

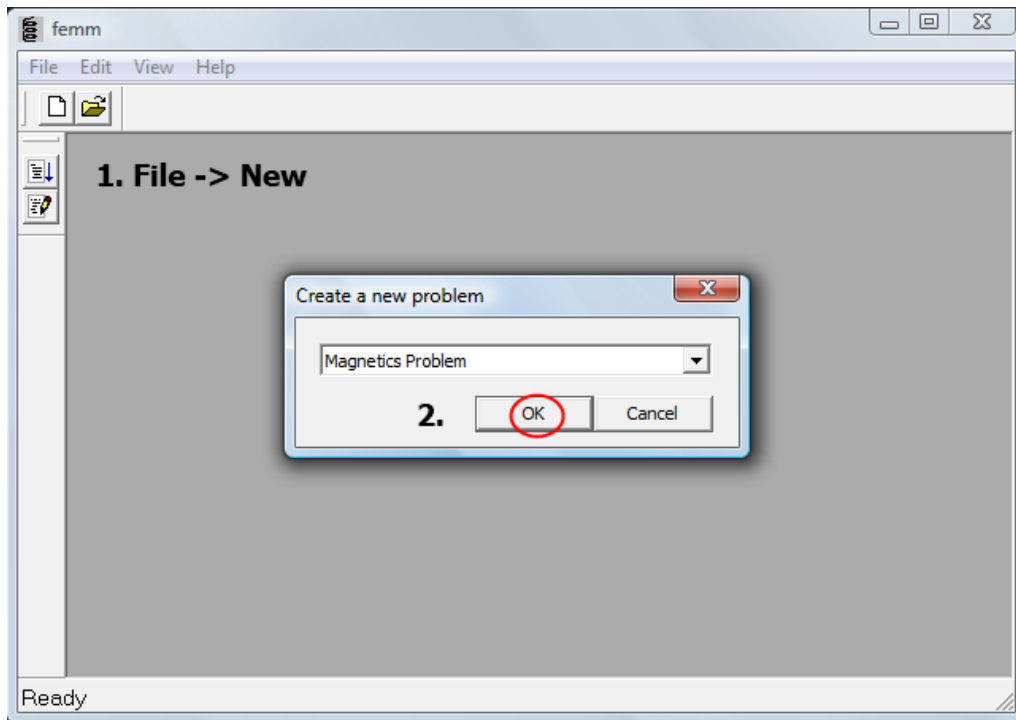
Berechnung des Magnetkreises eines Scheibengenerators mit dem Finite-Elemente-Programm FEMM 4.2

Erstellt vom User CFD für die Mitglieder des Forums dasWindrad.de

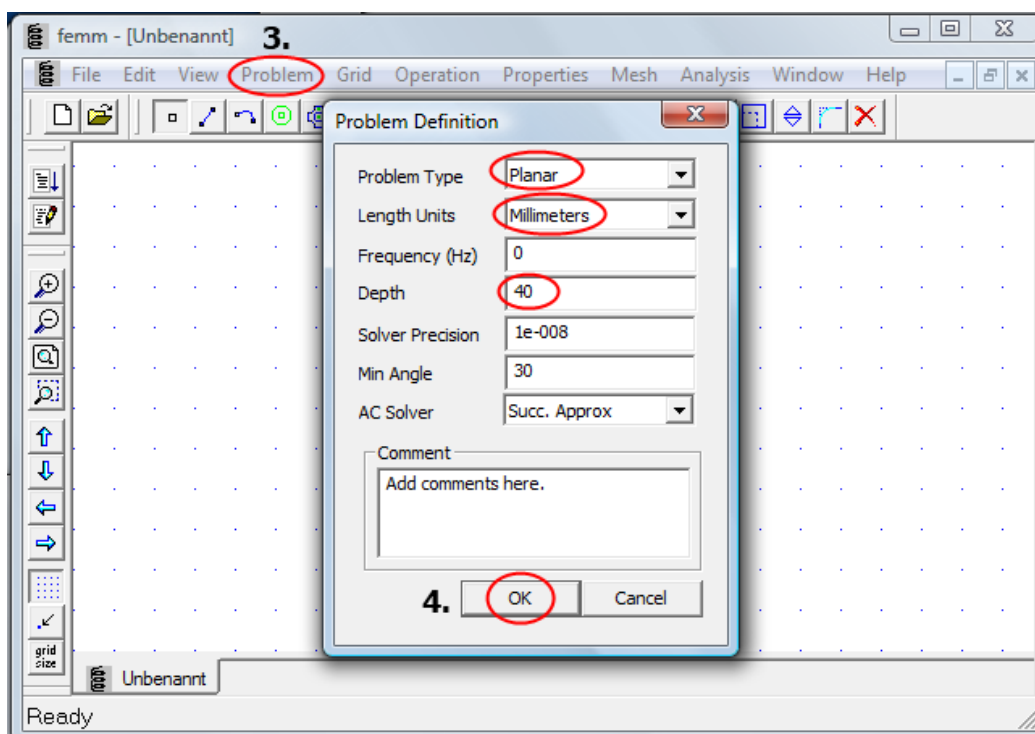
Rev. A - 18.04.2010

Das Programm FEMM 4.2 kann kostenlos hier heruntergeladen werden: www.femm.info

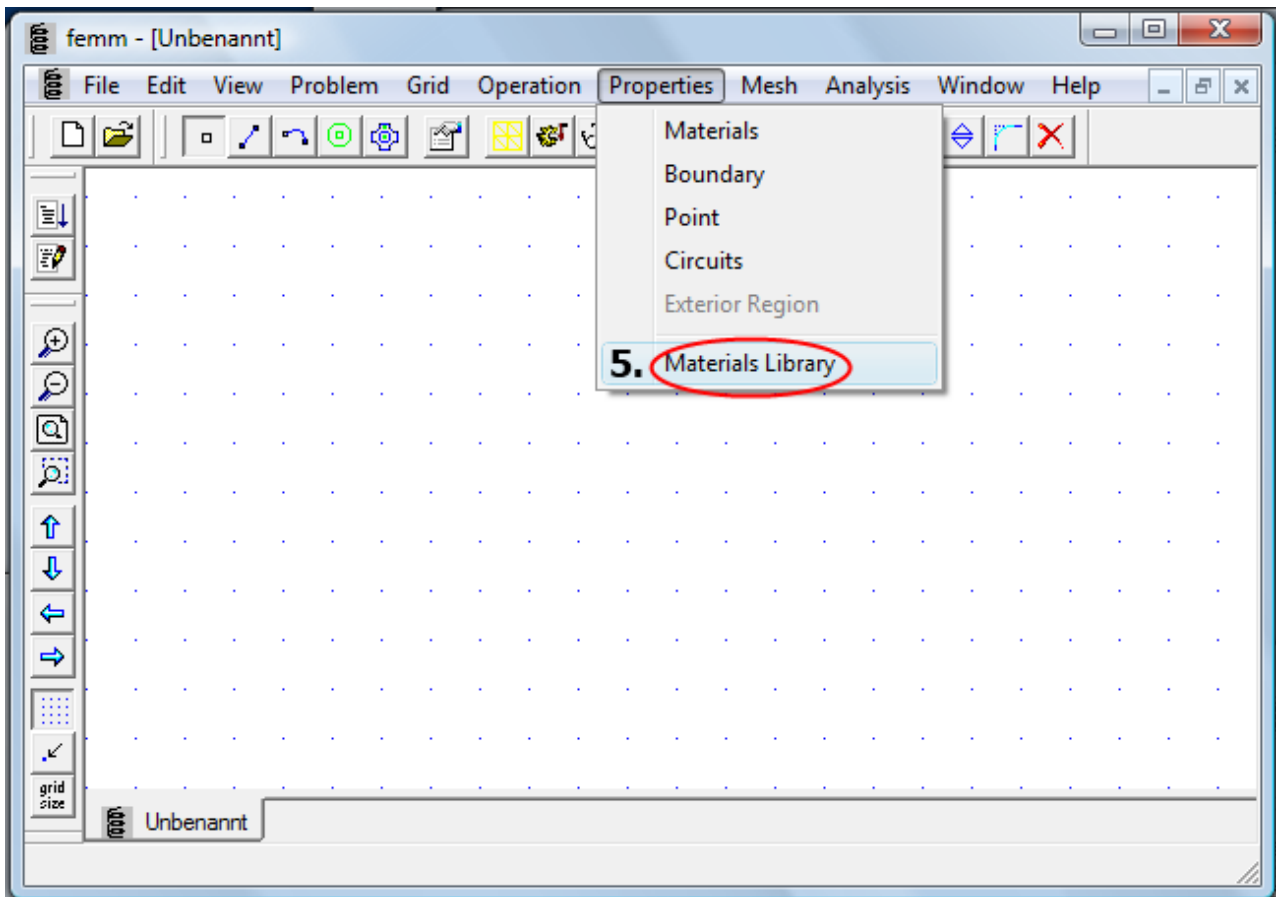
Erster Schritt nach dem Programmstart: eine neue Berechnung erstellen.



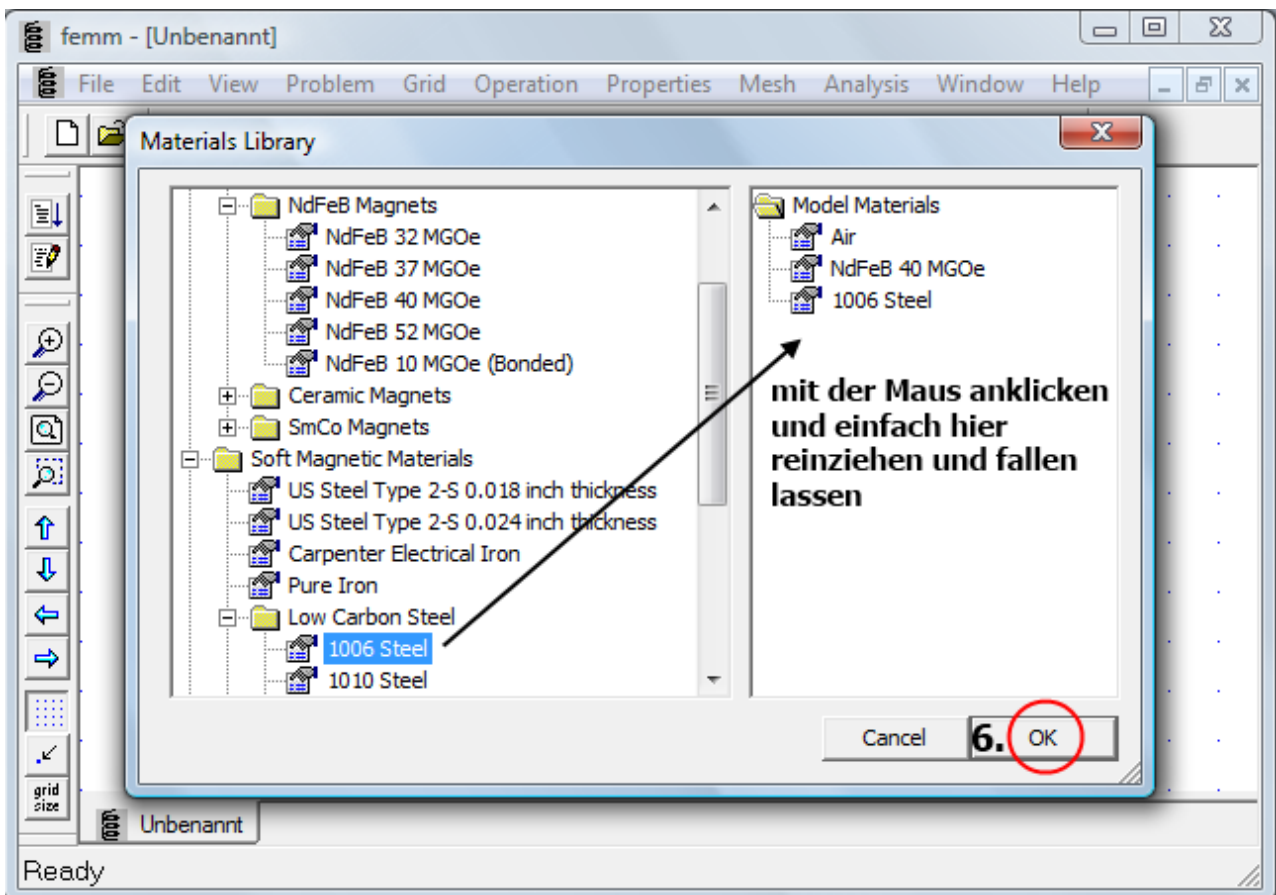
Problemtyp auswählen, Einheiten einstellen, Tiefe (normal zur Zeichenebene) der 2D-Berechnung angeben.



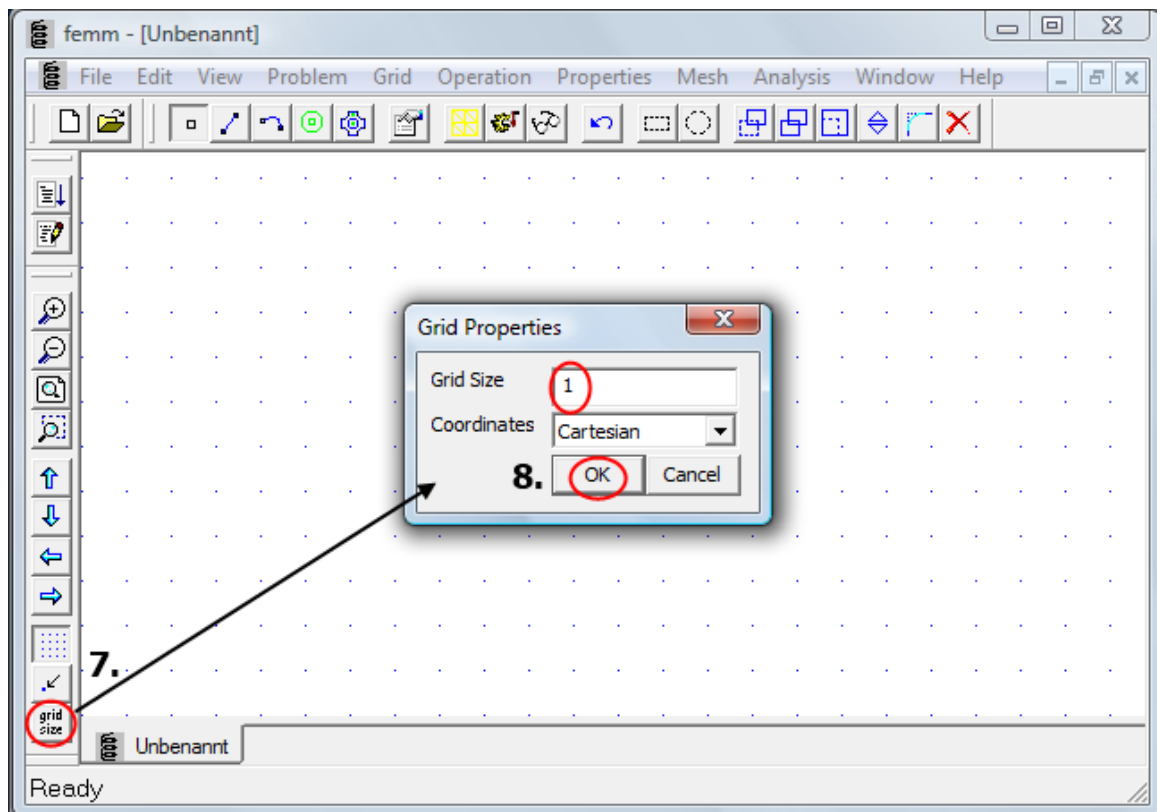
Benötigte Materialien - mit im Programm schon hinterlegten Materialkennwerten - auswählen.



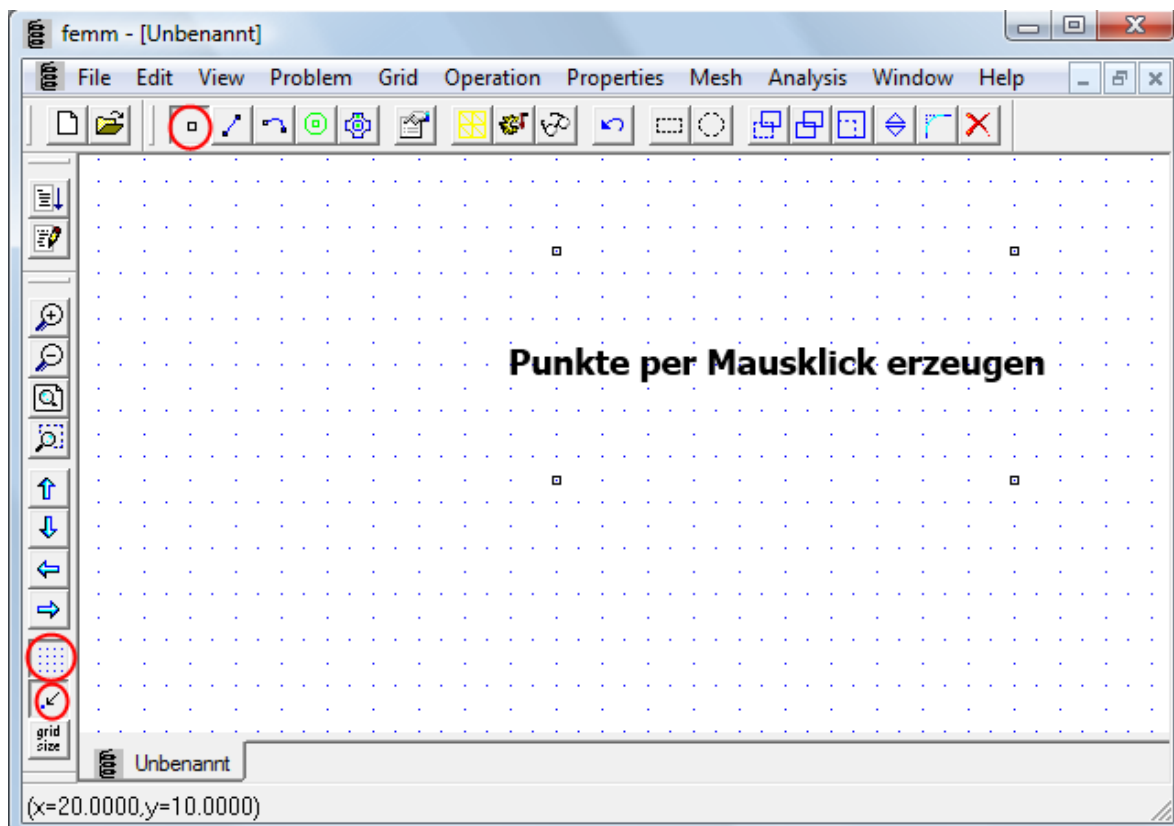
Benötigt werden: Luft, ein Magnetwerkstoff und ein Baustahl für den Rückschluss.



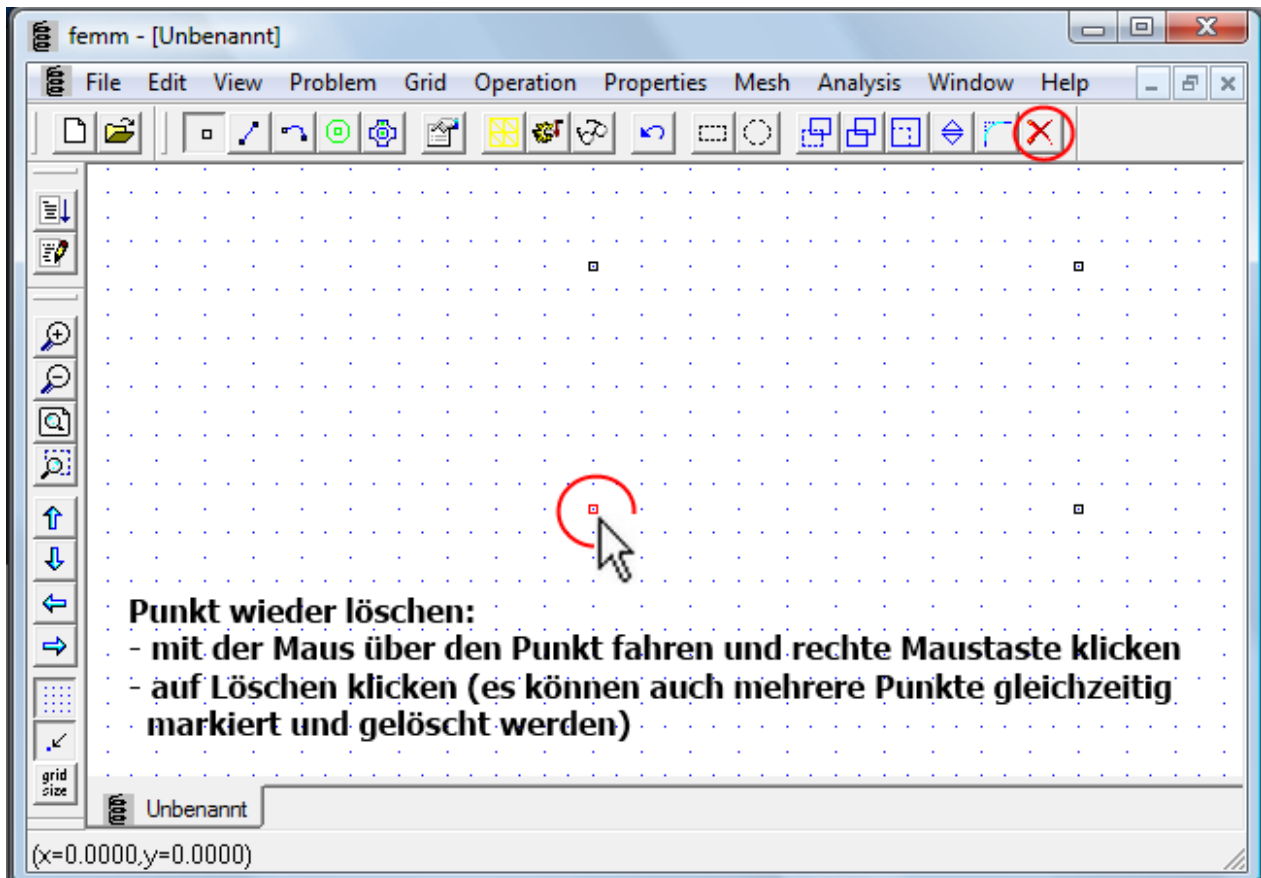
Gitternetzgröße einstellen:



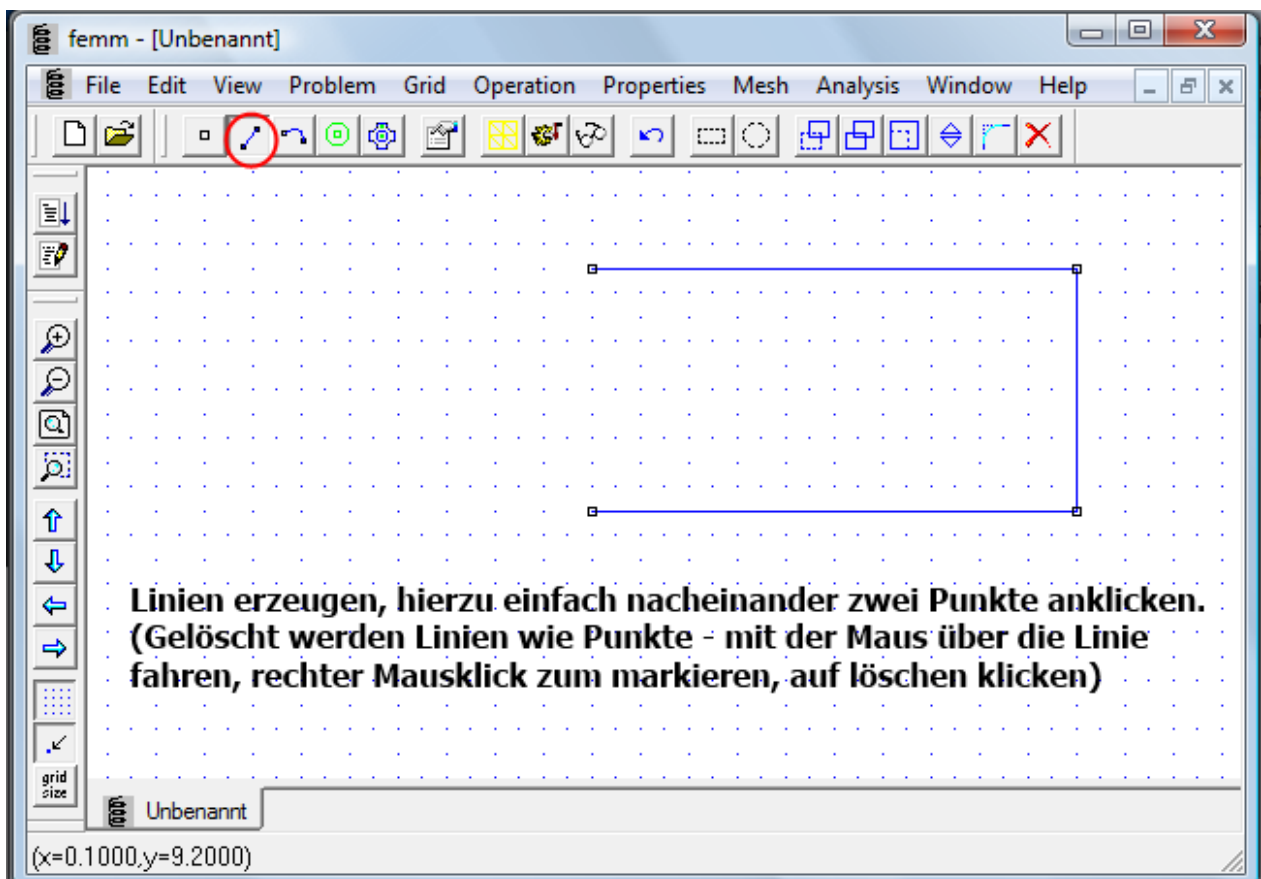
Rasterfang einschalten und die Geometrieerstellung kann beginnen. Los geht es mit den Punkten. Die Magnete sollen die Abmessung 40mm x 20mm x 10mm bekommen. Die Tiefe von 40mm wurde weiter vorne ja schon vorgegeben. In der Zeichenebene bekommen die Magnete also die Abmessung 20mm x 10mm. Der seitliche Abstand zwischen den Magneten soll 20mm betragen, der Luftspalt 10mm und die Rückschlusshöhe 8mm.



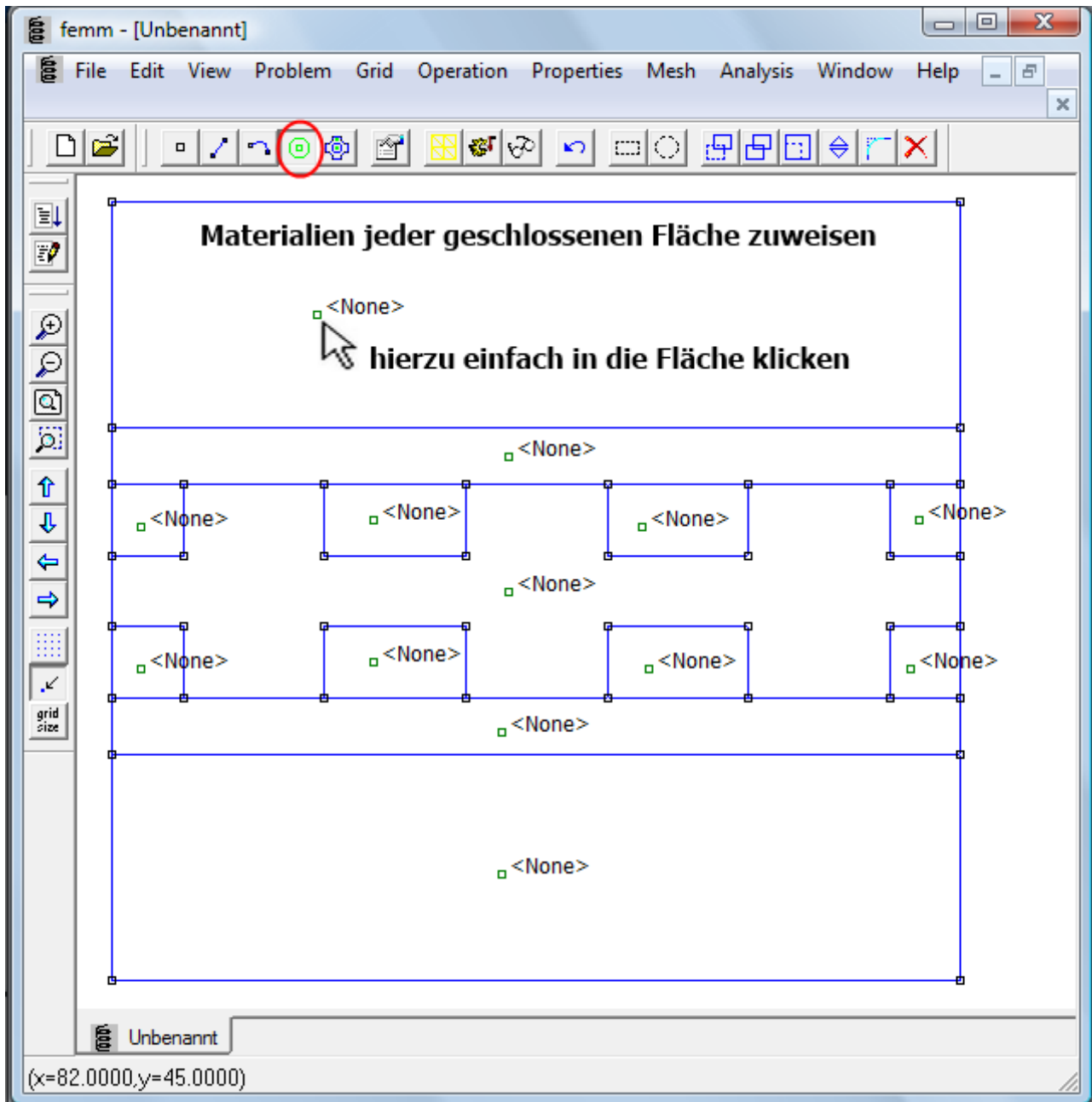
Hat man sich „verkllickt“, so können die Punkte (sowie alle anderen Elemente) auch wieder gelöscht werden.



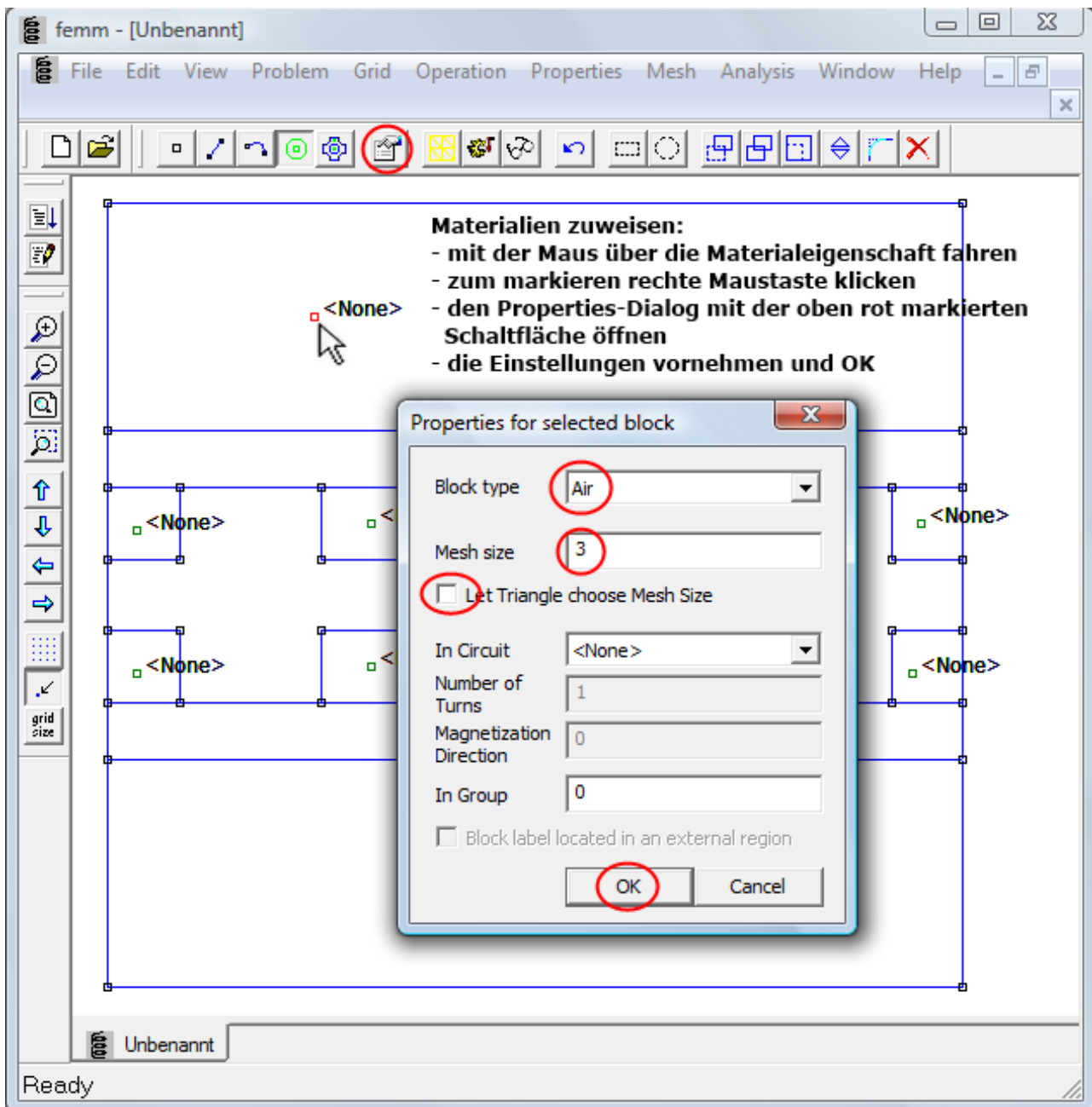
Zwei Punkte können durch eine Linie verbunden werden.



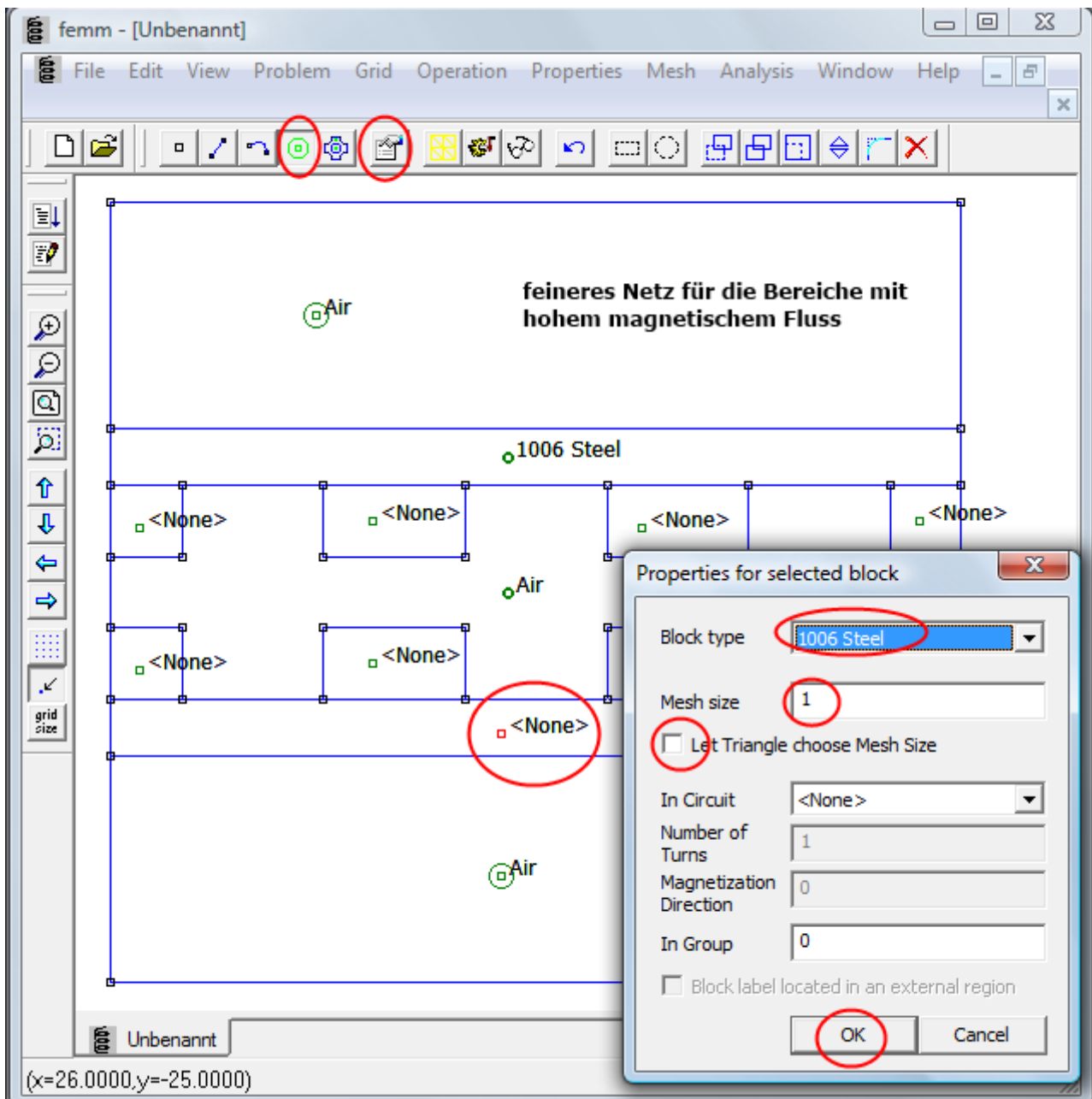
Hat man die Geometrie fertiggestellt, so werden jeder durch Linien umrandeten Fläche Materialeigenschaften zugewiesen sowie eine Netzfeinheit vorgegeben.



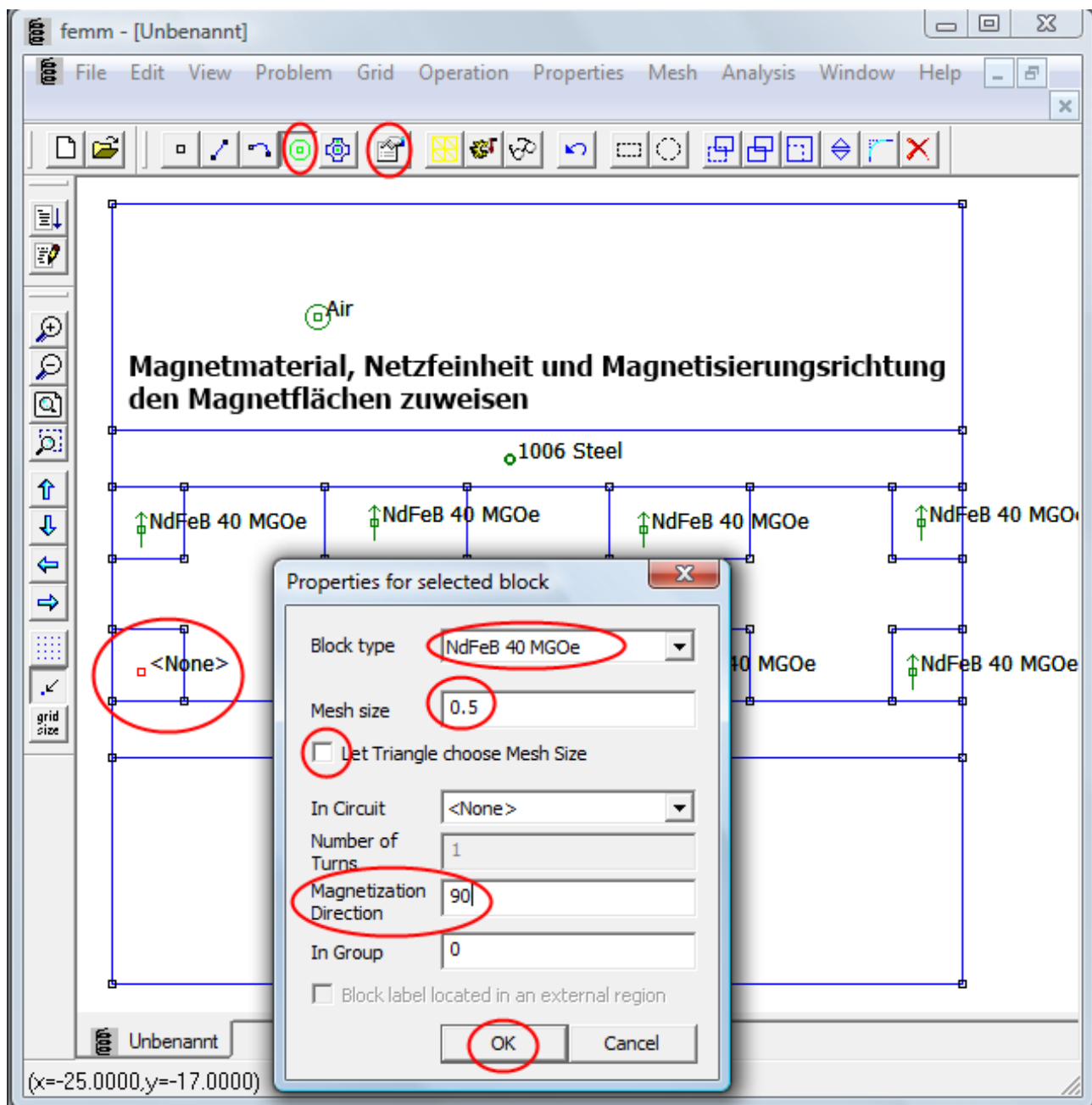
Dialog zum einstellen des Materials sowie der Netzeinheit:



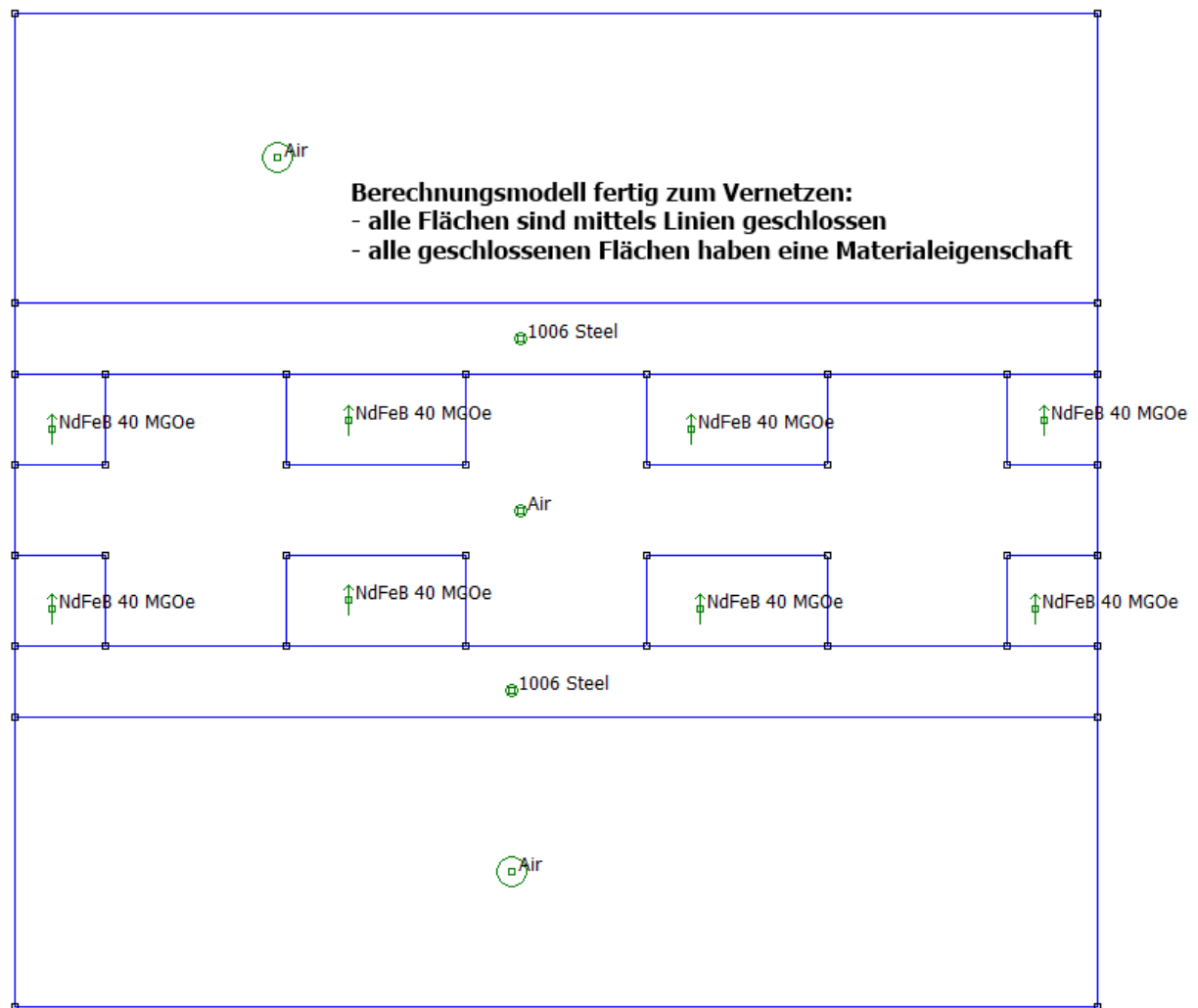
Jede Fläche erhält so ihre Materialeigenschaft sowie Netzfeinheit.



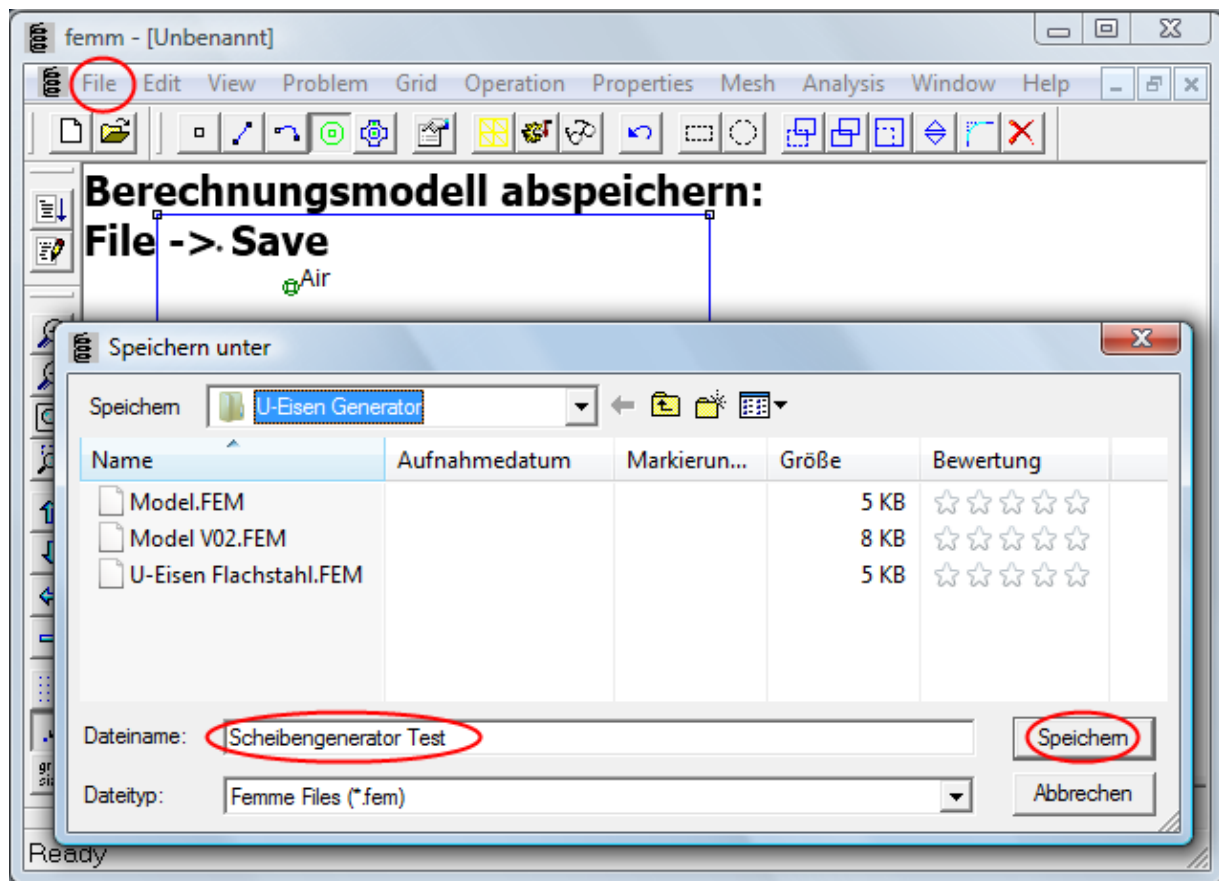
Bei Magnetmaterialien muss zusätzlich auch noch die Magnetisierungsrichtung angegeben werden.



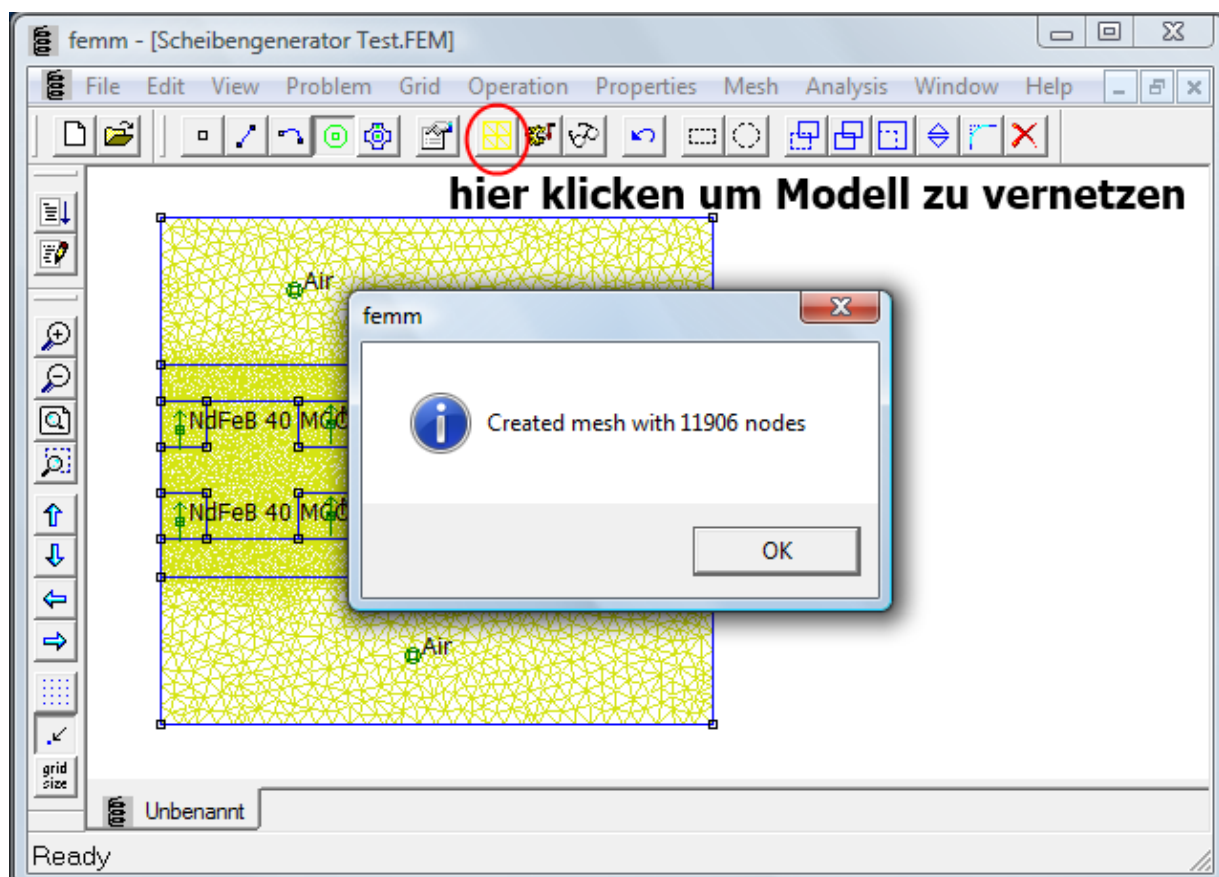
Haben alle Flächen eine Materialeigenschaft, kann die Berechnung gestartet werden.



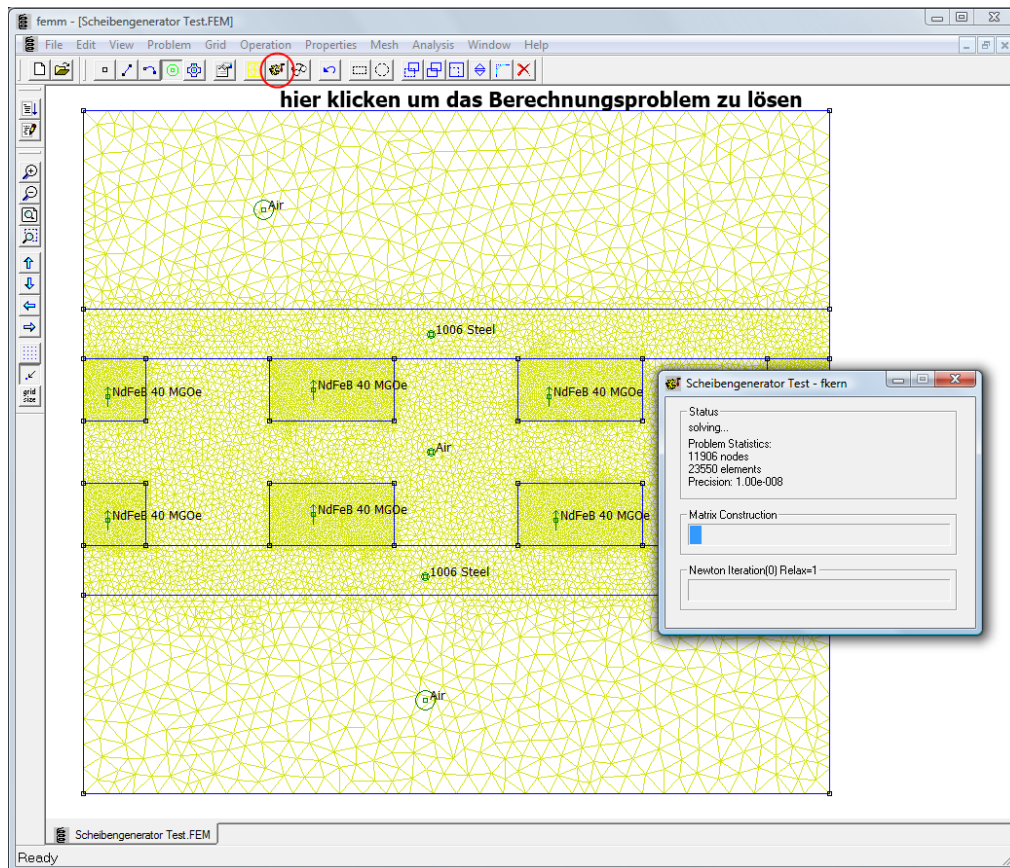
Zuvor muss das Berechnungsmodell aber noch gespeichert werden.



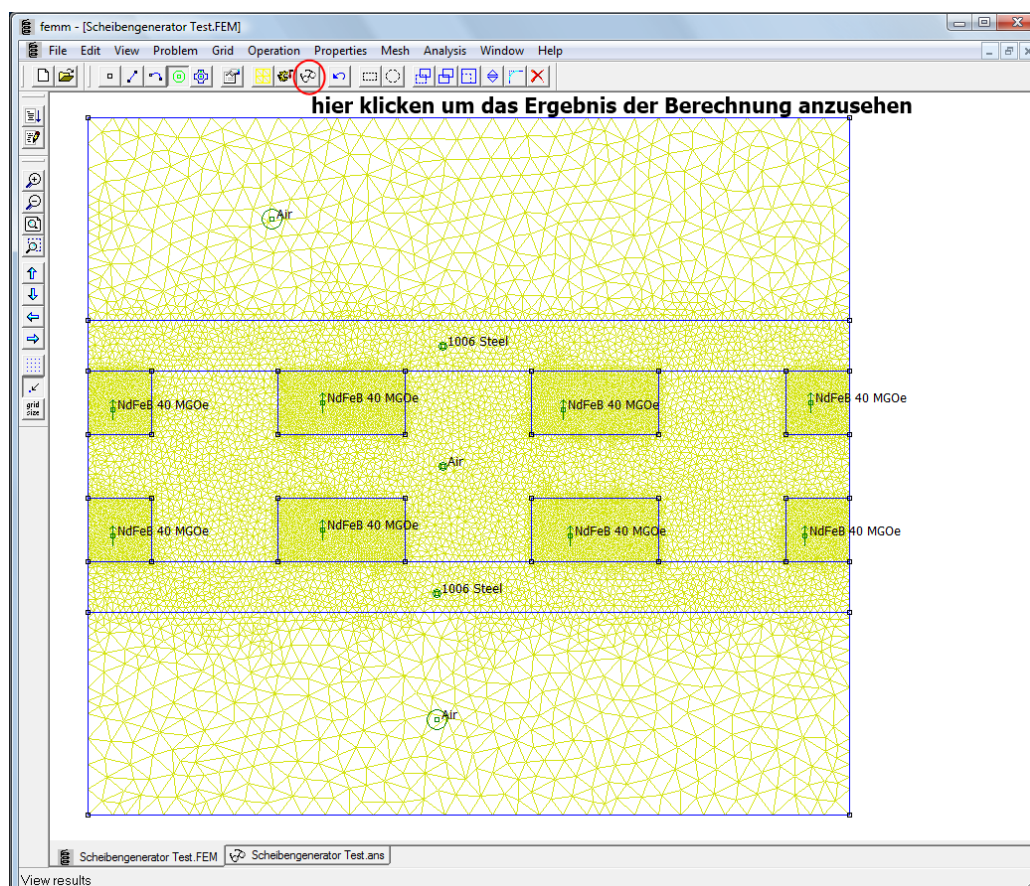
Ein Berechnungsnetz ist ebenfalls noch erforderlich. Je feiner das Netz, desto genauer ist das spätere Berechnungsergebnis.



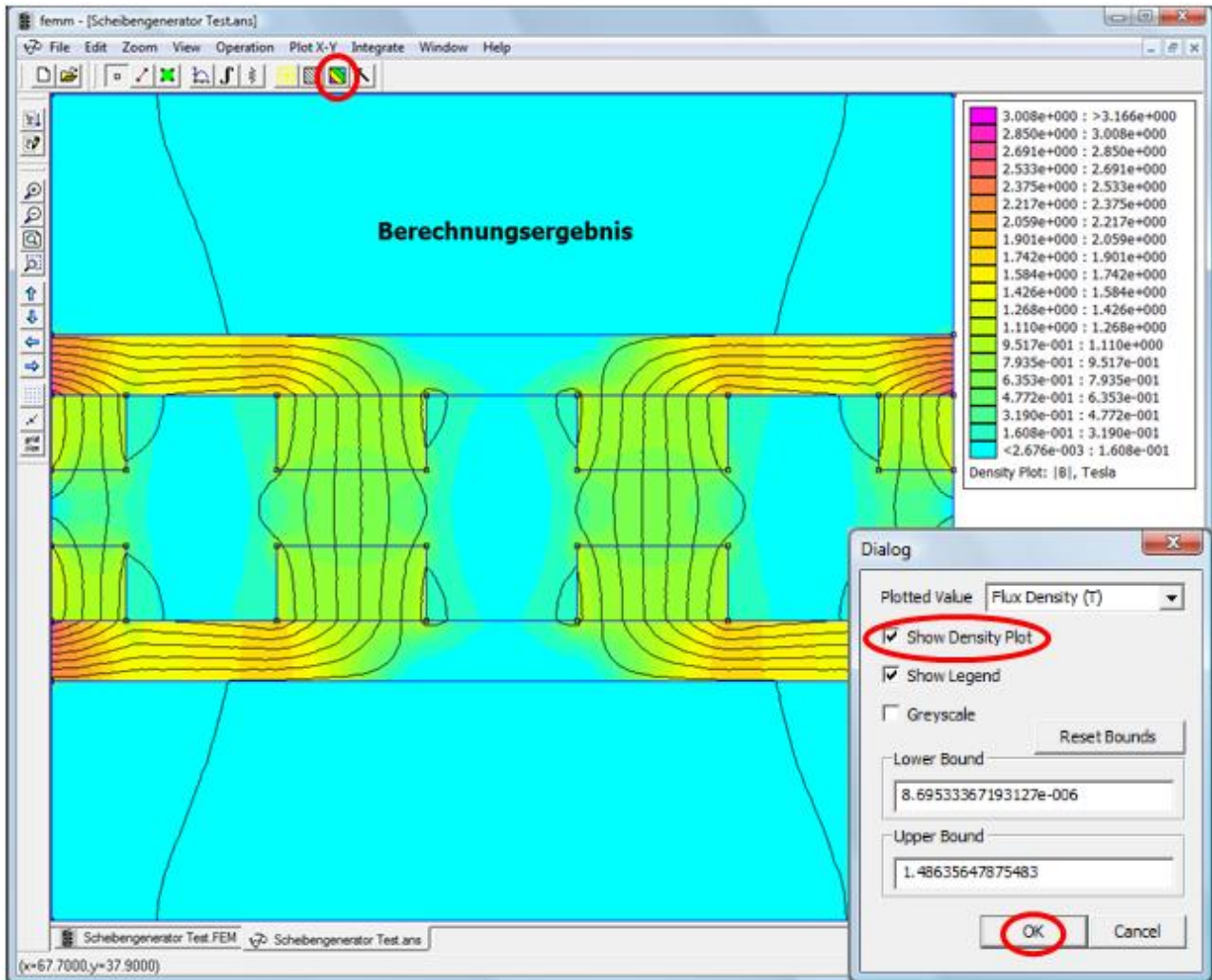
Starten der Berechnung:



Wurde die Berechnung erfolgreich abgeschlossen, steht das Ergebnis zur grafischen Auswertung zur Verfügung.

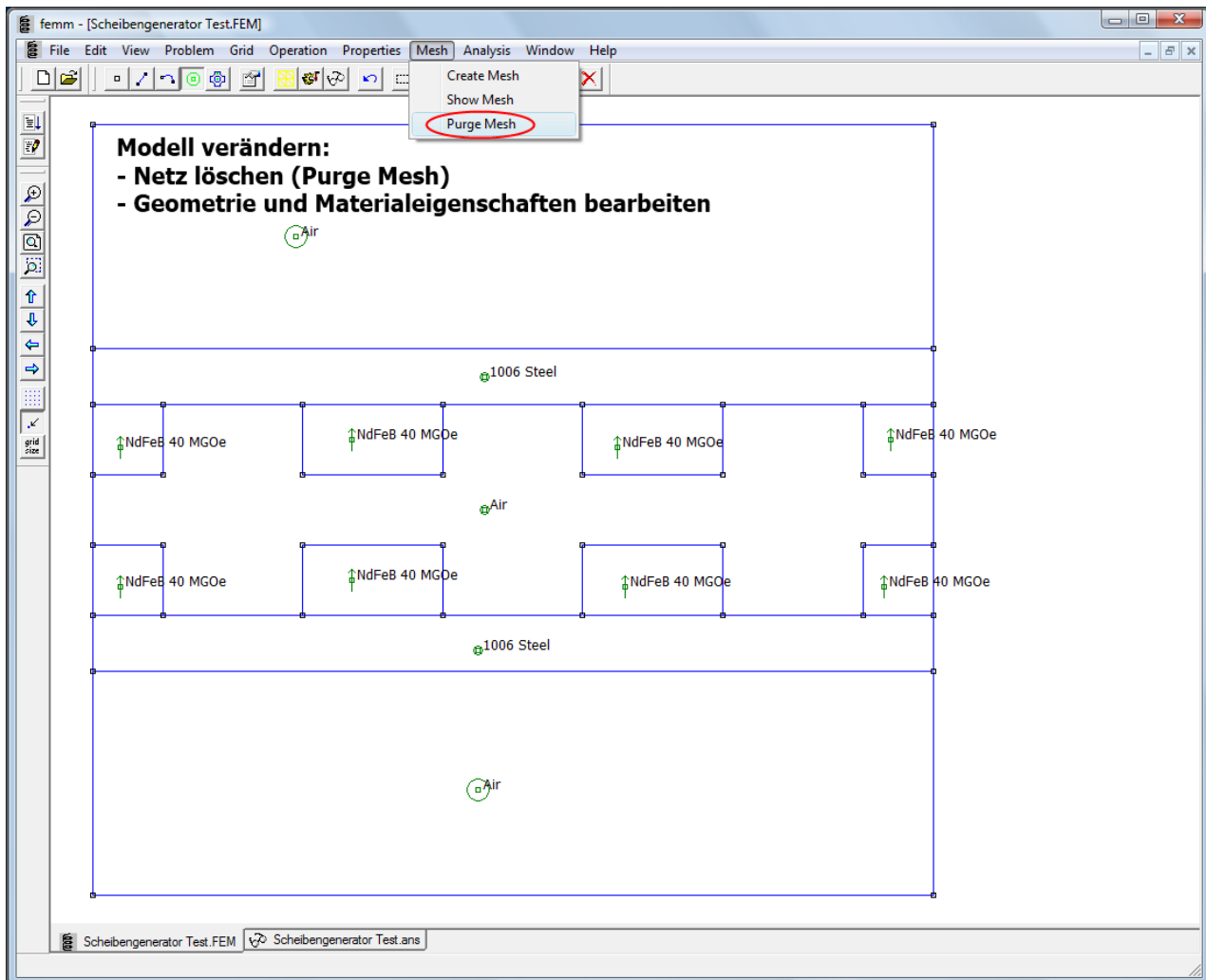


Grafische Darstellung des Berechnungsergebnisses:

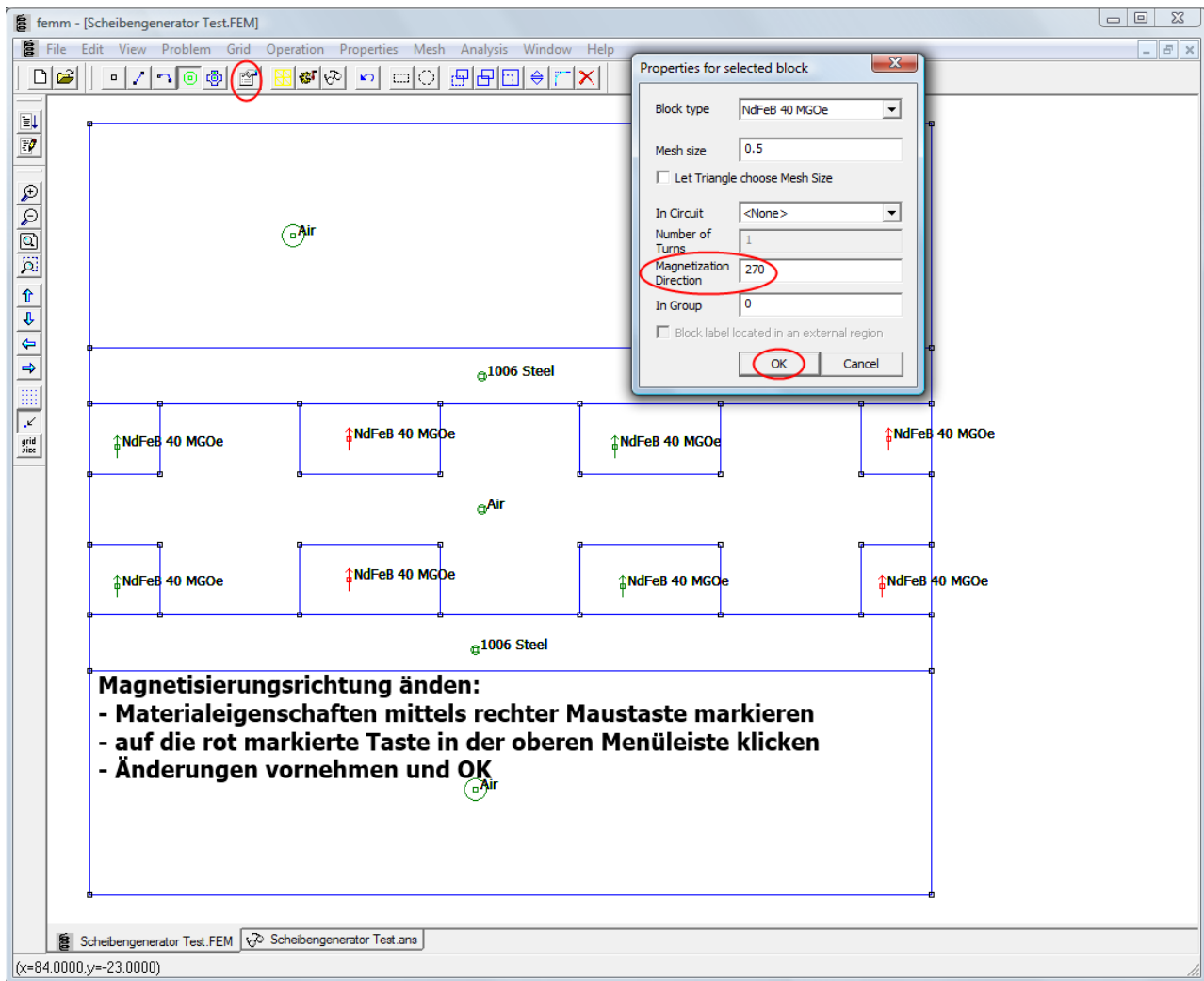


Man sieht, dass das Ergebnis unbrauchbar ist. Grund: Die Magnetisierungsrichtung einiger Magneten ist fehlerhaft und muss noch korrigiert werden.

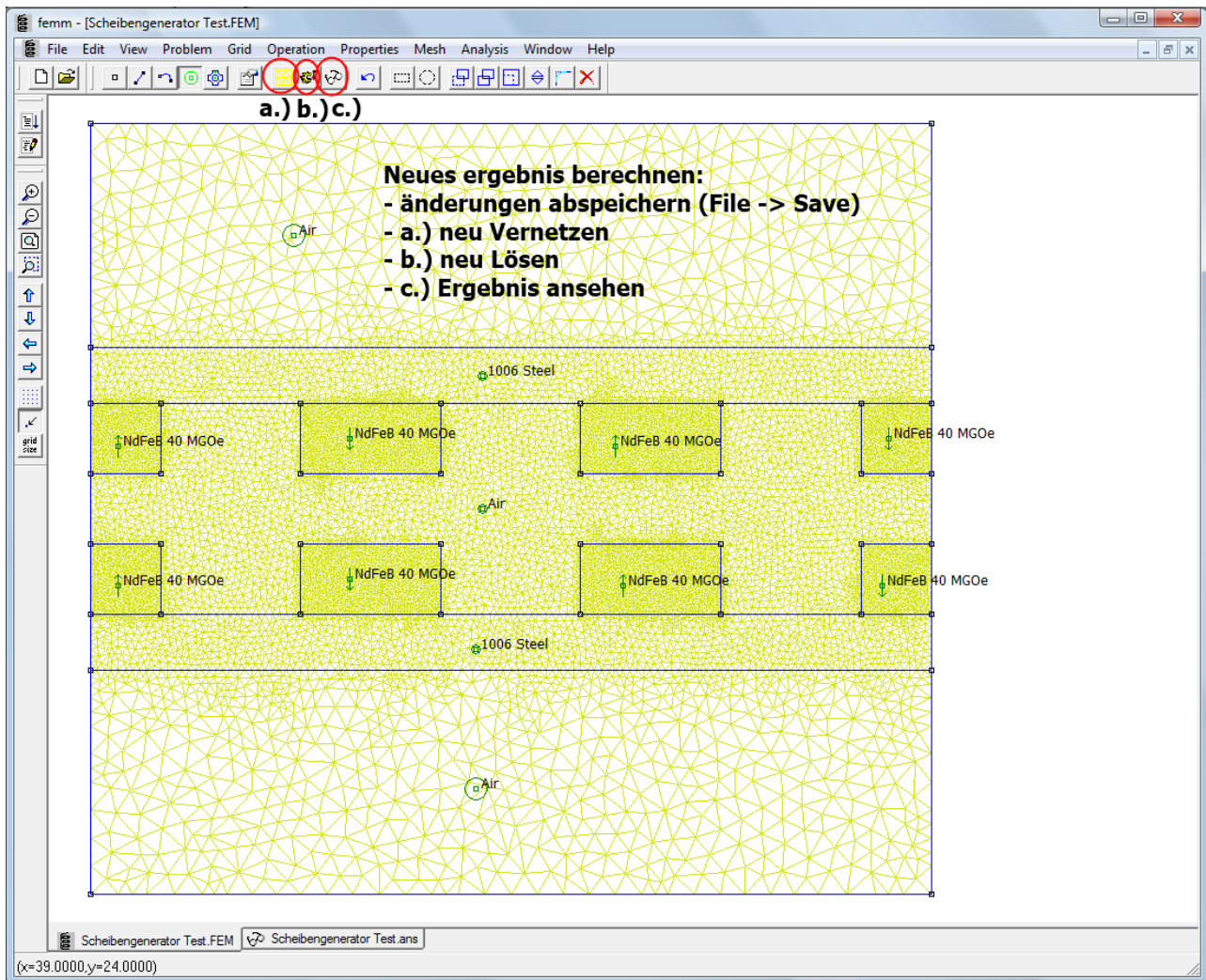
Änderungen an einem bestehenden Berechnungsmodell vornehmen:



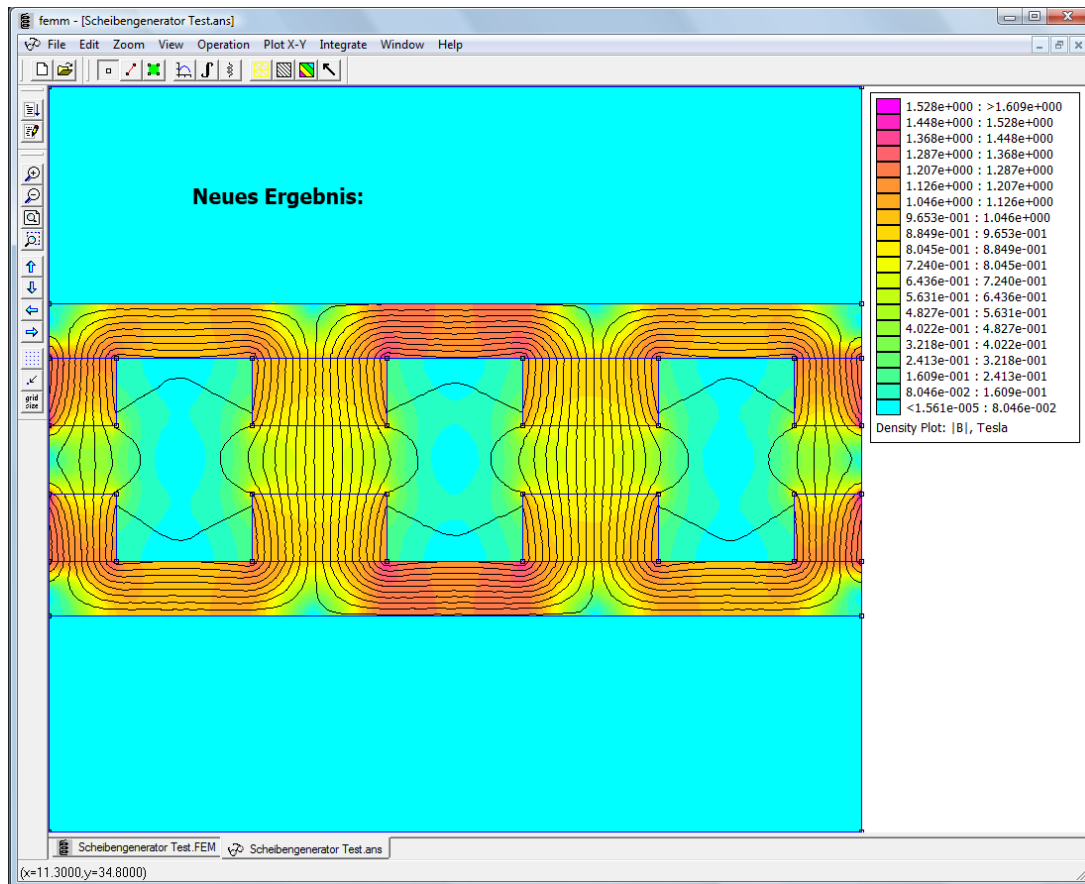
Die Magnetisierungsrichtung für einen Teil der Magnete ändern:



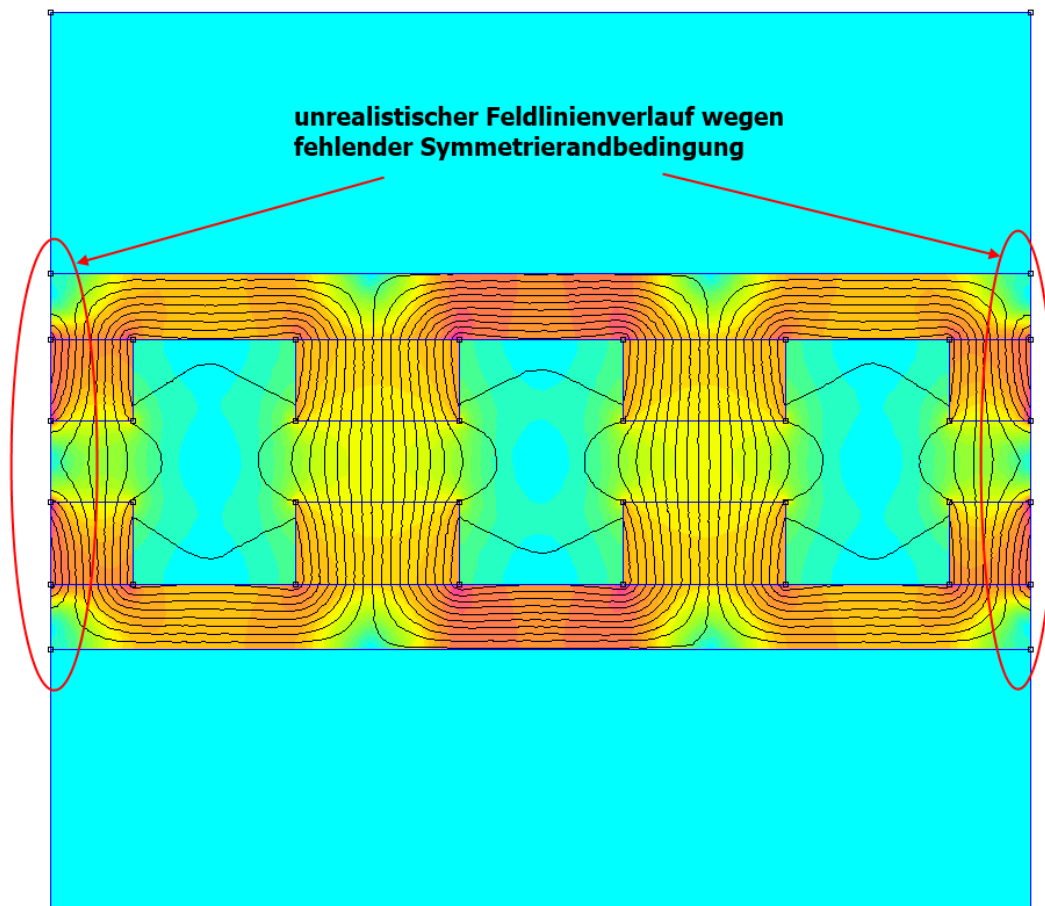
Geänderte Magnetisierungsrichtung: Nach erneuter Vernetzung und Lösung steht das neue Ergebnis zur Ansicht zu Verfügung.



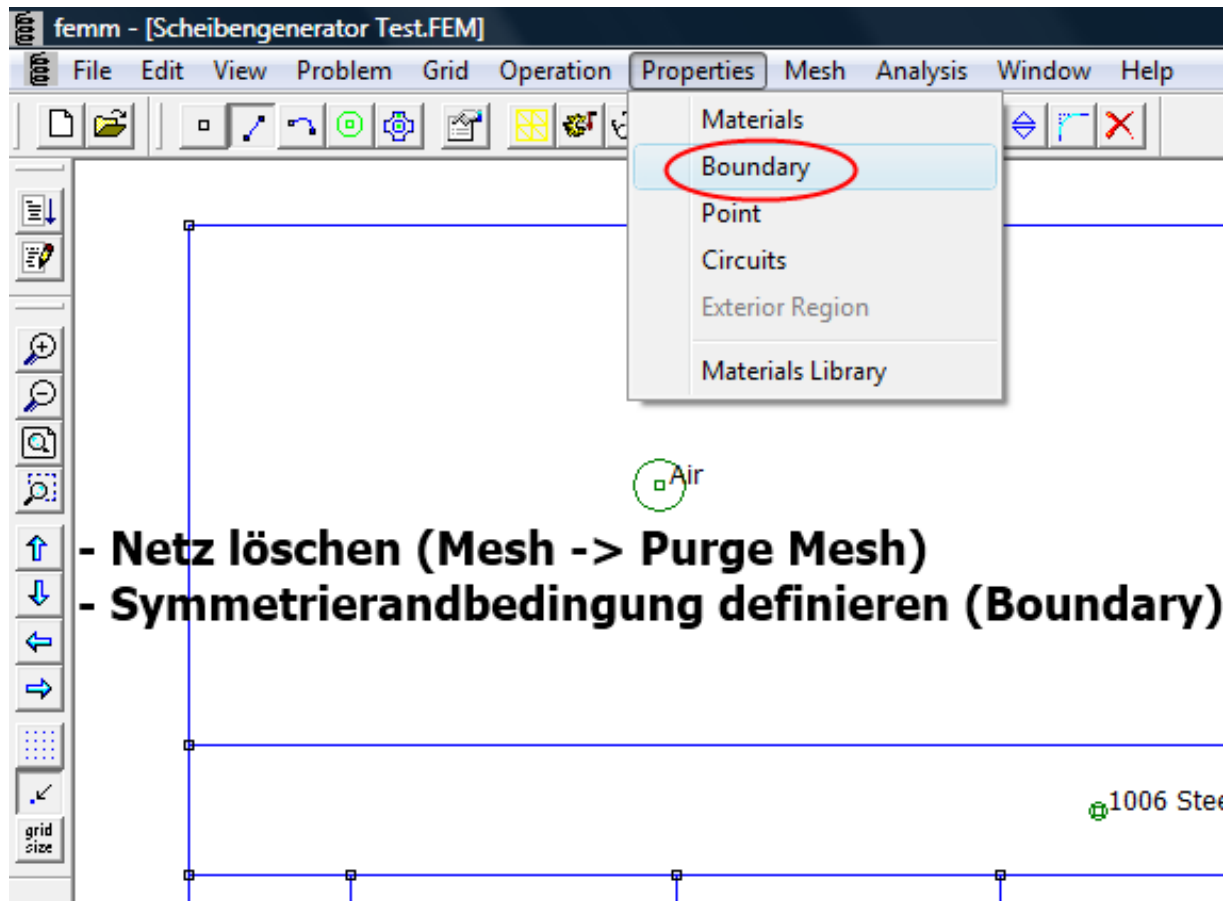
Neues Ergebnis ansehen:



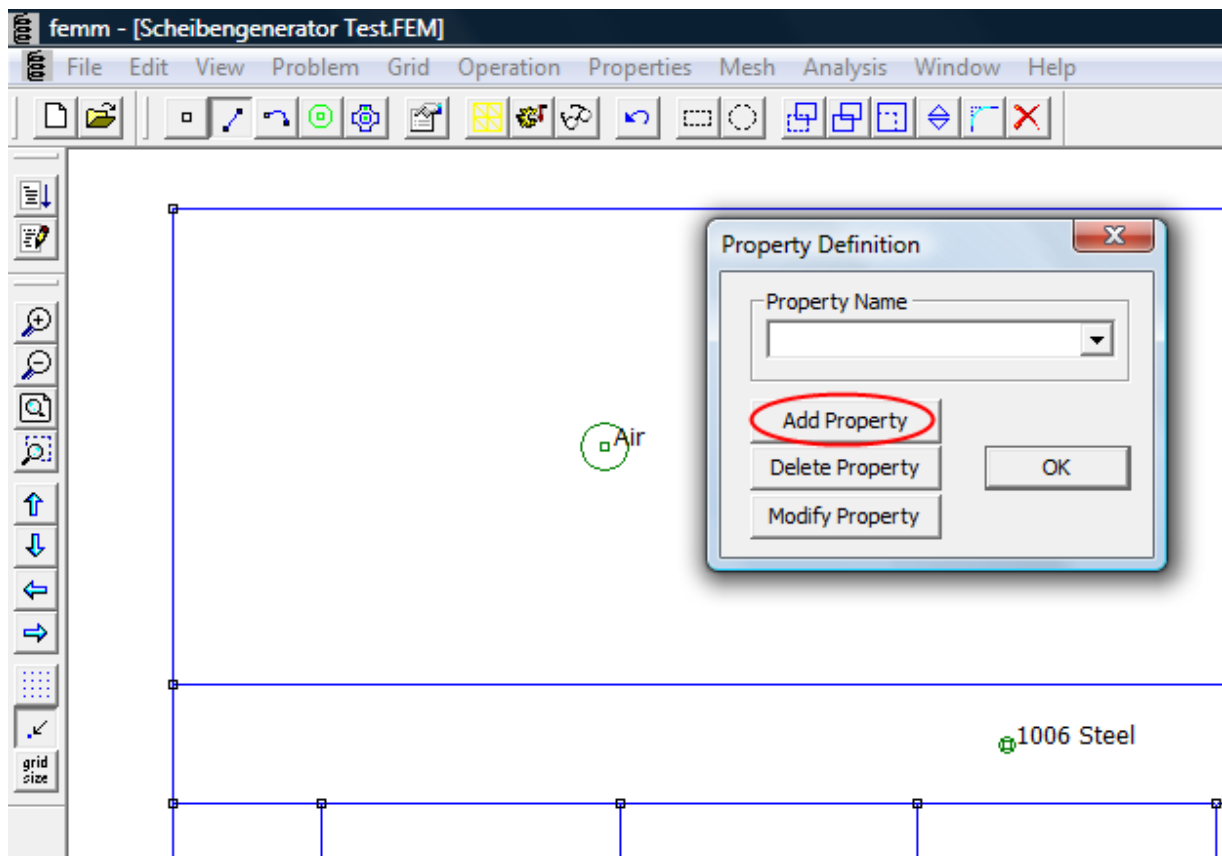
Das Ergebnis entspricht immer noch nicht den Erwartungen.



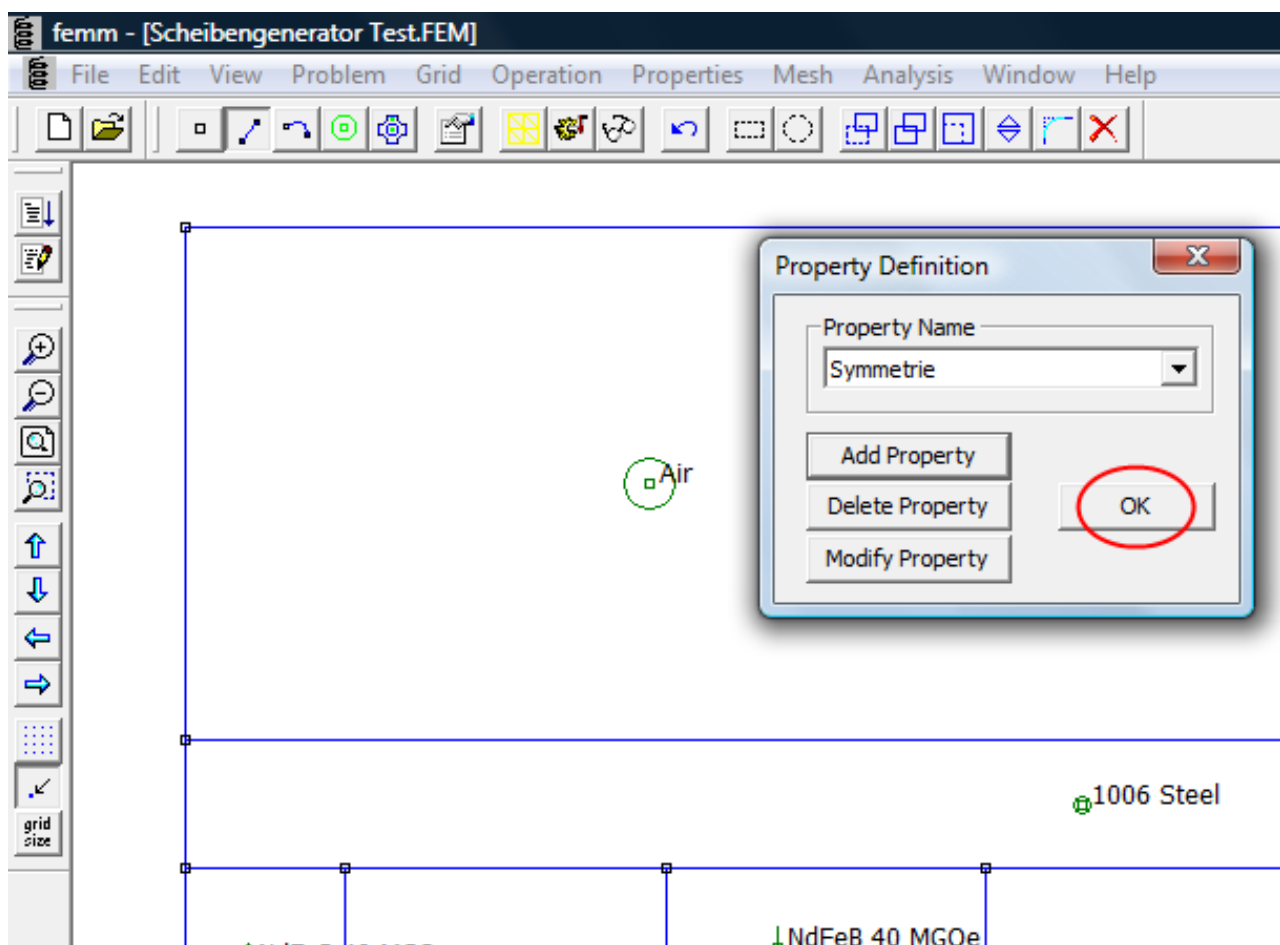
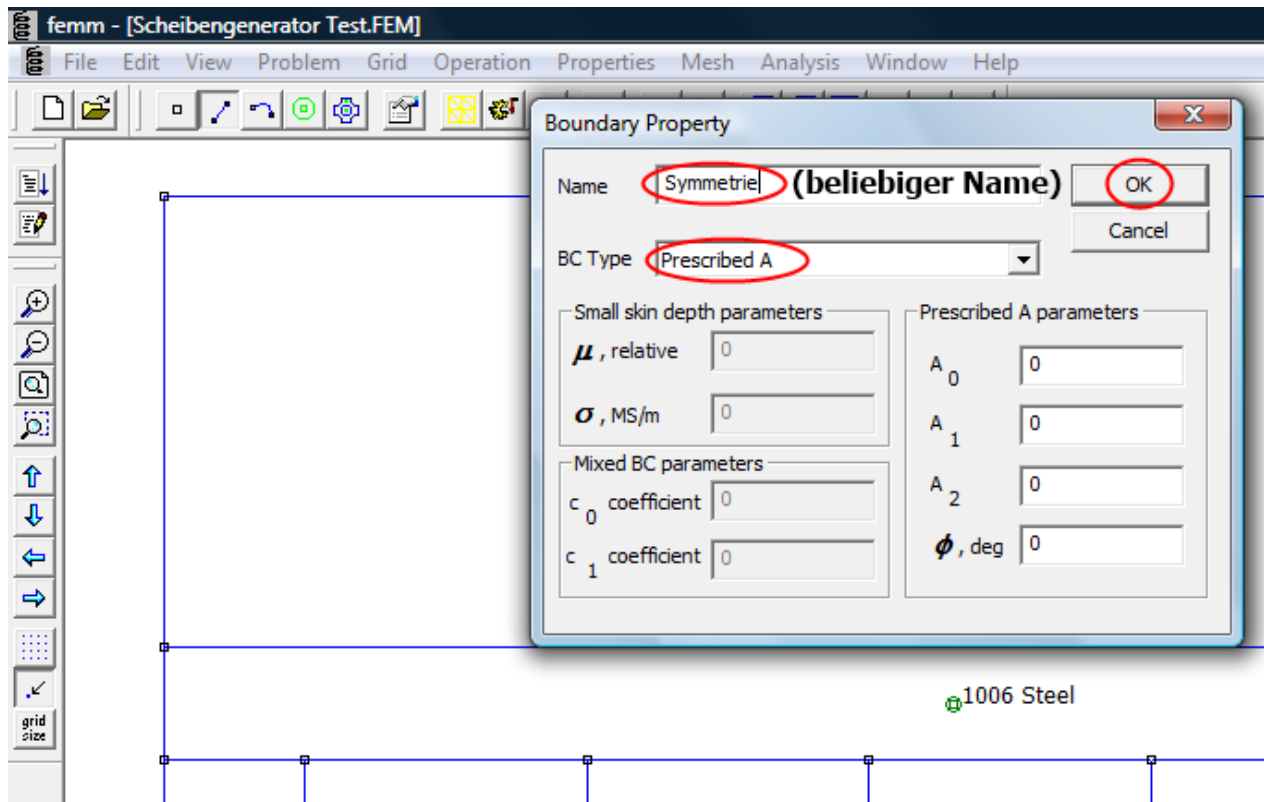
Es fehlen noch Symmetrierandbedingungen an der rechten und linken Seite, da das Berechnungsmodell hier abgeschnitten ist.



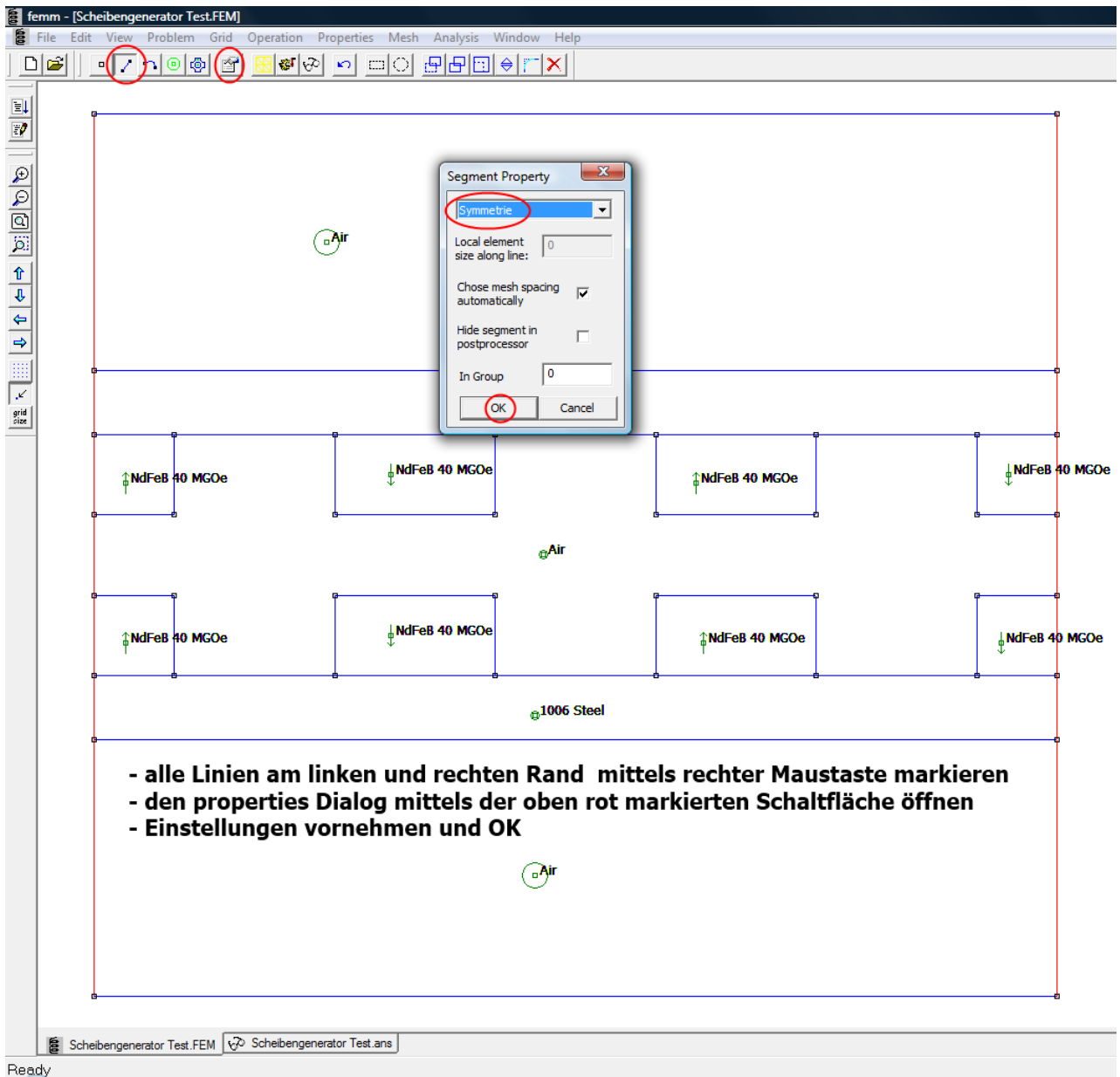
Symmetrierandbedingung hinzufügen:



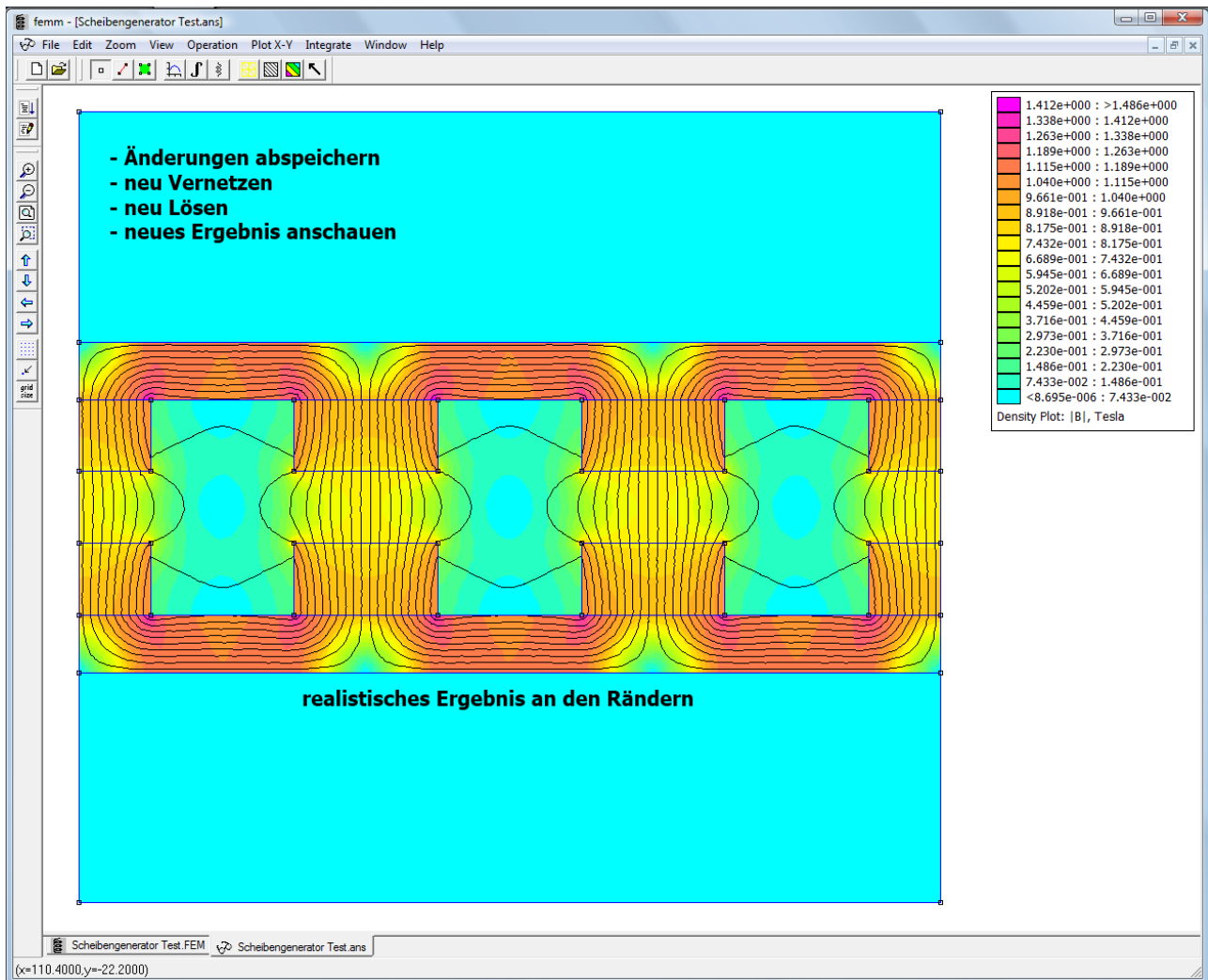
Die Randbedingung „Prescribed A“ liefert, aufgebracht auf die Linien der rechten und linken Seite, realistische Ergebnisse.



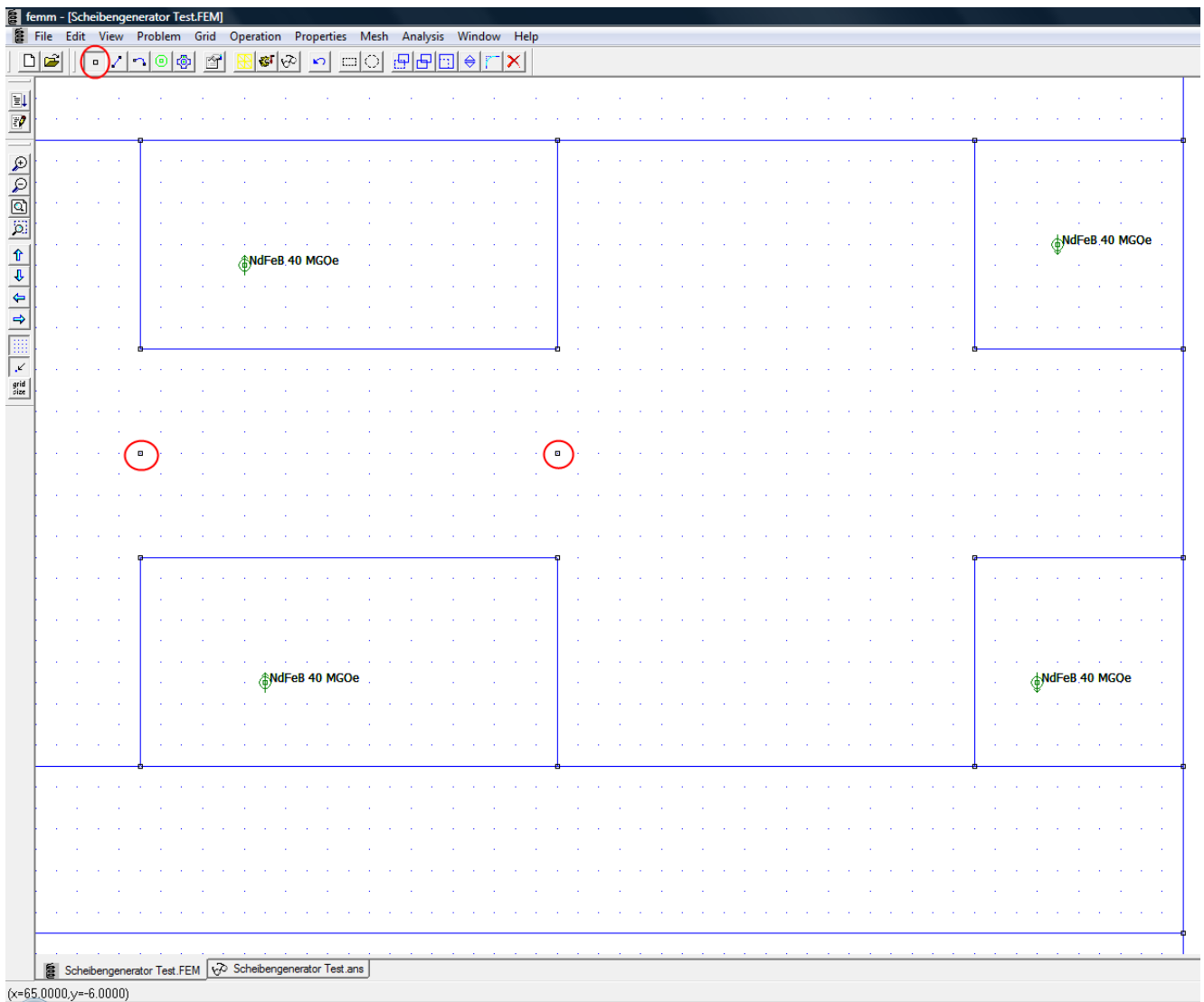
Aufbringen der Symmetrierandbedingung auf die Linien der rechten und linken Seite:



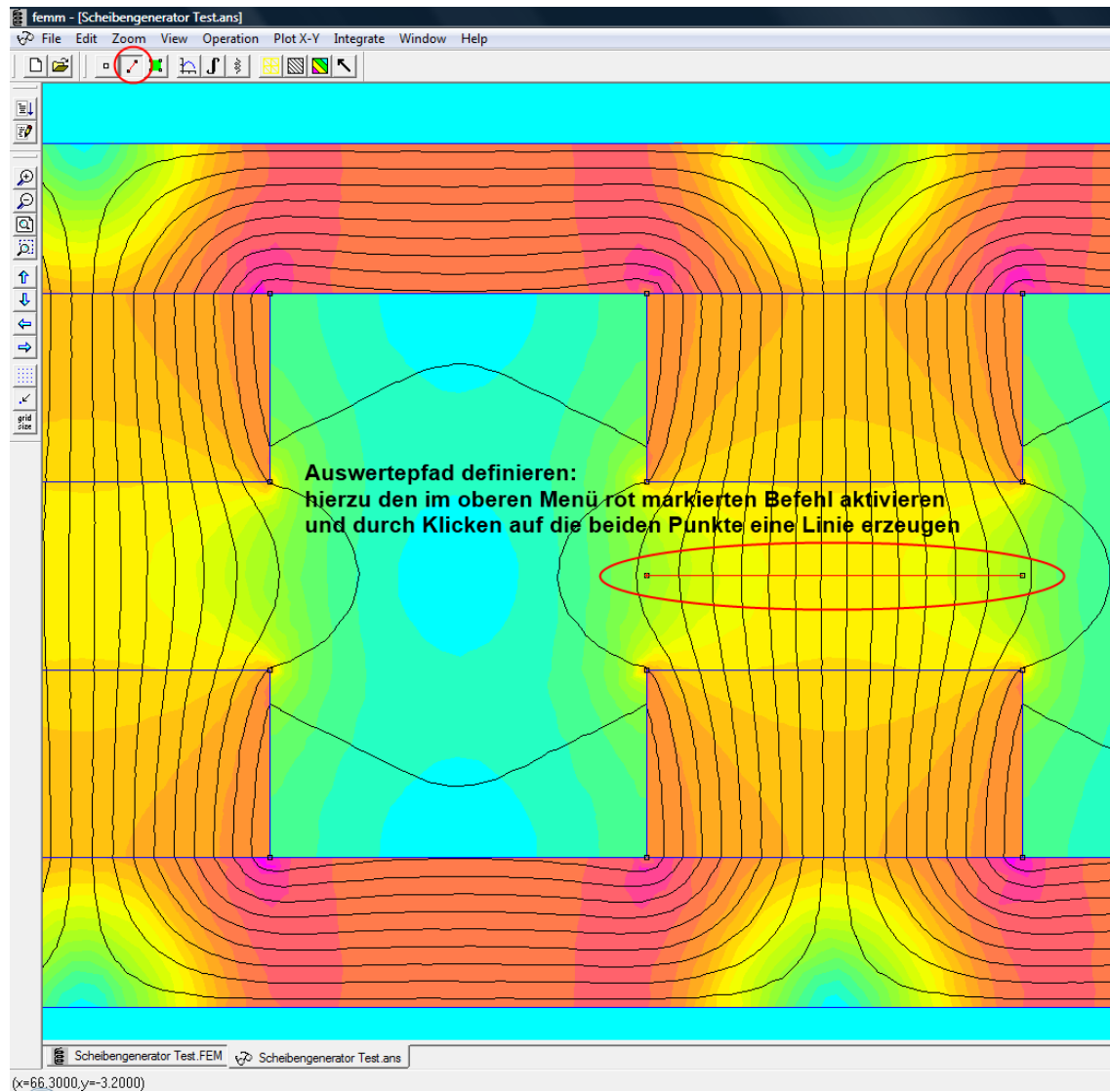
Änderungen abspeichern, neu Vernetzen und Lösen. Danach steht das korrigierte Ergebnis zur grafischen Auswertung zur Verfügung.



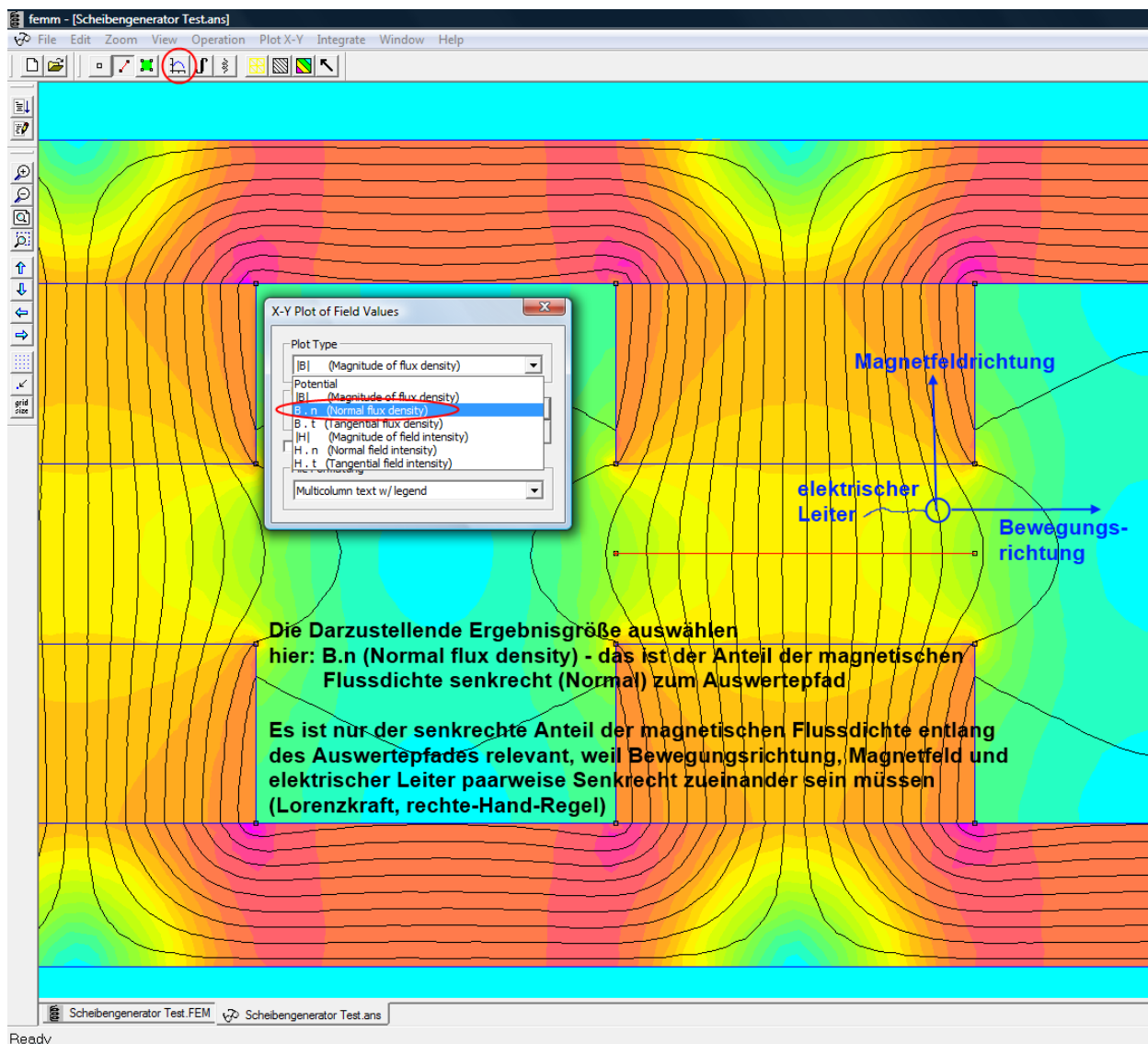
Zur Spulendimensionierung ist nun von Interesse, wie hoch die magnetische Flussdichte im Spulenbereich ist. Hierzu werden vor der Vernetzung und Berechnung schon Punkte definiert, zwischen denen später Auswertepfade gelegt werden.



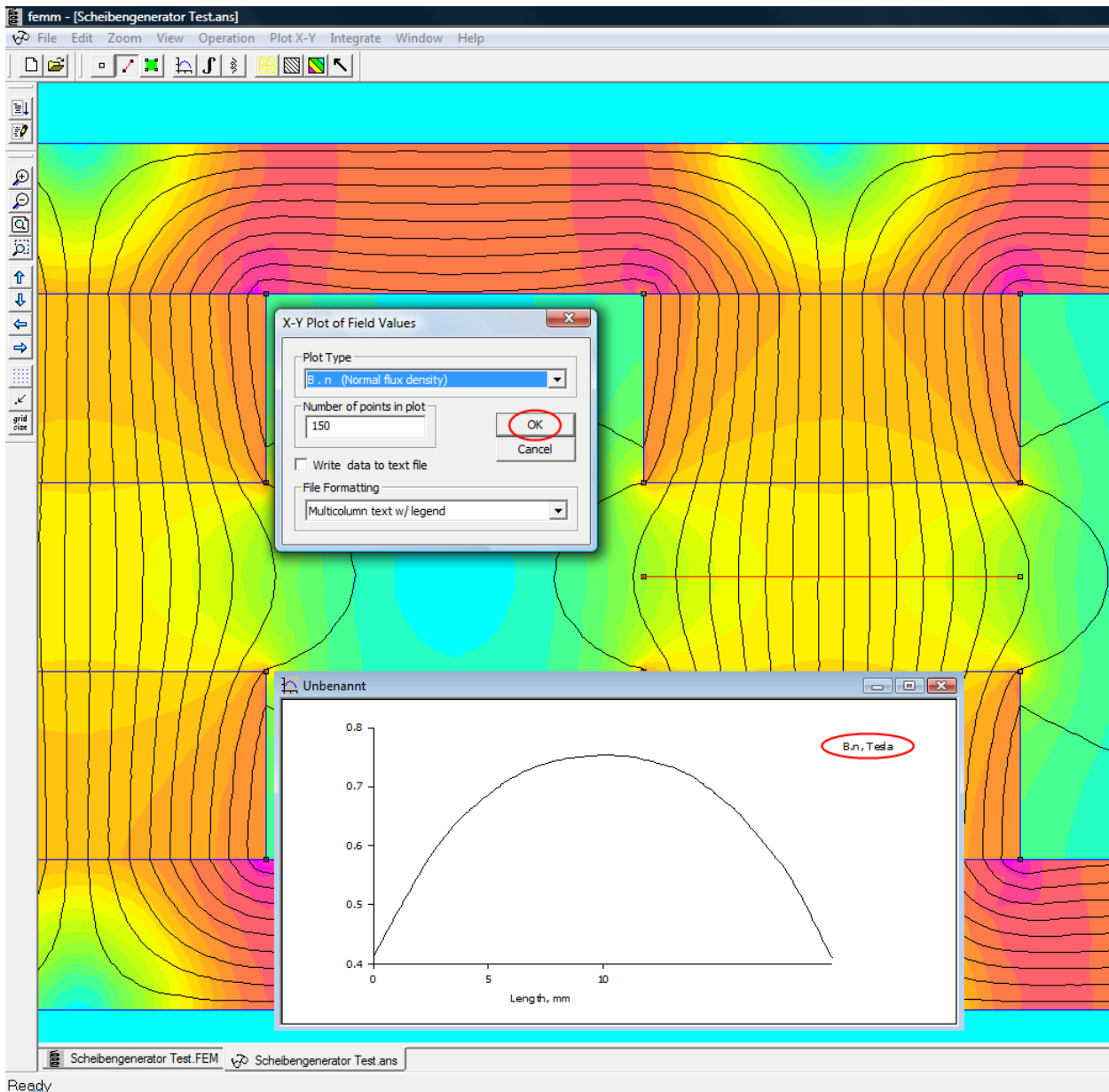
Im Ergebnisbetrachter (Result Viewer) steht die Funktion „Pfad definieren“ zur Verfügung (rot markiert).



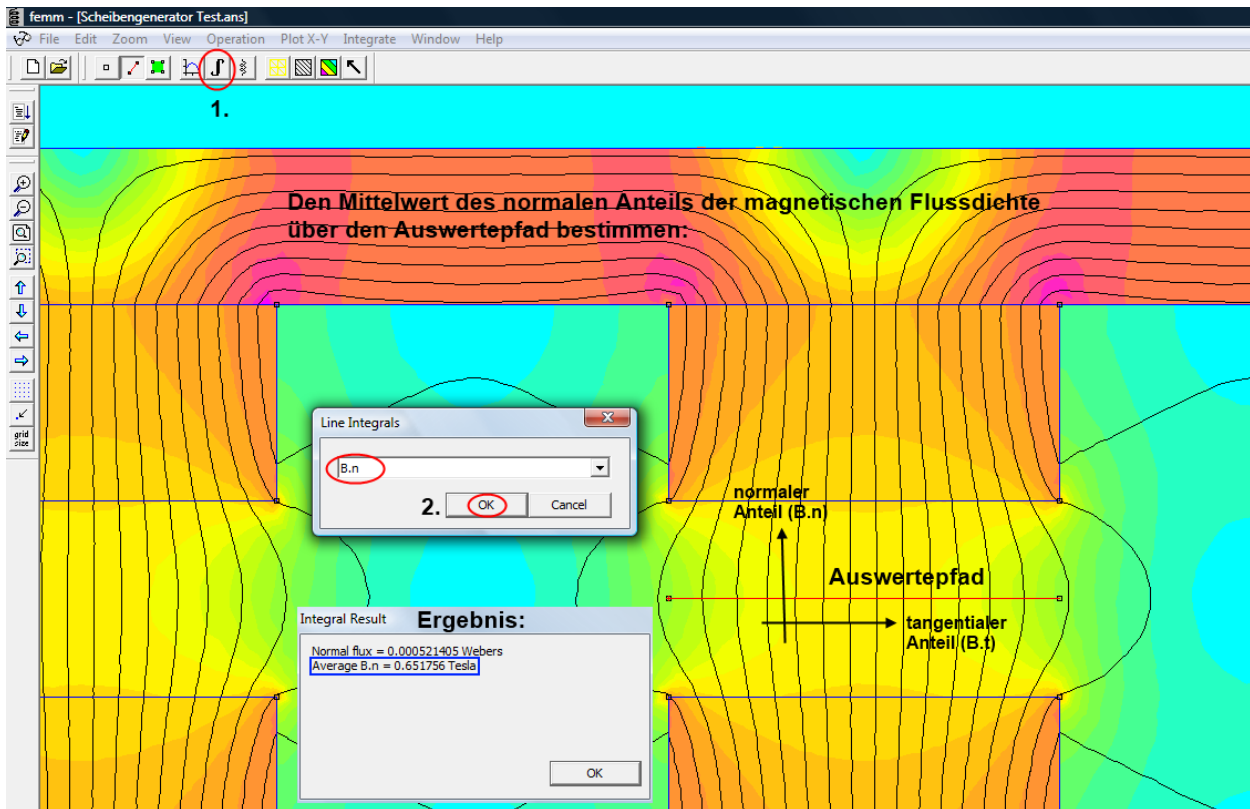
Mit der Funktion „X-Y Plot“ (rot markiert) können Ergebnisgrößen über dem Auswertepfad in Diagrammform dargestellt werden. Zur Spulenberechnung ist hier nur der senkrechte Anteil der magnetischen Flussdichte entlang des Auswertepfades relevant (siehe Lorenzkraft).



Darstellung des senkrechten Anteils der magnetischen Flussdichte entlang des Auswertepfades in Diagrammform:

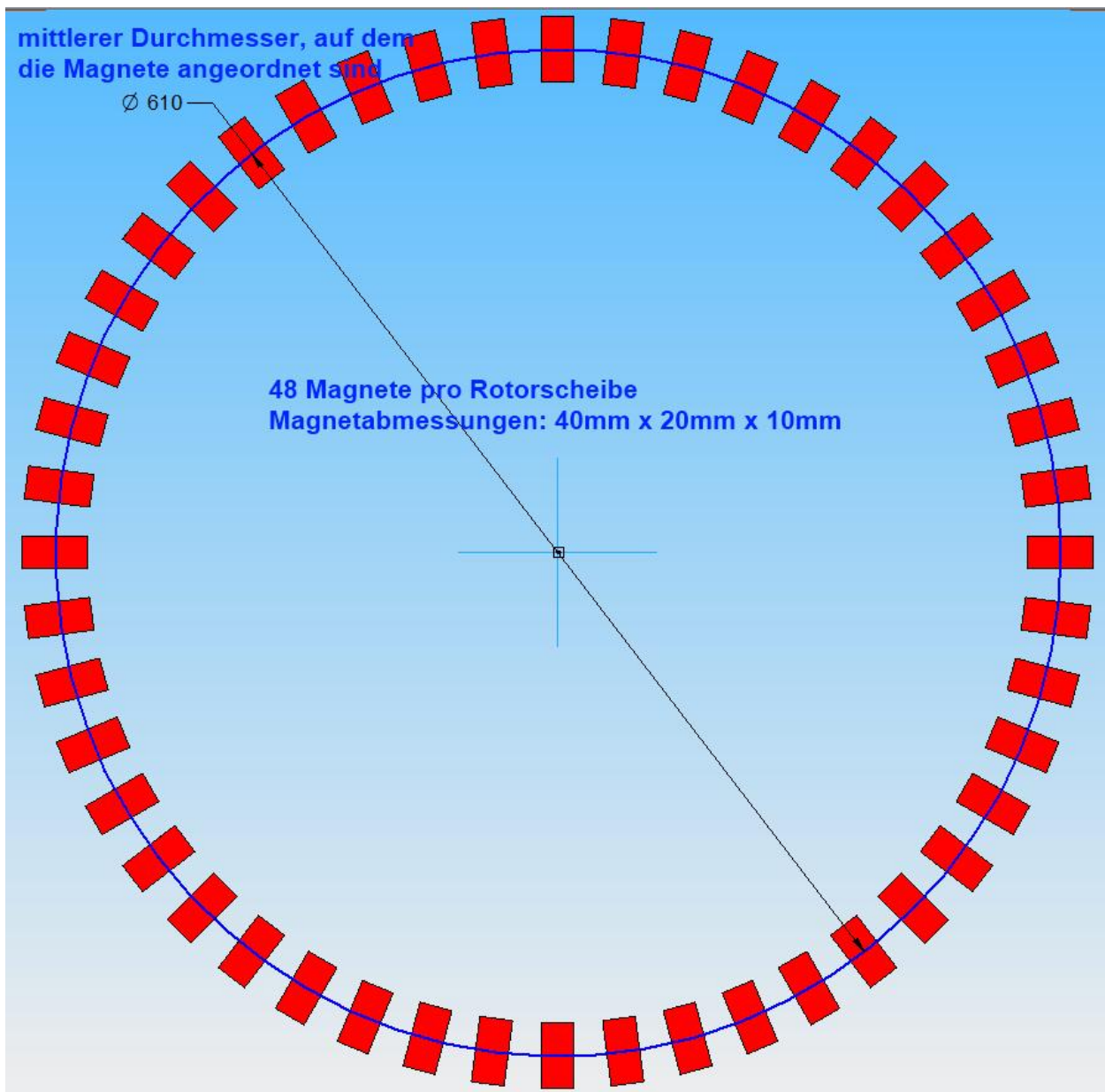


Mit der Funktion „Line Integrals“ (rot markiert) ist es möglich, den Mittelwert der magnetischen Flussdichte entlang des Auswertepfades zu berechnen.

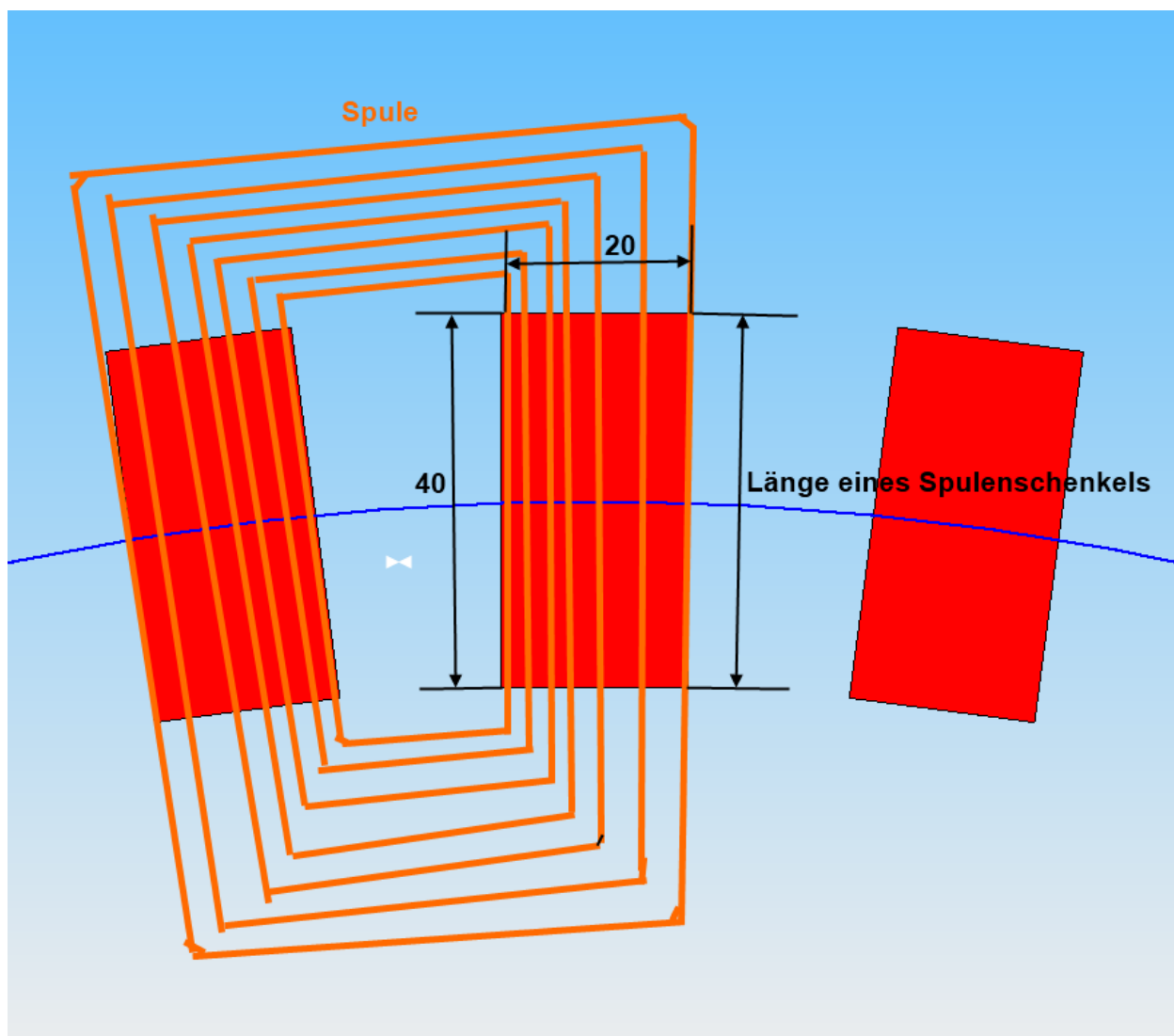


Nachfolgend ein Berechnungsbeispiel, wie die in die Spulen induzierte Spannung (bei unbelastetem Generator) berechnet werden kann.

Beispiel-Rotorgeometrie:



Spulengeometrie:



Magnete: 40mm x 20mm x 10mm

Anzahl Magnete: 48

Anzahl Spulen: 36 ; 3-Phasen: 12 Spulen pro Phase

mittlere magnetische Flussdichte im Spulenschenkelbereich (aus FEMM-Berechnung):

$$B_n := 0.651756 \cdot T$$

Länge des Spulenschenkels, der vom Magnetfeld durchsetzt wird:

$$l_{\text{Spulenschenkel}} := 0.04 \cdot m$$

Anzahl Windungen der Spule

$$n_{\text{Windungen}} := 30$$

Anzahl Spulen

$$n_{\text{Spulen}} := 12$$

mittlerer Durchmesser, auf dem die Magnete angeordnet sind

$$d_{\text{Magnete}} := 0.61 \cdot m$$

$$r_{\text{Magnete}} := \frac{d_{\text{Magnete}}}{2}$$

$$r_{\text{Magnete}} = 0.305 \cdot m$$

Rotordrehzahl

$$n_{\text{Rotor}} := 50 \cdot \frac{1}{\text{min}}$$

$$n_{\text{Rotor}} = 0.833 \frac{1}{s}$$

Umfangsgeschwindigkeit der Magnete

$$v_{\text{Magnete}} := 2 \cdot \pi \cdot n_{\text{Rotor}} \cdot r_{\text{Magnete}} \quad v_{\text{Magnete}} = 1.597 \frac{m}{s}$$

Maximalwert der Amplitude der in einer Phase induzierten Spannung (Peak)

$$U_{\text{ind_peak}} := 2 \cdot l_{\text{Spulenschenkel}} \cdot v_{\text{Magnete}} \cdot B_n \cdot n_{\text{Windungen}} \cdot n_{\text{Spulen}}$$

$$U_{\text{ind_peak}} = 29.976 \cdot V$$

Veranschaulichung des berechneten Peak-Wertes der induzierten Spannung:

