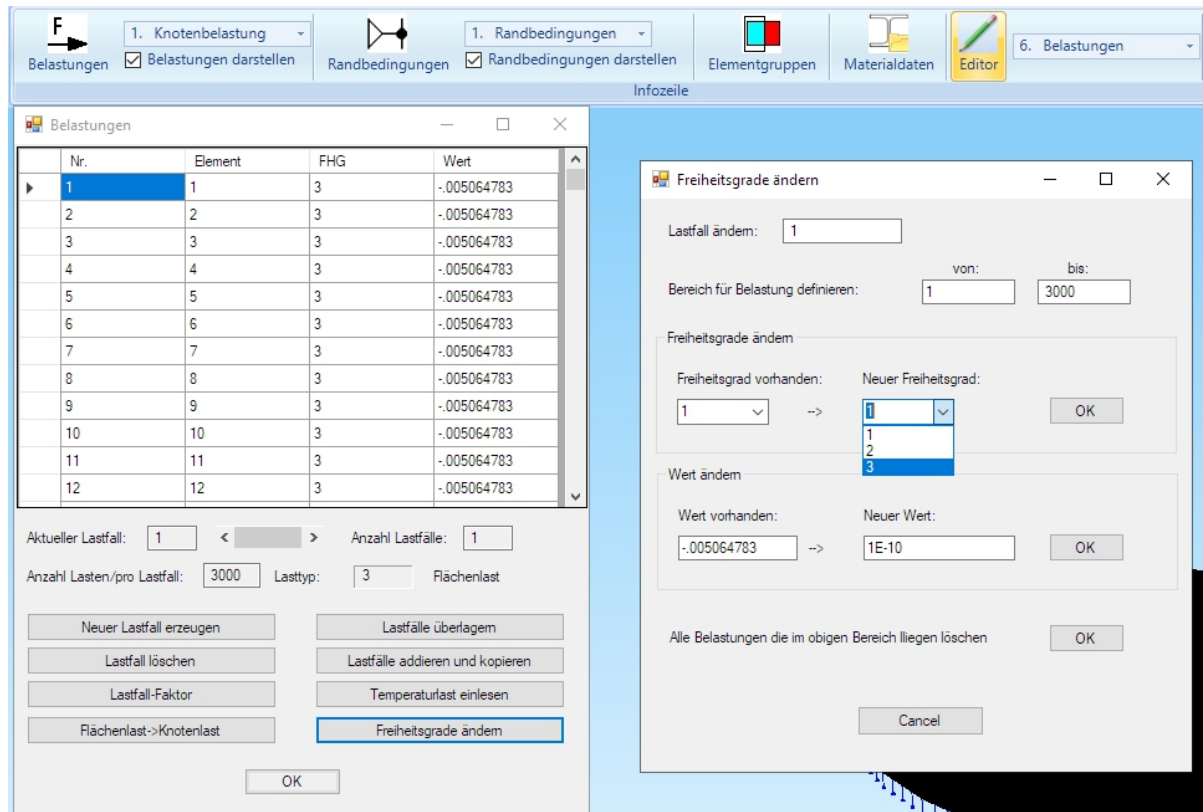
Wählen Sie Register "Netzgenerierung" und "Quad-Netze, Verfeinern, Löschen" und dort Register "Extrudieren" und erzeugen mit Knoten in Z-Richtung= 3 und Z-Objekthöhe = 15 ein 6-knotiges lineares 3D-Pentaeder-Modell PEN6. Zusätzlich muß die Flächenlast und die Randbedingungen in Z-Richtung neu erzeugt werden.



Glasplatte mit SHEL6-Schalenelementen

Wählen Sie den Quick-Solver um aus dem linearen 2D-Plattenelement PDK3S automatisch die quadratische 3D-Schale S6 zu generieren und zu berechnen.

Vorher aber müssen die Flächenlast und die Randbedingungen in Z-Richtung mit dem Freiheitsgrad 3 geändert werden weil bei 2D-Platten FHG=1 die Z-Richtung ist.



Glasplatte mit TET4-Volumenelementen

Die Glasplatte kann aber auch mit dem 3D-Netzgenerator über die STEP-, STL oder IGES-Schnittstelle erzeugt werden.

Erstellen Sie in Ihrem CAD-Programm folgende zwei Zylinder:

Zylinder 1: Durchmesser = 1124 mm und Höhe = 15 mm

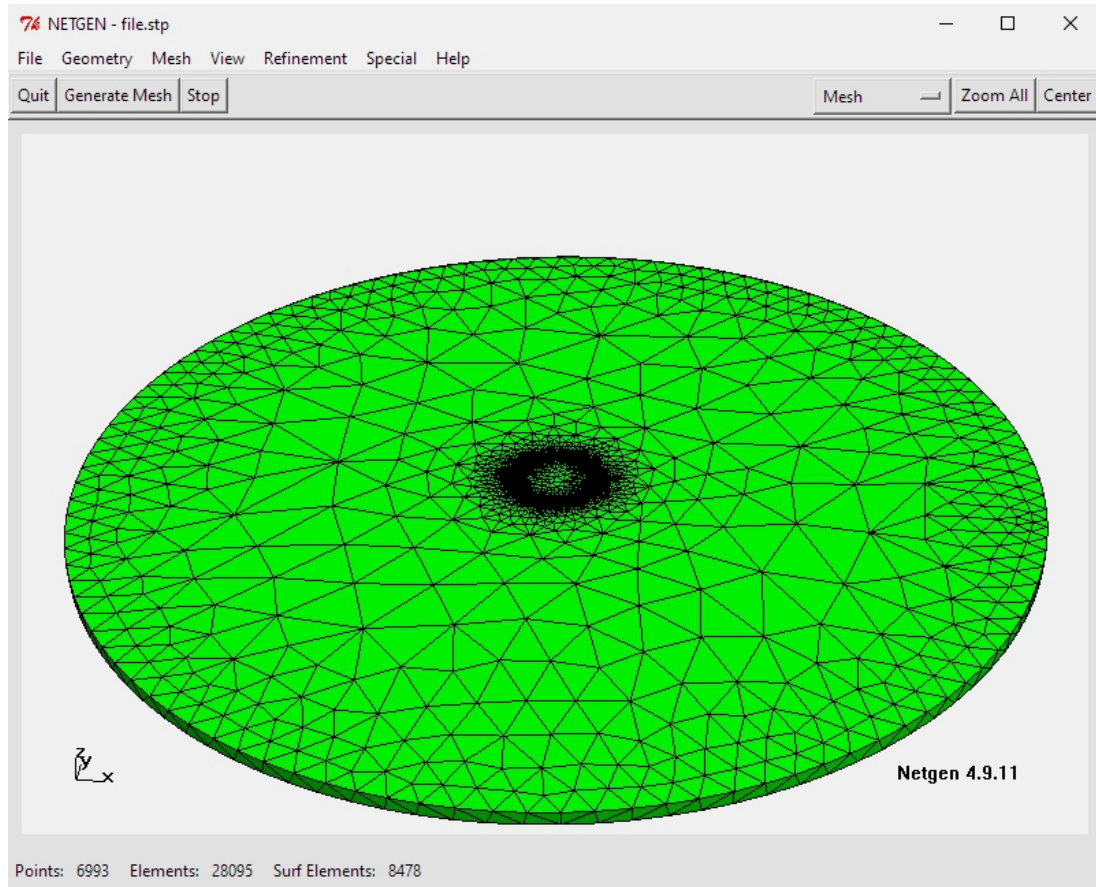
Zylinder 2: Durchmesser = 100 mm und Höhe = 15.5 mm

wobei Zylinder 2 für eine lokale Netzverfeinerung in der Plattenmitte benötigt wird. Vereinen Sie beide Zylinder zu einem Einzel-Part und erzeugen eine STEP-Datei.

Wählen Sie in MEANS V11 die Registerkarte „Datei“ und „Neu“ um ein neues FEM-Projekt zu erstellen. Mit „3D-Tetraeder-Netzgenerierung (STL, STEP, IGES)“ erscheint eine Dialogbox, hier können verschiedene CAD-Formate angezeigt werden.

Selektieren Sie mit „Browser“ die STEP-Datei und klicken auf „Netzgenerator Nr. 2 mit CAD-File starten“ damit es im Netzgenerator dargestellt wird.

Das Modell ist jetzt im Netzgenerator zu sehen und kann beliebig gedreht werden.

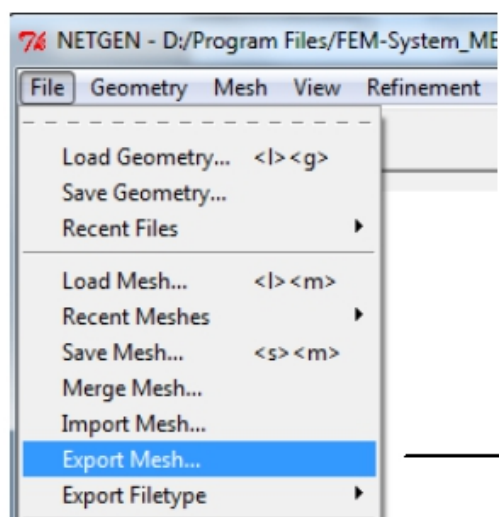


Wählen Sie das Menü „Mesh“ und „Meshing Options“ und generieren mit der Netzdichte „moderate“ und dem Hauptmenü „Generate Mesh“ ein FEM-Netz.

Das FEM-Netz besteht jetzt aus 6993 Knoten und 28095 Tetraederelementen.

Nach der Netzgenerierung muß das FEM-Netz mit Namen „test.fem“ exportiert werden. Wählen Sie das Menü „File“ und „Export Mesh“ und speichern das Netz „test.fem“ in den vorgegeben Debug-Mesh-Pfad.

Nach dem Export von „test.fem“ wird MEANS V12 automatisch gestartet und erzeugt zuerst das Flächemodell damit Flächen, Kanten und Knotenpunkte für Belastungen, Randbedingungen oder Elementgruppen selektiert werden können.



hier mit Namen **test.fem**
das generierte Netz in das
Debug/Mesh-Verzeichnis
abspeichern

Berechnung der exakten Ergebnisse

Eine symmetrisch belastete und am Außenrand frei aufliegende Kreisplatte kann mit einer gewöhnlichen Differentialgleichung exakt nachgerechnet werden da nur der Radius als unabhängige Veränderliche erforderlich ist.

Durchbiegung w in der Plattenmitte:

Dicke = 15 mm, Durchmesser D = 1124 mm, Radius R = 562 mm

Gewichtslast F = -5000 N, E-Modul Glas = 50 000 N/mm², Poisson Zahl = 0.25

P = Flächenlast = F / Fläche = - 5000 N / ((3.1416 * D²) mm² / 4)

$$= - 0.005 \text{ N/mm}^2$$

$$w = \frac{P * R^4}{64 K} * \frac{5 + \mu}{1 + \mu}$$

$$\text{mit } K = \frac{E * h^3}{12 * (1 - \mu^2)} = \frac{50\,000 \text{ N/mm}^2 * 15 \text{ mm} * 15 \text{ mm} * 15 \text{ mm}}{12 * (1 - (0.25 * 0.25))}$$

$$= 15\,000\,000 \text{ N mm}$$

$$w = \frac{-0.005 \text{ N/mm}^2 * 562 \text{ mm}^4}{64 * 15\,000\,000 \text{ N mm}} * 4.2$$

$$w = -2.1822 \text{ mm}$$

Maximales Moment in der Plattenmitte:

$$M_{\max} = M_x = M_y = \frac{P * R^2}{16} (3 + \mu)$$

$$= \frac{0.005 \text{ N/mm}^2 * 562 \text{ mm} * 562 \text{ mm}}{16} * 3.25 = 320.8 \text{ N mm}$$

max. Biegespannung in der Plattenmitte:

Biegespannung = 6 * Biegemoment / (Plattendicke)²

$$= 6 * 320.8 \text{ Nmm} / 15 * 15 \text{ mm}^2$$

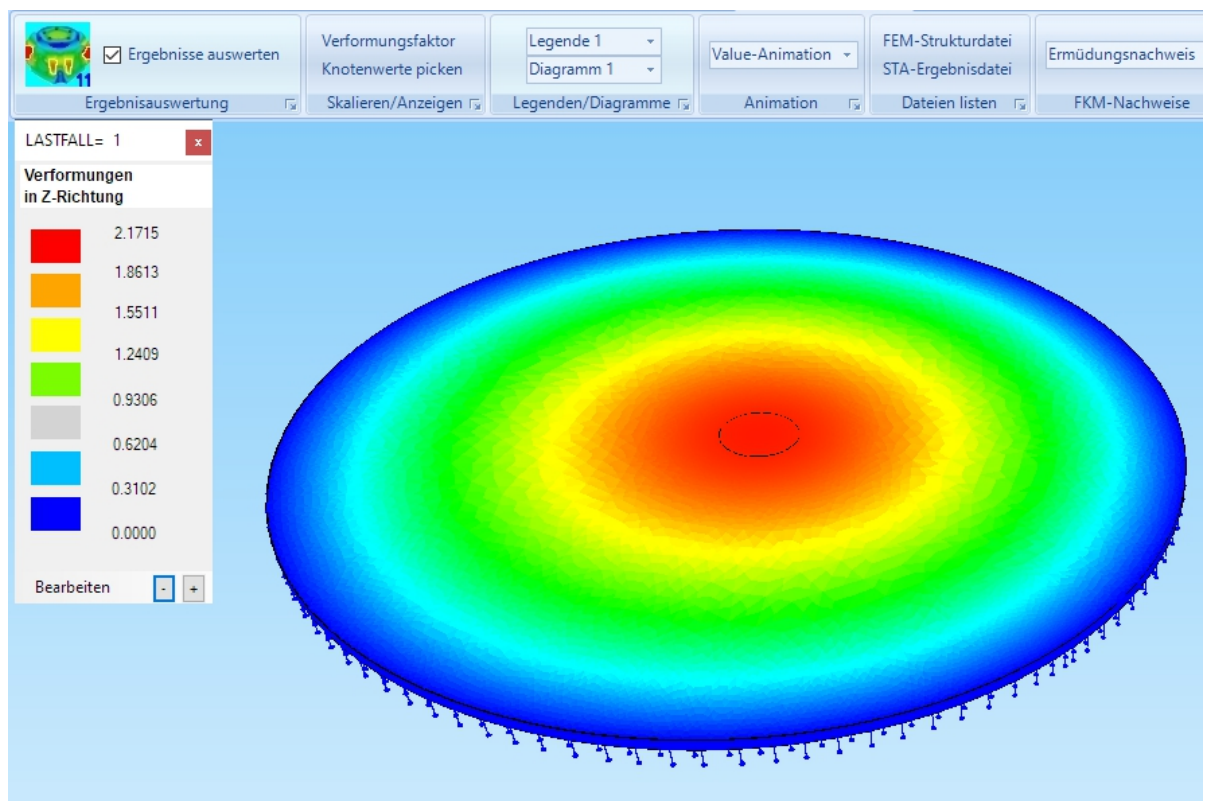
$$= 8.55 \text{ N/mm}^2$$

Ergebnisvergleiche

Folgende Ergebnisse erhält man für FEM-Netze mit verschiedenen Elementtypen, wobei die linearen Solid-Elementen TET4 oder PEN6 wegen einer zu geringen Netzdichte in Z-Richtung noch sehr ungenau sind und darum nicht für biegebeanspruchte Berechnungen verwendet werden sollten.

MEANS / Abaqus	Elementtyp	Verformungen	Spannung
PDK3S	2D-Kirchhoff-Platte lin.	2.01	7.98
PLA6S	2D-Mindlin-Platte quadr.	2.08	8.28
SHEL6 / S6	3D-Solid-Schale	2.07	8.26
TET4 / C3D4	3D-Solid linear	0.1	2.1
TET10 / C3D10	3D-Solid quadratisch	2.17	8.4
PEN6 / C3D6	3D-Solid linear	1.0	5.3
PEN15 / C3D15	3D-Solid quadratisch	2.07	8.26

Max. Verformungen in Z-Richtung TET10 = 2.17 mm



Max.v.Mises-Vergleichsspannung mit TET10 = 8.4 N/mm²