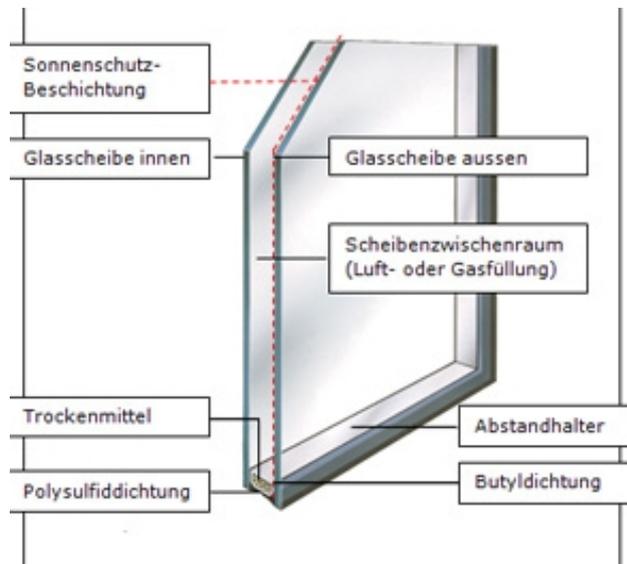


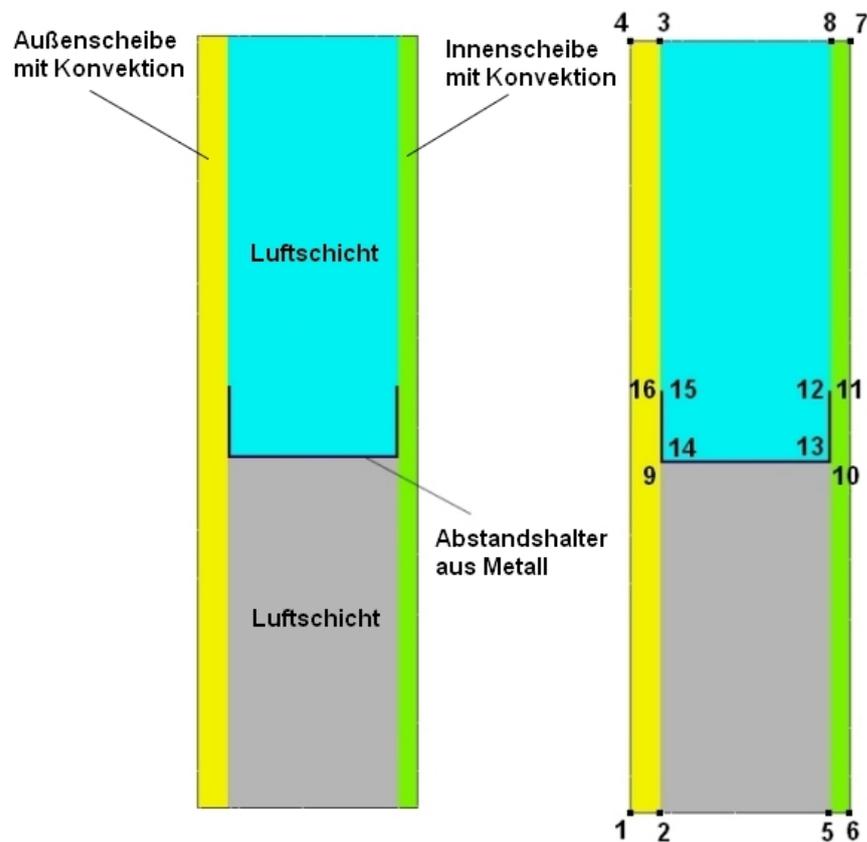
Kapitel 15: Stationäre Temperatur-Analyse einer Doppelverglasung mit MEANS V12

Berechnung der stationären Temperaturverteilung und der Wärmestromdichte mit einer Konvektion an einer Doppelverglasung mit einer Außen- und Innenscheibe, Luftschichten und einem metallischem Abstandshalter.

Doppelverglasung



FEM-Modell



16 Knotenkoordinaten:

X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)
1. 0.00	0.00	9. 0.000625	0.00725
2. 0.000625	0.00	10. 0.004125	0.00725
3. 0.000625	0.016	11. 0.004125	0.00875
4. 0.00	0.016	12. 0.004075	0.00875
5. 0.004125	0.00	13. 0.004075	0.0073
6. 0.004525	0.00	14. 0.000675	0.0073
7. 0.004525	0.016	15. 0.000675	0.00875
8. 0.004125	0.016	16. 0.000625	0.00875

FEMM-Netzgenerator

Aufgrund der vielen Materialbereiche wird das FEM-Netz diesmal nicht mit dem 2D-Netzgenerator von MEANS sondern mit der kostenlosen Freeware **FEMM** generiert und über die neue FEMM-Schnittstelle an MEANS V12 übergeben.

Vorteile mit FEMM

Neben dem großen Vorteil eines zusätzlichen 2D-Netzgenerators für komplexe 2D-Aufgaben für MEANS V12 verwenden zu können ergibt sich auch den Vorteil, daß mit FEMM kostenlose Elektromagnetische 2D-Simulationen durchgeführt werden können die mit MEANS zur Zeit nicht möglich sind.

Installation von FEMM

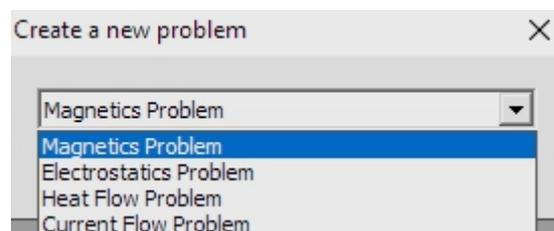
Downloaden und installieren Sie das 2D-Freeware-Programm FEMM von der Webseite <http://www.femm.info/wiki/Download>.



Nach der Installation von FEMM wird es mit dem Desktop-Icon  gestartet. Führen Sie nun folgende Schritte aus um ein FEM-Netz mit FEMM zu generieren:

Magnetics Problem erzeugen

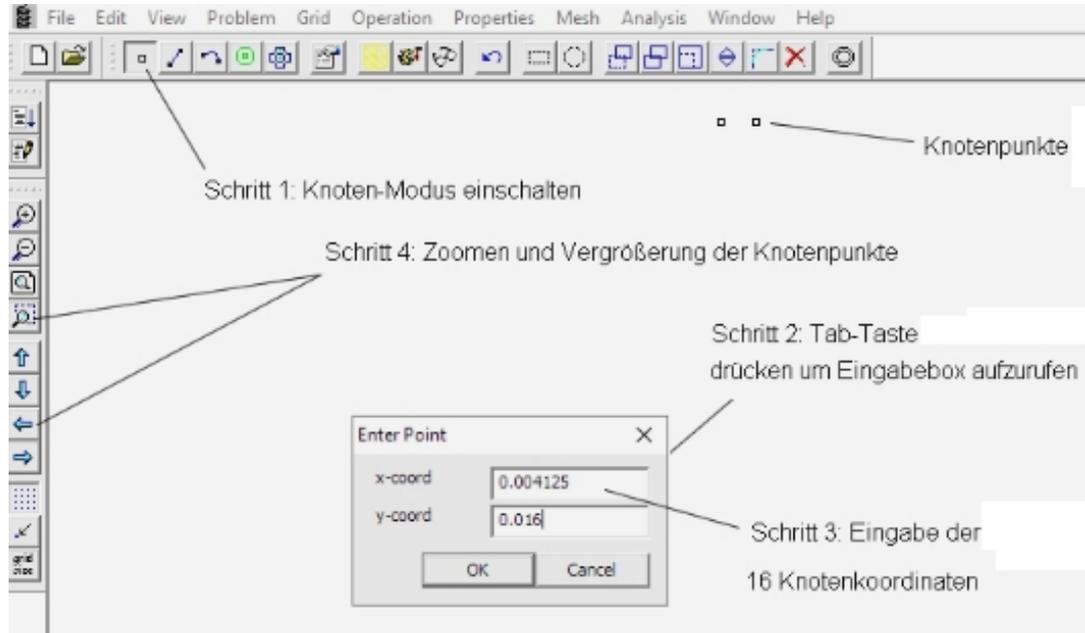
Wählen Sie "Magnetics Problem" aus 4 verschiedenen Berechnungsmöglichkeiten. Es wird allerdings nur die Netzgenerierung benötigt.



Eingabe der Knotenkoordinaten

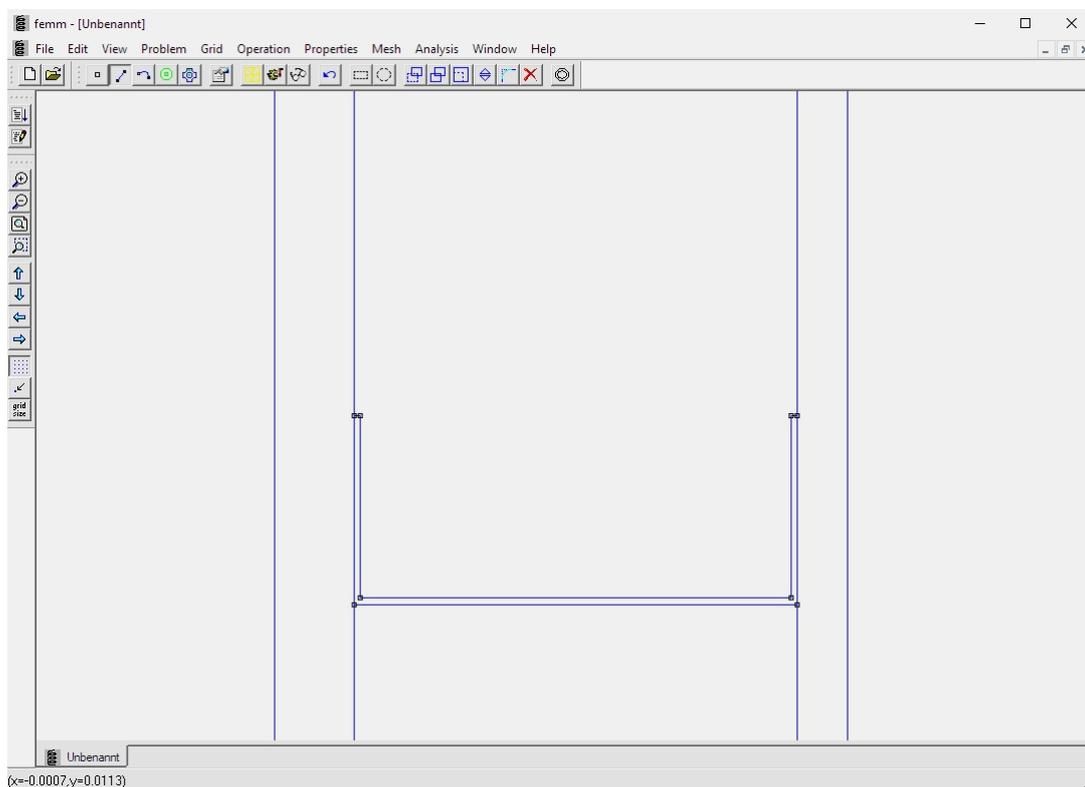
Schalten Sie zuerst den Knoten-Modus mit dem Icon  ein und drücken jedesmal die Tab-Taste um eine Knotencoordinate in einer Eingabebox einzugeben.

Mit dem Icon  können die Knotenpunkte auf den Bildschirm gezoomt werden.



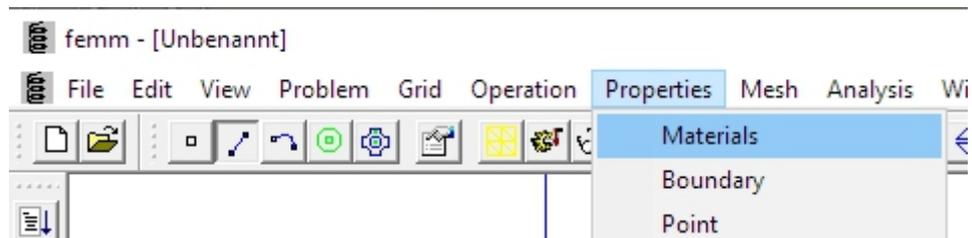
Eingabe der Linien

Verbinden Sie die Knoten mit dem Icon  indem Sie mit der linken Maustaste zuerst auf den ersten und dann auf den zweiten Knoten der Linie klicken.

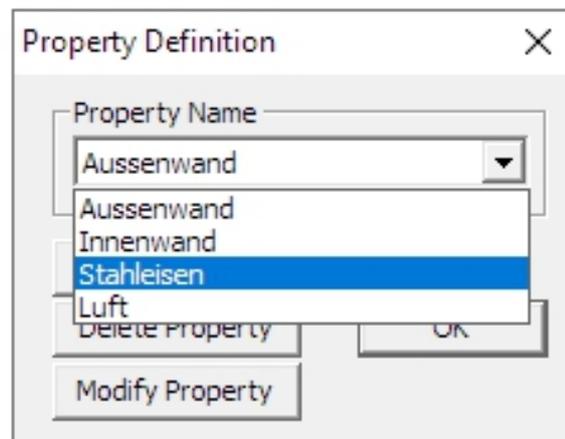


Properties definieren

Definieren Sie nun die Properties mit Menü "Properties" und "Materials" und erzeugen die 4 Properties "Außenwand", "Innenwand", "Stahleisen" und "Luft".



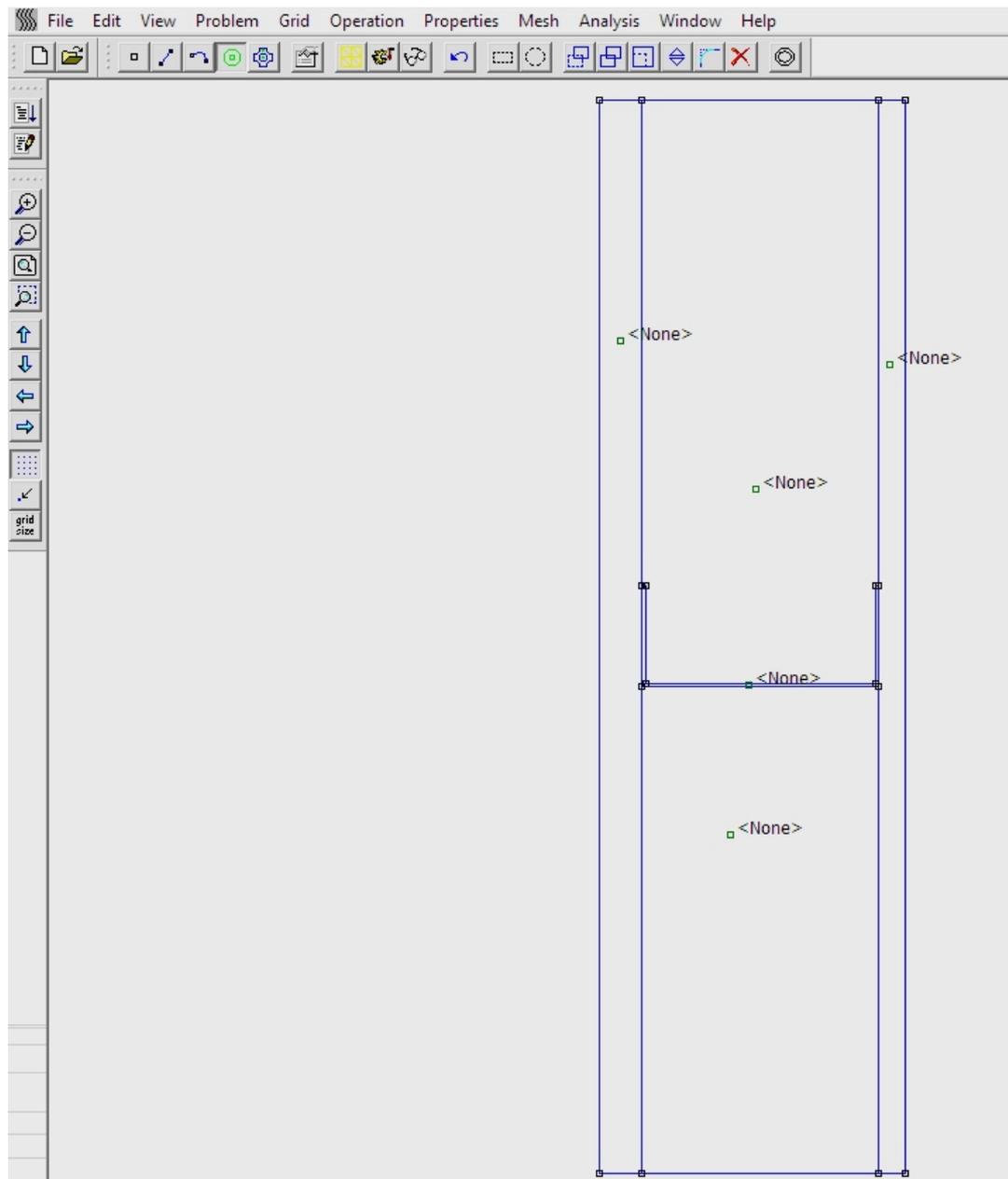
Übernehmen Sie die voreingestellten Materialdaten, da nur das FEM-Netz aber nicht die Elektromagnetische Berechnung interessiert.



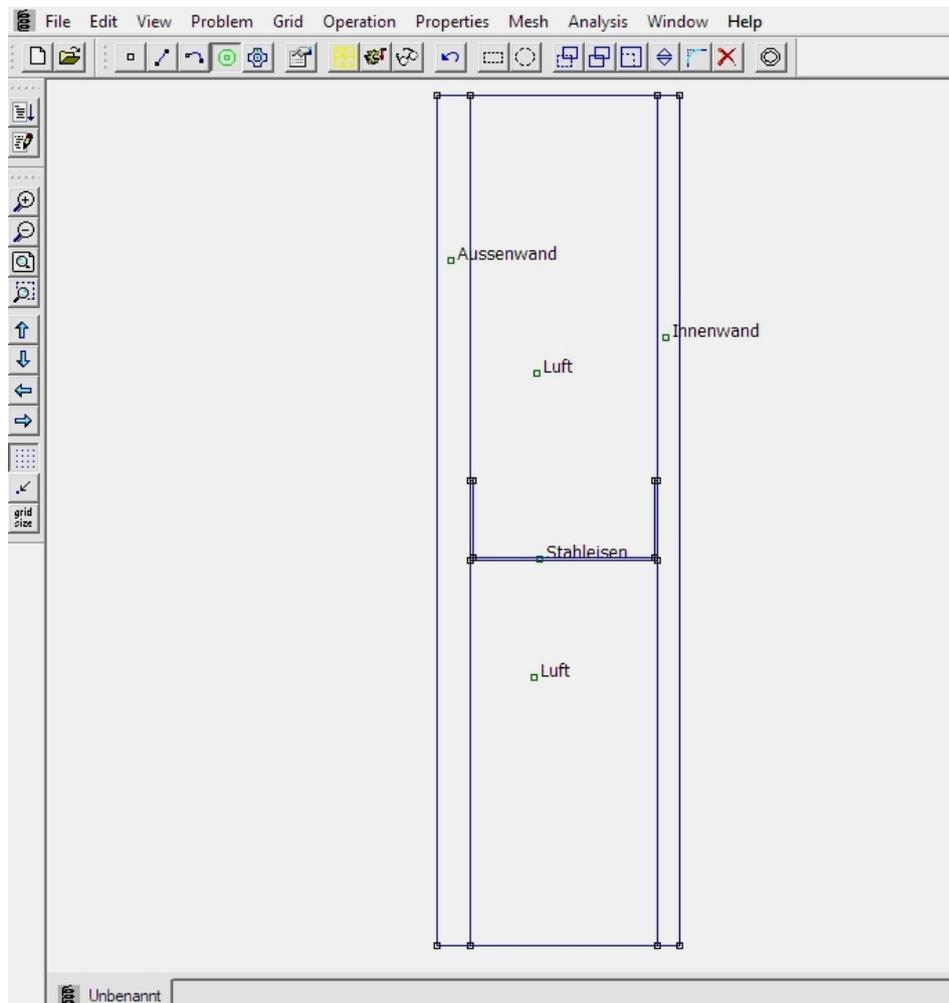
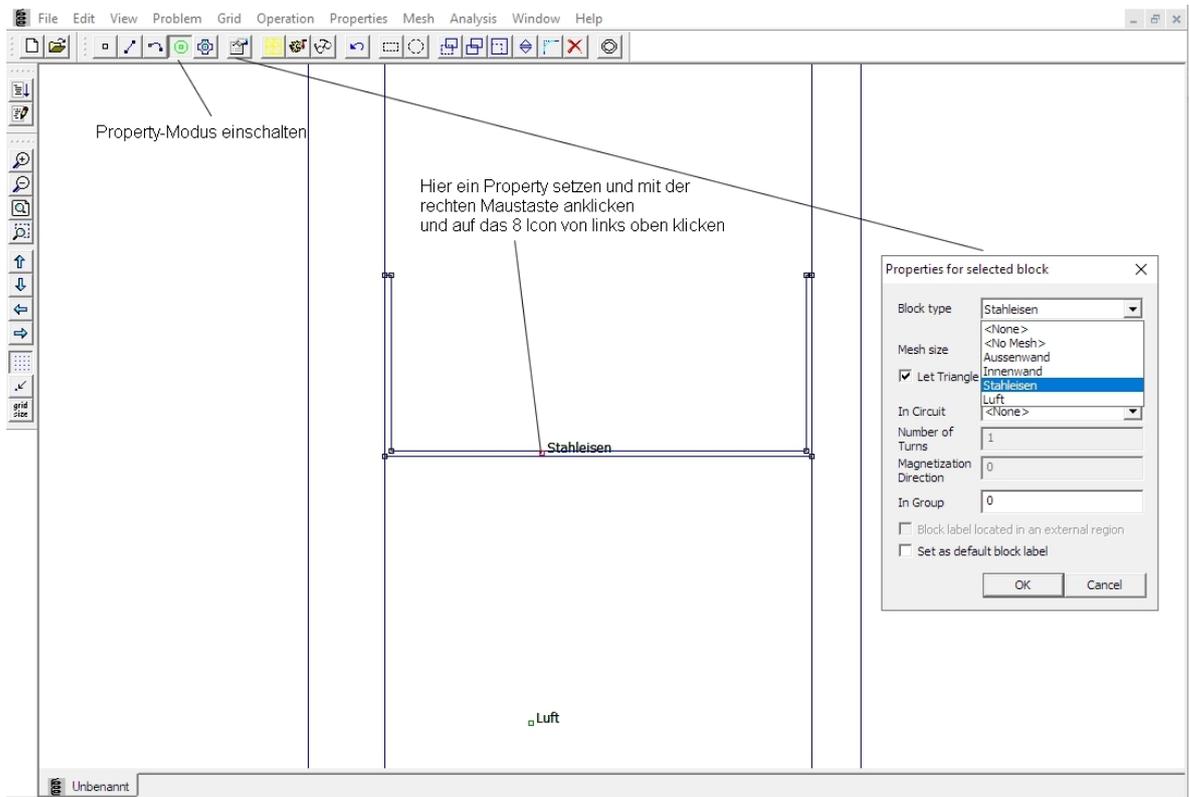
Properties plazieren und selektieren

Plazieren Sie nun mit dem Icon  5 neue Properties an den jeweiligen Stellen.

Selektieren Sie mit rechter Maustaste das Property und klicken auf das Icon  und wählen eines der 4 Properties aus der Liste aus.

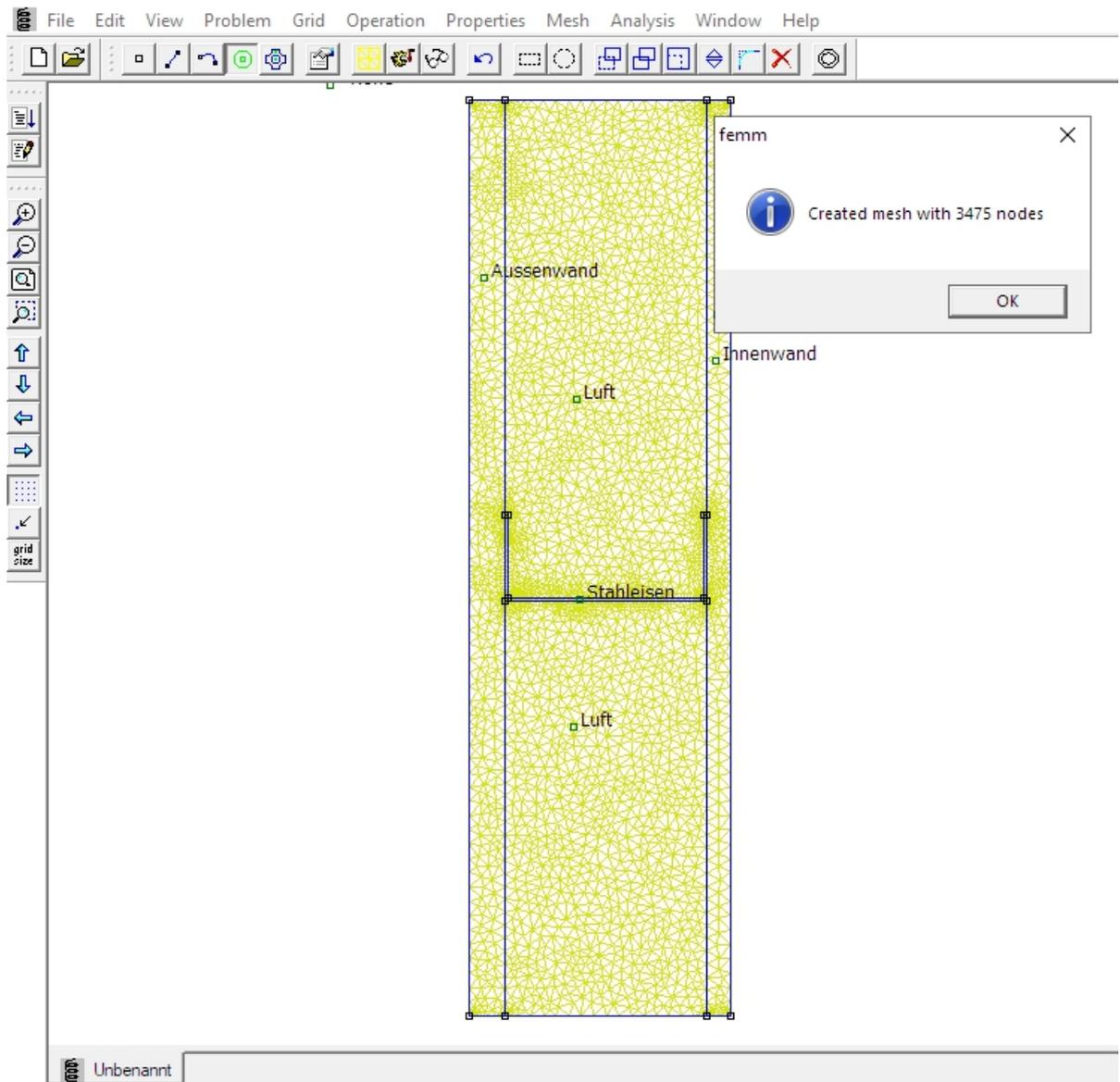


Vergrößern Sie mit dem Icon  den mittleren Bereich damit das Property "Stahleisen" platziert werden kann.



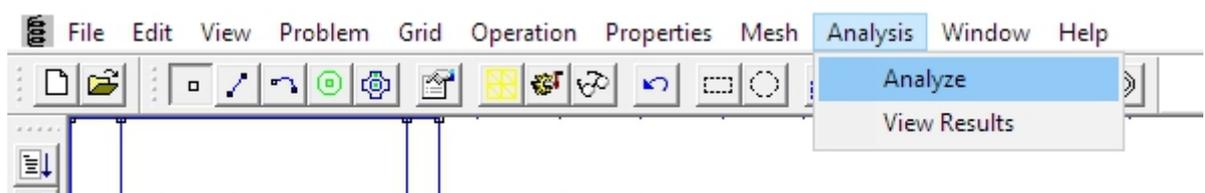
FEM-Netz erzeugen

Speichern Sie nun die Eingabe unter **FEMM1.FEM** in das Projekt-Verzeichnis ab und generieren mit Menü "Create Mesh" ein FEM-Netz aus 3475 Knotenpunkten.



Analyse durchführen

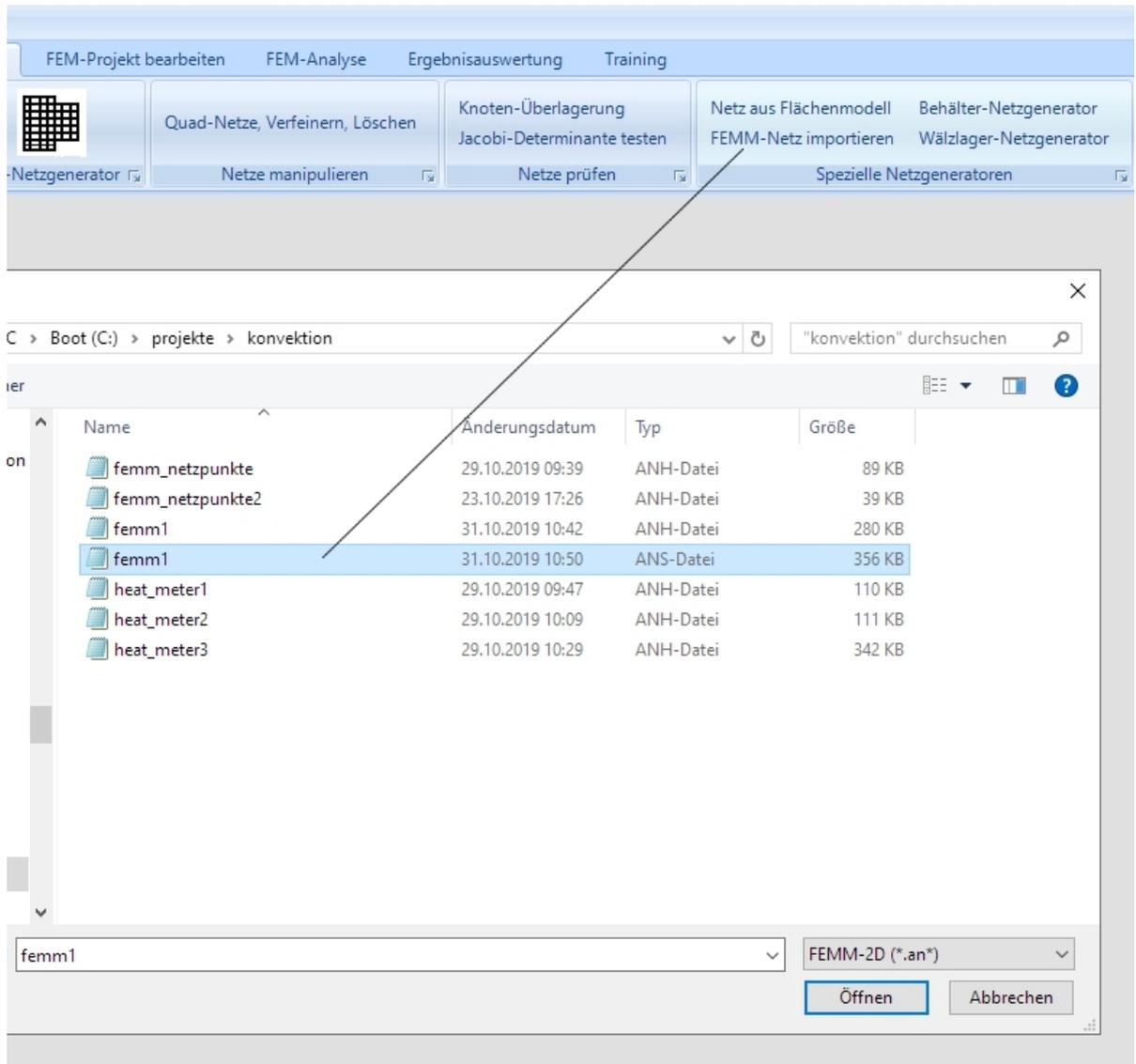
Wählen Sie das Menü "Analysis" und "Analyze" und führen eine kurze Berechnung durch damit die benötigte ANS-Datei **FEMM1.ANS** erzeugt wird. FEMM wird nun nicht mehr benötigt und kann geschlossen werden.



FEMM-Netz in MEANS V12 einladen



Starten Sie nun über das Desktop-Icon das FEM-System MEANS V12 und wählen das Register “Netzgenerierung” sowie “FEMM-Netz importieren” aus um das FEMM-Netz **FEMM1.ANS** einzuladen.



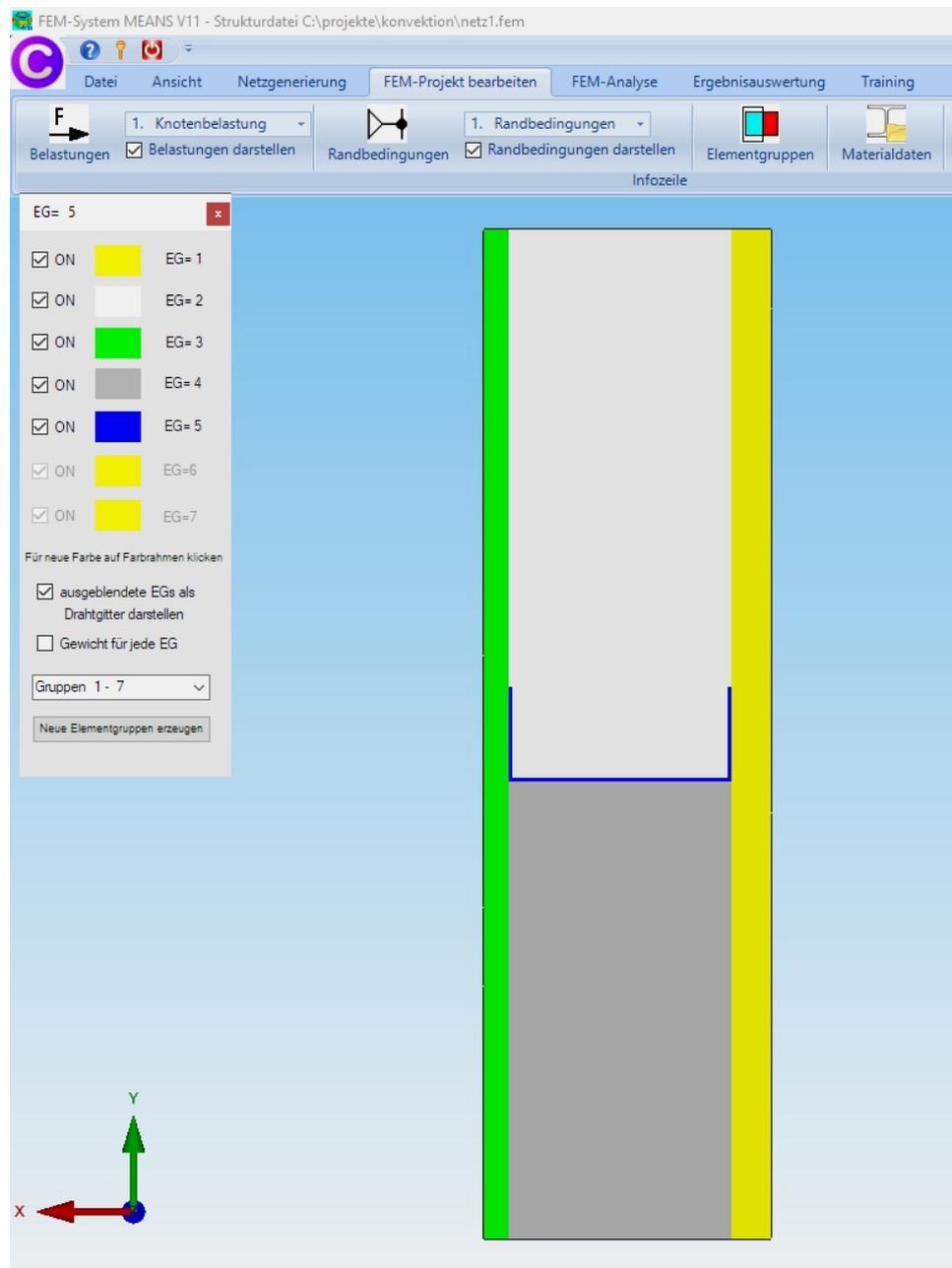
Es wird ein FEM-Netz mit 6693 TRI3S-Elementen, 3475 Knotenpunkten und 5 Elementgruppen erzeugt.

Dieses FEM-Netz kann nun für alle Statik-, Dynamik- oder Temperatur-Berechnungen von MEANS V12 verwendet werden.

Eingabe der Elementgruppen

Wählen Sie das Register “FEM-Projekt bearbeiten” und “Elementgruppen” und geben jeder der fünf Elementgruppen eine Farbe indem Sie auf den linken Farbrahmen klicken.

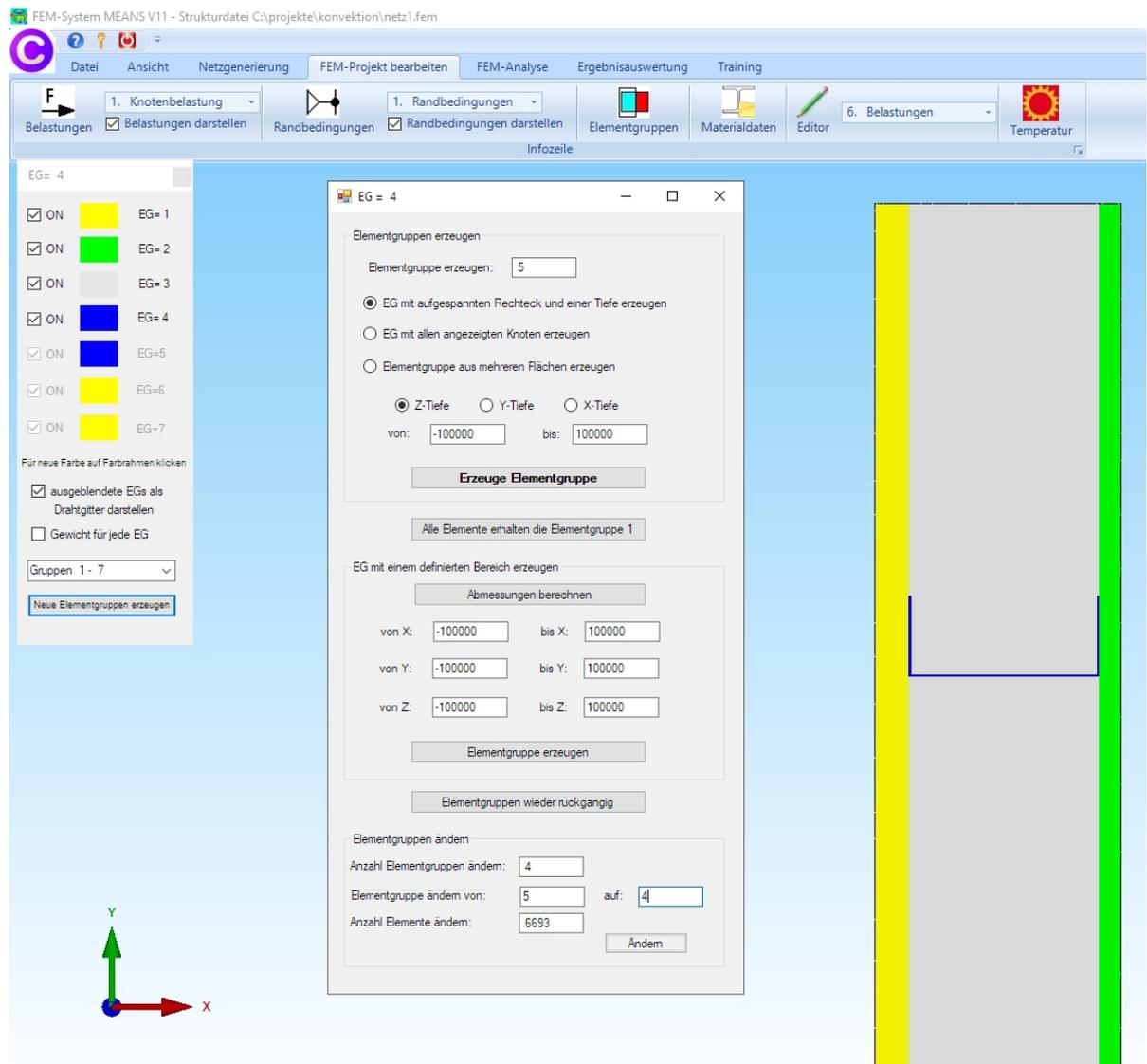
Ebenfalls können hier die einzelnen Elementgruppen ein- oder ausgeblendet werden um z.B. eine bestimmte Elementgruppe zu bearbeiten oder auszuwerten .



Elementgruppen ändern:

Wenn die beiden Elementgruppen 2 + 4 für Luft zusammgelegt werden kann eine Elementgruppe eingespart werden. Wählen Sie in der Legende das Menü “Neue Elementgruppen erzeugen” und ändern die Elementgruppen wie folgt:

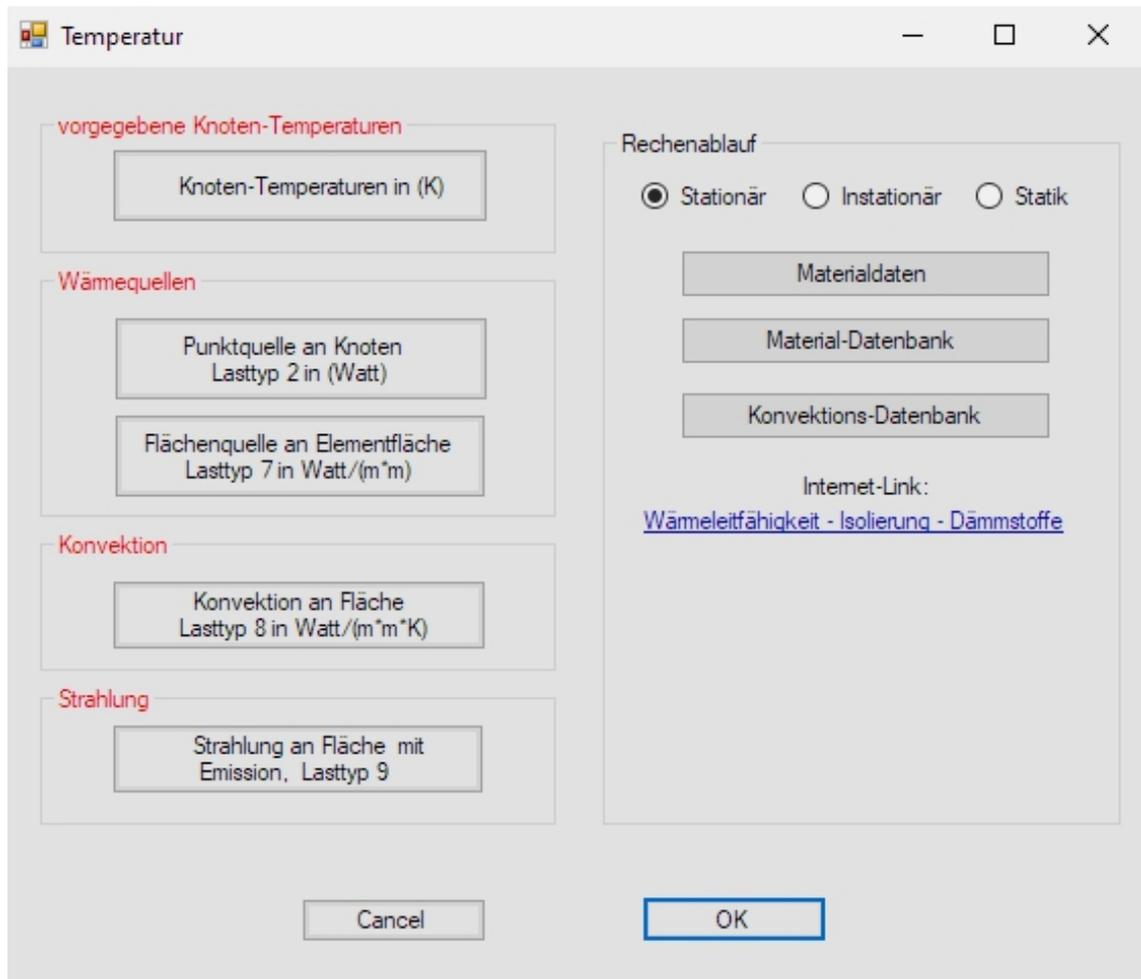
1. Anzahl Elementgruppen von 5 auf 6 erhöhen
2. Elementgruppe 2 auf 6 ändern
3. Elementgruppe 3 auf 2 ändern
4. Elementgruppe 6 auf 3 ändern
5. Elementgruppe 4 auf 3 ändern
6. Elementgruppe 5 auf 4 ändern
7. Anzahl Elementgruppen auf 4 ändern



Stationäre Temperatur



Wählen Sie das Register “FEM-Projekt bearbeiten” und das Icon  um die stationäre Temperatur sowie die Wärmeleitfähigkeit und Konvektion einzugeben.



Eingabe der Wärmeleitfähigkeiten

Wählen Sie “Material-Datenbank” um die Wärmeleitfähigkeit von Glas, Stahl und Luft aus der selbst erweiterbaren Datenbank zu übernehmen.

Elementgruppe 1 Außenglas:	WL = 1 W/mK
Elementgruppe 2 Innenglas	WL = 1 W/mK
Elementgruppe 3 Luftschicht:	WL = 0.0181 W/mK
Elementgruppe 4 Abstandhalter aus Metall:	WL = 10 W/mK

Eingabe der Konvektion



Wählen Sie wieder das Icon **Temperatur** um die Konvektion der Außenwand und Innenwand einzugeben. Wählen Sie zuerst Menü "Konvektion-Datenbank" und übernehmen folgende Werte:

Konvektion an Außenglas = 25 W/m²K und Temperatur = -18 °C

Konvektion an Innenglas = 7.692 W/m²K und Temperatur = 20 °C

Konvektionen-Datenbank

Entries

Bezeichnung:

Temperatur (Grad C):

Konvektion (W /m² K):

Command Buttons

SI-Einheiten: Millimeter Meter

Konvektionen

Bezeichnung	Temperatur	Konvektion			
Aussen +20 Grad C	20	25	0	0	0
Aussen -10 Grad C	-10	25	0	0	0
Außen -18 Grad C	-18	25	0	0	0
Außen -5 Grad C	-5	25	0	0	0
Dach letzte Schicht	-10	10	0	0	0
Dachboden -4 Grad C	-4	10	0	0	0
Erdreich 8 Grad C	8	1000	0	0	0
Exterior Surface	-17.78	29.03	0	0	0
Garage -8 Grad C	-8	7.692	0	0	0
Heizestrich	25	1000	0	0	0
Innen Rsi 0.25	20	4	0	0	0
Innenboden	20	5.882	0	0	0
Innenboden 8 Grad C	8	5.882	0	0	0
Innendecke	20	10	0	0	0
Innendecke 8 Grad C	8	10	0	0	0
Innenwand	20	7.692	0	0	0

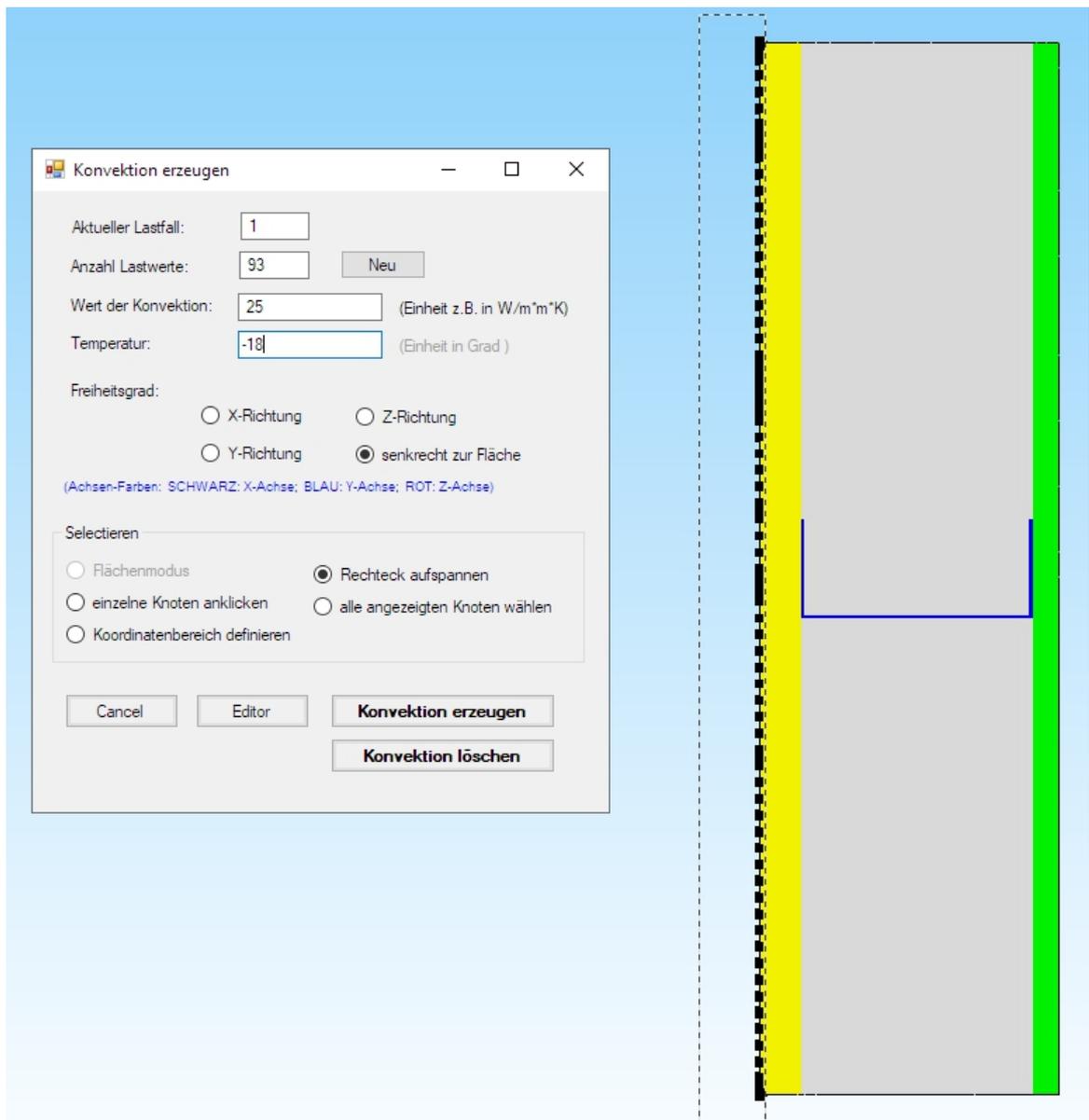
Wählen Sie jetzt das Menü "Konvektion an Fläche, Lasttyp 8 in W/(m²K)"
Geben Sie nun den Wert der Konvektion = 25 W/m²K und die Temperatur von -18 °C ein und wählen mit der Selektion "Rechteck aufspannen" das Menü "Konvektion erzeugen".

Dann spannen Sie über das Außenglas mit gedrückter Maustaste das gleiche Rechteck wie unten gestrichelt zu sehen auf.
Jetzt werden alle Knoten des Außenglases in der Selectbox angezeigt dort mit "Erzeugen" die Konvektionslast erzeugen.

Führen Sie die gleichen Arbeitsschritte für das Innenglas mit dem Wert der Konvektion = 7.692 W/m²K und der Temperatur von 20°C aus.

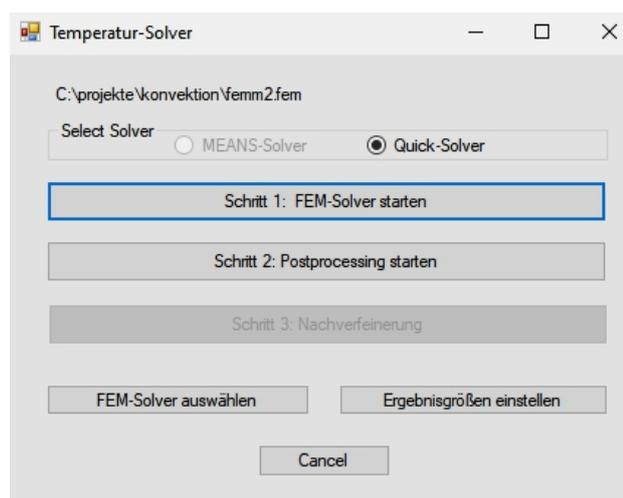
Modell sichern

Das FEM-Modell ist jetzt vollständig und kann berechnet werden. Speichern Sie es aber zuerst mit Register "Datei" und "Sichern" unter dem Namen "FEMM2.FEM" in das Projekt-Verzeichnis ab.



FEM-Analyse

Führen Sie eine FEM-Analyse mit Register "FEM-Analyse" und "3. Temperatur" aus.



Postprocessing



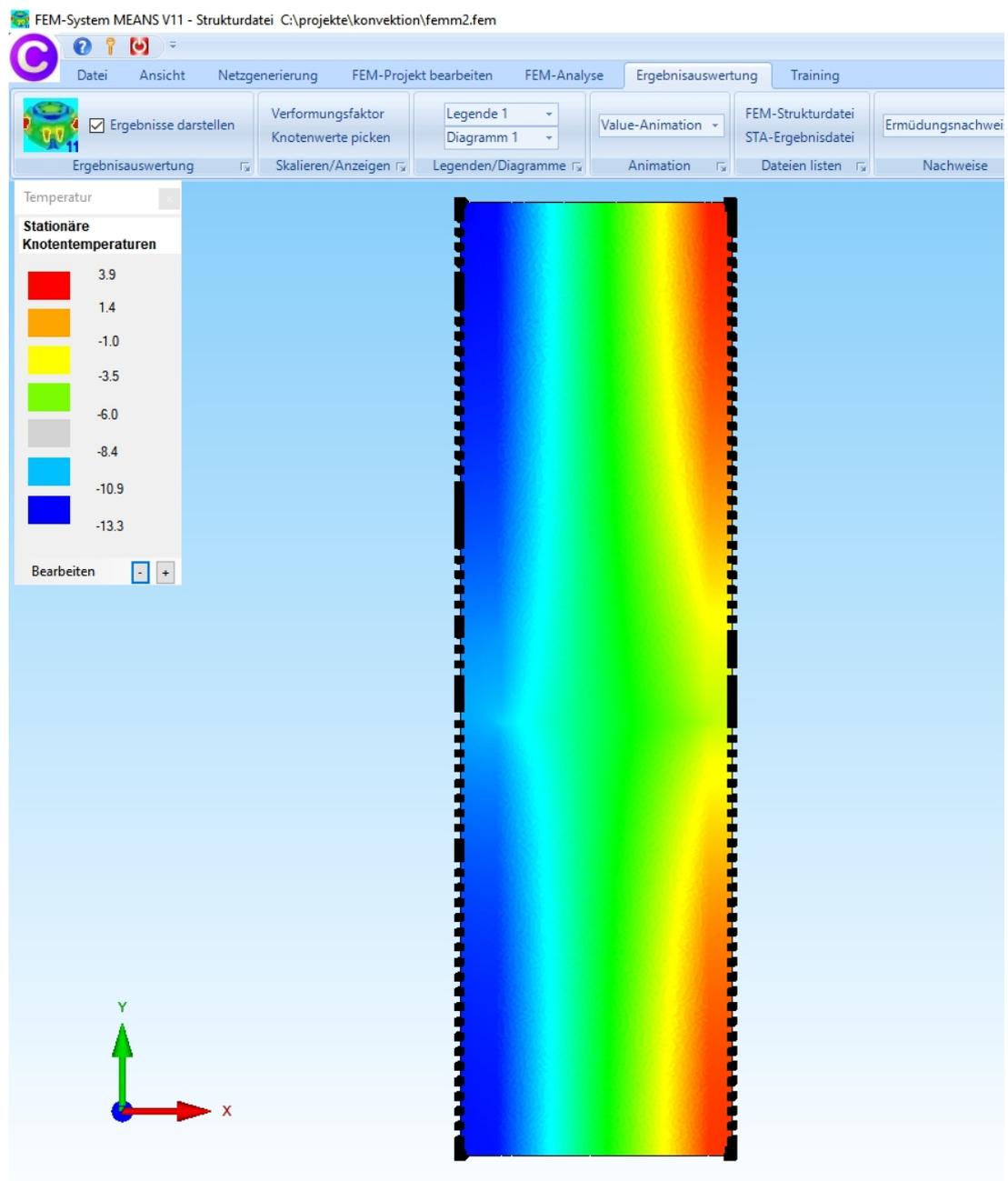
Stellen Sie mit Register "Ergebnisauswertung" und dem Icon die stationäre Temperaturverteilung sowie die Wärmestromdichte dar.

Stationäre Temperaturverteilung

Eine stationäre Temperatur-Simulation ist eine Berechnung, bei der keine zeitliche Änderung des Geschehens berücksichtigt wird. Die Energie des Bauteils besteht nur aus potentieller Energie.

Max. Temperatur = 3.9 °C

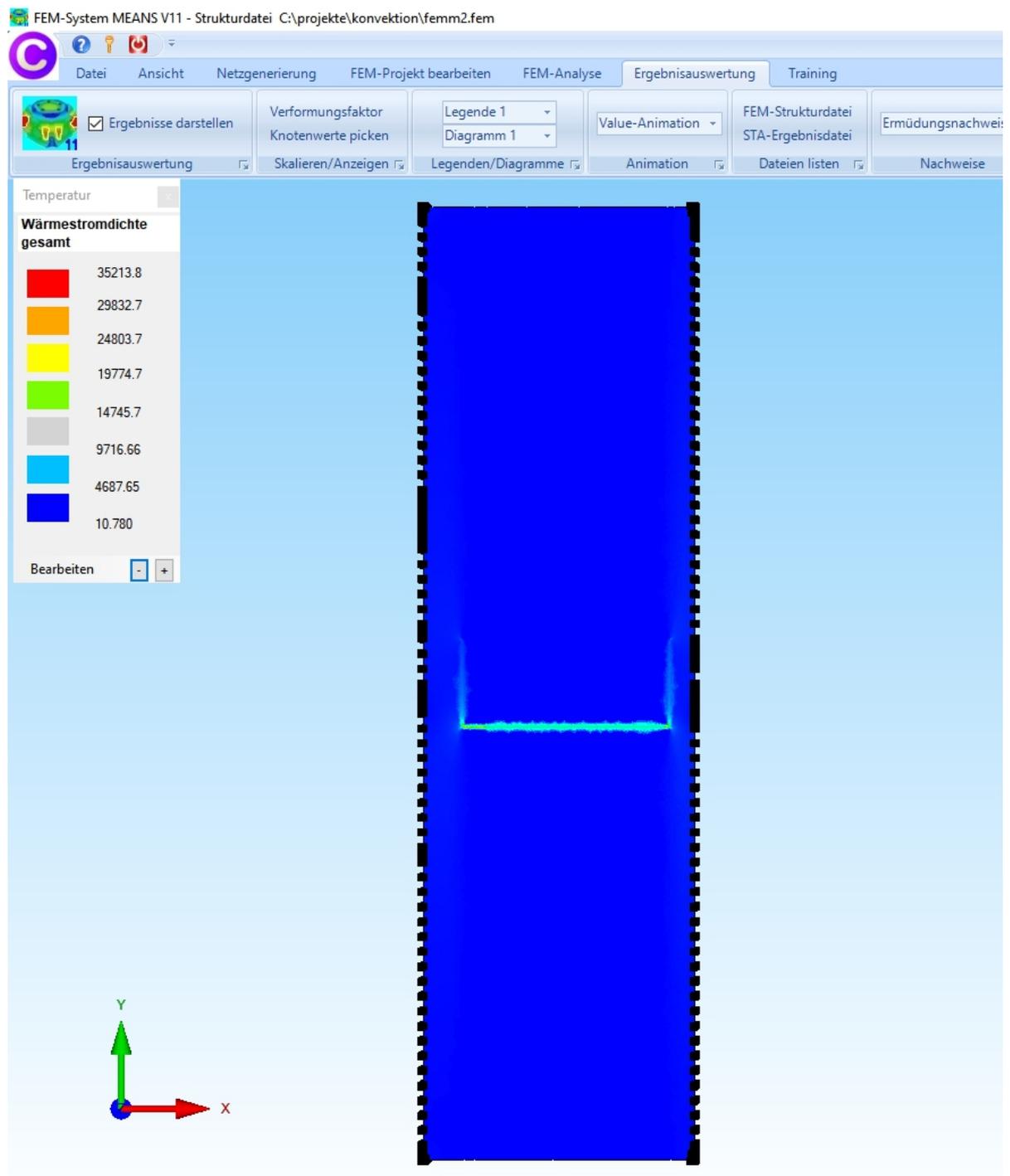
Min. Temperatur = -13.3 °C



Wärmestromdichte

Die Wärmestromdichte beschreibt die Leistungsdichte eines Wärmeübertragungsvorgangs und ist das Verhältnis von Wärmestrom zur Wärmeaustauschfläche. Zum Einsatz kommt die Größe z.B. bei Fußbodenheizungen oder wenn feuchte Räume oder Bauteile nicht ausreichend beheizt werden und es zu Tauwasserbildungen mit Schimmel oder Korrosion kommen kann.

Mittlere Wärmestromdichte = $10\,500\text{ W/m}^2 = 10.5\text{ kW/m}^2$

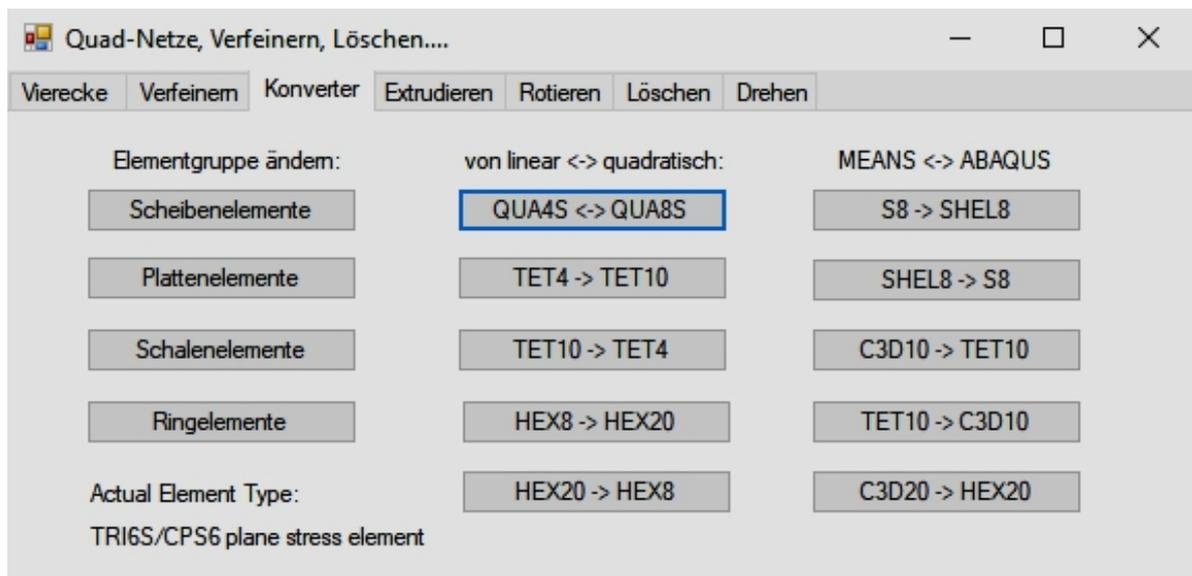


3D-Wärmebrücke

Es folgt eine 3D-Berechnung indem die 2D-Wärmebrücke mit einer Z-Tiefe in ein 3D-Volumenmodell extrudiert wird.

TRI6S- auf TRI3S konvertieren

Zuerst muß das quadratische TRI6S-Modell in ein TRI3S-Modell ohne Mittelknoten umgestellt werden. Wählen Sie dazu das Register “Netzgenerierung” und das Menü “Quad-Netze, Verfeinern, Löschen...” sowie in der nächsten Dialogbox das Register “Konverter” und Menü “QUA4S<->QUA8S”. Nach der Konvertierung erhält man das lineare Modell mit Namen “QUA4S.FEM”.



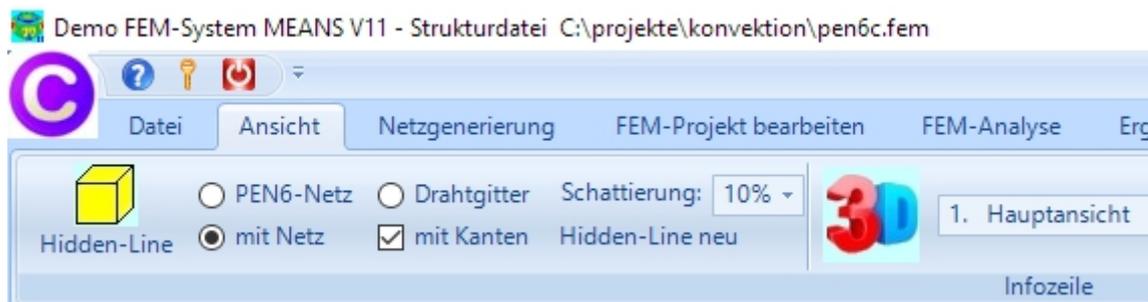
Wählen Sie jetzt in der gleichen Dialogbox Register “Extrudieren” und geben ein:

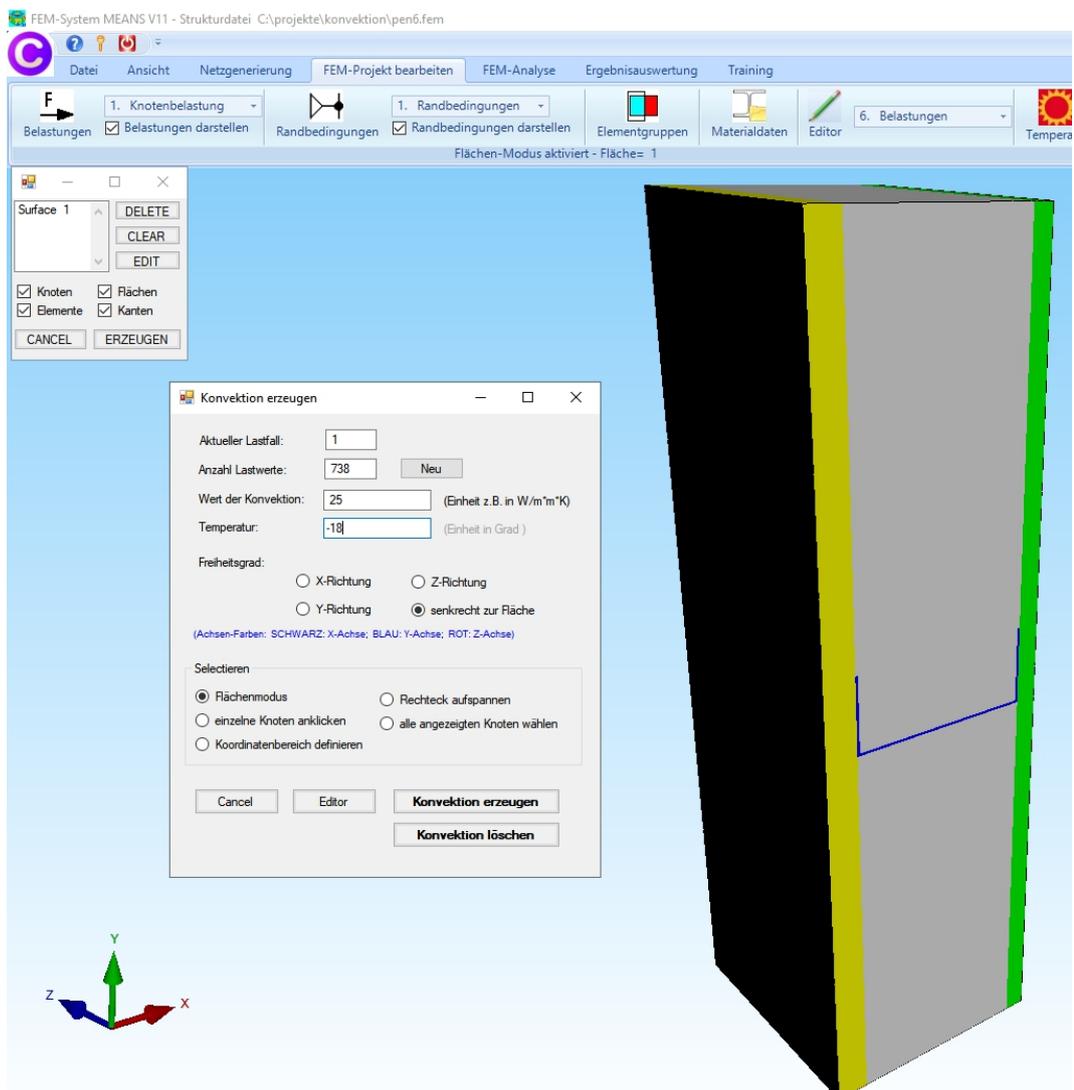
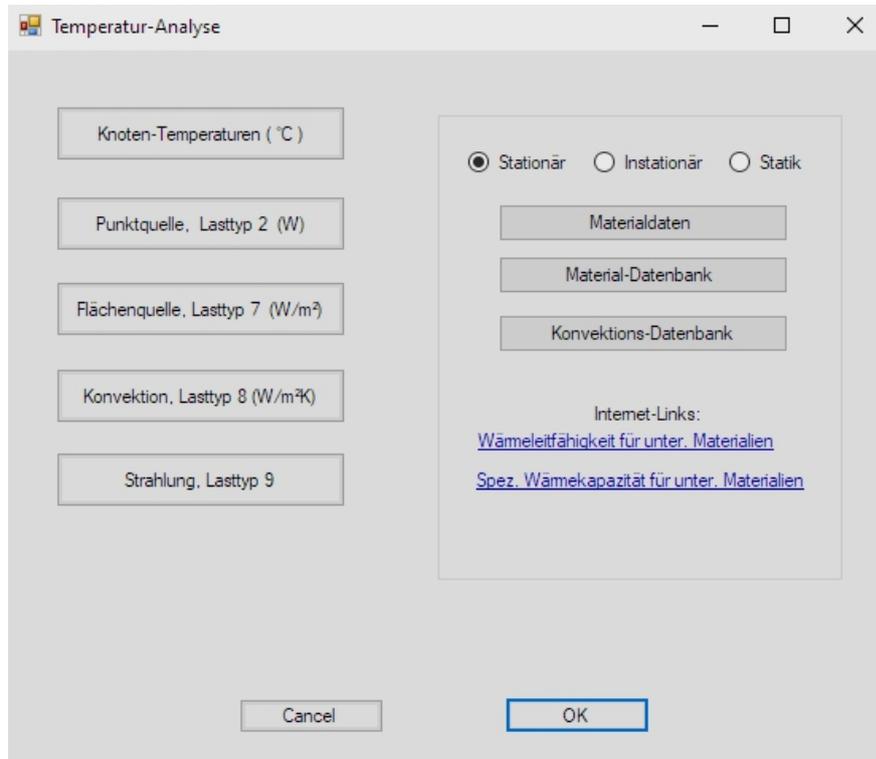
Knoten in Z-Richtung = 5 und die Z-Objekthöhe = 0.005 m

Es wird nun ein FEM-Netz aus 60237 PEN6-Volumenelementen, 34750 Knoten und 4 Elementgruppen extrudiert.

Nach der Extrudierung wird automatisch die Numerierung überprüft und das Hidden-Line- und Flächen-Modell mit 5 Surface-Flächen erzeugt.

Wählen Sie das Register “Ansicht” um das Modell mit oder ohne Netz darzustellen.





Postprocessing

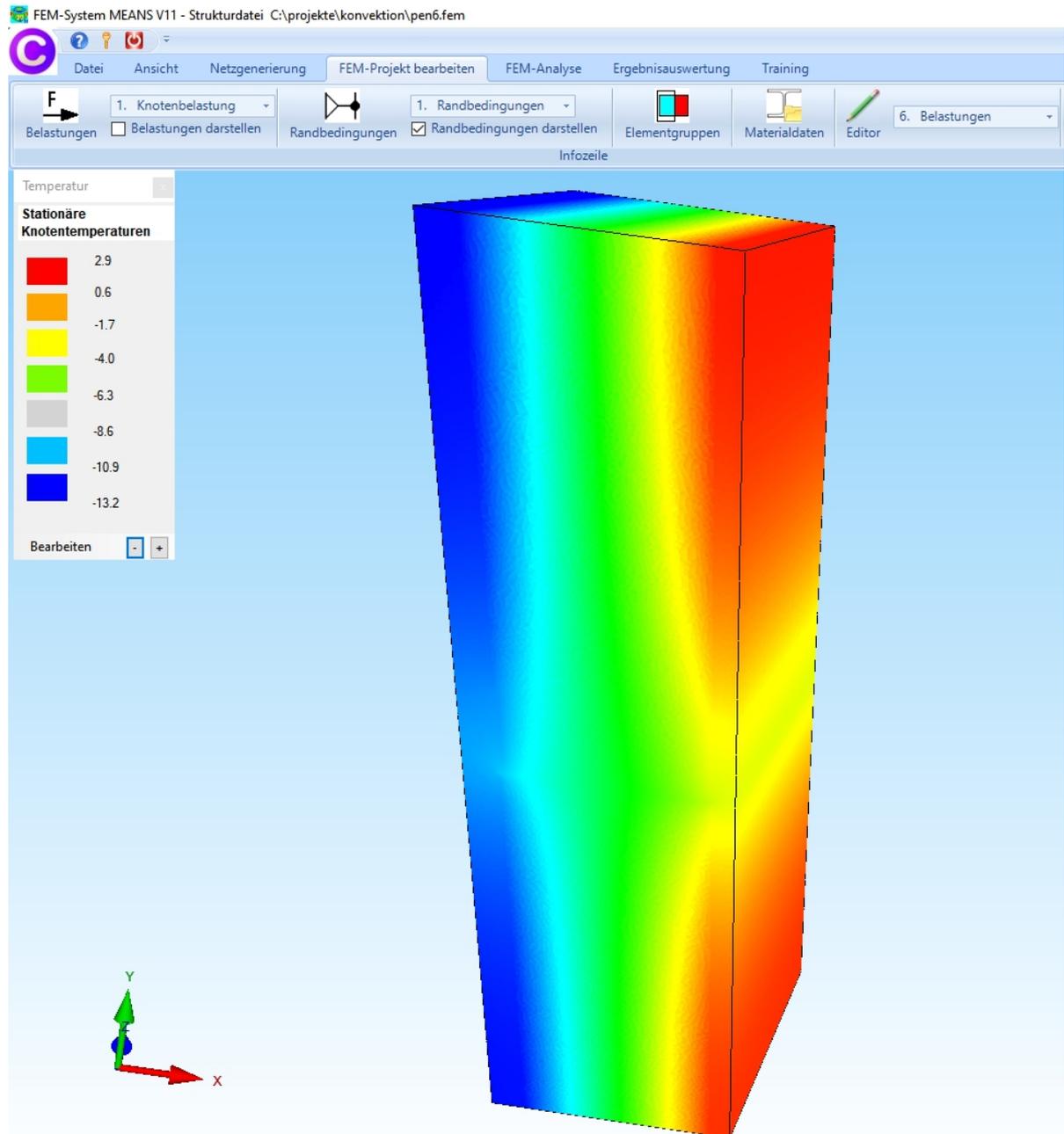


Stellen Sie mit Register "Ergebnisauswertung" und dem Icon die stationäre Knotentemperaturverteilung sowie die Wärmestromdichte dar.

Stationäre Temperaturverteilung

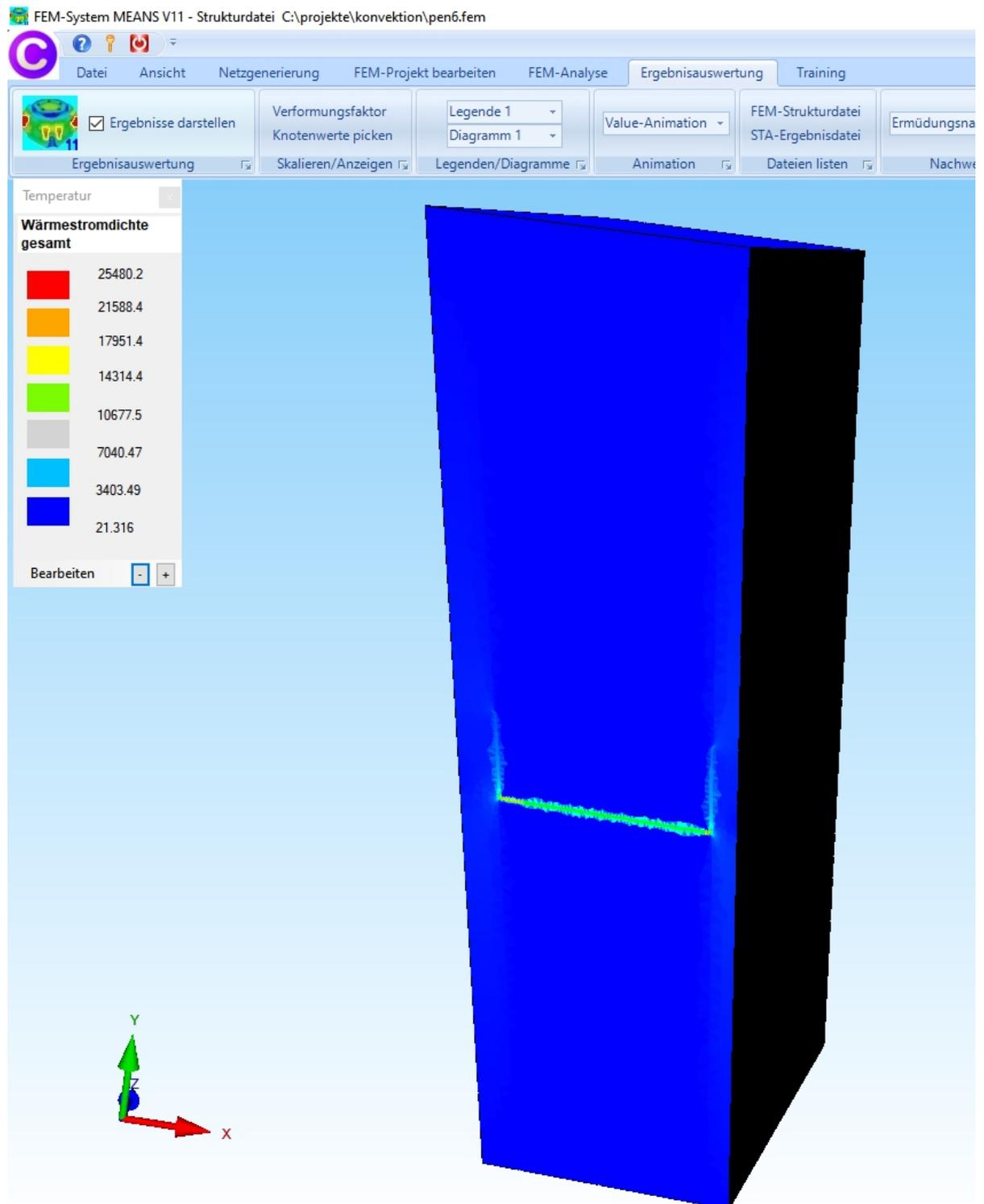
Max. Temperatur = 2.9 °C

Min. Temperatur = -13.2 °C



Wärmestromdichte

Mittlere Wärmestromdichte = $10580 \text{ W/m}^2 = 10.5 \text{ kW/m}^2$



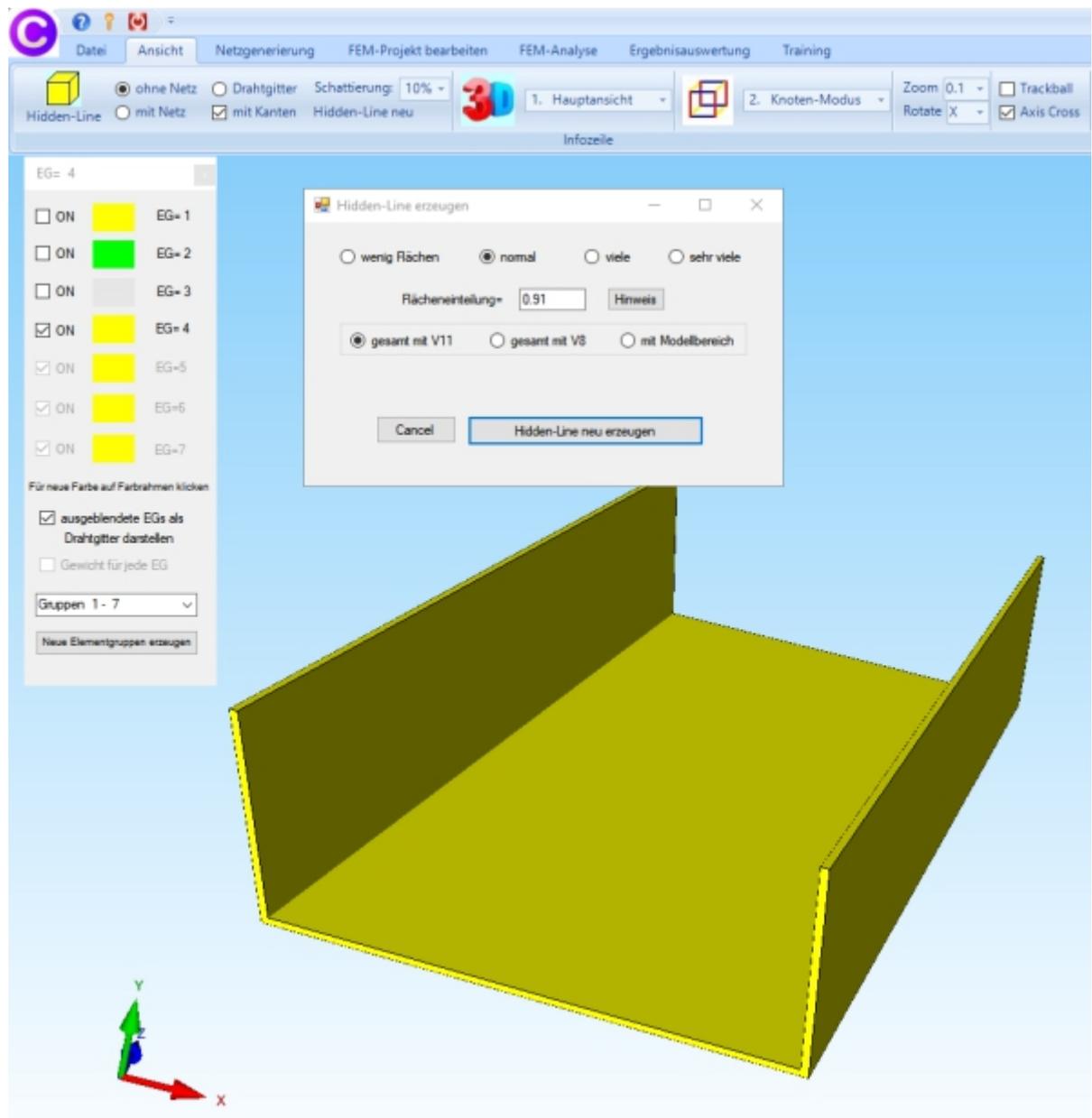
3D-Wärmequelle

Nun wird mit MEANS V12 noch eine Wärmequelle-Simulation durchgeführt die mit einem 2D-Programm nicht möglich ist.

Welche Temperatur stellt sich an der Außenverglasung ein wenn sich eine Wärmequelle von 0.1 W in der Mitte des Abstandhalters befindet.

Abstandhalter einblenden

Wählen Sie das Register “FEM-Projekt bearbeiten” und “Elementgruppen” und aktivieren nur die Elementgruppe 4 damit der Abstandhalter alleine eingeblendet wird. Mit Register “Ansicht” und “Hidden-Line neu” den Hidden-Line neu berechnen.

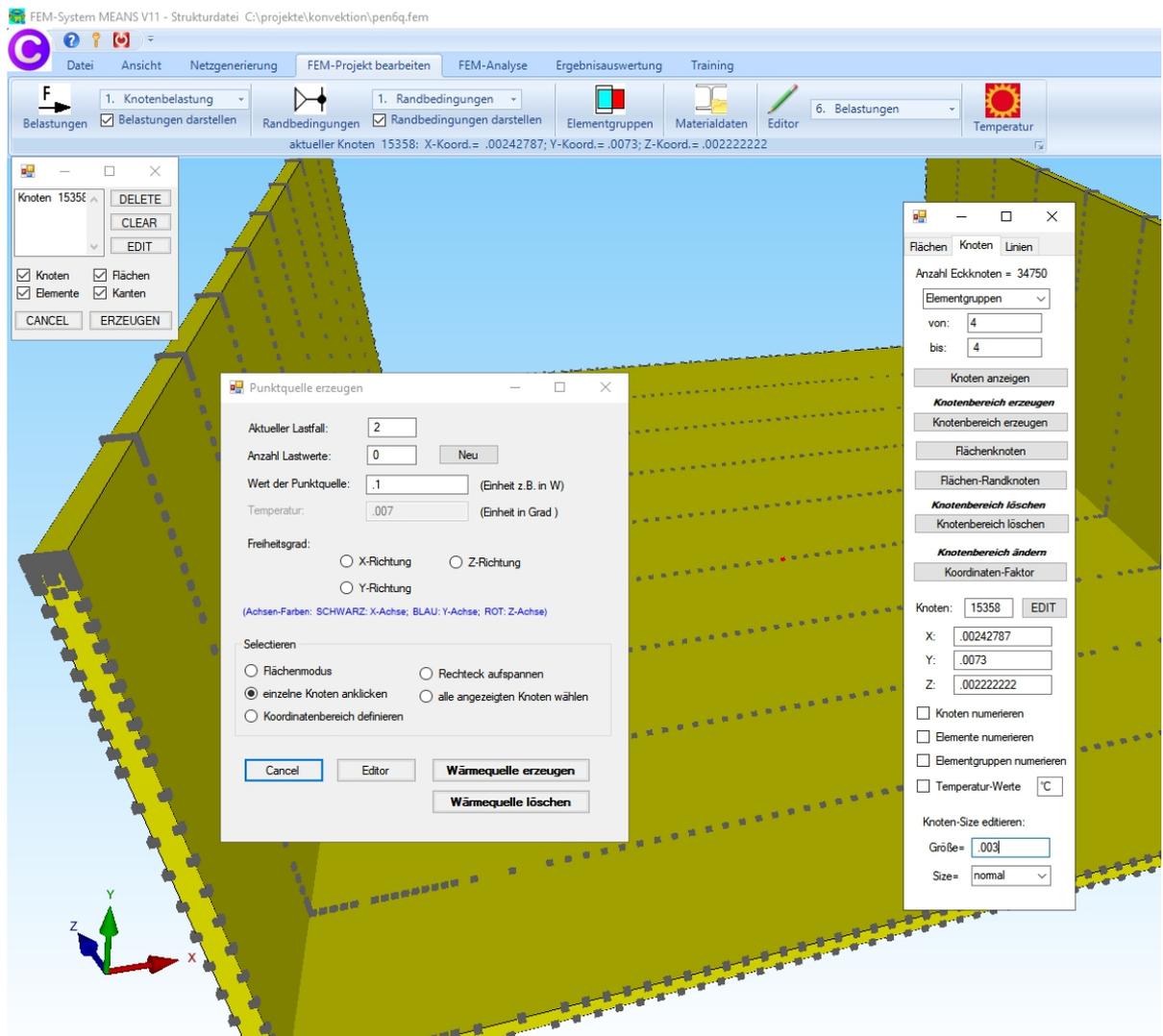


Knotenbereich erzeugen

Jetzt erzeugen Sie eine Punktquelle von 0.1 W in der Mitte des Stahleisens wie folgt:

Im Knoten-Modus einen selektierbaren Knotenbereich der Elementgruppe 4 erzeugen.

Mit dem Icon  das Menü "Punktquelle an Knoten Lasttyp 2 in Watt" wählen und mit Lastfall 2 und dem Wert = 0.1 und der Selektion "einzelne Knoten anklicken" den Knoten 15358 doppelt anklicken damit er in der Selektbox angezeigt wird, dort mit "Erzeugen" die Punktquelle erzeugen.



Dannach eine neue FEM-Analyse durchführen und die neue Temperaturverteilung mit der Elementgruppe 1 und 4 darstellen.

Temperaturverteilung mit Elementgruppe 1 und 4

