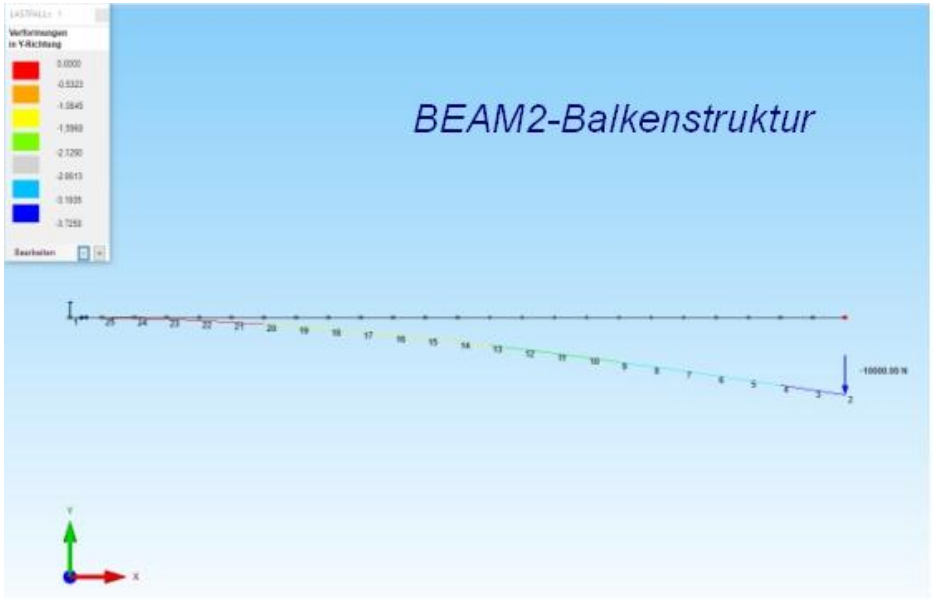
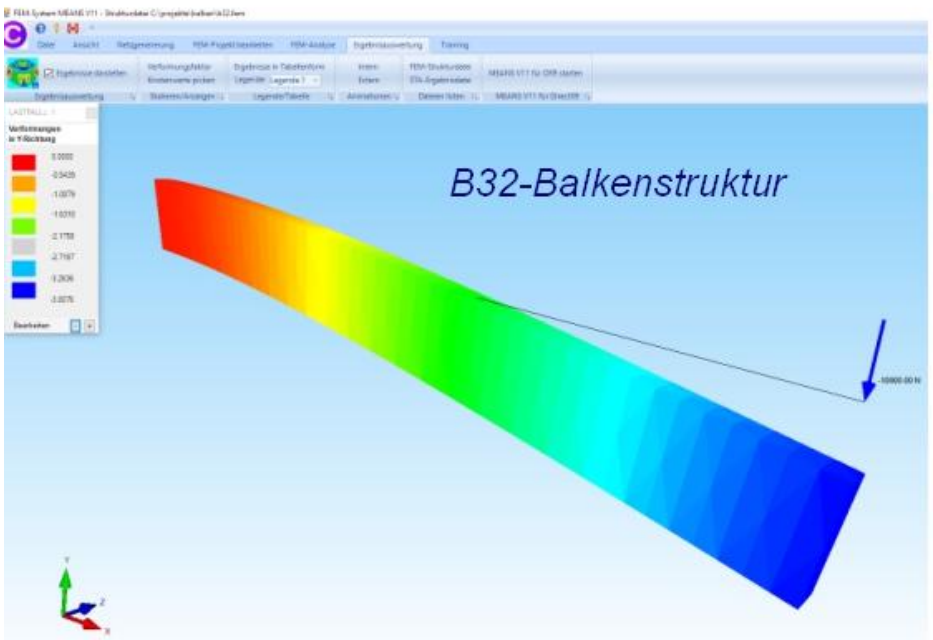
FEM-System

MEANS V12

Balken-Analyse zur Berechnung von Verformungen und Spannungen



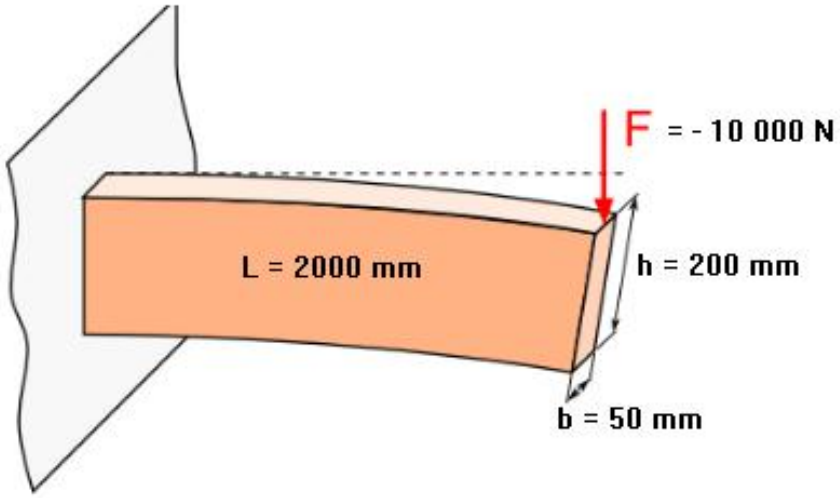


www.femcad.de

www.fem-infos.com

Kapitel 6: Balken-Analyse mit MEANS V12

Beispiel 1: Eingespannter Träger



$$f = \frac{F \cdot l^3}{3 \cdot E \cdot I} = \frac{-10000 * 2000^3 * 12}{3 * 210\,000 * 50 * 200^3} = -3.809 \text{ mm}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W} = \frac{-10000 * 2000 * 6}{50 * 200^2} = 60 \text{ N/mm}^2$$

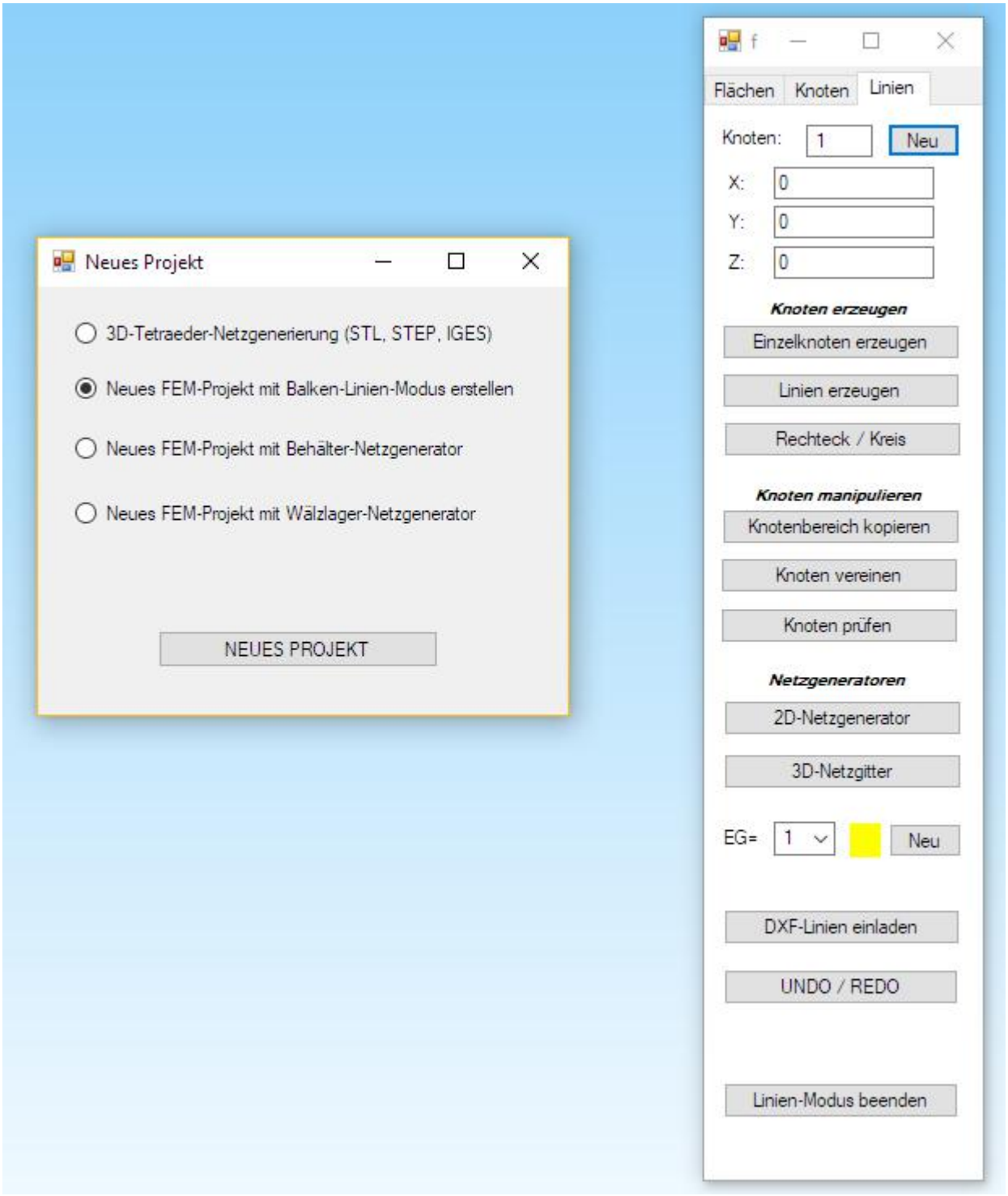
Ergebnisse nach der Balkentheorie: -max. Verformung (bei x = 2000 mm) = - 3.8 mm
-max. Biegespannung (bei x = 0) = 60 N/mm²

Balken im Linien-Modus erzeugen

Starten Sie MEANS V11 über das Windows-Desktop-Icon und wählen das Register “Datei” sowie “Neu” aus und klicken auf das Projekt-Menü

“Neues FEM-Projekt mit Balken-Linien-Modus erstellen”

Es erscheint auf der rechten Seite die Dialogbox für den Linien-Modus hier befinden sich Menüs mit denen z.B. Knotenpunkte, Rechtecke oder Kreise erzeugt und verbunden oder vernetzt werden können.


Neues Projekt
3D-Tetraeder-Netzgenerierung (STL, STEP, IGES)
Neues FEM-Projekt mit Balken-Linien-Modus erstellen
Neues FEM-Projekt mit Behälter-Netzgenerator
Neues FEM-Projekt mit Wälzlager-Netzgenerator
NEUES PROJEKT
f
Flächen
Knoten
Linien
Knoten:
1
Neu
X:
0
Y:
0
Z:
0
Knoten erzeugen
Einzelknoten erzeugen
Linien erzeugen
Rechteck / Kreis
Knoten manipulieren
Knotenbereich kopieren
Knoten vereinen
Knoten prüfen
Netzgeneratoren
2D-Netzgenerator
3D-Netzgitter
EG=
1
Neu
DXF-Linien einladen
UNDO / REDO
Linien-Modus beenden

Eingabe der Knotenpunkte

Eingabe Knotenpunkt 1

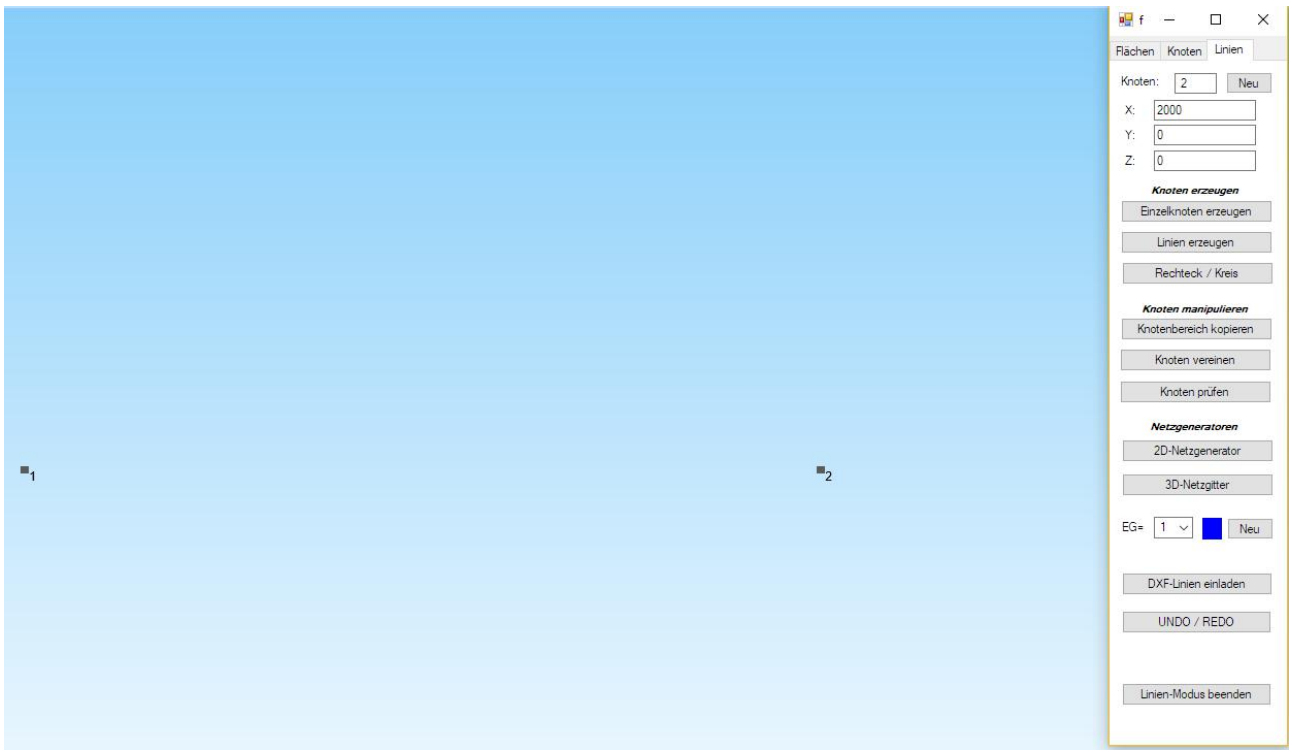
Klicken Sie auf “Neu” und und geben X = 0, Y = 0, Z = 0 ein

Klicken Sie auf “Einzelknoten erzeugen” um den Knoten 1 zu erzeugen.

Eingabe Knotenpunkt 2

Klicken Sie auf “Neu” und und geben X = 2000, Y = 0, Z = 0 ein

Klicken Sie auf “Einzelknoten erzeugen” um den Knoten 2 zu erzeugen.



Jetzt sollten beide Knotenpunkte numeriert auf dem Bildschirm zu sehen sein.

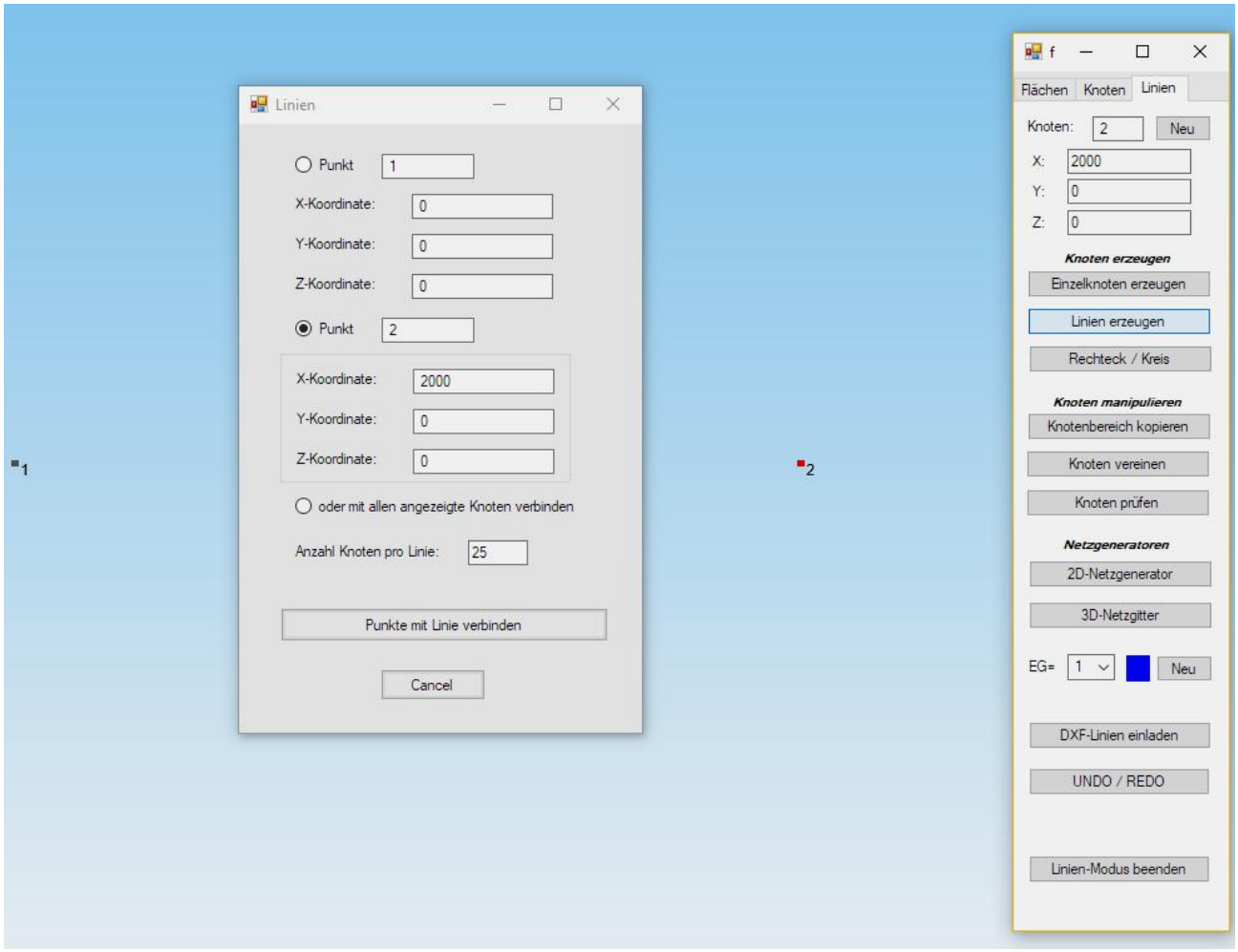
Balkenelemente erzeugen

Wählen Sie das Menü “Linie erzeugen” und 24 Balkenelemente zu erzeugen.

Mit dieser Dialogbox können zwei auf dem Bildschirm angeklickte Knotenpunkte zu einer Linie bzw. zu einem Balkenelement verbunden werden.

Aktivieren Sie zuerst die obere Punkt-Option und klicken auf den linken Knotenpunkt sodaß die Knotennummer 1 mit den Koordinaten angezeigt wird.

Aktivieren Sie dannach die untere Punkt-Option und klicken auf den rechten Knotenpunkt sodaß die Knotennummer 2 mit den Koordinaten ebenfalls angezeigt wird.

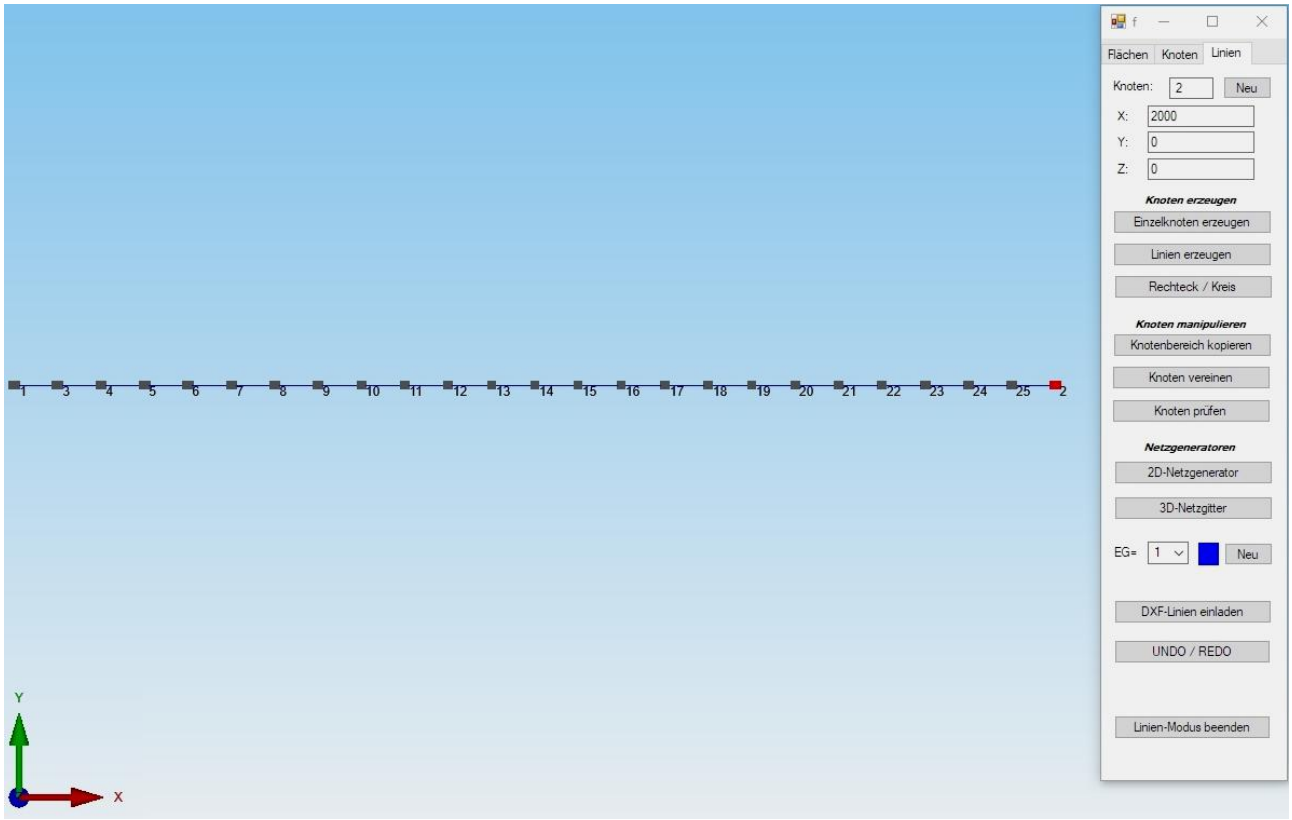


Verfeinerung

Geben Sie die Anzahl der Knoten pro Linie = 25 ein damit 24 Balkenelemente erzeugt werden.

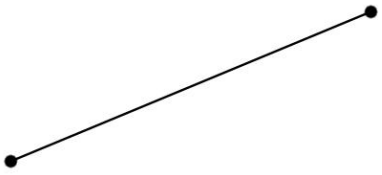
Balkenmodell erzeugen

Wählen Sie Menü “Punkte mit Linie verbinden” um eine Balkenstruktur bestehend aus 25 Knotenpunkten und 24 BEAM2-Balkenelementen zu erzeugen.

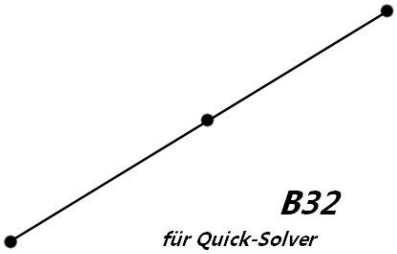


Eingabe der Materialdaten

Wählen Sie das Register “FEM-Projekt bearbeiten” und das Menü “Materialdaten”. Dort wählen Sie das Menü “Balken-Profile generieren” um das Balken-Profil für das Balkenelement BEAM2 oder B32 einzugeben.



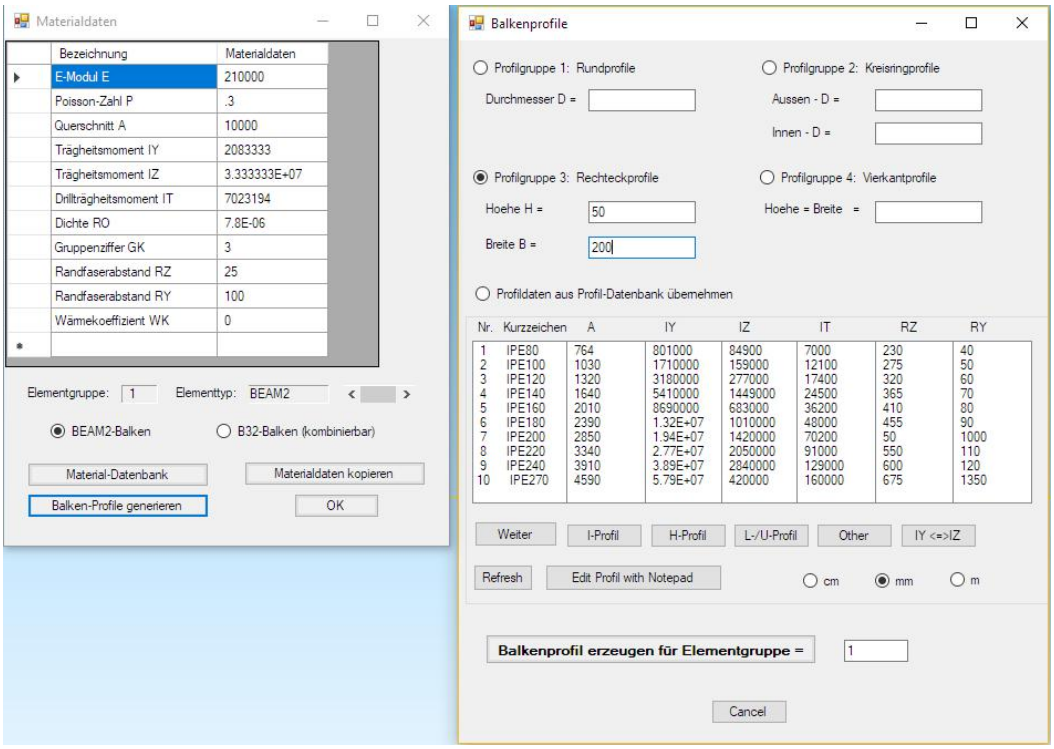
BEAM2
für Dr.Kühn-Solver
für alle Profile
für lineare Statik und Dynamik



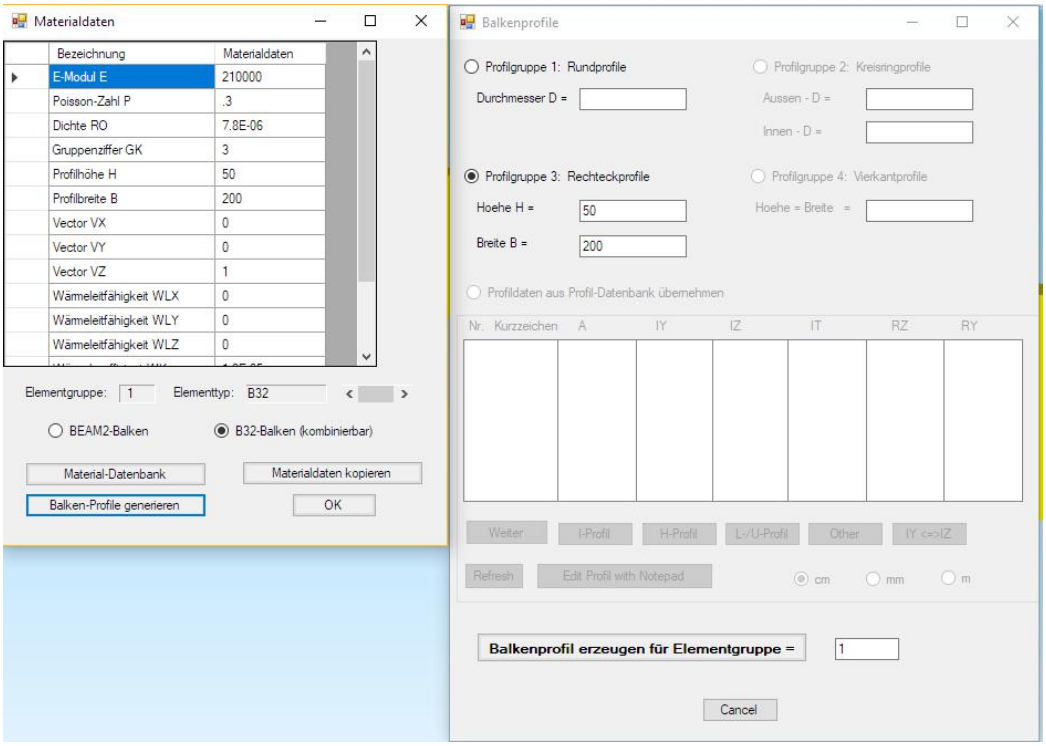
B32
für Quick-Solver
nur für Rechteck- und Kreisprofile
für Statik, Dynamik, Temperatur,
Beulen, Kontakt, Nichtlinear

In der Dialogbox für Balkenprofile wählen Sie “Profilgruppe 3: Rechteckprofile” und geben eine Höhe von 50 mm und eine Breite von 200 mm ein, dann wählen Sie das unterste Menü “Balkenprofil erzeugen für Elementgruppe 1” um die Material- und Profildaten zu erzeugen.

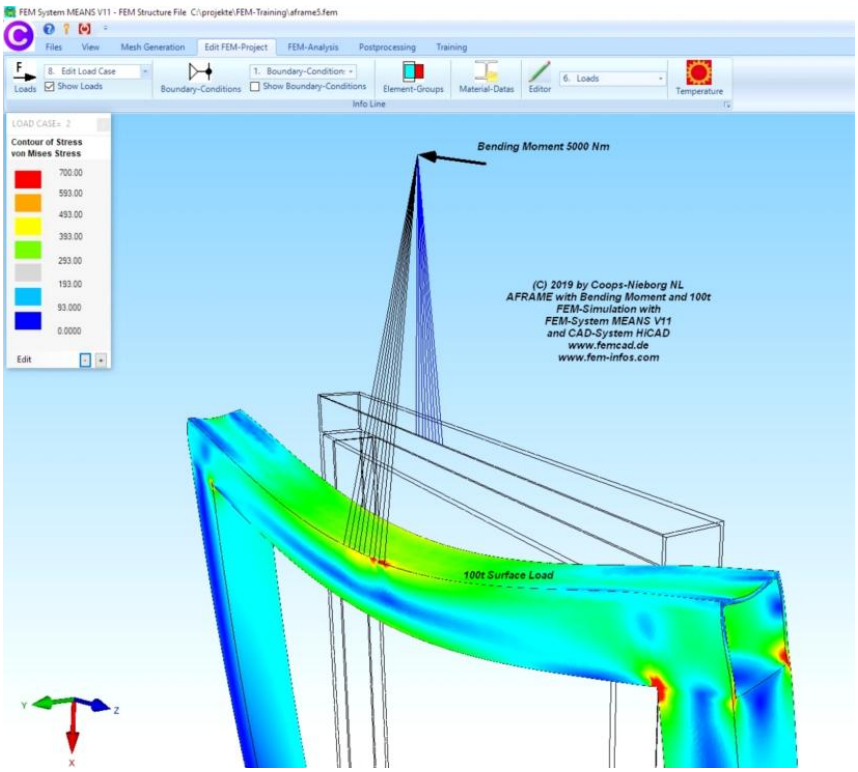
Materialdaten für **BEAM2-**Balkenelemente mit Rundprofile, Kreisingprofile, Rechteckprofile und Vierkantprofile sowie eine Profil-Datenbank im ASCII-Format für eigene oder spezielle Profile wie IPE oder HEB welche jederzeit mit Notepad geändert oder erweitert werden können.



Materialdaten für **B32-**Elemente zur Zeit nur mit Kreis- oder Rechteckprofilen möglich.



B32 sind sehr wichtige Verbindungselemente (siehe Kapitel 10 - MPC-Analyse) oder werden für die Simulierung von Biege- oder Torsionmomenten eingesetzt.

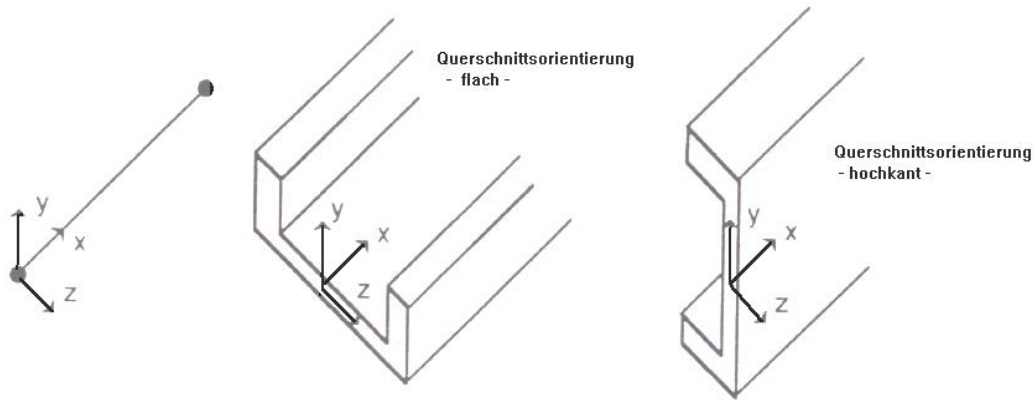


Einheiten beachten:

Gerade bei den Balkenstrukturen muss auf die korrekte Einheit sehr aufgepaßt werden:
Koordinaten sind in Millimeter -> dann Profil- und Materialdaten auch in Millimeter
X = 2000 mm , Y = 0 mm -> E-Modul = 210 000 N/mm², H = 50 mm, B = 200 mm
Koordinaten sind in Meter -> dann Profil- und Materialdaten auch in Meter
X = 2 m , Y = 0 m -> E-Modul = 210 000 000 000 N/m², H = 0.05 m, B = 0.20 m

Biegebeanspruchung

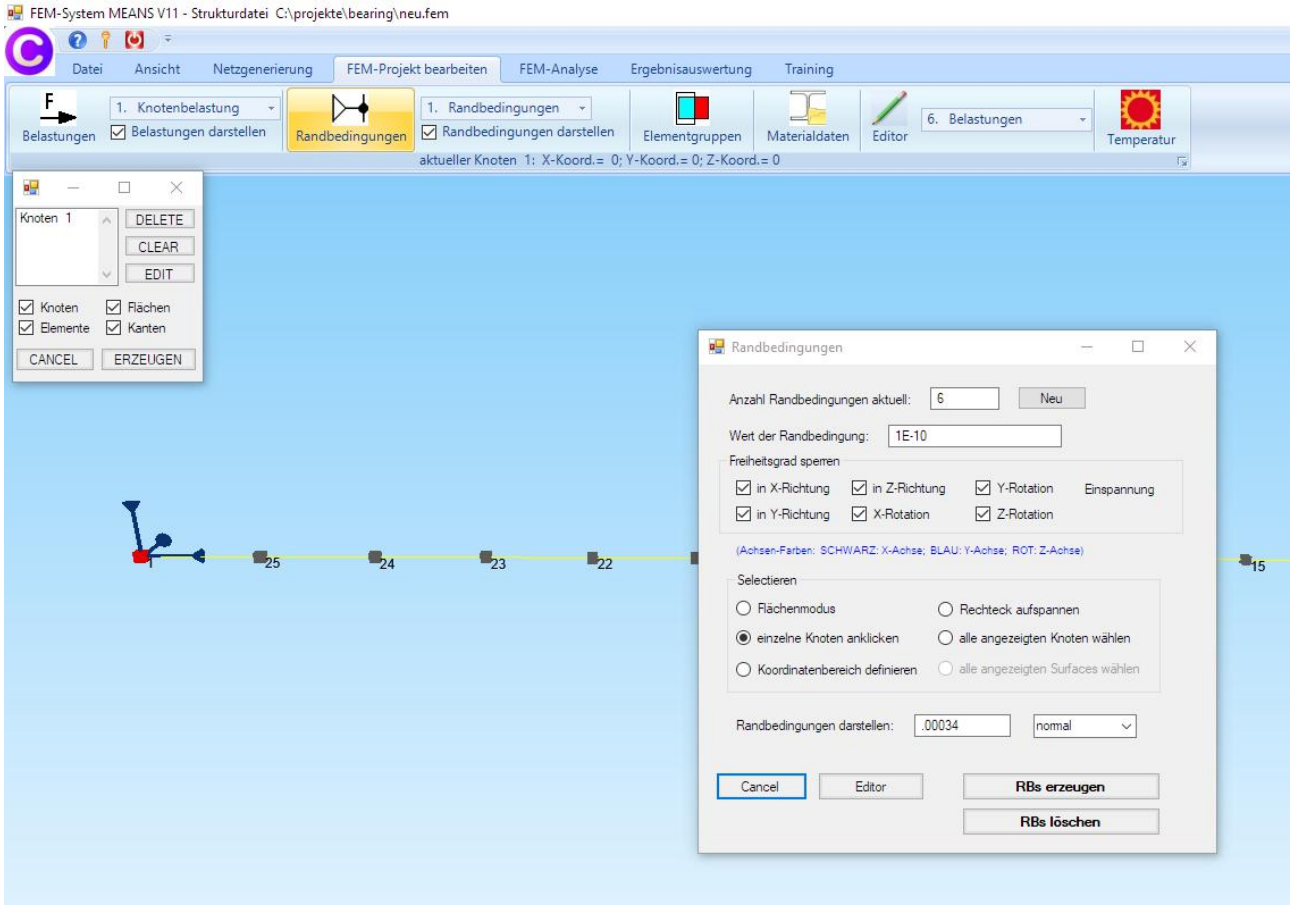
Mit Balkenelementen können mit relativ wenig Netzgenerierungsaufwand fast alle Strukturen ausreichend genau berechnet werden, vorausgesetzt die Querschnittsfläche und die Trägheitsmomente lassen sich leicht ermitteln. Besitzt das Profil jedoch eine unregelmäßige Querschnittsform ist die Ermittlung vorallem des Torsionsträgheitsmomentes sehr schwierig, die Struktur kann dann nur noch entweder mit Flächen- oder Volumenelementen genau berechnet werden. Da die Balkenelemente auf dem Bildschirm nur als Linie dargestellt werden können, kann die Orientierung des Querschnitts – sehr wichtig bei Biegebeanspruchung – nicht immer optisch kontrolliert werden, so daß Quer- und Hochachse leicht vertauscht sein können.



Eingabe der Randbedingungen

Der Träger ist am linken Ende fest eingespannt. Erzeugen Sie die RBs in folgenden Schritten:

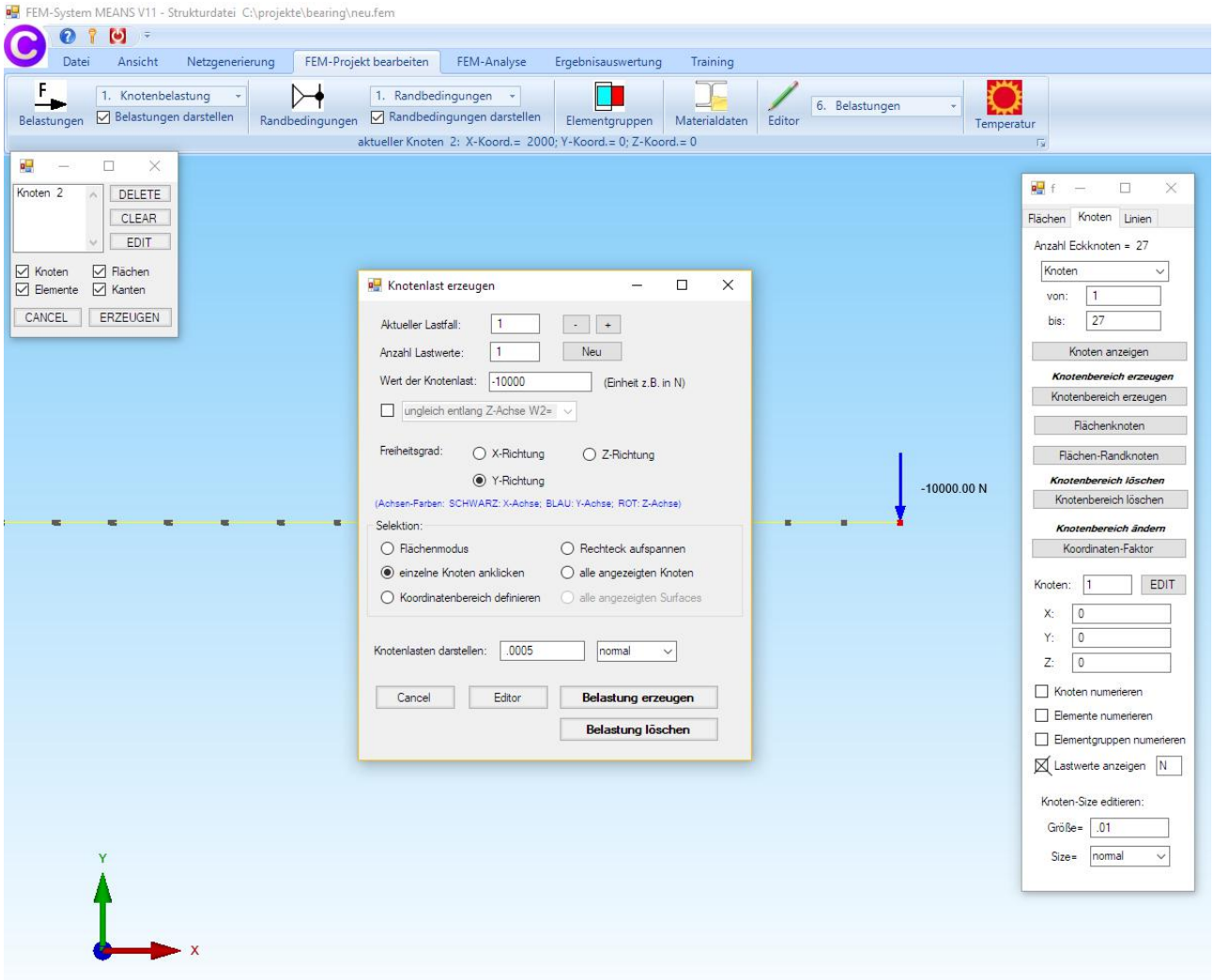
- Wählen Sie das Register “FEM-Projekt bearbeiten” und klicken auf das RB-Icon um die Randbedingungen einzugeben.
- Wählen Sie in der RB-Dialogbox “Einspannungen” und “RBs erzeugen” und klicken auf den Knoten 1
- Knoten 1 wird in der Selectbox angezeigt, dort wählen Sie “Erzeugen” um die Einspannung zu erzeugen.



Eingabe der Knotenlast

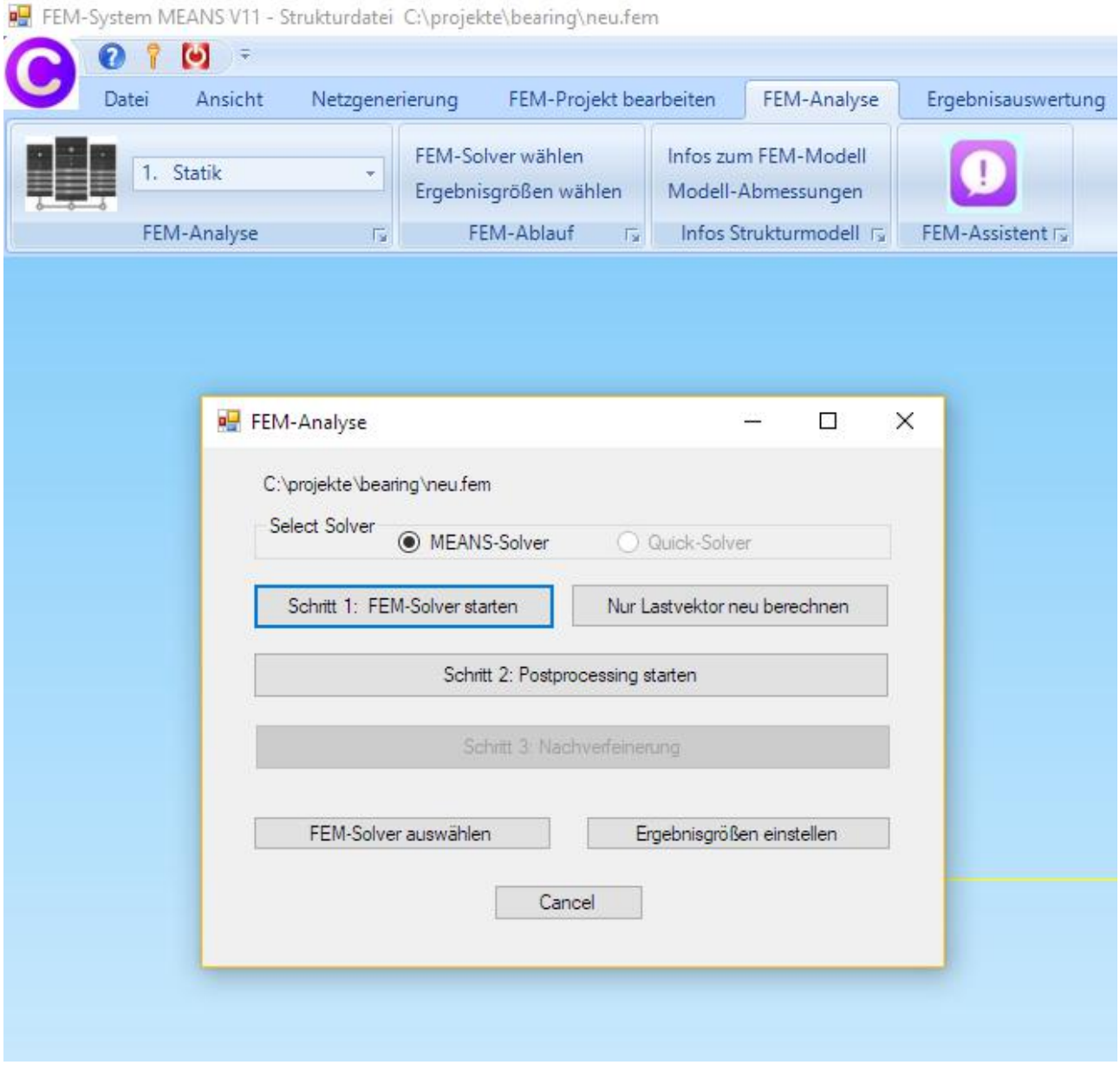
Der Träger wird am rechten Ende mit einer Einzellast von -10 000 N in Y-Richtung belastet.

- Wählen Sie das Register “FEM-Projekt bearbeiten” sowie “1. Knotenbelastung” um die Knotenlast einzugeben.
- Geben Sie Lastfall = 1, Anzahl Lastwerte = 0 und Wert der Belastung = -10000 ein.
- Wählen Sie die Belastungsrichtung “Y-Richtung” und “Belastung erzeugen” und klicken auf den Knoten 2
- Knoten 2 wird in der Selectbox angezeigt, dort wählen Sie “Erzeugen” um die Knotenlast zu erzeugen.
- Wählen Sie das Register “Ansicht” und “Knoten-Modus” und schalten die Numerierung und Lastwerte an.



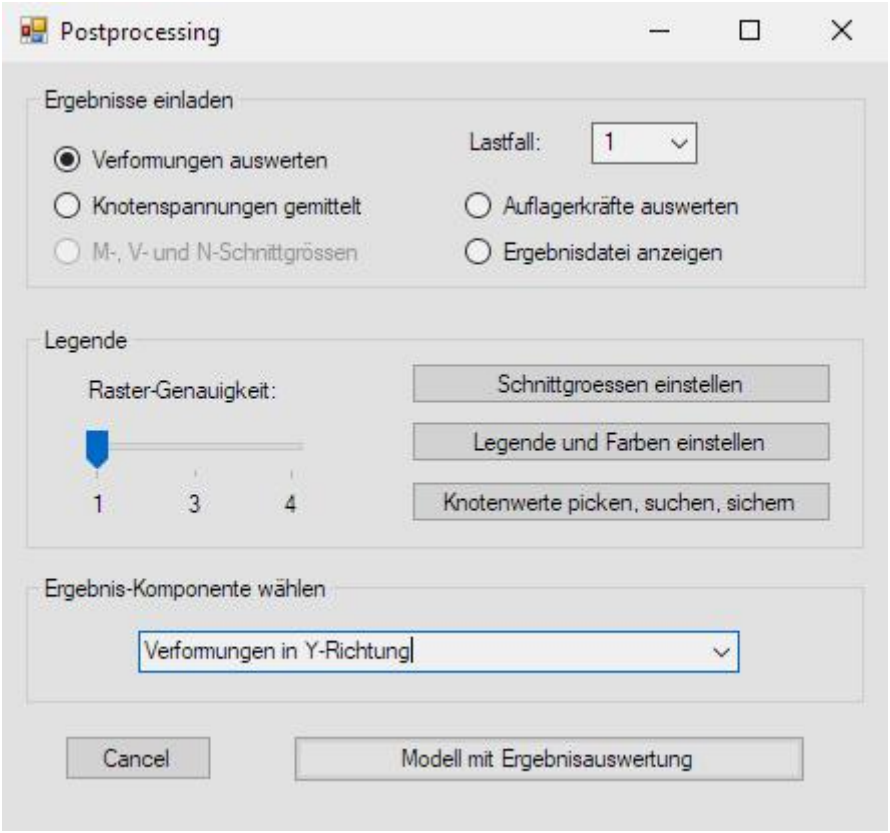
FEM-Analyse

Wählen Sie das Register “FEM-Analyse” und “1. Statik” um den FEM-Solver zu starten und um die Verformungen und Spannungen zu berechnen.



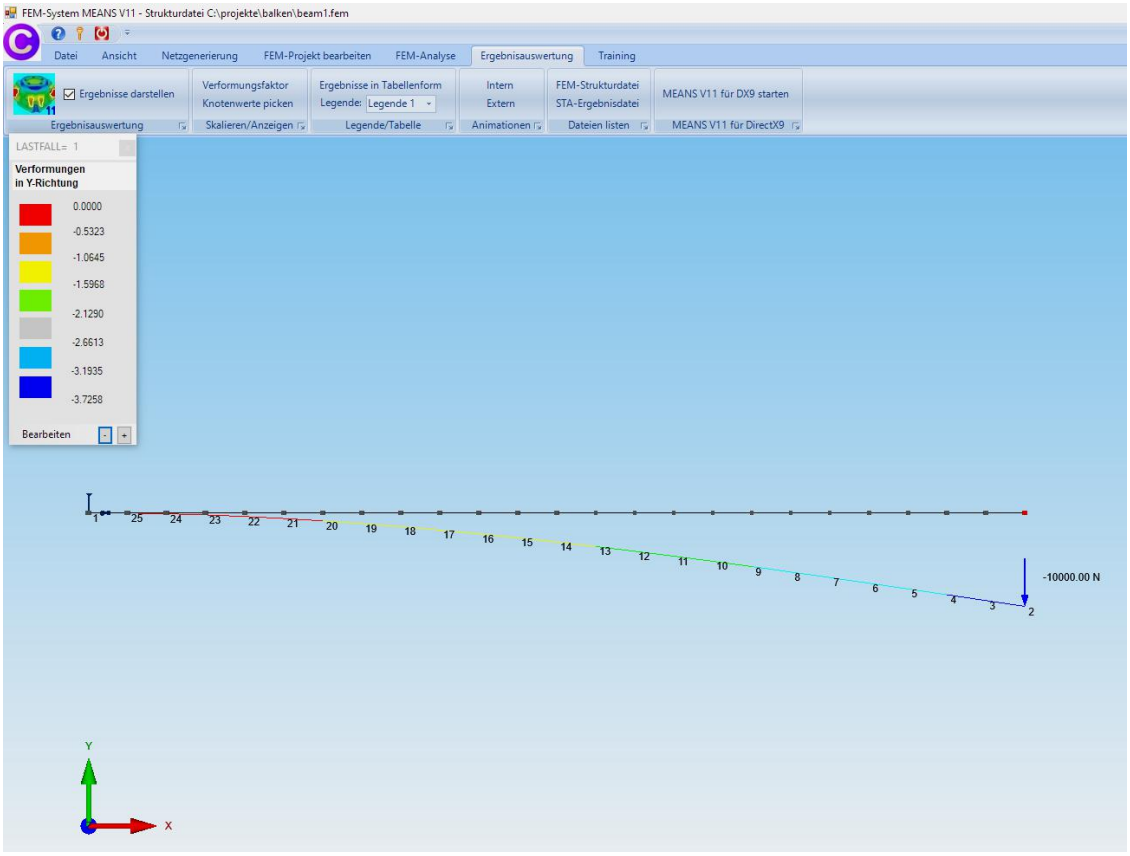
Ergebnisauswertung

Wählen Sie das Register „Ergebnisauswertung“ und klicken auf das Icon um die Verformungen, Spannungen und Kräfte auszuwerten.



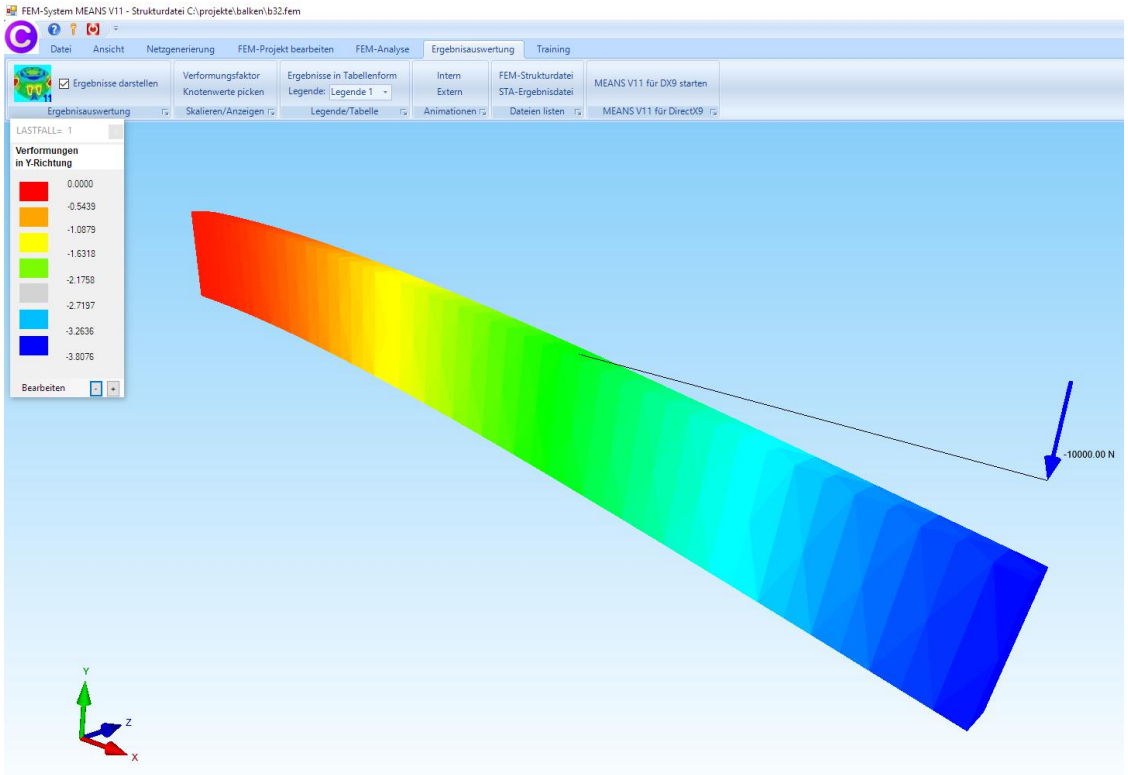
Verformungen in Y-Richtung mit BEAM2

Die maximale Verformung in Y-Richtung beträgt -0.3725 mm



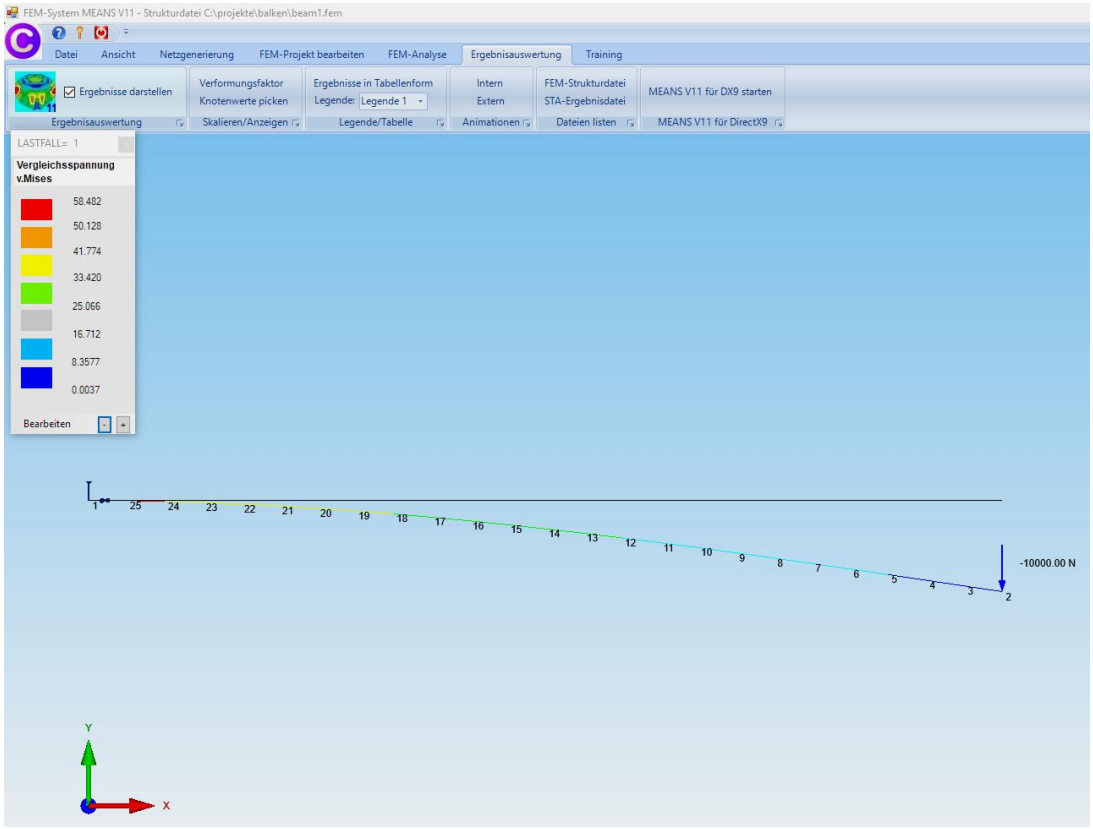
Verformungen in Y-Richtung mit B32

Die maximale Verformung in Y-Richtung beträgt -0.38076 mm



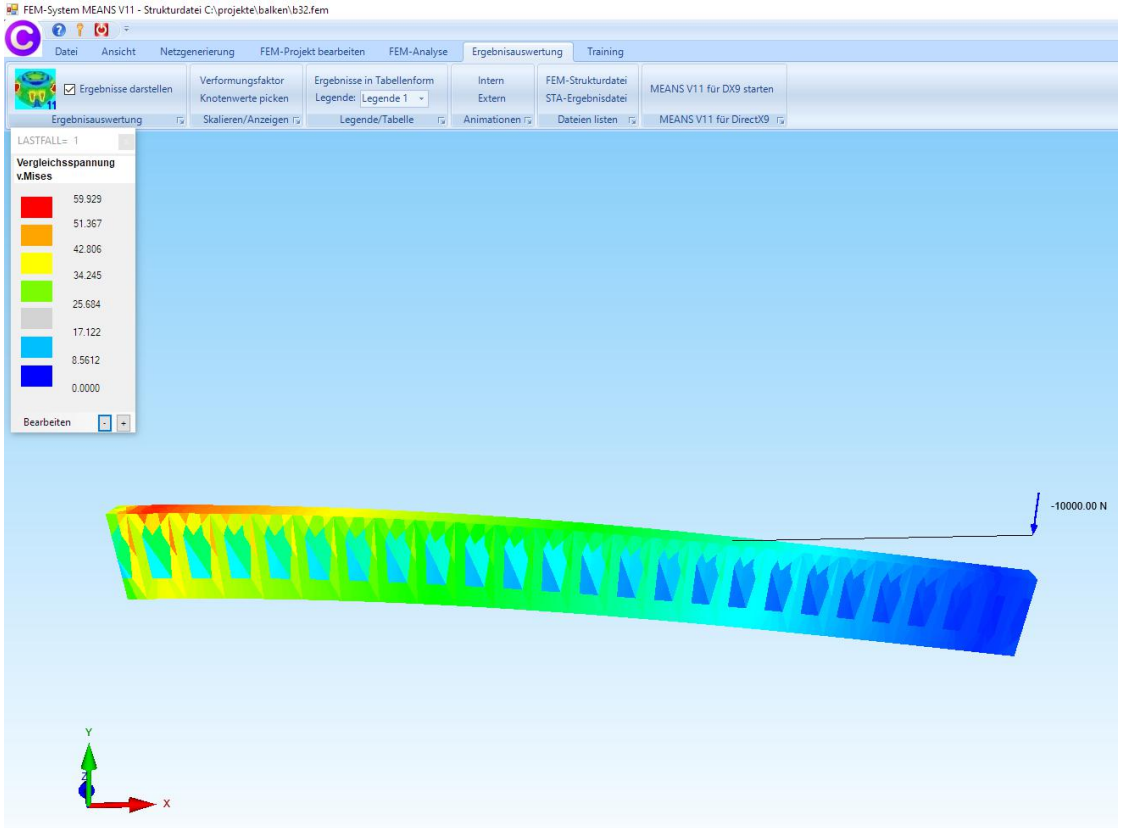
v.Mises-Knotenspannungen mit BEAM2

Die v.Mises-Knotenspannung beträgt 58.42 N/mm²



v.Mises-Knotenspannungen mit B32

Die v.Mises-Knotenspannung beträgt 59.92 N/mm²



Beispiel 2: IPE-Träger mit trapezförmiger Linienlast

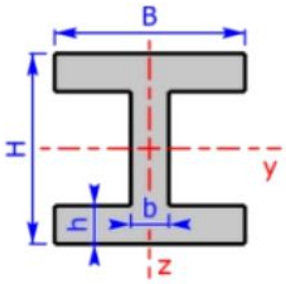
Es folgt eine Balken-Berechnung mit einem Stahlträger IPE-240 mit einer Länge von 2000 mm der mit einer trapezförmigen Linienlast belastet wird.

Exakte Ergebnisse nach der Balkentheorie

Mit dem BEAM-Calculator https://calcresource.com/statics-cantilever-beam.html werden die exakten Ergebnisse nach der Balkentheorie berechnet:

Materialdaten:

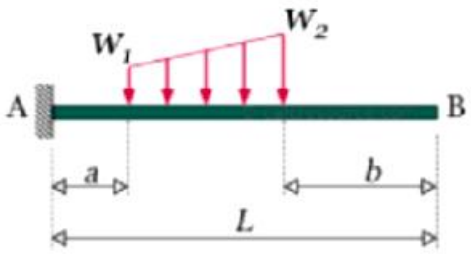
A	I/H-Profil				
H	240	mm	h	9.8	mm
B	120	mm	b	6.2	mm
Wst.	Stahl		E **	210000	N/mm²
I_y *	3670.9673	cm^4	W_y *	305.914	cm^3



Partielle Trapezlinienlast:

Partial trapezoidal load		
w_1 =	-30	kN/m
w_2 =	-50	kN/m
a =	500	mm
b =	200	mm

L = 2000 mm



Ergebnisse:

Reactions:

R_A =	-52	kN
M_A =	62.6167	kNm

Bending Moment:

M_u =	62.6167	kNm

Deflection:

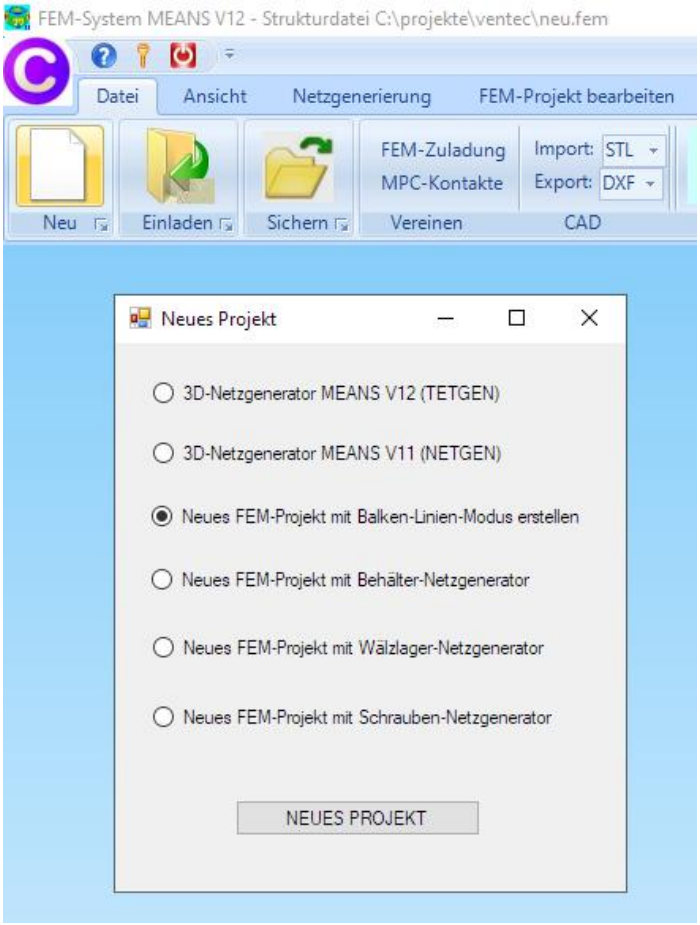
d_u =	-8.19797	mm

Bending Stress

σ_B = M_u / W_y = 204.68 N/mm²

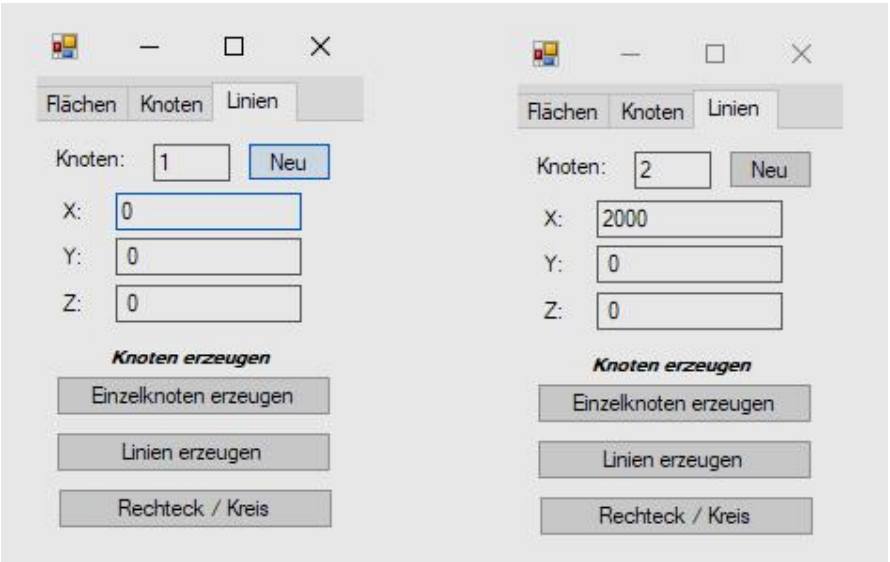
Balken-Modell im Linien-Modus erzeugen

Um ein Balken-Modell mit 21 Knoten und 20 BEAM-Elementen zu erzeugen wählen Sie Register „Datei“ und „Neu“ sowie „Neues FEM-Projekt mit Balken-Linien-Modus“ um das Seitenmenü von Linien-Modus anzuzeigen.



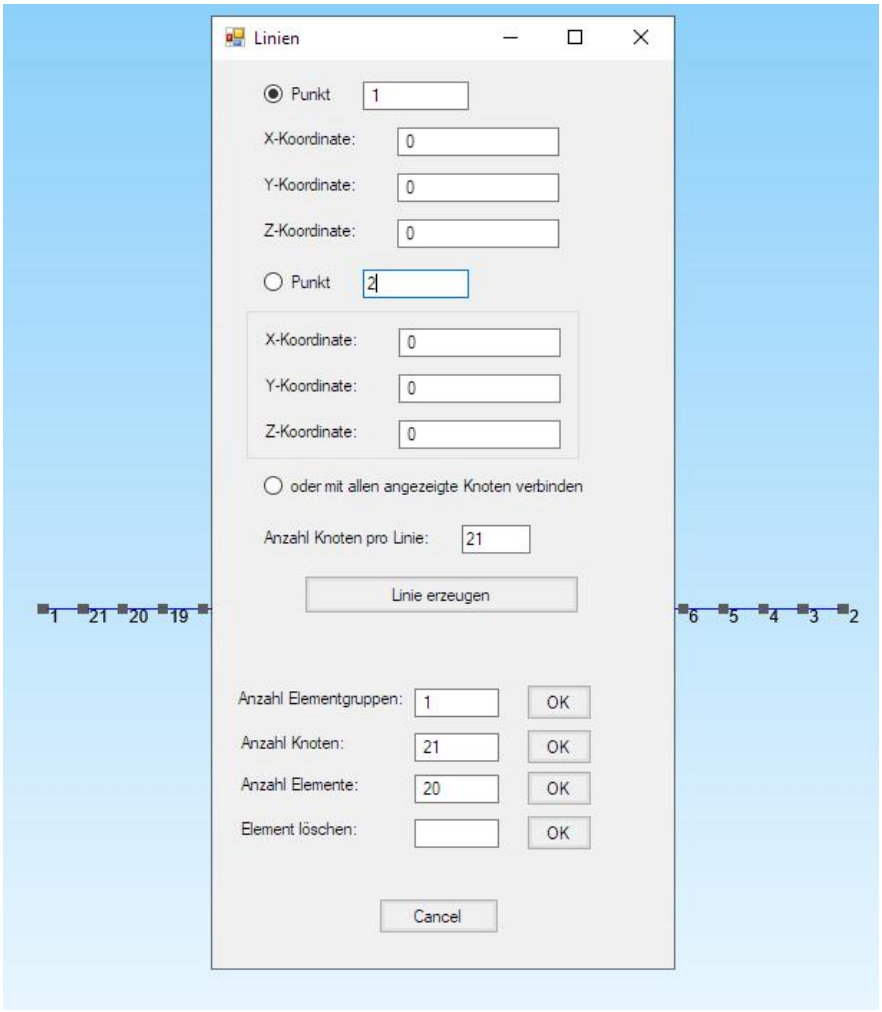
Einzelknoten erzeugen

Erzeugen Sie zuerst die beiden Hauptknoten mit „Neu“ und „Einzelknoten erzeugen“.

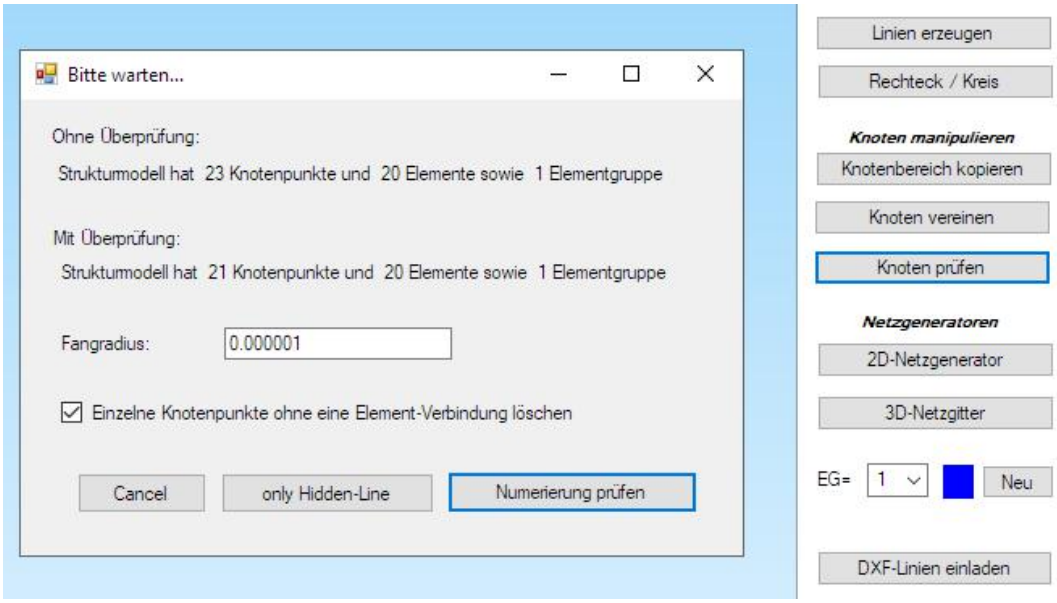


Linie erzeugen

Mit Menü „Linien erzeugen“ wird Knoten 1 und 2 mit „Anzahl Knoten= 21“ verbunden, so entstehen 20 BEAM2-Balken mit jeweils einem Knoten-Abstand von 100 mm.

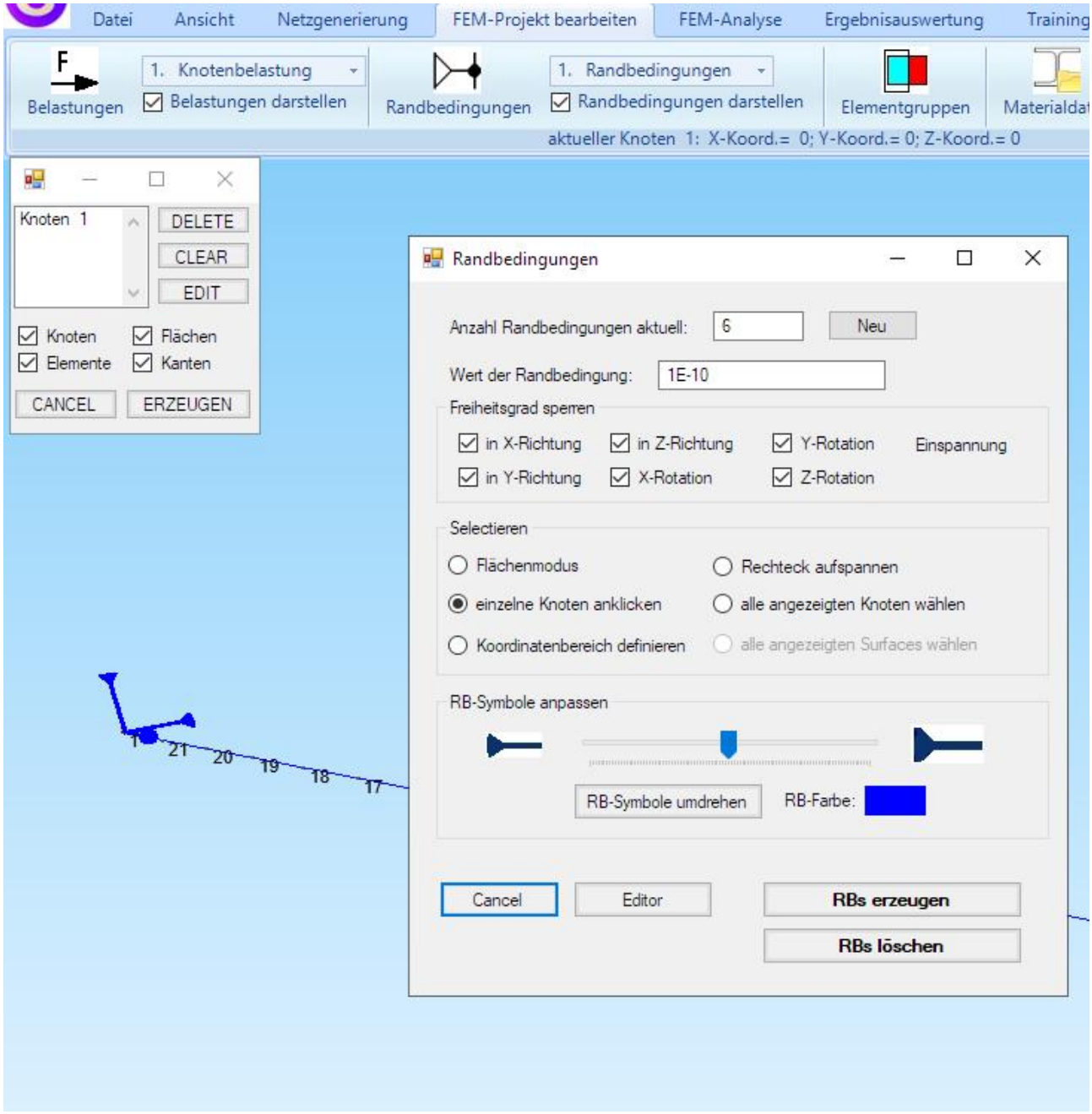


Führen Sie noch eine „Knoten-Prüfung“ aus um Knoten-Überlagerungen zu vermeiden.



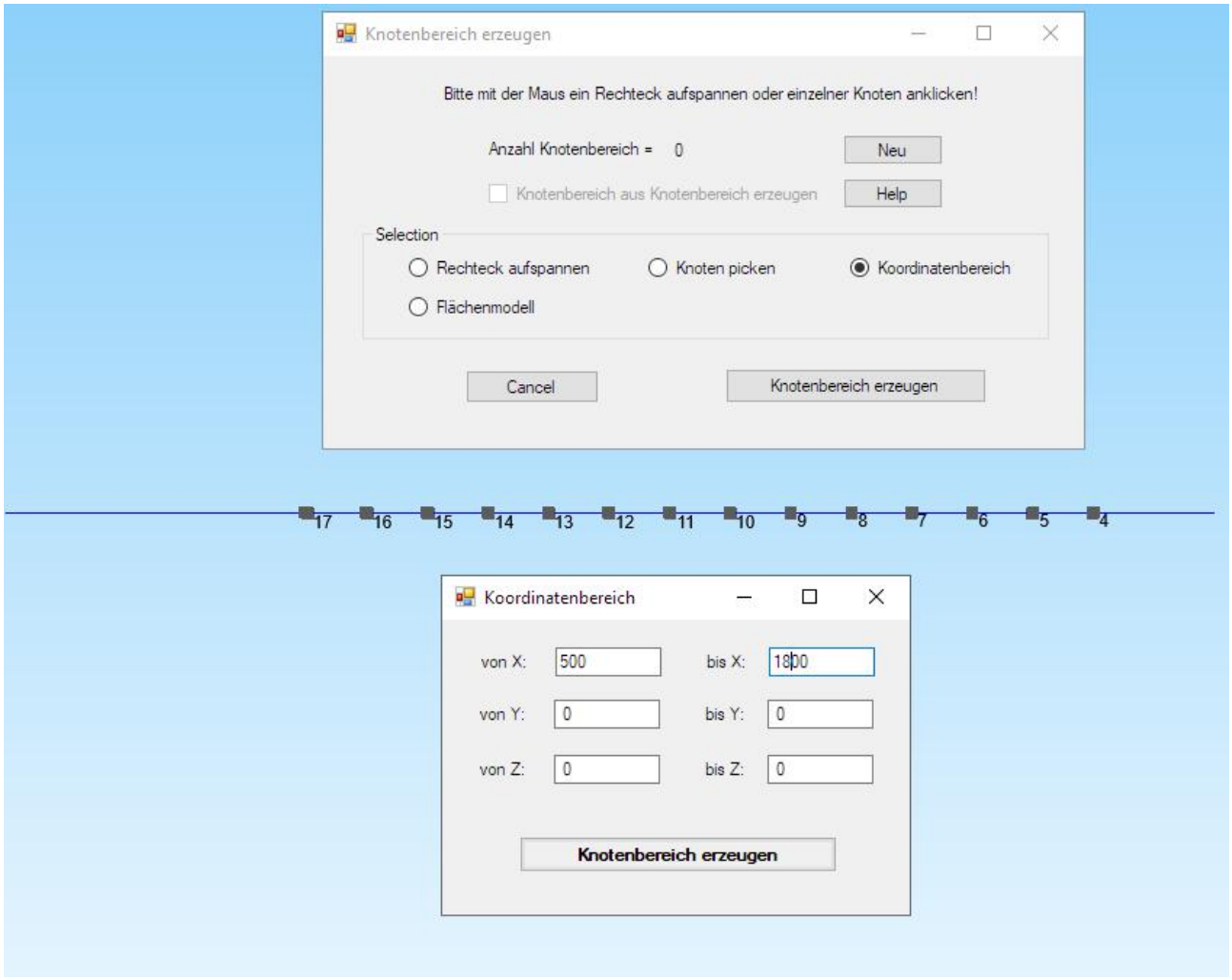
Einspannung

Wählen Sie Register „FEM-Projekt bearbeiten“ und „Randbedingungen“ sowie den Freiheitsgrad „Einspannung“ und die Selektion „einzelne Knoten anklicken“ und klicken nach Menü „RBs erzeugen“ auf den Knoten 1 um diesen in der Selektbox mit Menü „Erzeugen“ einzuspannen.



Knotenbereich erzeugen

Um eine trapezförmige Linienlast zu erzeugen muß zuerst im Knoten-Modus ein Knotenbereich mit einem definierten Koordinatenbereich von X=500 mm bis X=1800 mm erzeugt werden.

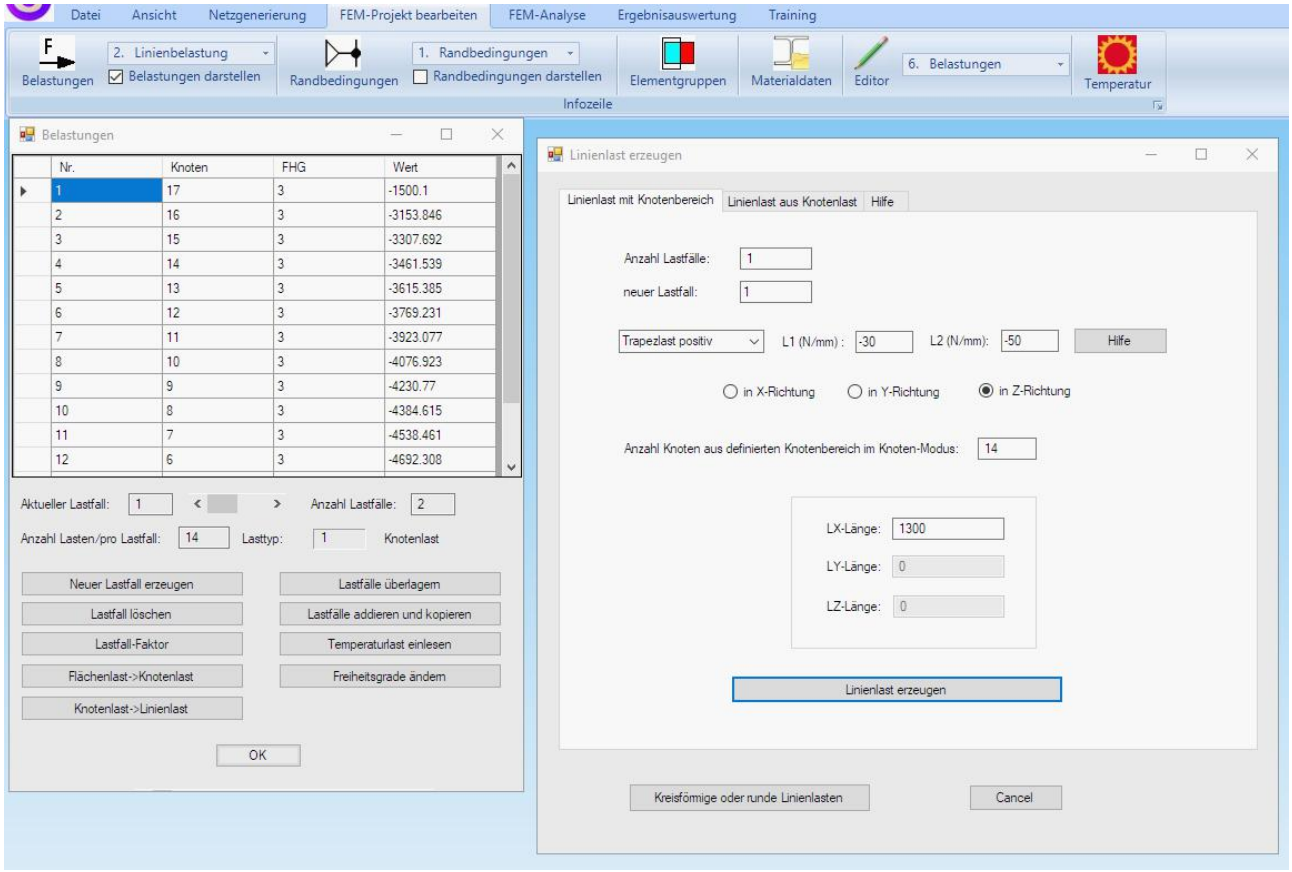


Trapezförmige Linienlast erzeugen

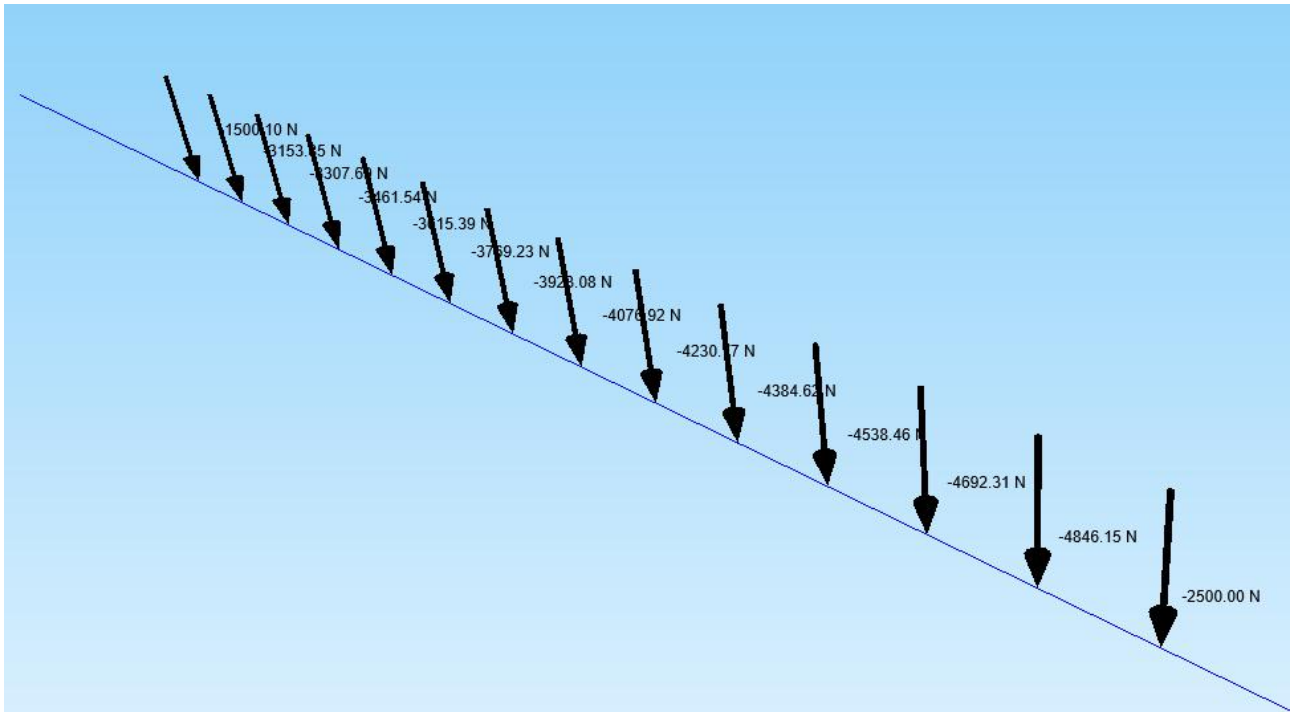
Wählen Sie Register „FEM-Projekt bearbeiten“ und das Menü „Linienbelastung“ und wählen in der Dialogbox das Drop-Down-Menü „Trapezlast positiv“ um eine Knotenlast in Z-Richtung mit dem Lastfall 1 und den Lastwerten L1 = -30 N/mm und L2 = -50 N/mm am angezeigten Knotenbereich zu erzeugen.

Kreisförmige Linienlasten

Bei kreisförmigen oder runden Linienlasten wählen Sie Menü „Kreisförmige oder runde Linienlasten“, hier wird der Knoten-Abstand aber immer über die Länge der Elementkanten bestimmt.

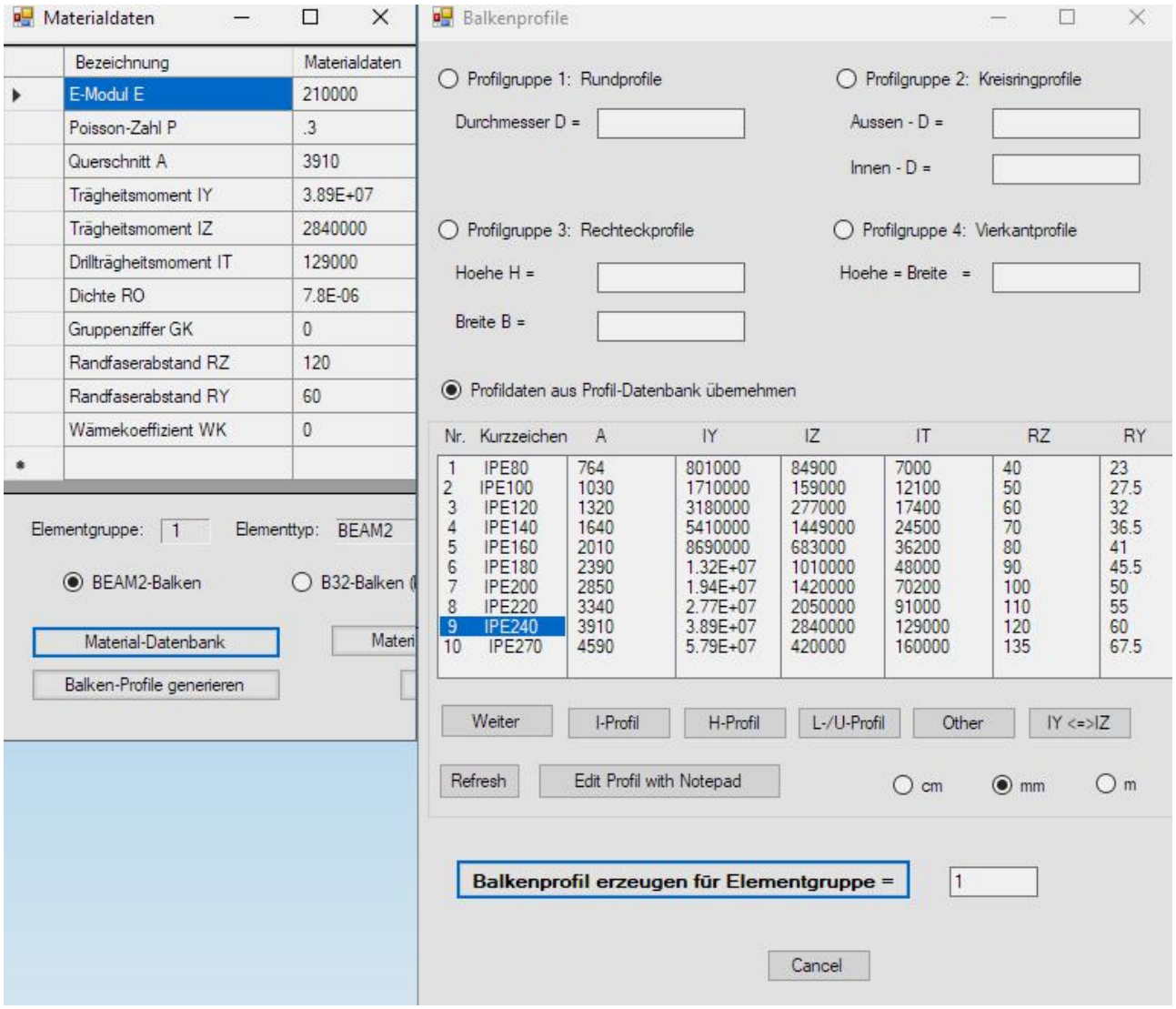


Es wird nun eine Knotenlast mit 14 Lastknoten in Z-Richtung erzeugt, wählen Sie im Knoten-Modus noch zusätzlich „Lastwerte anzeigen“ um die Lastwerte anzuzeigen.



Materialdaten eingeben

Wählen Sie Register „FEM-Projekt beabeiten“, „Materialdaten“ und „Balken-Profile generieren“ und übernehmen mit Menü „Balkenprofil erzeugen für Elementgruppe 1“ die Profildaten von „IPE240“ aus der Profil-Datenbank, die jederzeit mit Menü „Edit Profil with Notebad“ mit einem beliebigen Texteditor geändert oder erweitert werden kann.



Profildaten in der XY-Ebene

Wenn die senkrechte Achse des Profils dagegen nicht in Z- sondern in Y-Richtung verläuft muß entsprechend auch das Profil umgedreht werden, wählen Sie „IY<=>IZ“ um die Profildaten zu drehen.

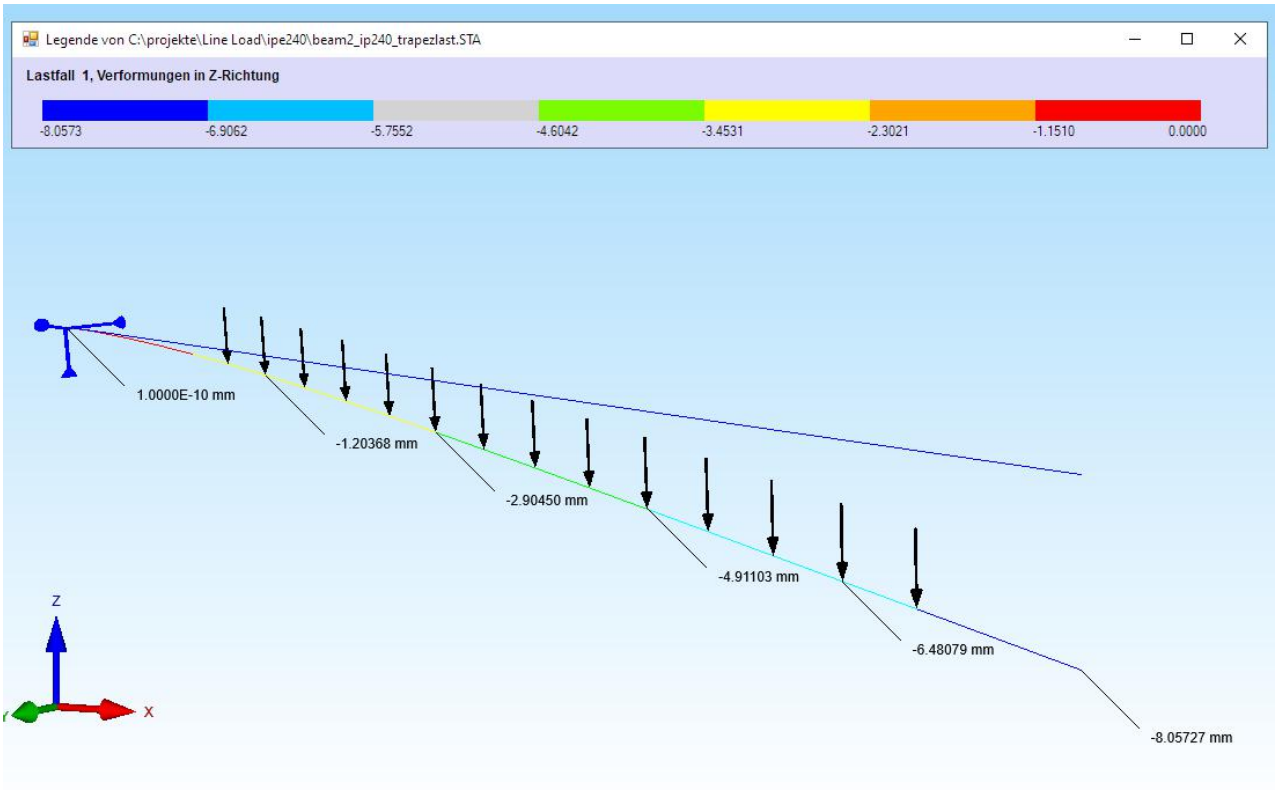
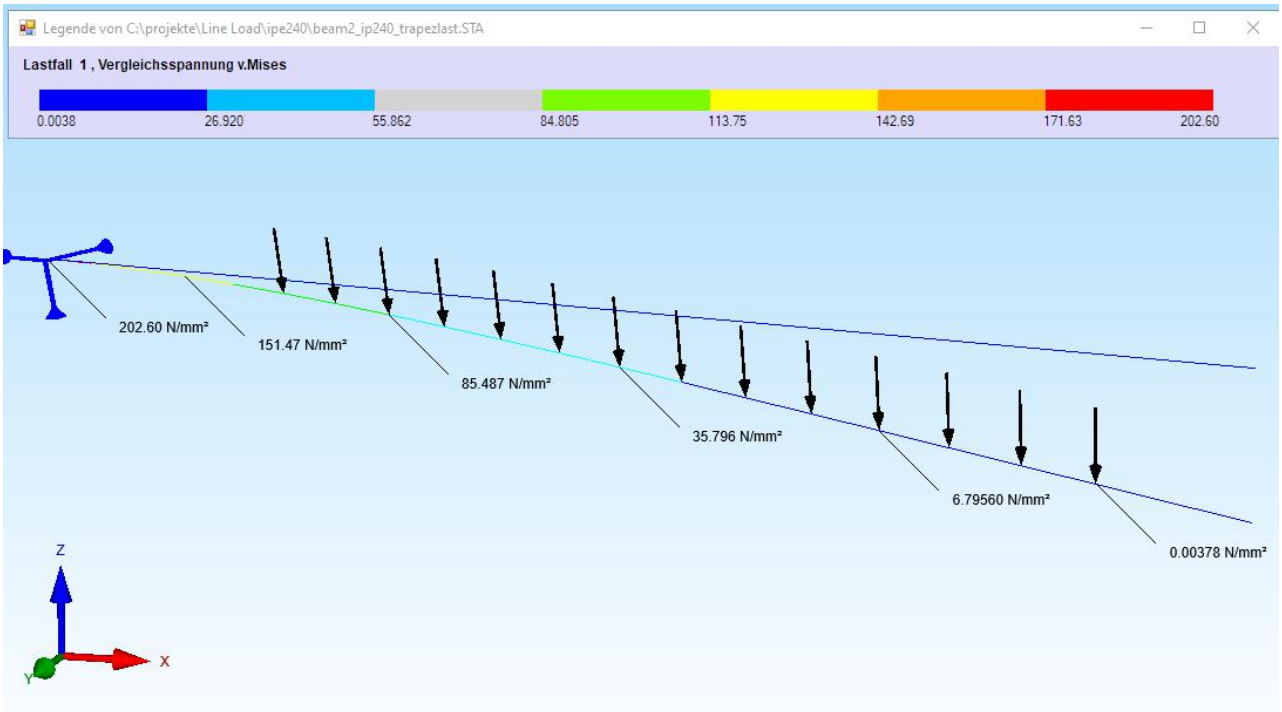
FEM-Analyse

Wählen Sie Register „FEM-Analyse“ und berechnen mit dem Statik-Solver die Verformungen und Spannungen. Davor aber noch unter einem beliebigen Namen auf der Festplatte absichern.

Verformungen und Biegespannungen auswerten

Wählen Sie das Register „Ergebnisauswertung“ und klicken auf das Icon um die Verformungen, Spannungen und Reaktionskräfte auszuwerten.

Max. Verformungen = -8.05 mm (exakt = 8.19 mm)



Max. Biegespannung = 202 N/mm² (exakt = 204 N/mm²)