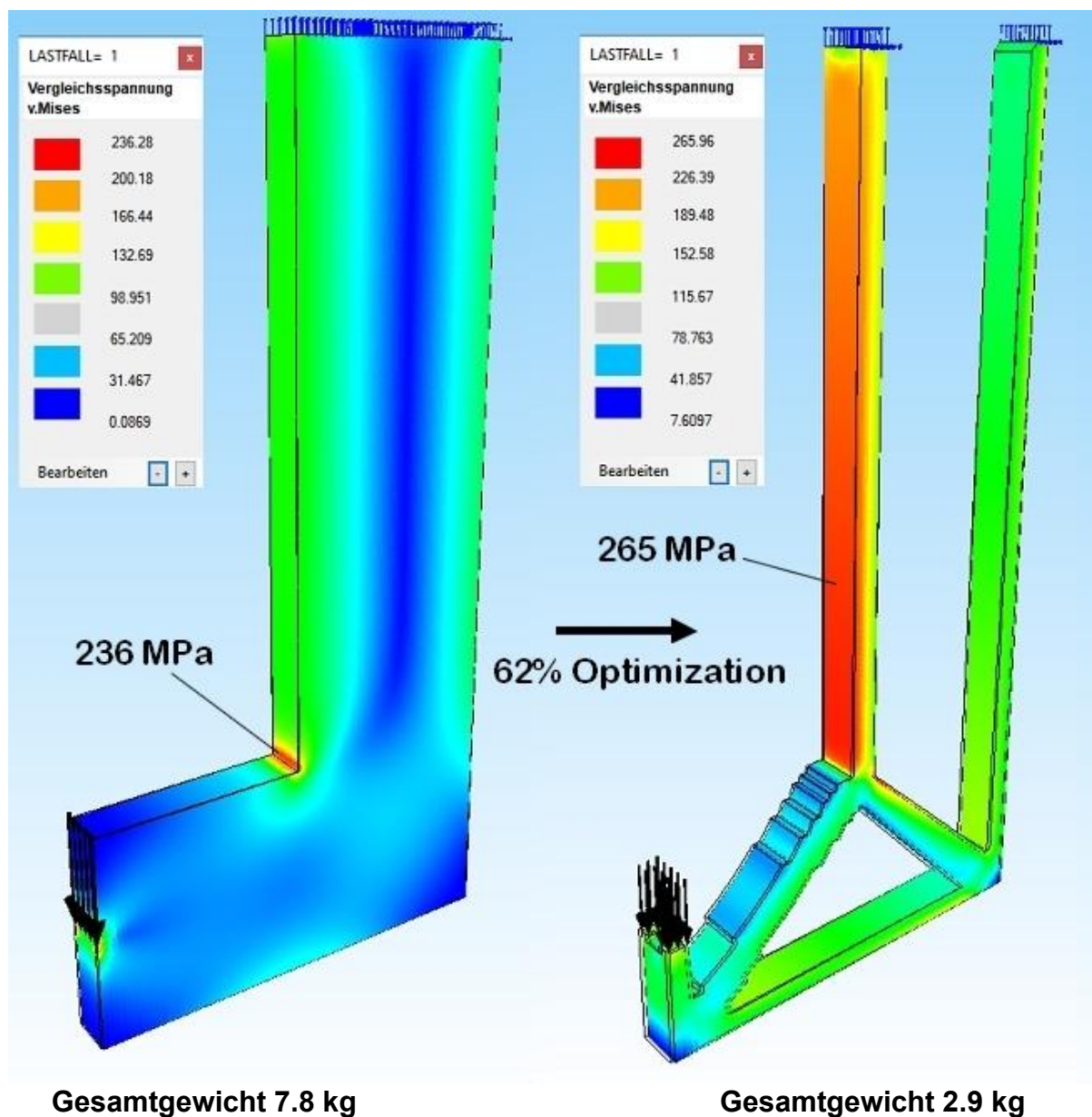


Kapitel 41 - Form- und Designoptimierung mit MEANS V14

Ab FEM-System MEANS V14 wird das neue Zusatzmodul FORMOPTIMIZATION angeboten (siehe www.femcad.de). Mit dieser Erweiterung können 3D-Bauteile bis zu 80 % optimiert werden. Allerdings dürfen die Materialeinsparungen nicht zu Sicherheit- und Qualitätsverlusten führen. Darum ist es wichtig Designvorschläge nachzurechnen ob sie noch allen Anforderungen hinsichtlich der Festigkeit erfüllen.

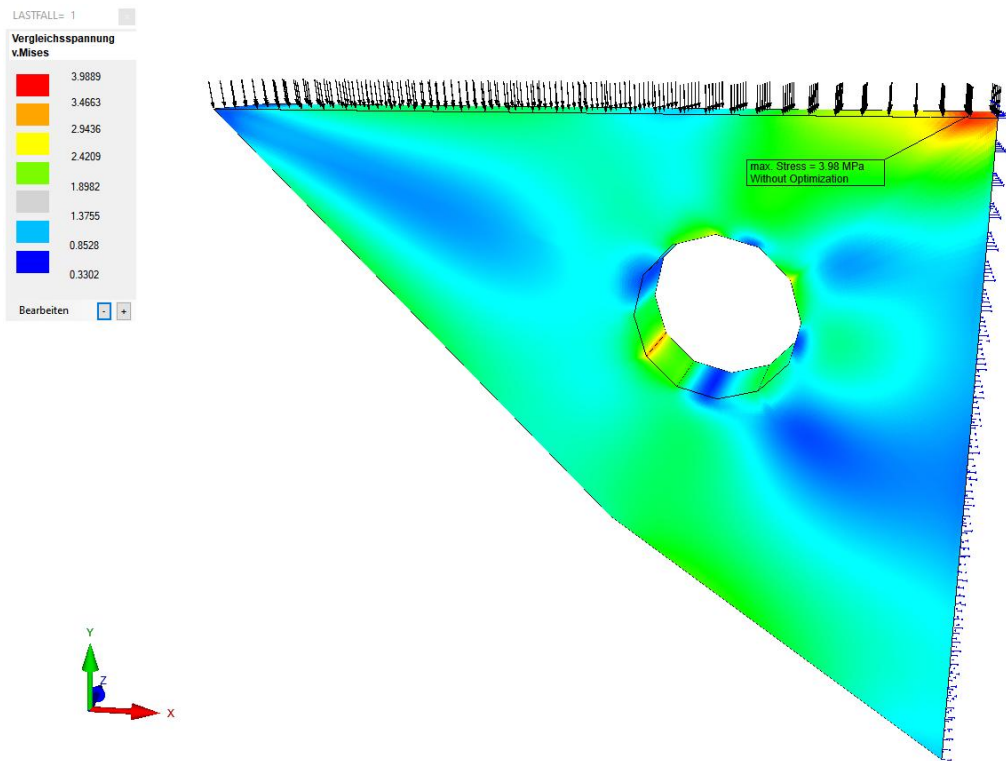
Beispiel 1: Rechteckbox optimieren

Folgende 3D-Rechteckbox konnte um 62% bei fast gleichbleibender Festigkeit optimiert werden:

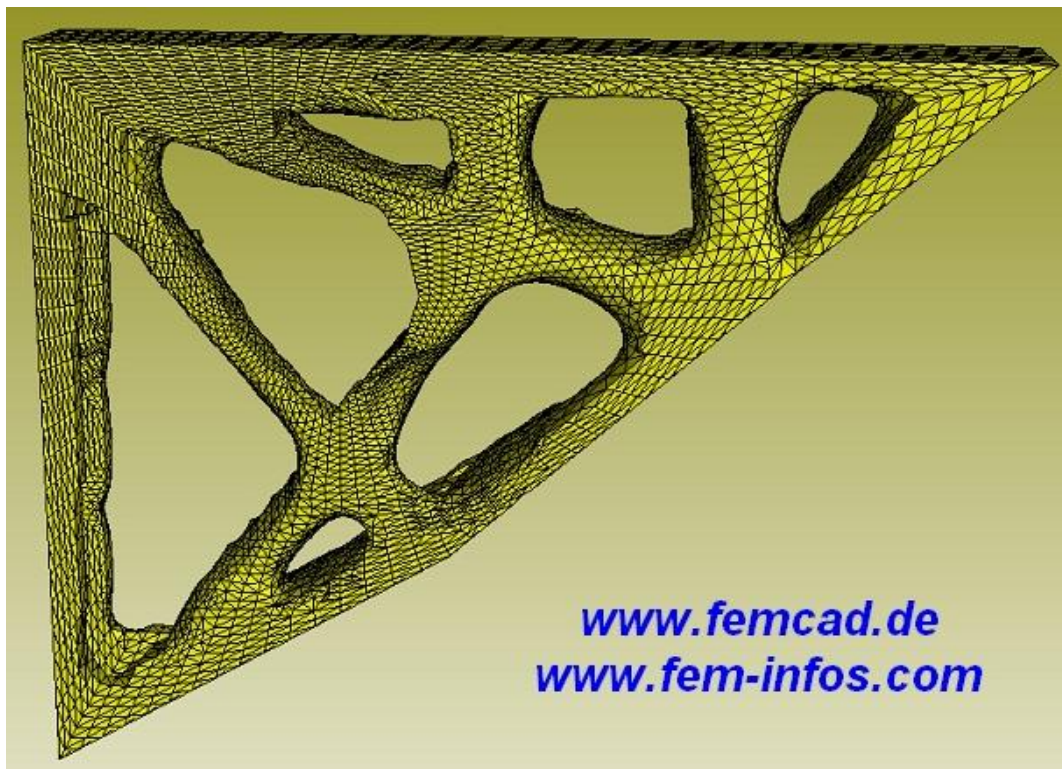


Beispiel 2: Lasche optimieren

Folgende Lasche mit einer Bohrung soll ohne größeren Festigkeitsverlust optimiert werden

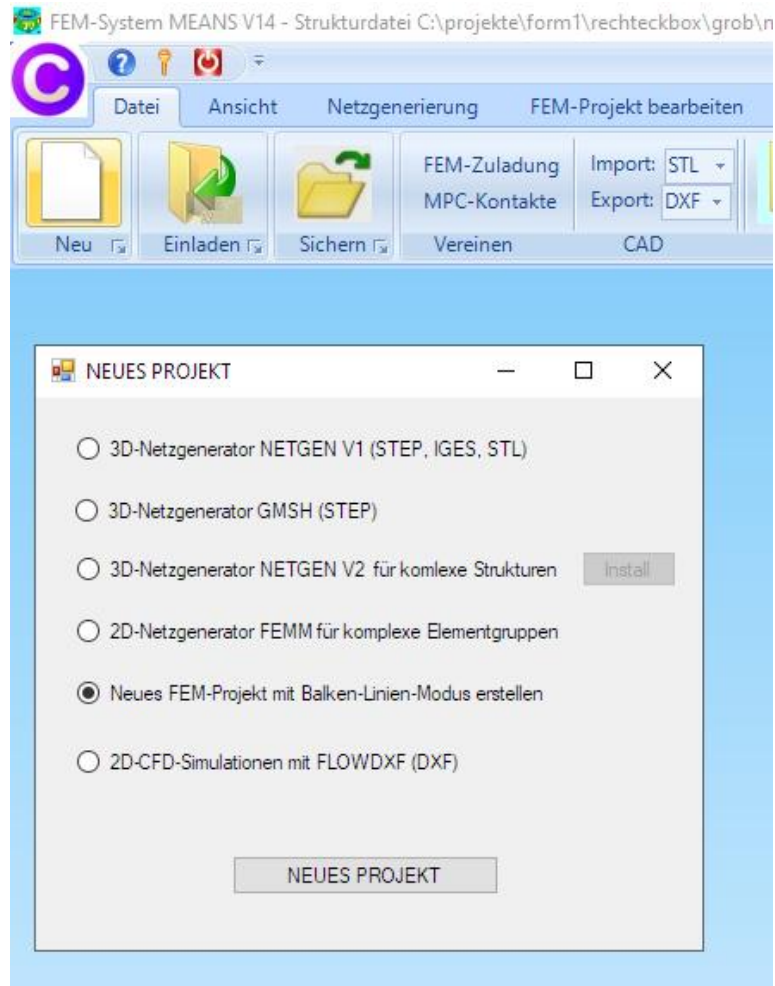


Hier ist ein um 52% optimiertes Endmodell zu sehen das nachträglich mit dem STL-Bearbeitungsprogramm Meshmixer geglättet und wieder in MEANS importiert wurde, allerdings kann es dannach nicht mehr berechnet werden.



BEAM-Linienmodell erzeugen

Wählen Sie Register „Neu“ und Menü „Neues FEM-Projekt mit Balken-Linien-Modus erstellen“



Linienmodell mit Linien erzeugen

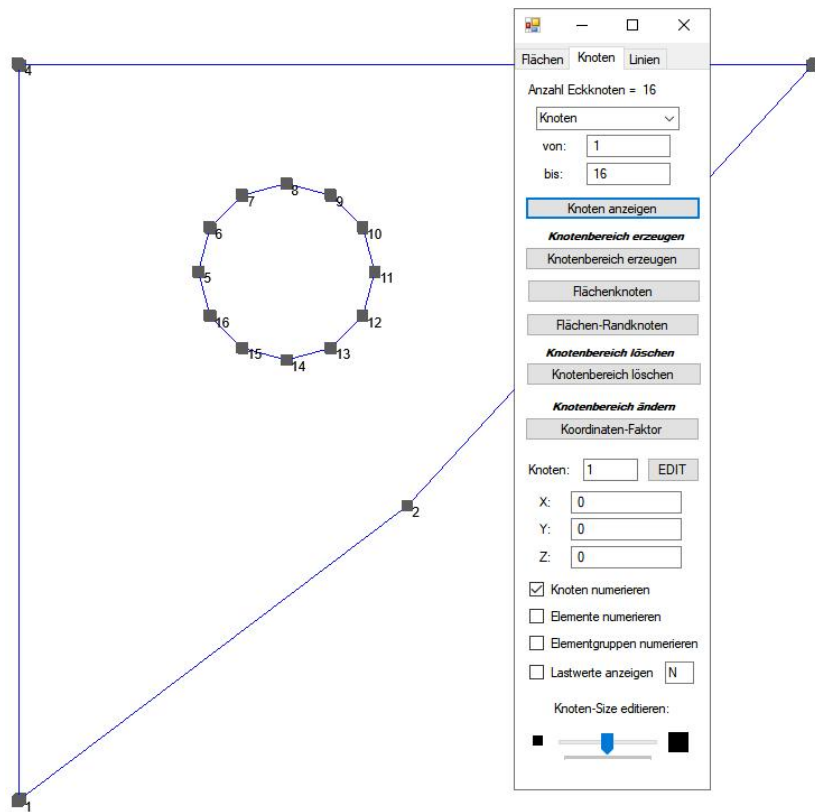
Wählen Sie zuerst „Neu“ um den Knotenpunkt zu erhöhen und mit Seitenmenü „Einzelknoten erzeugen“ werden 4 Knotenpunkte erzeugt:

Punkt 1 (0 / 0 / 0)
Punkt 2 (66 / 50 / 0)
Punkt 3 (135 / 125 / 0)
Punkt 4 (0 / 125 / 0)

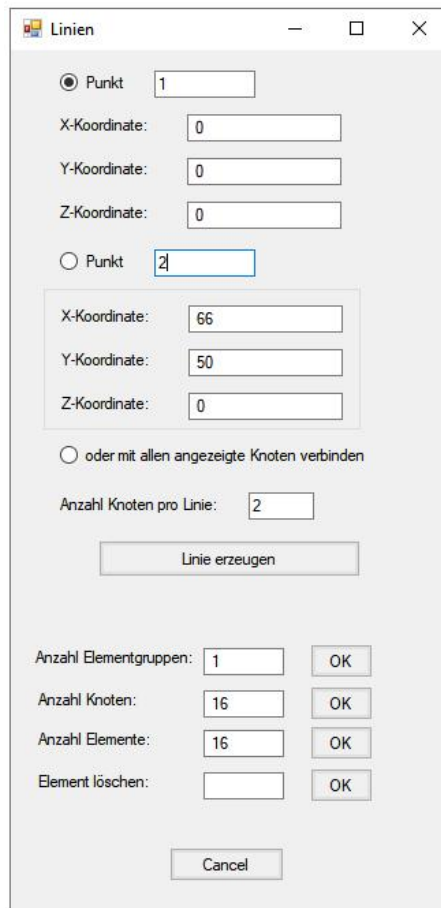
und erzeugen mit Menü „Linien erzeugen“ die 4 Linien:

1 Linie 1 - 2
2 Linie 2 - 3
3 Linie 3 - 4
4 Linie 4 - 1

sowie einen Kreis mit Menü „Rechteck/Kreis“ mit Mittelpunkt (45 / 90 / 0),
Radius: 15 mm und Rasterung: 12

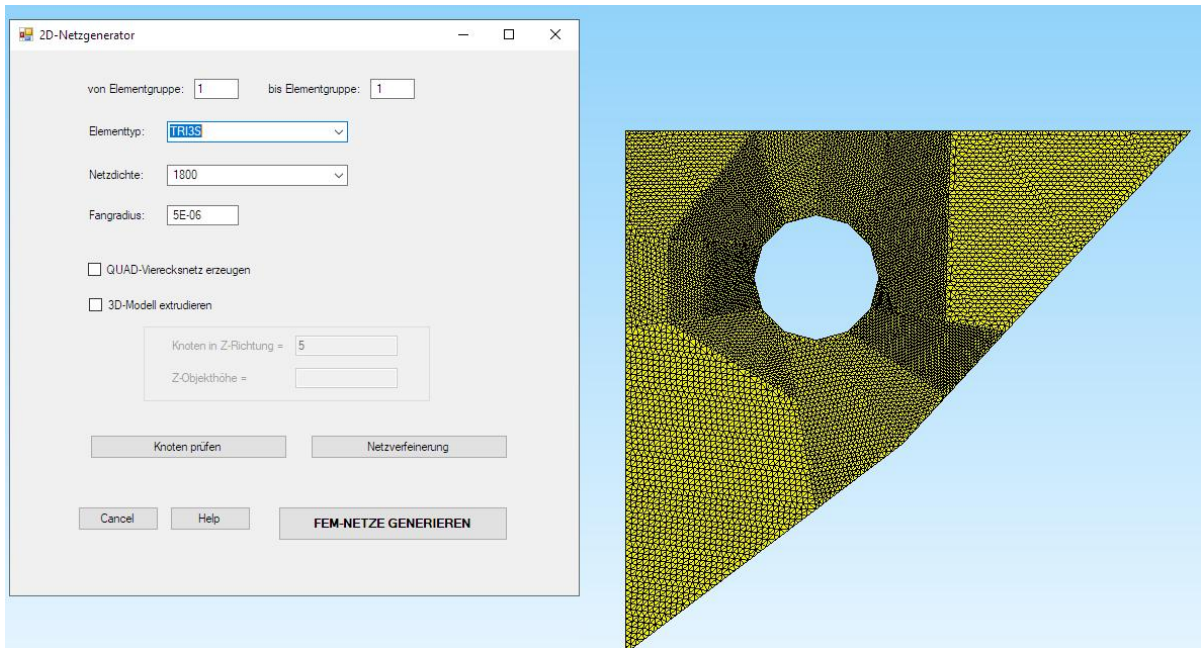


Im Knoten-Modus können mit Menü „Edit“ Knotenkoordinaten schnell editiert werden und im Linien-Modus können mit „Linien erzeugen“ die Anzahl Knoten oder Elemente editiert werden.



Dreiecks-Netzgenerator

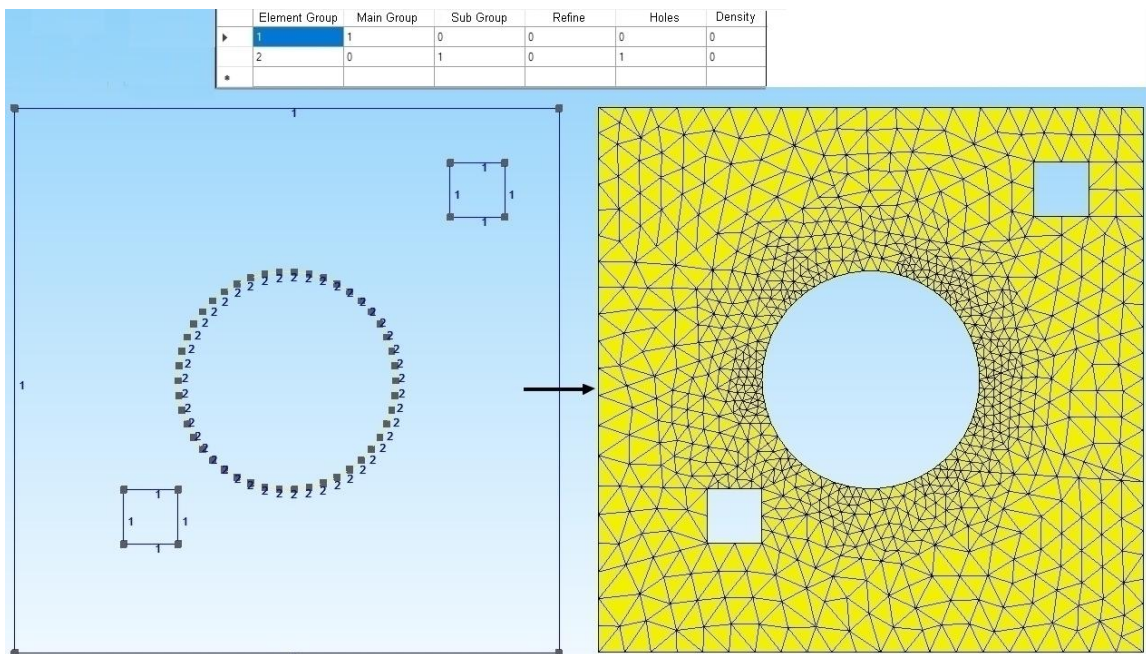
Wählen Sie Menü „2D-Netzgenerator“ und vernetzen das Linienmodell mit einer Netzdichte von „1800“. Man erhält ein unstrukturiertes Dreiecksnetz mit 17 975 TRI3S-Scheibenelementen und 9247 Knotenpunkten.

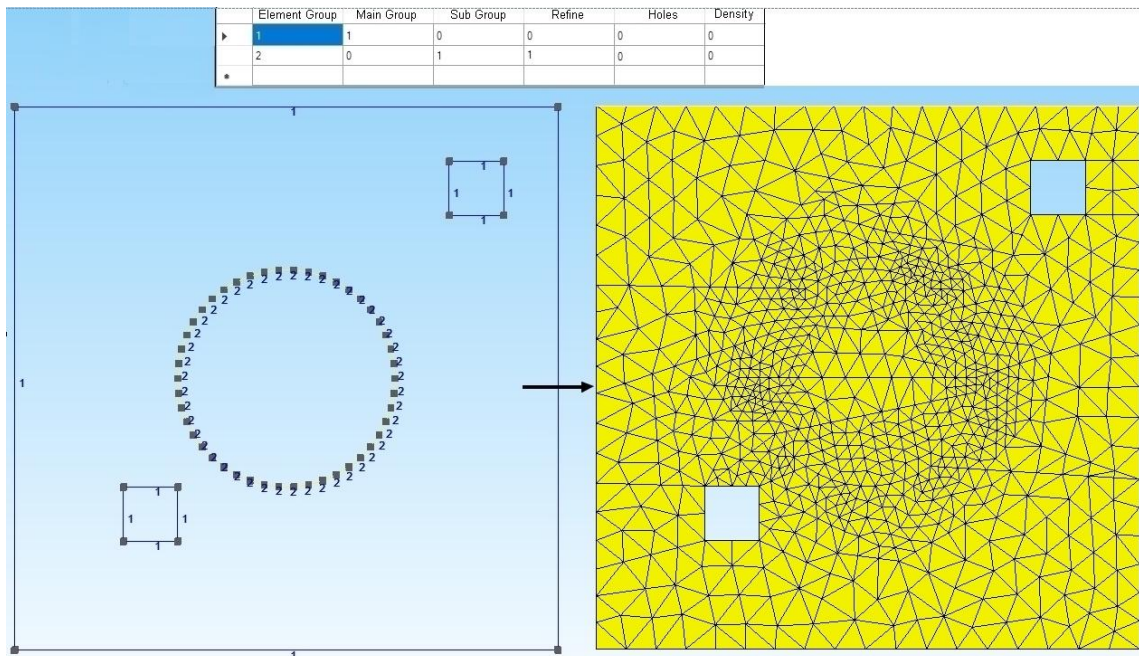


Sollte der Kreis zur Elementgruppe 2 gehören dann kann vorher mit dem Menü „Netzverfeinerung“ der Kreis als „Subgroup“ und „Holes“ definiert werden.

Sehr wichtig ist die Vermeidung von doppelten überlagerten Knotenpunkten die man nur mit einer Netz-Überprüfung und einem Fangradius finden und löschen kann.

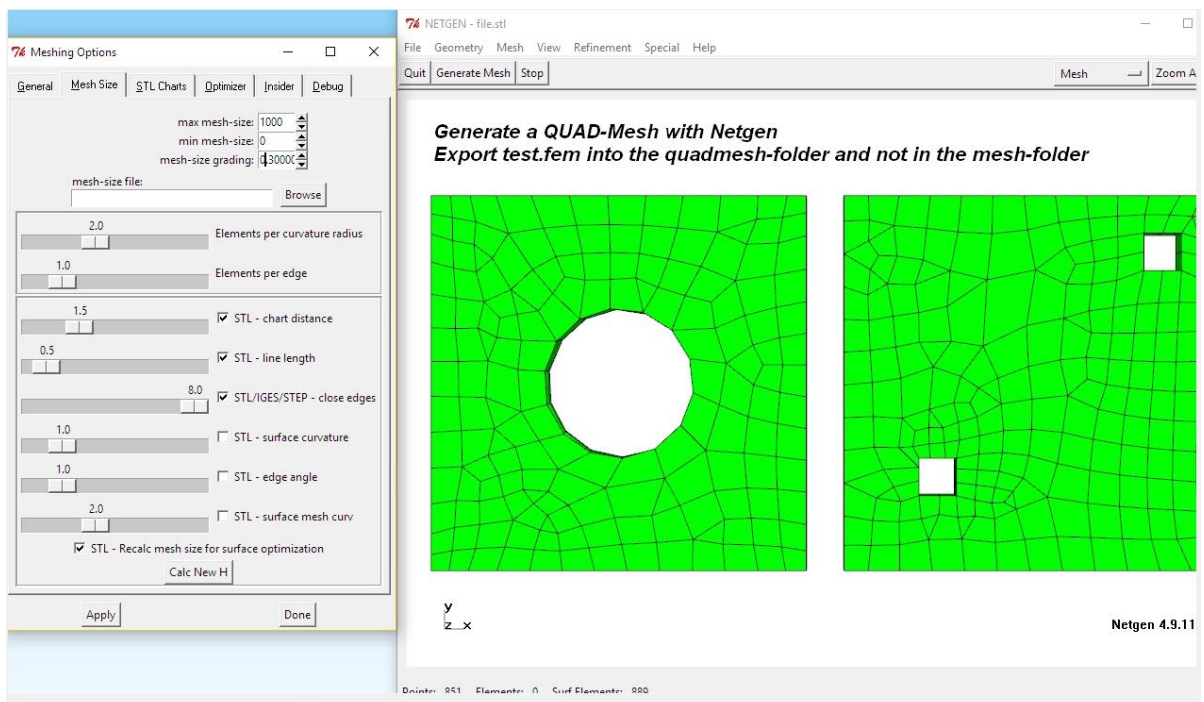
Siehe dazu auch das Menü „Help“ für weitere Netztypen-Settings:





Vierecke mit Netgen erzeugen

Vierecks-Netze lassen sich auch aus einer Dreiecks-Netz-Vorlage mit NETGEN generieren. Zu beachten ist das „test.fem“ in den „Quadmesh-Ordner“ statt den „Mesh-Ordner“ exportiert werden muss.



Vierecks-Netzgenerator

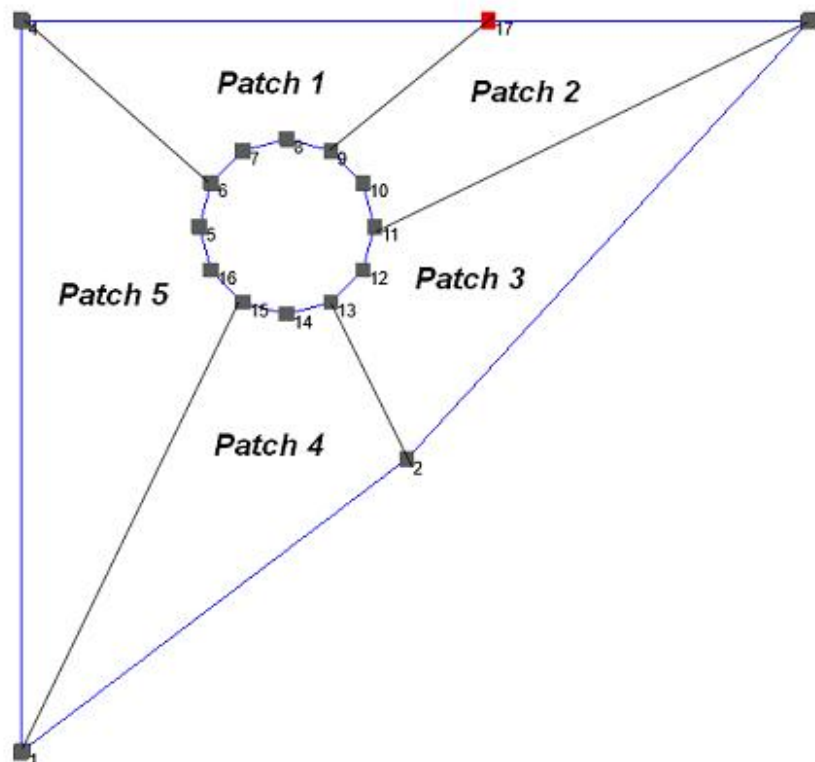
Ab MEANS V14 steht auch ein effizienter 3D-Netzgitter-Netzgenerator für Vierecke zur Verfügung. Hier muss aber zuerst die Geometrie in kleinere Regionen bzw. Patches zerlegt werden wobei auch gekrümmte Kanten generiert werden können. Das strukturierte Vierecks-Netz ist aufwändiger aber genauer als ein Dreiecks-Netz.

Knoten 17 erzeugen

Für eine höhere Netzqualität wird die obere Kante halbiert. Fügen Sie darum einen weiteren Knotenpunkt 17 mit den Koordinaten $x = 80$ und $y = 125$ ein.

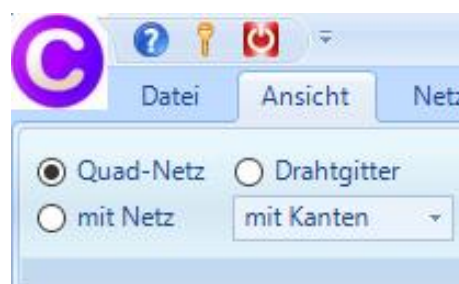
Geometrie in 5 Patches zerlegen

Wählen Sie für jede Patch-Vernetzung das Linien-Menü „3D-Netzgitter“ um die Eckknoten sowie die Anzahl der Knoten in x- und y-Richtung zu definieren.



Patches überprüfen

Nach jeder Patch-Vernetzung sind die Kanten des neuen QUAD-Netzes zu prüfen. Mit Wechseln im Register Ansicht von Menü „mit Netz“ auf „QUAD-Netz“ oder „Rendering“ können die Kanten und der Hidden-Line überprüft werden. So stimmt etwas mit dem Netz nicht, wenn im Hidden-Line unverbundene Linien zu sehen sind.

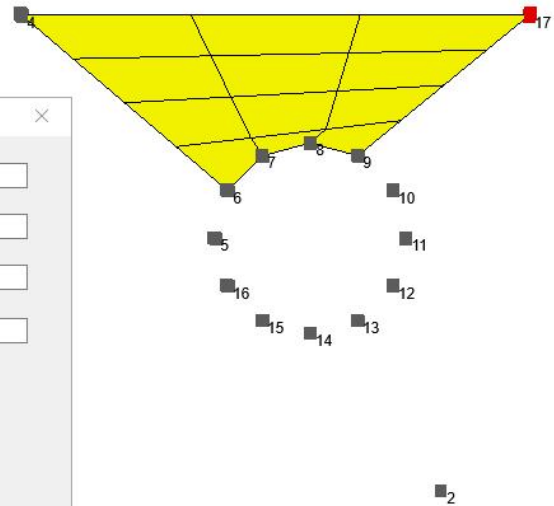
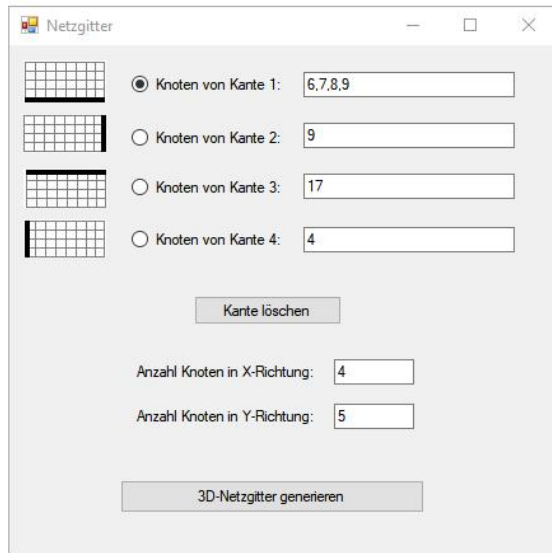


Patch 1 erzeugen

Kante 1: 6, 7, 8, 9 Kante 2: 9 Kante 3: 17 Kante 4: 4

Anzahl Knoten in x-Richtung = 4

Anzahl Knoten in y-Richtung = 5

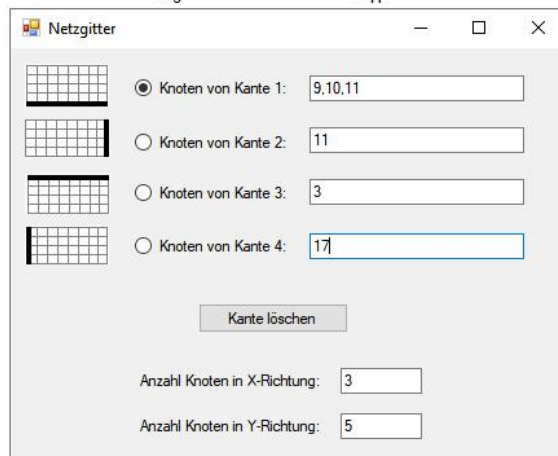
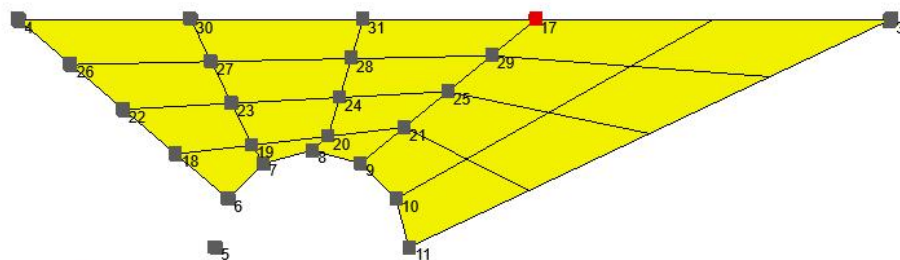


Patch 2 erzeugen

Kante 1: 9, 10, 11 Kante 2: 11 Kante 3: 3 Kante 4: 17

Anzahl Knoten in x-Richtung = 3

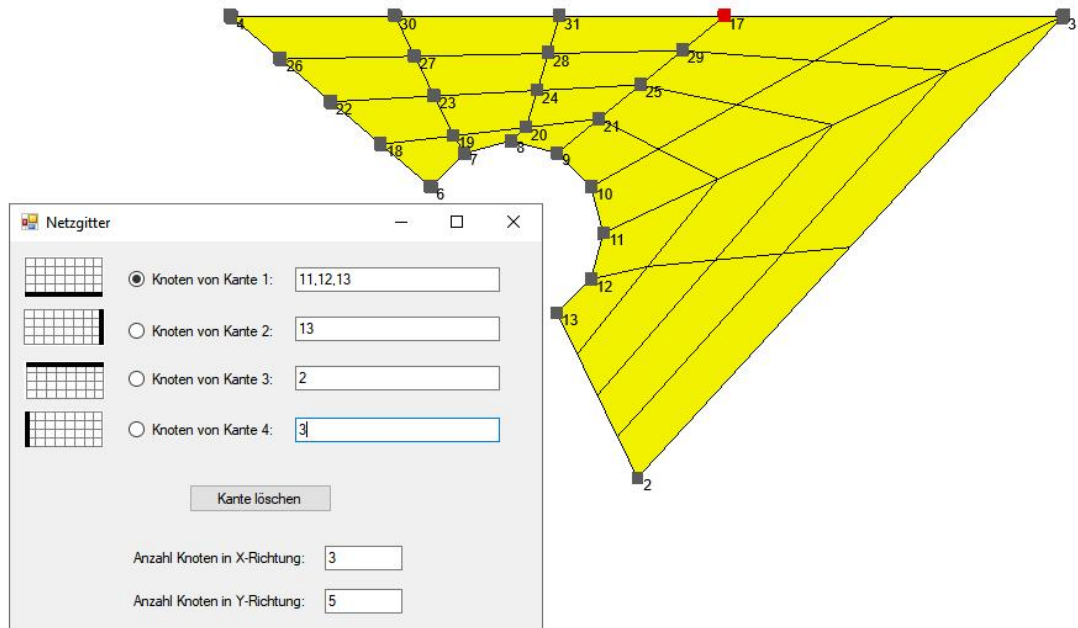
Anzahl Knoten in y-Richtung = 5



Patch 3 erzeugen

Kante 1: 11, 12, 13 Kante 2: 13 Kante 3: 2 Kante 4: 3

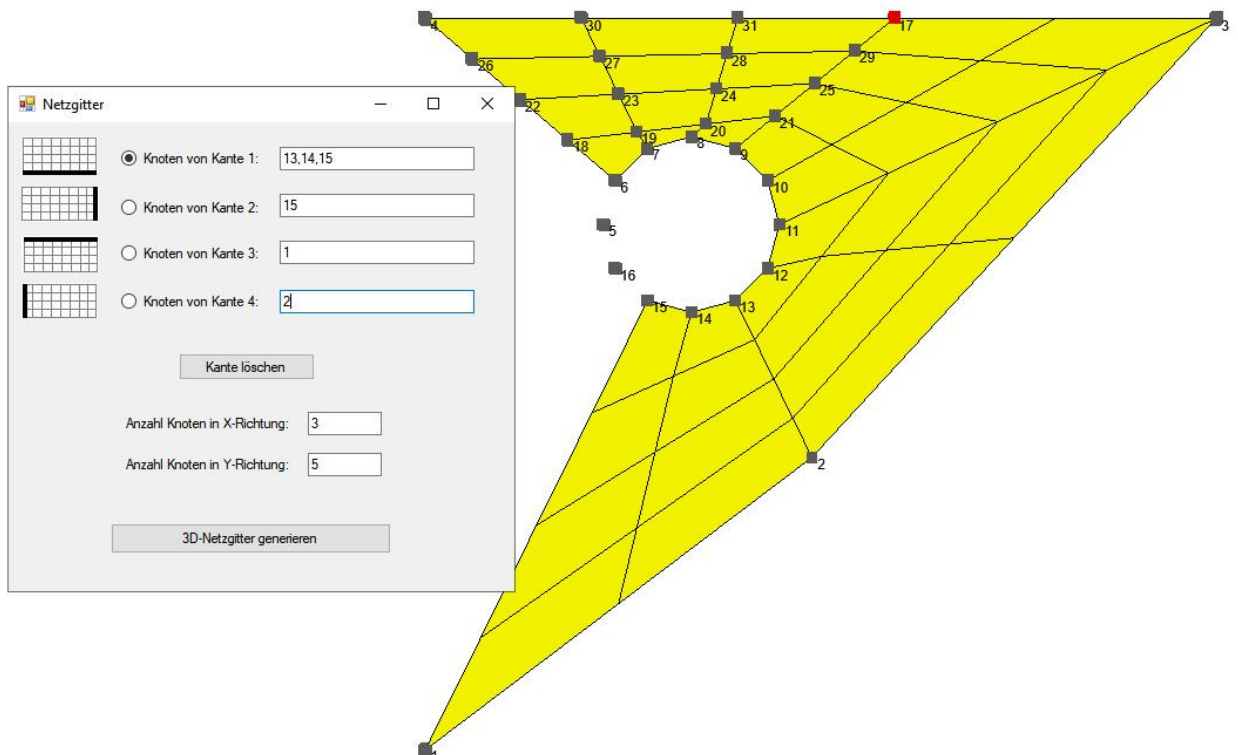
Anzahl Knoten in x-Richtung = 3
 Anzahl Knoten in y-Richtung = 5



Patch 4 erzeugen

Kante 1: 13, 14, 15 Kante 2: 15 Kante 3: 1 Kante 4: 2

Anzahl Knoten in x-Richtung = 3
 Anzahl Knoten in y-Richtung = 5

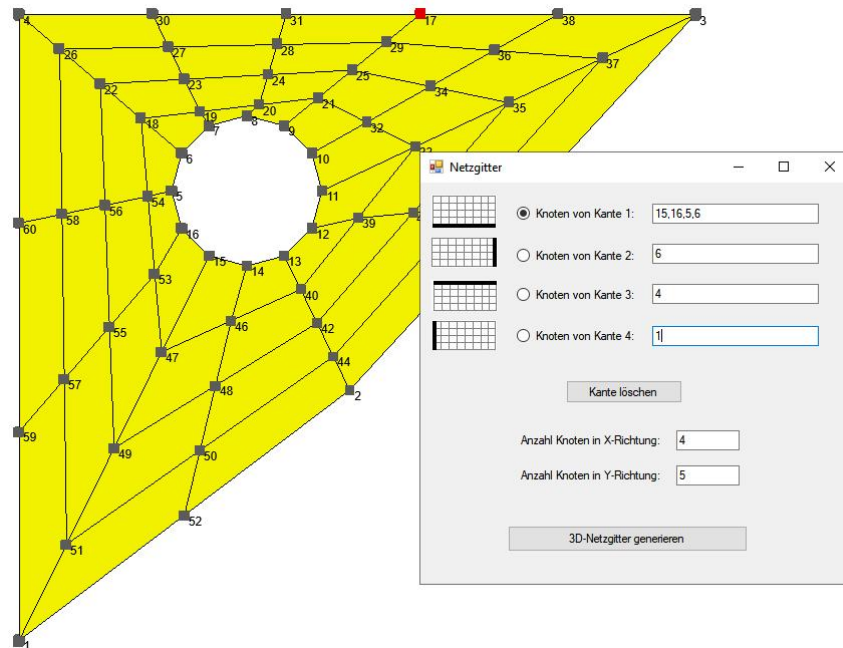


Patch 5 erzeugen

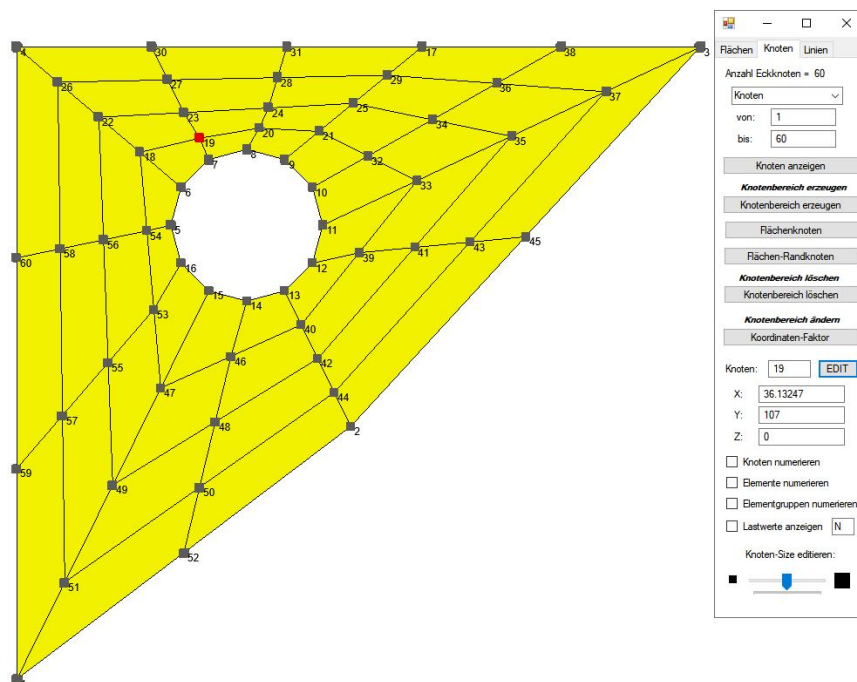
Kante 1: 15, 16, 5, 6 Kante 2: 6 Kante 3: 4 Kante 4: 1

Anzahl Knoten in x-Richtung = 4

Anzahl Knoten in y-Richtung = 5



Zum Schluß müssen die Knoten 19 und 20 mit dem Knoten-Menü „Edit“ um 2 mm in Y-Richtung versetzt werden damit nach der folgenden Netzverfeinerung keine numerisch instabilen Hexaeder-Elemente auftreten.

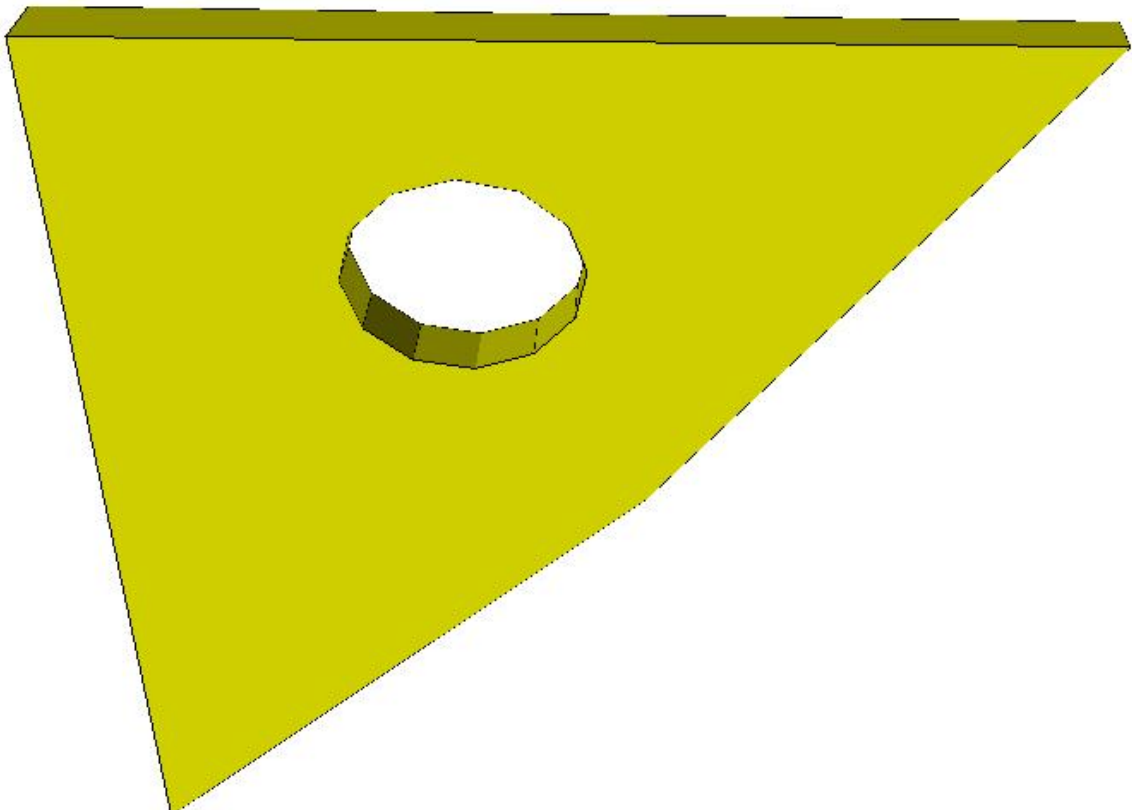
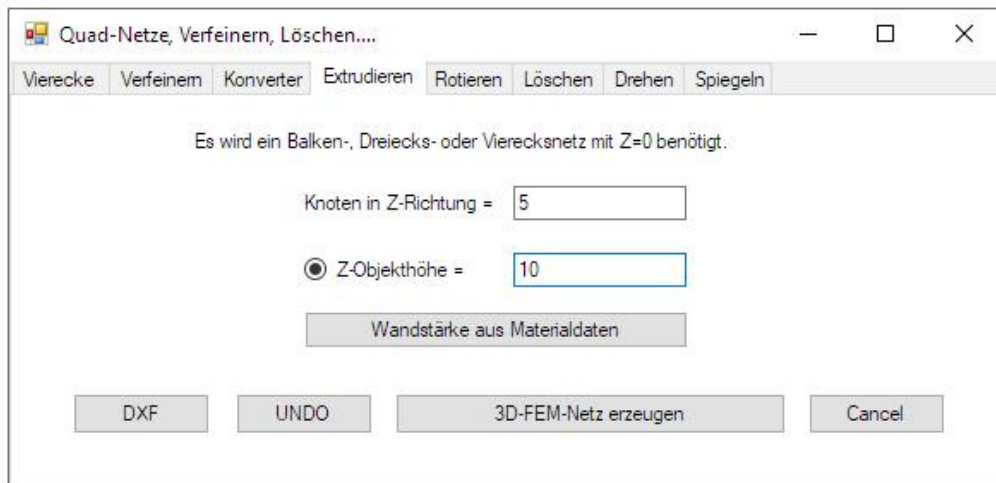
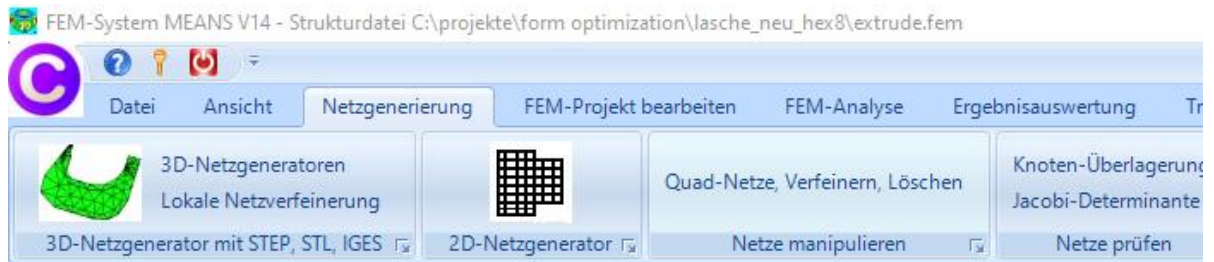


Knoten prüfen

Nach den 5 Patch-Generierungen erhält man ein QUA4S-Netz aus 60 Knoten und 64 Elementen. Es folgt aber noch eine Knotenüberprüfung mit dem Linien-Menü „Knoten prüfen“ und man erhält dannach ein Netz mit 60 Knoten und 48 Elementen.

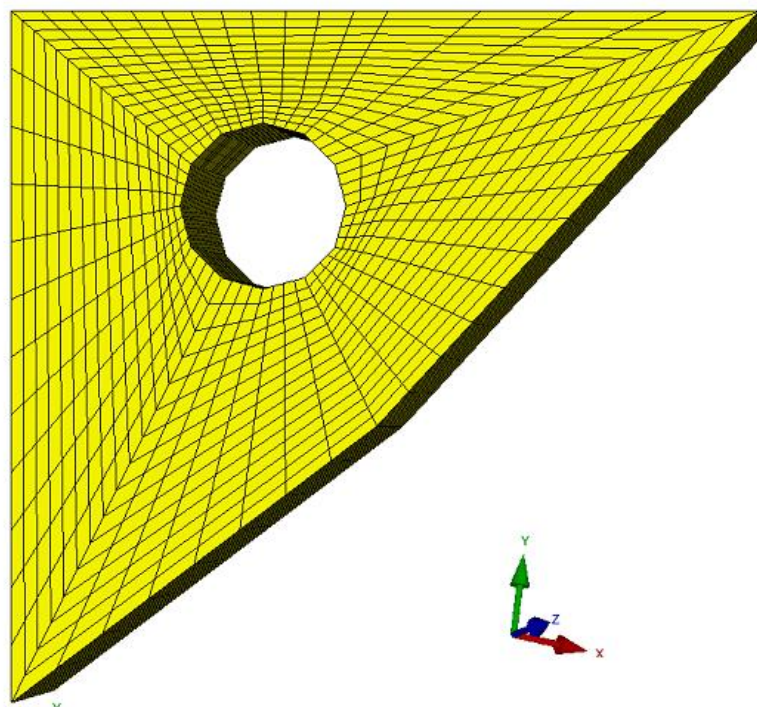
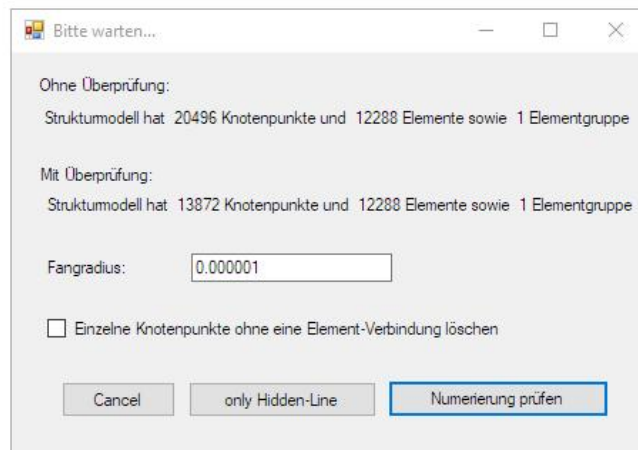
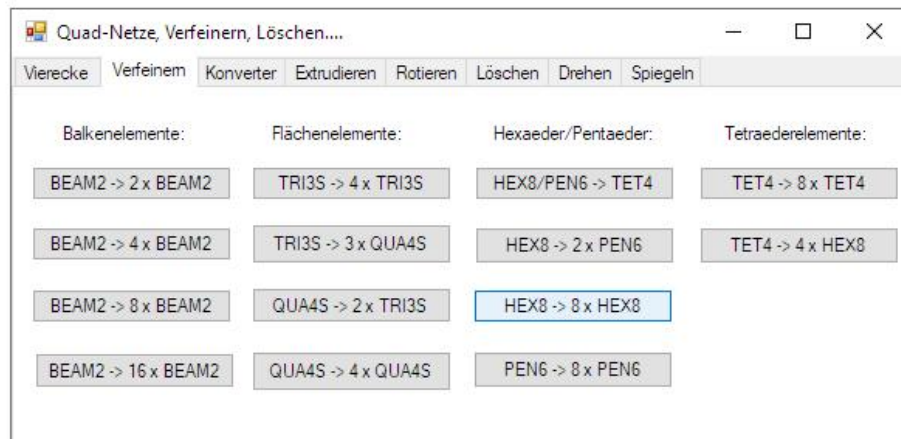
QUA4S-HEX8 Extrudierung

Wählen Sie das Register „Netzgenerierung“ sowie Menü „Quad-Netze, Verfeinern, Löschen“ und das Dialogbox-Register „Extrudieren“ um das QUA4S-Netz mit einer Z-Höhe von 10 mm und einer Anzahl Knotenpunkte in Z-Richtung = 5 zu einem groben 3D-Modell mit 192 Knoten und 192 HEX8-Volumenelementen zu extrudieren.



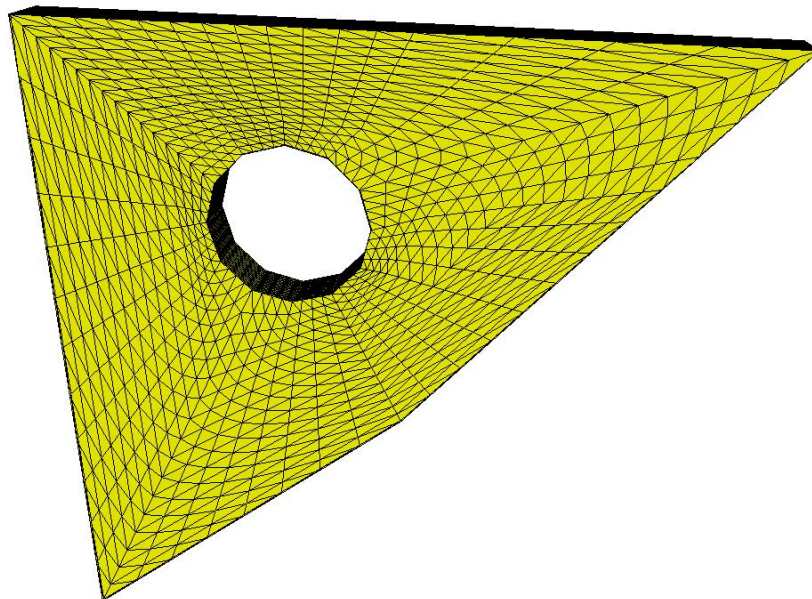
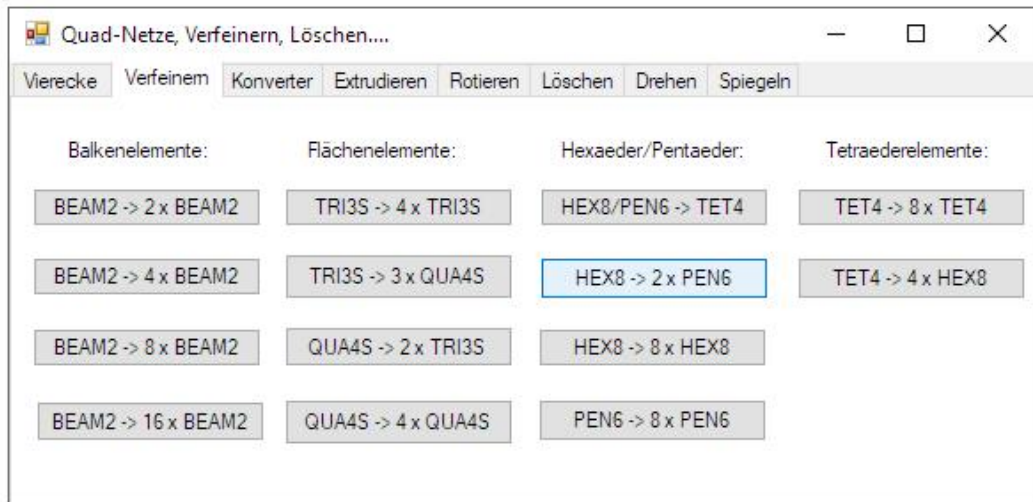
HEX8 - 16x16 Netzverfeinerung

Wählen Sie wieder in der gleichen Dialogbox Register „Verfeinern“ sowie zweimal das Menü „HEX8 -> 8x HEX8“ um eine 16x16 Netzverfeinerung durchzuführen. Man erhält dannach ein FEM-Modell mit 13 872 Knoten und 12 288 HEX8-Elementen.



HEX8 - 2xPEN6 Konvertierung

Wählen Sie wieder Register „Verfeinern“ sowie Menü „HEX8 -> 2x PEN6“ um das HEX8-Netz auf 24 576 PEN6-Elementen und 13872 Knoten weiter zu verfeinern.




PEN6 - TET4 Konvertierung

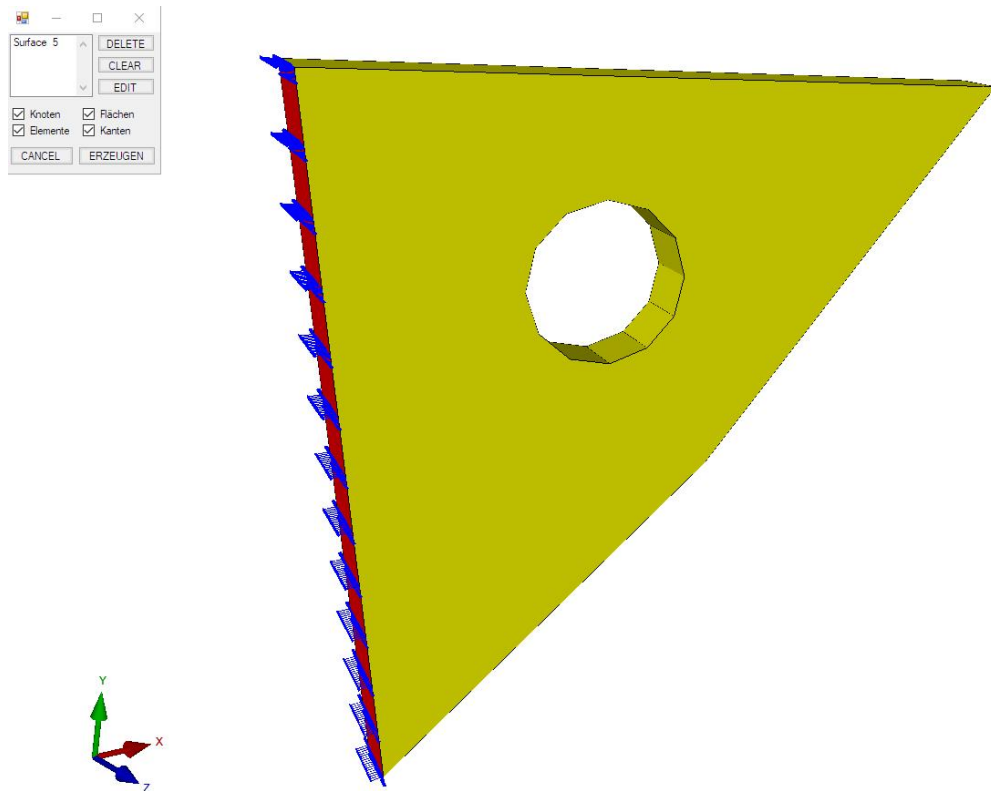
Um die Formoptimierung auch mit TET4- oder TET10-Tetraedern durchführen zu können wählen Sie Register „Datei“ sowie Menü „STL-ASCII (for NETGEN)“ und exportieren die Hülle in eine STL-Datei die sich mit dem 3D-Netzgenerator NETGEN wie mit einer STEP-Datei vernetzen läßt. Man könnte aber auch die STL-Datei wieder reimportieren und mit SHEL4-Schalen nur die Wände optimieren.



Einspannung

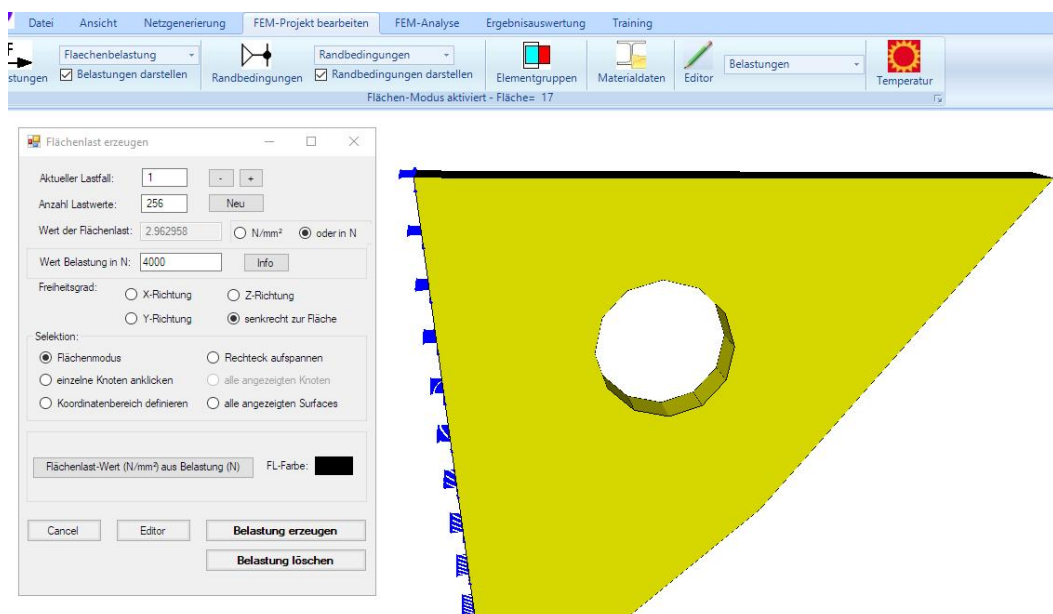
Die Lasche wird seitlich fest eingespannt. Damit die Surface 5 selektiert werden kann muß zuerst das Flächenmodell im Flächen-Modus erzeugt werden.

Wählen Sie das Register „FEM-Projekt bearbeiten“ sowie das Icon  und „Einspannung“ und klicken auf die „Surface 5“ und auf „Erzeugen“ in der Selectbox.



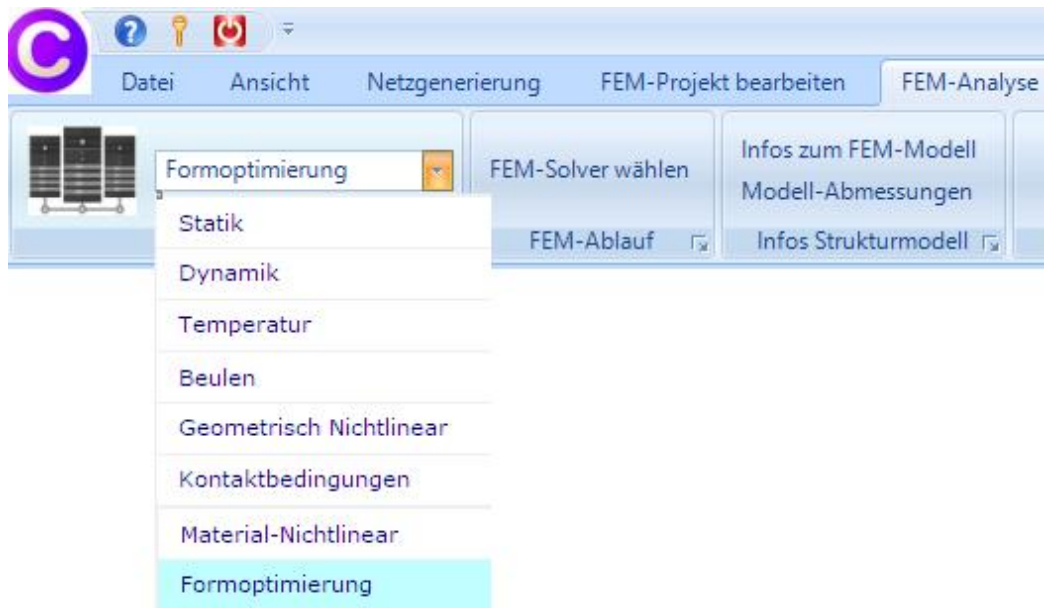
Belastung

Die Lasche wird oben mit einer Flächenbelastung von 4000 N senkrecht zur Fläche belastet. Wählen Sie Register „FEM-Projekt bearbeiten“ und „Flächenlastung“ und klicken auf die „Surface 17“ um die Flächenlast zu erzeugen.



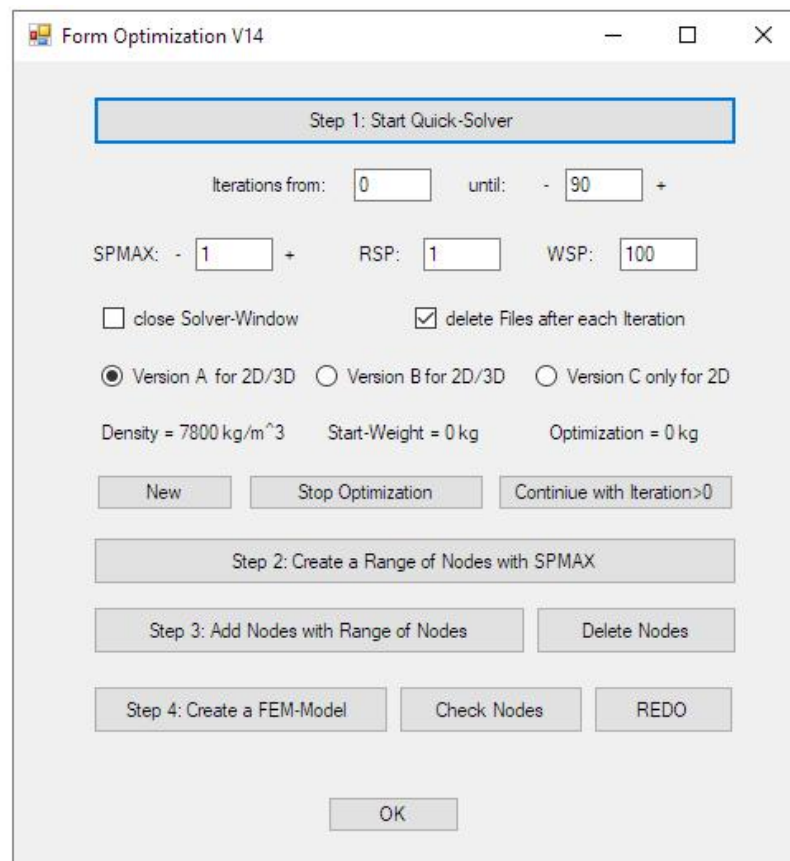
FEM-Analyse Formoptimierung

Mit Register „FEM-Analyse“ und dem Dropdown-Menü „Formoptimierung“ wird die Hauptbox der Formoptimierung aufgerufen und in 4 Arbeitsschritten ausgeführt.



STEP 1

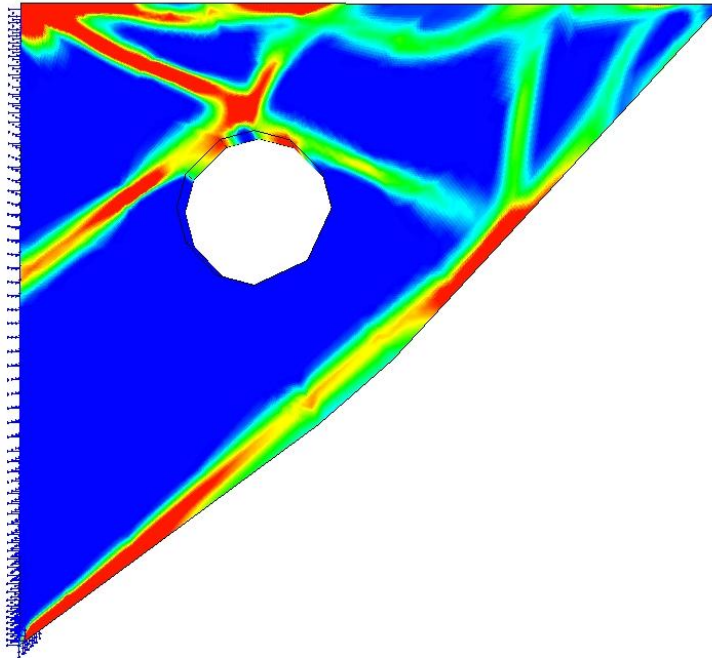
Es werden alle Voreinstellungen übernommen und mit „Step 1: Start Quick-Solver“ die Formoptimierung mit 90 Iterationen gestartet, die beliebig eingestellt werden



können. Der Quick-Solver führt in jeder Iteration eine lineare Statikberechnung durch. Nach dem Solver-Ende wird die Ergebnisdatei ausgewertet und die neue optimierte v.Mises-Spannungsverteilung dargestellt und wieder neu gestartet.

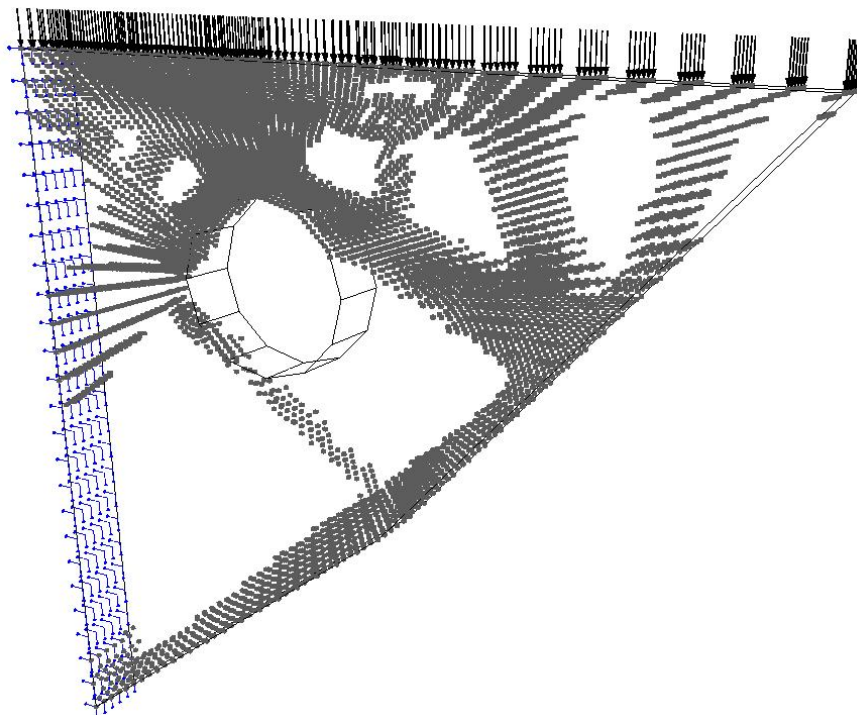
Optimierung beenden und fortsetzen

Die Optimierung kann mit Menü „Stop Optimization“ jederzeit beendet und wieder nach mehreren Tagen mit „Continue“ an der gleichen Stelle fortgesetzt werden.



STEP 2

Nach der Optimierung können mit Menü „Step 2: Create a Range of Nodes“ alle Spannungen die über SPMAX liegen mit einem Knotenbereich markiert werden.

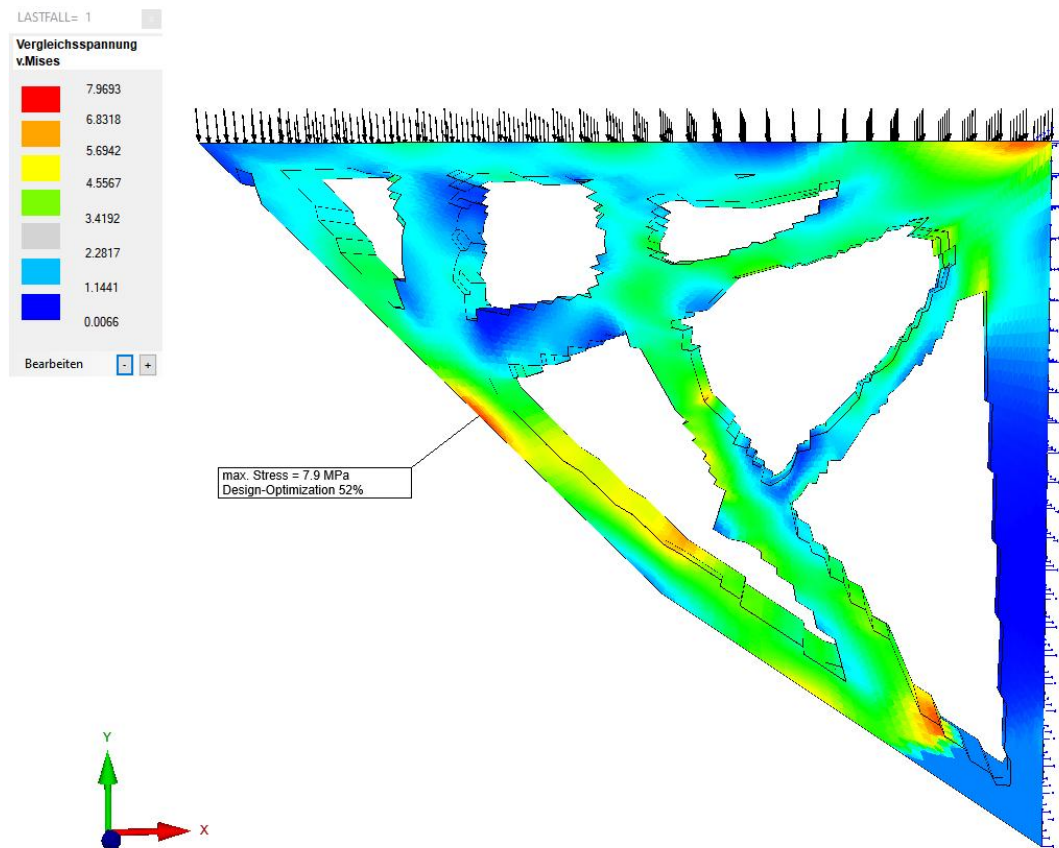


STEP 3

Der Knotenbereich kann mit weiteren Knotenpunkten erweitert werden oder es können Knotenpunkte gelöscht werden sodaß man einen optimalen Knotenbereich für das FEM-Modell erhält.

STEP 4

Hier kann der Knotenbereich in ein FEM-Modell umgewandelt werden das sofort berechnet werden kann.



Hier ist ein um 52% optimiertes Endmodell zu sehen. Die gezackten Kanten wurden nachträglich mit dem STL-Bearbeitungsprogramm Meshmixer geglättet und wieder in MEANS importiert allerdings kann es dannach nicht mehr berechnet werden.

