Studiengang Mechatronik

Modul 16:

FEM – Finite Elemente Methode

- 3. Übung -

Prof. Dr. Enno Wagner

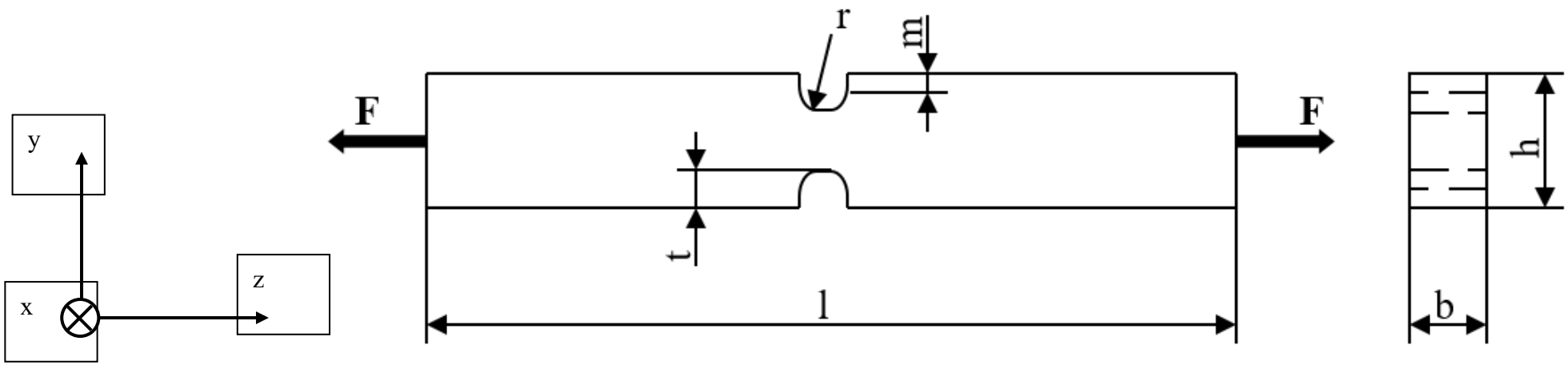
10. November 2025

Agenda

Übung 3

- Gekerbter Flachstab auf Zug belastet
- Variation des numerischen Verfahrens
  - Anzahl Elemente
  - Variation des Polynomgrades (AEK, AMK)
- Variation der Kerbe (rund und spitz)

Übung 3a: rund gekerbter Flachstab

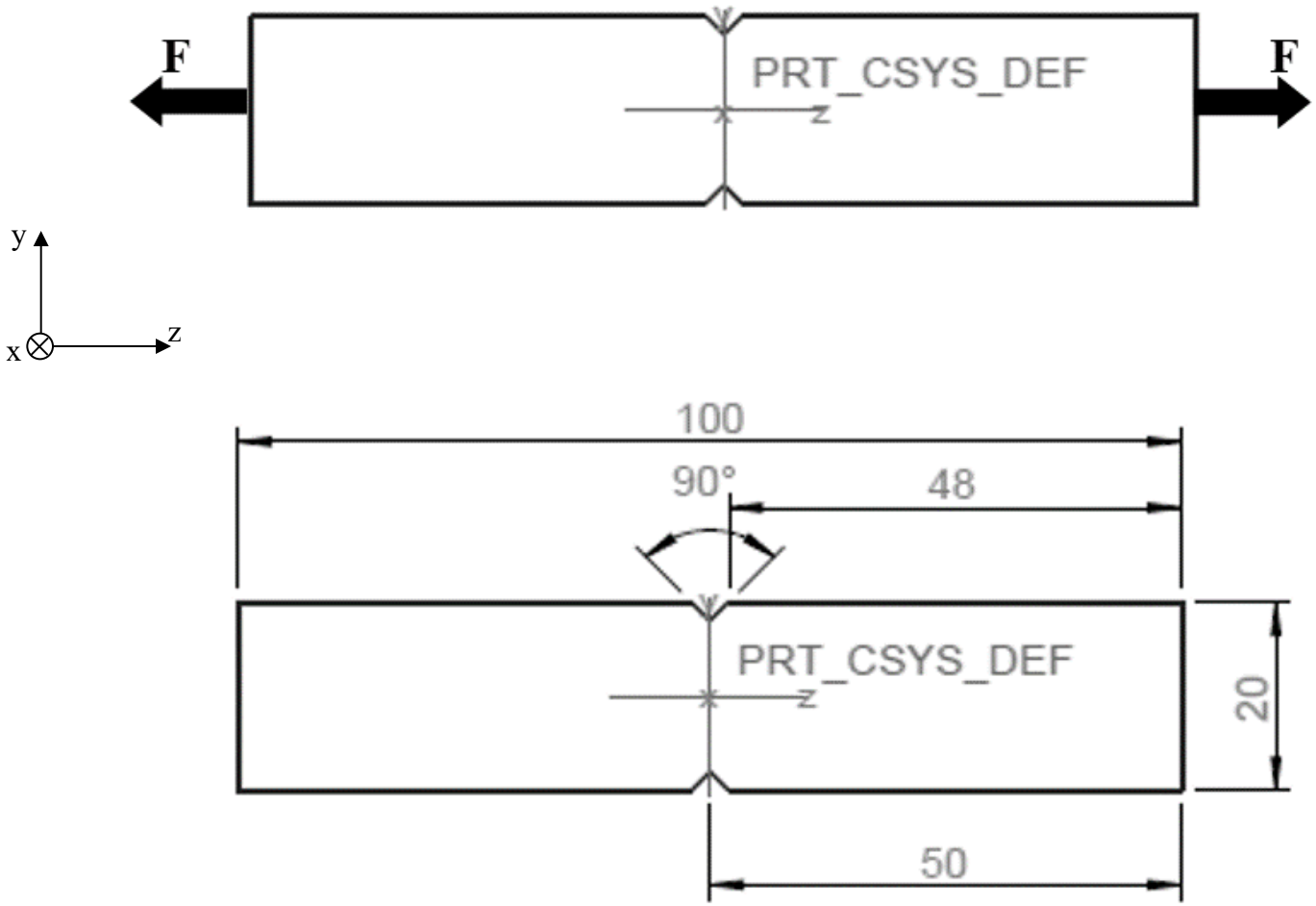


Angaben

Material: s235jr (Baustahl)
E-Modul: 210000 N/mm²
Kraft F: 1000 N

Länge, l	100 mm
Höhe, h	20 mm
Breite, b	5 mm
Position Einkerbung	l/2 = 50 mm
Radius Kerbe, r	2 mm
Tiefe Kerbe, t	2 mm
Mittelpunkt Kerbe, m	1 mm

Übung 3b: spitz gekerbter Flachstab



5 mm dick

Angaben

- Gleiches Material wie 3a
- Gleiche Abmessung wie 3a
- Gleiche Kräfte wie 3a

Variation 3b:

Spitze Kerbe (statt Rundung)

Winkel: 90°

Tiefe Kerbe: 2 mm

Breite Kerbe: 4mm

Aufgaben

a) Ermitteln Sie folgende Größen:

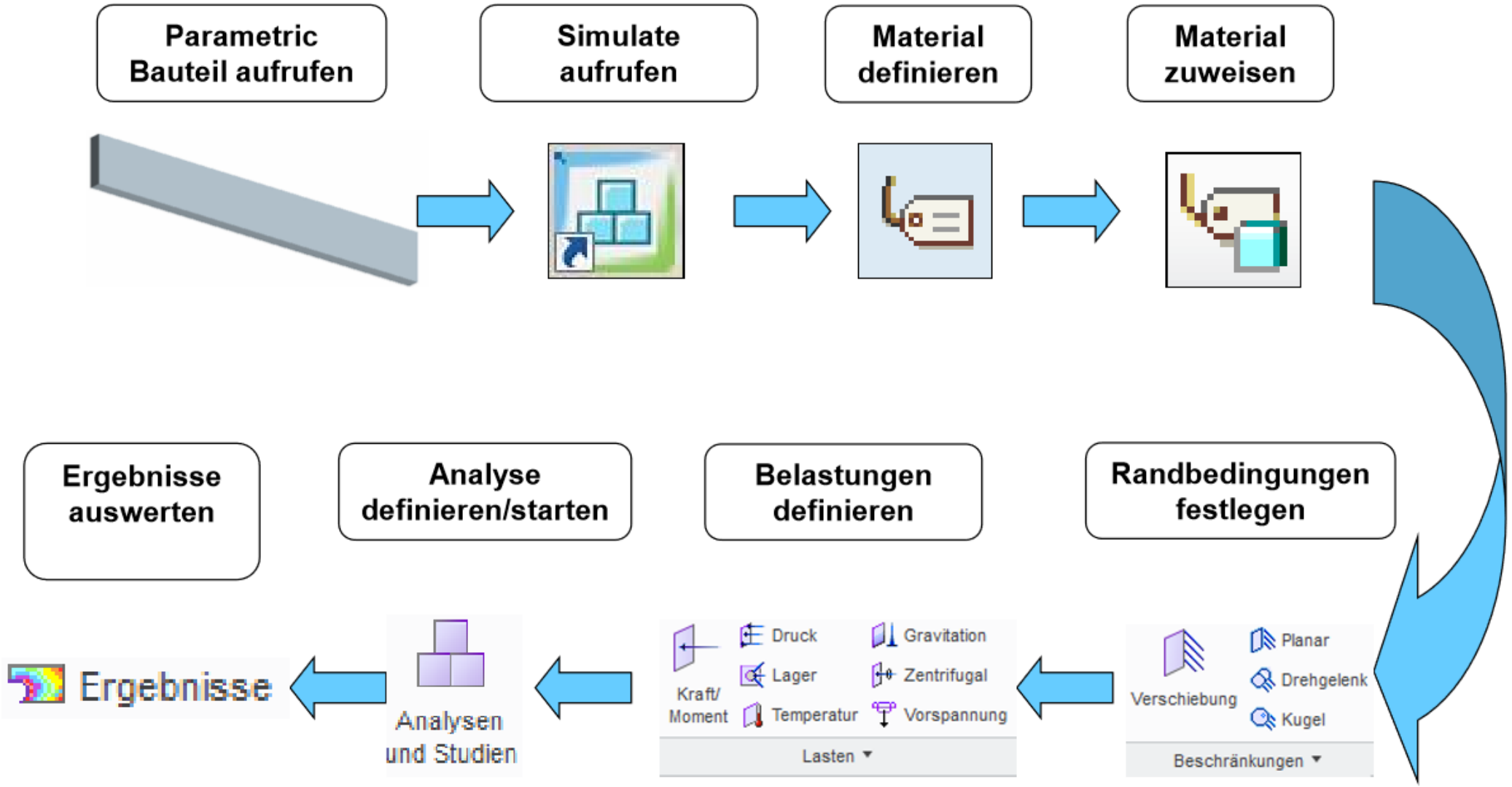
- Normalspannung in der Kerbe
- Von Mises Spannung σ_V
- Verschiebung
- Element-Anzahl (variieren)
- Polynomgrad
- Adaptive Einschritt-/Mehrschritt-Konvergenz
- CPU Rechenzeit

b) Führen Sie eine Konstruktions-Studie durch:

- Runde Kerbe (R=2 mm)
- Spitze Kerbe (2 mm, 90°)

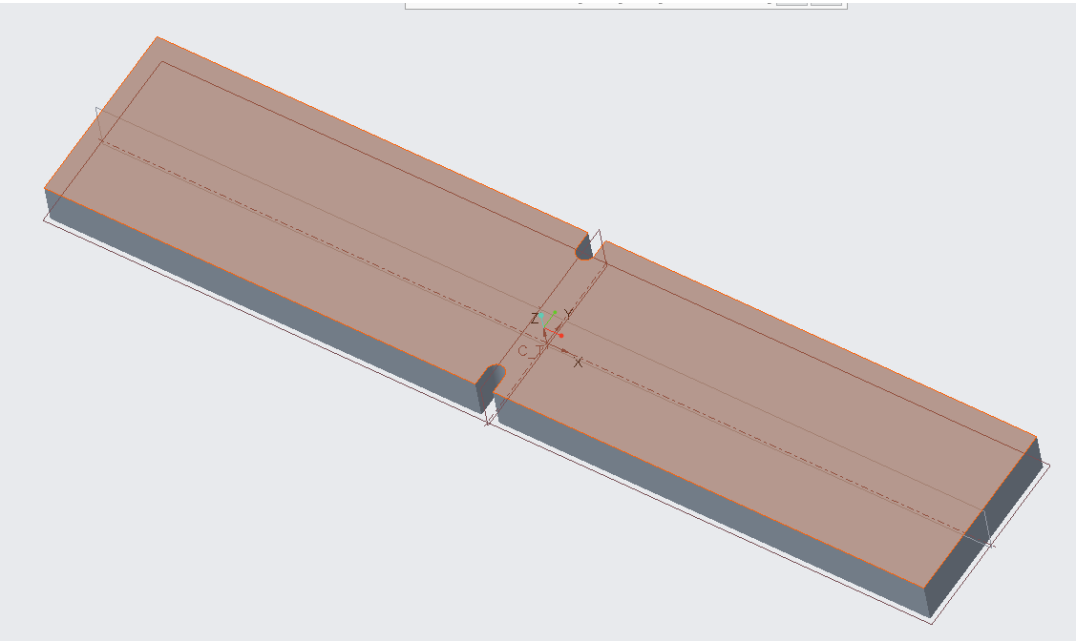
- Nutzen Sie die Symmetrie!
- Stellen Sie die Ergebnisse in einer Tabelle gegenüber!
- Diskutieren Sie die Ergebnisse

Vorgehen bei der FEM

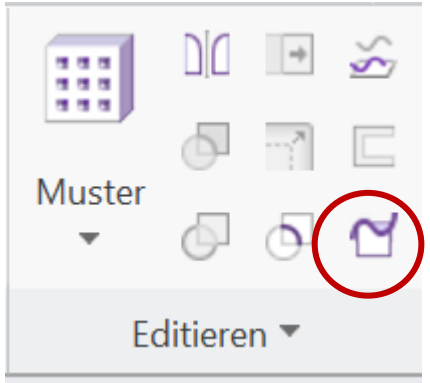


CAD Konstruktion des Flachstabes

- Arbeitsverzeichnis => Ordner FEM
- Neues Teil: „Fachstab_Kerbe_rund“
- Skizze – Profil
- Skizze – Materialschnitt Kerbe
- Spiegeln
- Material zuweisen: S235 JR



Symmetrie nutzen



Symmetrische Randbedingungen

- Anzahl Elemente und CPU-Rechenzeit minimieren
- Systemaufwand reduzieren (Wegfall von Randbedingungen)

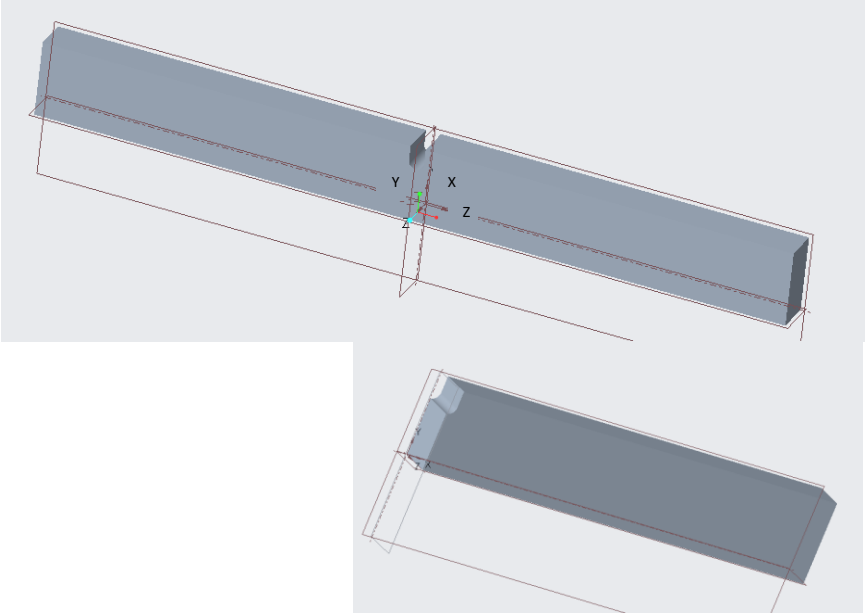
<u>Bedingungen</u>

- Geometrie muss symmetrisch sein
- Randbedingungen müssen symmetrisch sein

<u>Vorgehen in Creo Part</u>

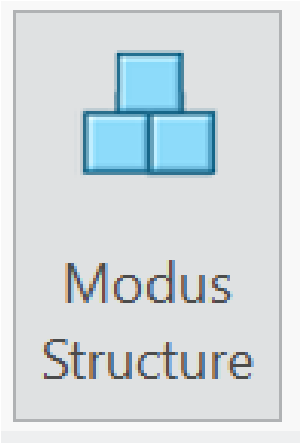
- Anwählen einer Ebene, die Symmetrieebene ist
- Verbundvolumen
- die zu entfernende Hälfte wählen

=> Ein Viertel für Berechnung verwenden!



Simulate

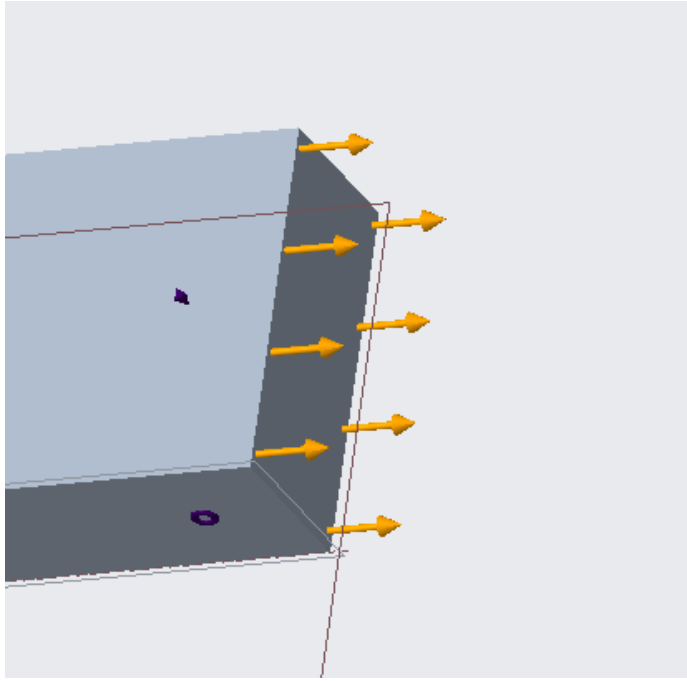
=> Creo Simulate aufrufen

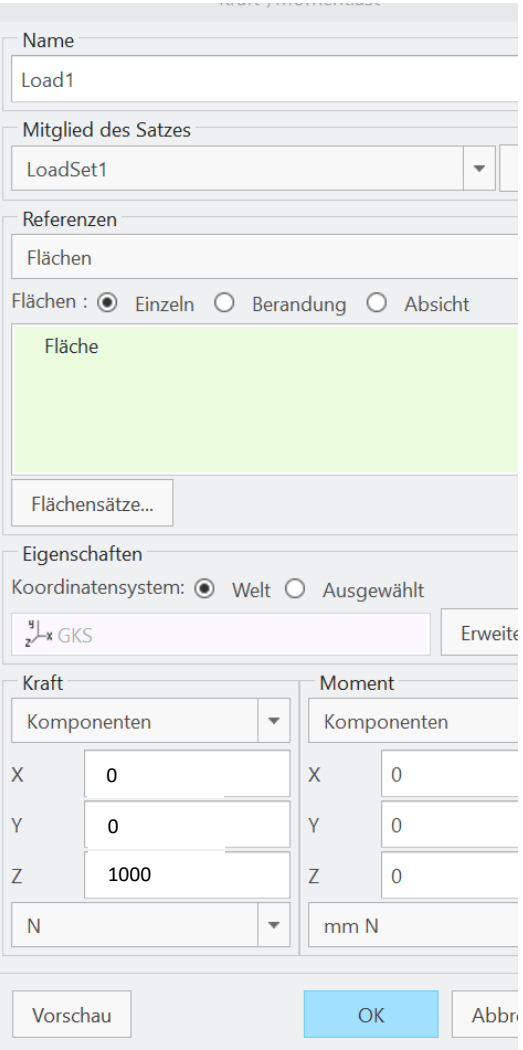


Lastbedingung

Last: Kraft auf Fläche

- Kraft/Moment anwählen
- Fläche rechts anwählen
- Kraft eingeben: Fz = 1000 N

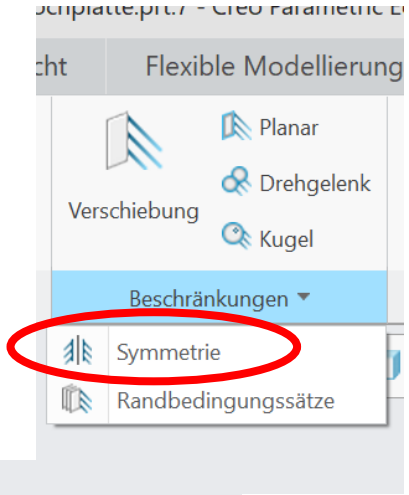


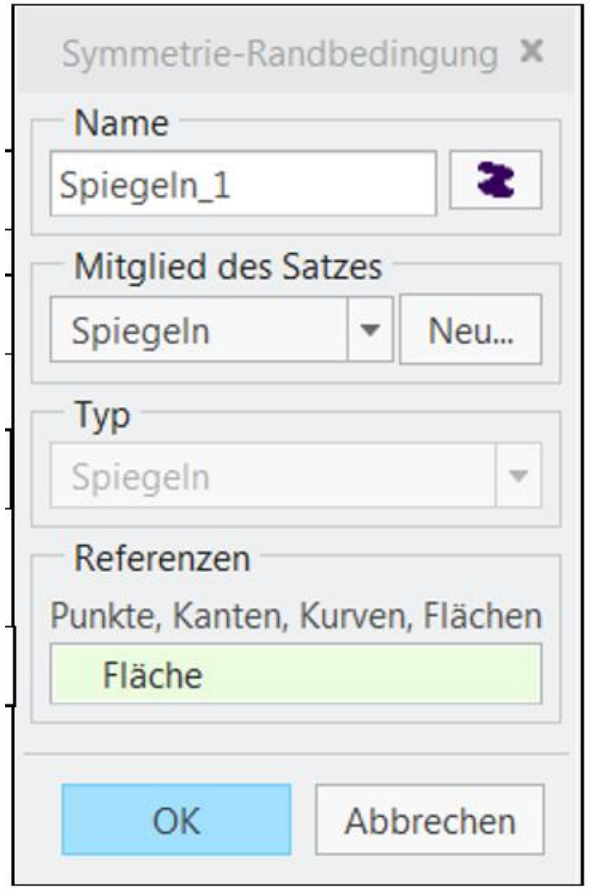


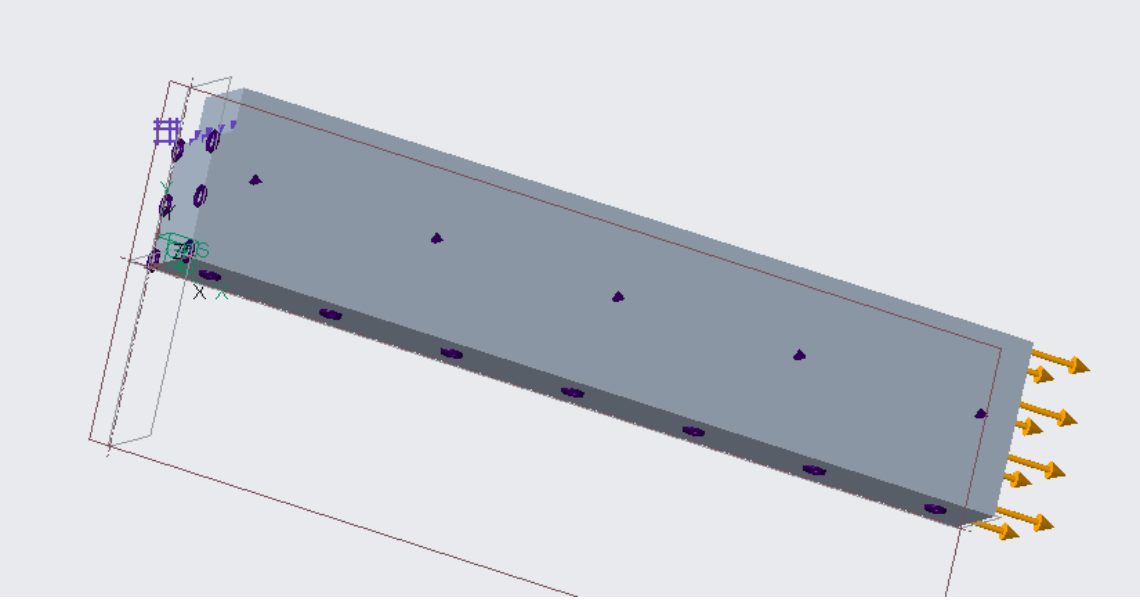
Randbedingung

Weitere Randbedingung:

- Beschränkungen 1: Symmetrie (links)
- Beschränkung 2: Symmetrie (unten)
- Beschränkung 2: x-fest (oben)

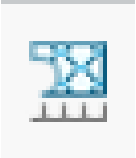




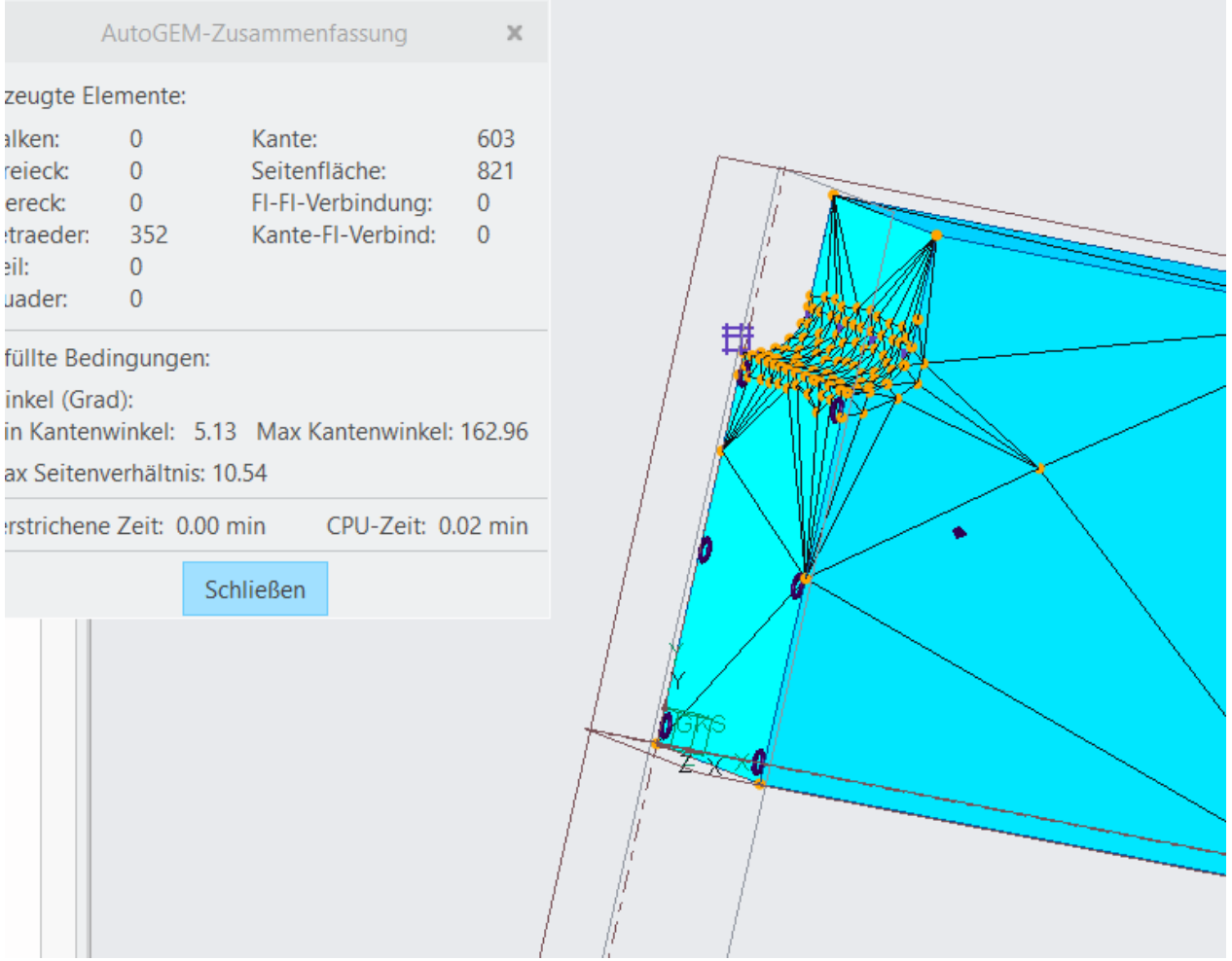


Netz erzeugen

p-Netz Erzeugen

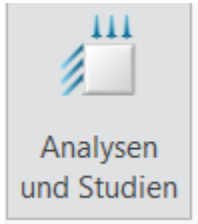


- AutoGEM / Elementgröße
  - Auf Fläche (in Rundung)
  - Max. Größe eingeben (0.5 mm)



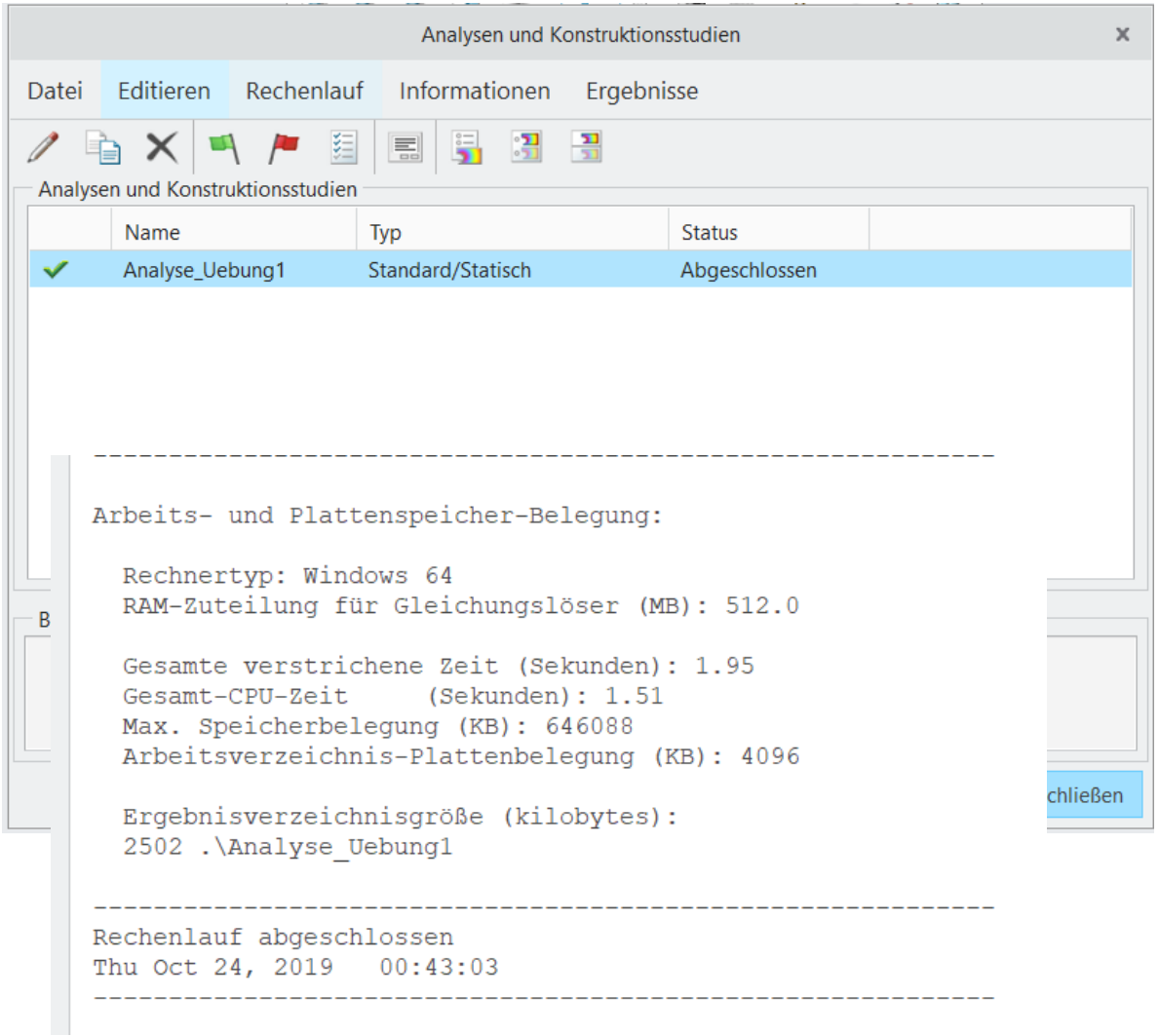
Analyse

Statische Analyse



- Startseite / Analysen und Studien
- Datei / Neue Statische Analyse
- Name: „Analyse_Flachstab gekerbt_rund“

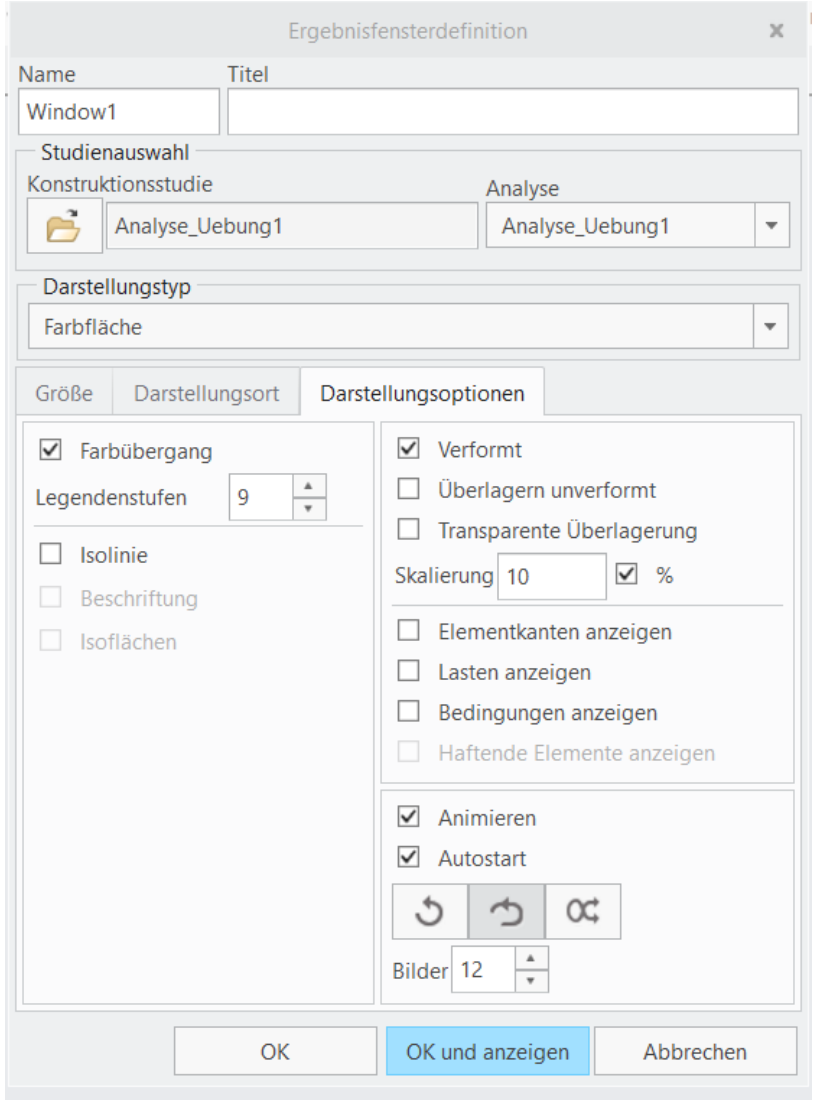
  (Adaptive-Einschritt-Konvergenz)
- Analyse starten
- Studienstatus anzeigen



Ergebnisse darstellen

Ergebnisse einer Studie öffnen

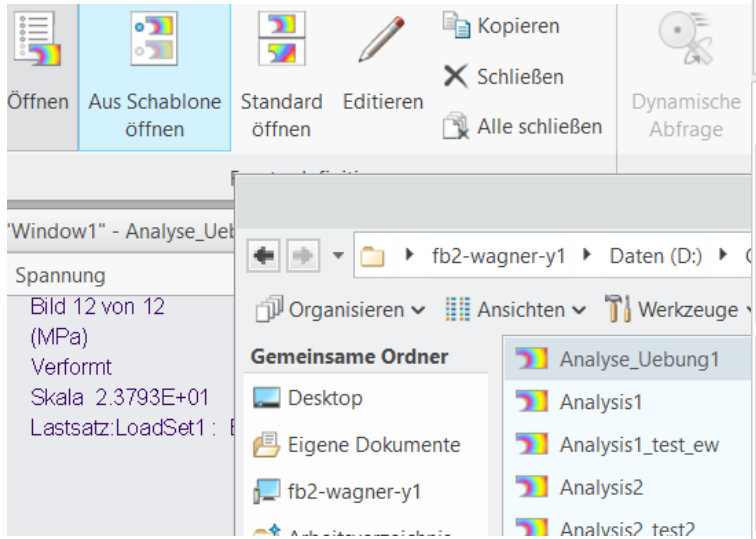
- Studie auswählen und anzeigen
- Größe: Spannung, von Mises
- Darstellungsoptionen:
  - Farbübergang
  - Verformt
  - Animieren

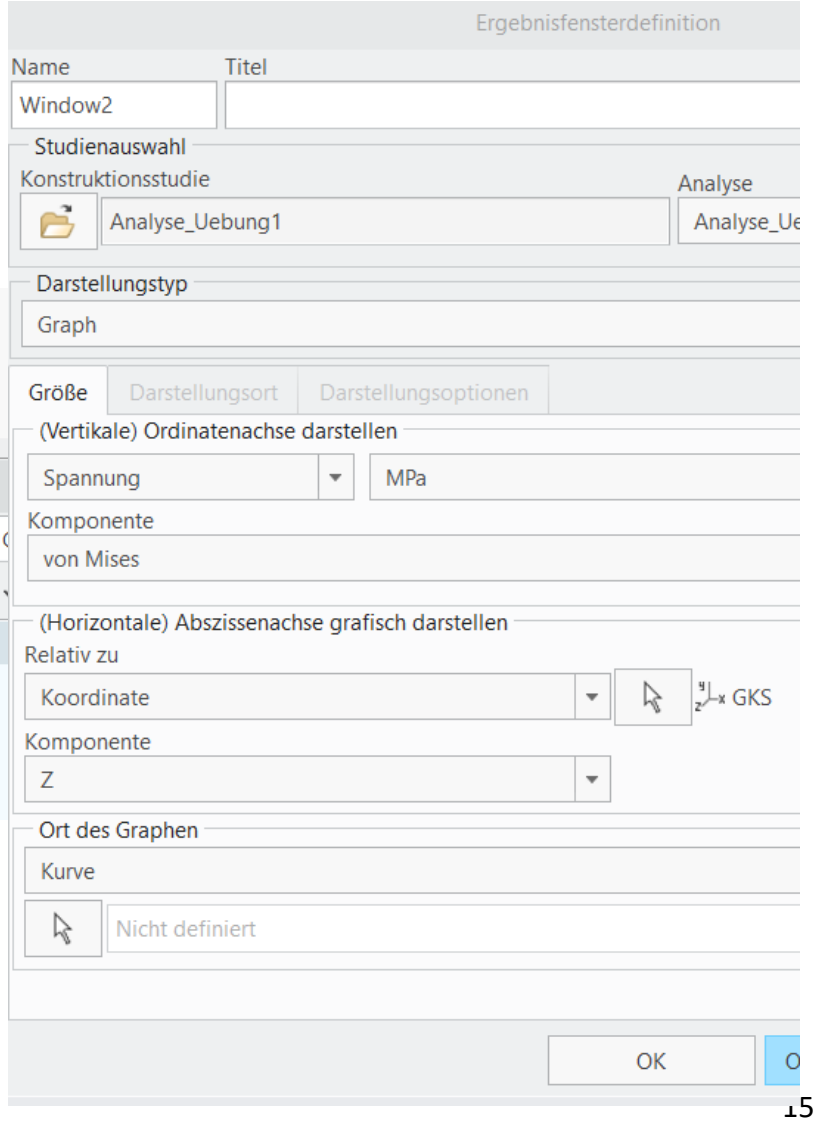


Graf anzeigen

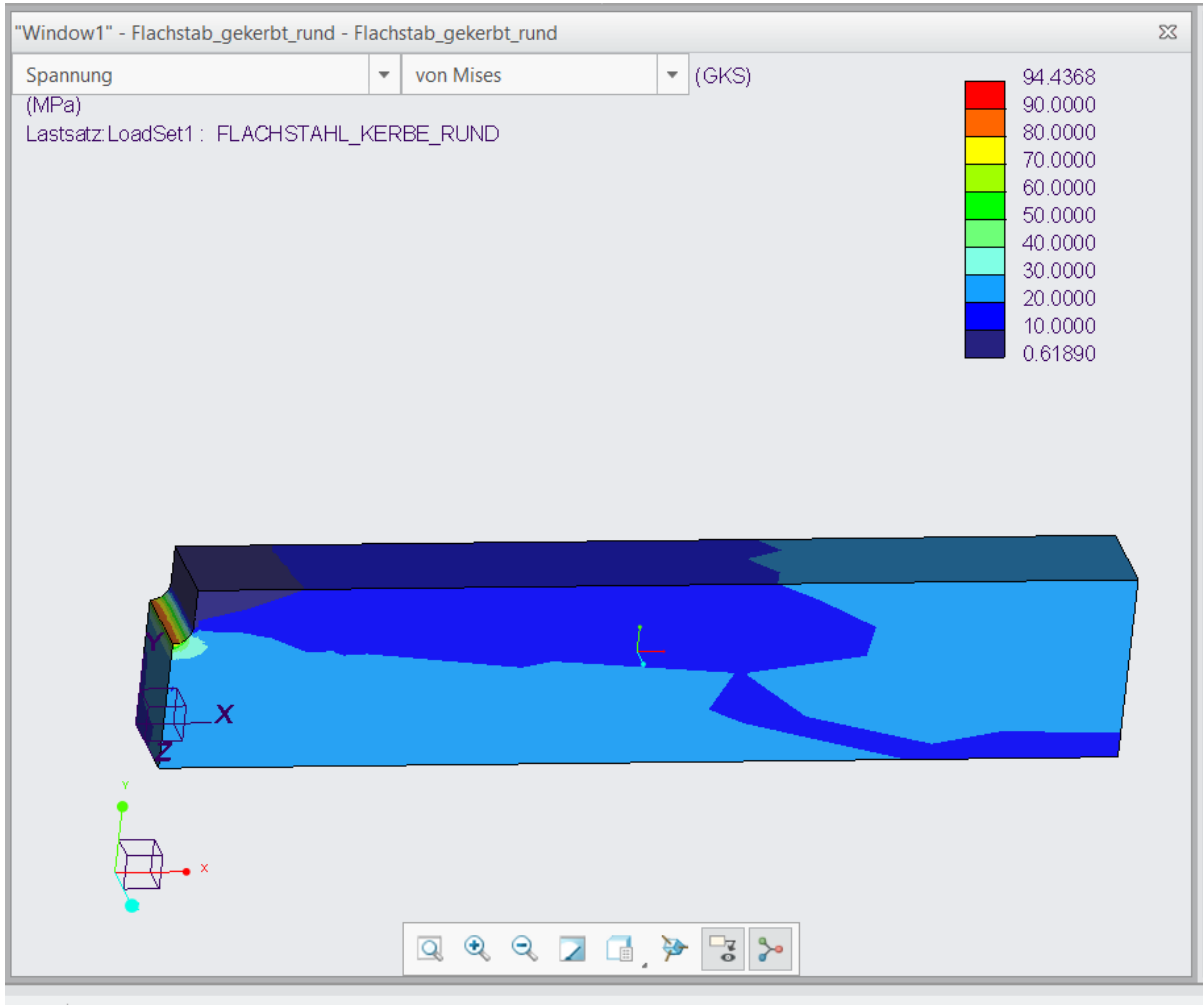
Öffnen „Analyse_Flachstab_gekerbt_rundUebung2“

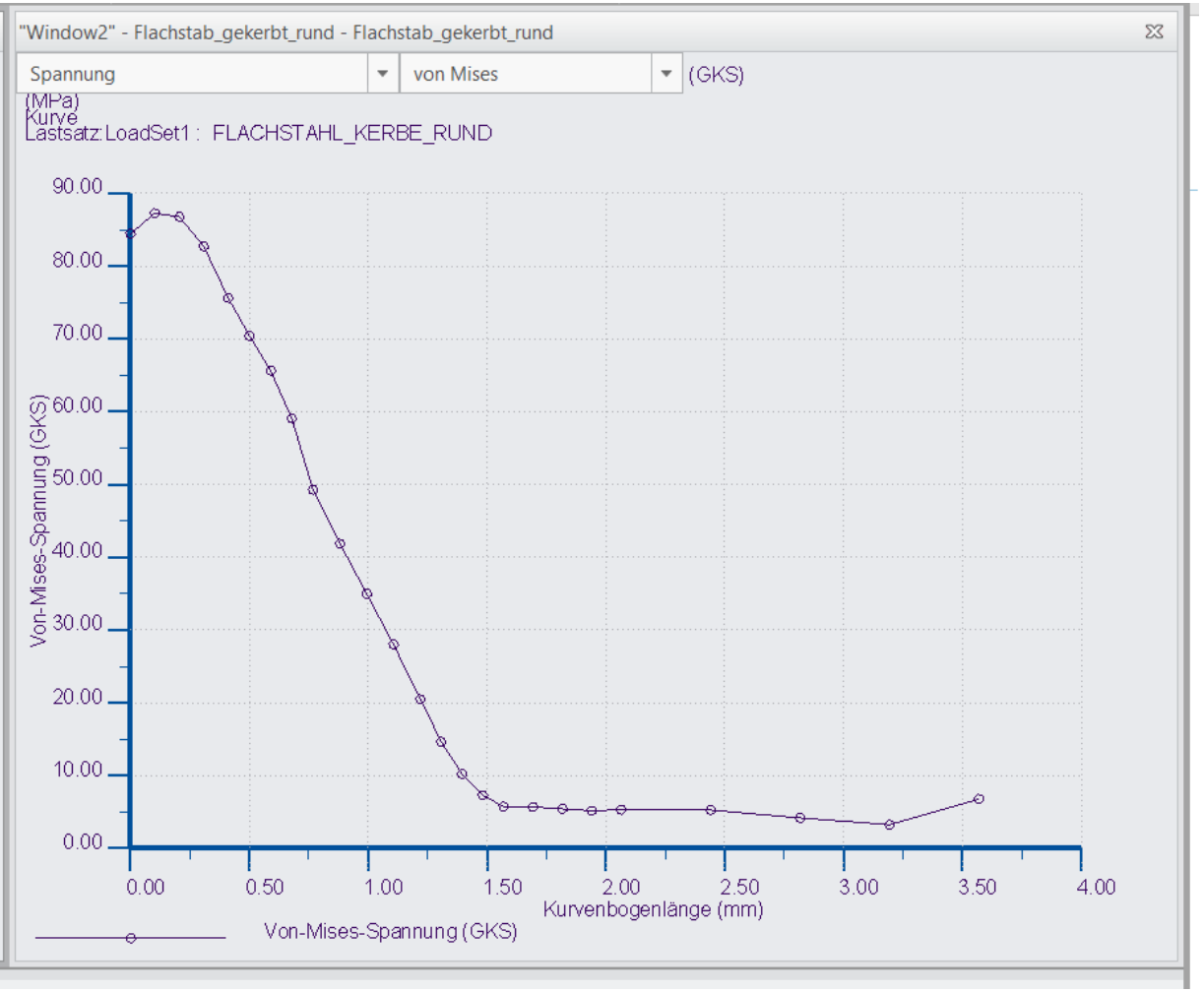
- Darstellungstyp: Graph
- Von Mises
- Kurvenbogenlänge
- Entlang Kurve/Bohrung





Analyse der maximalen Spannung



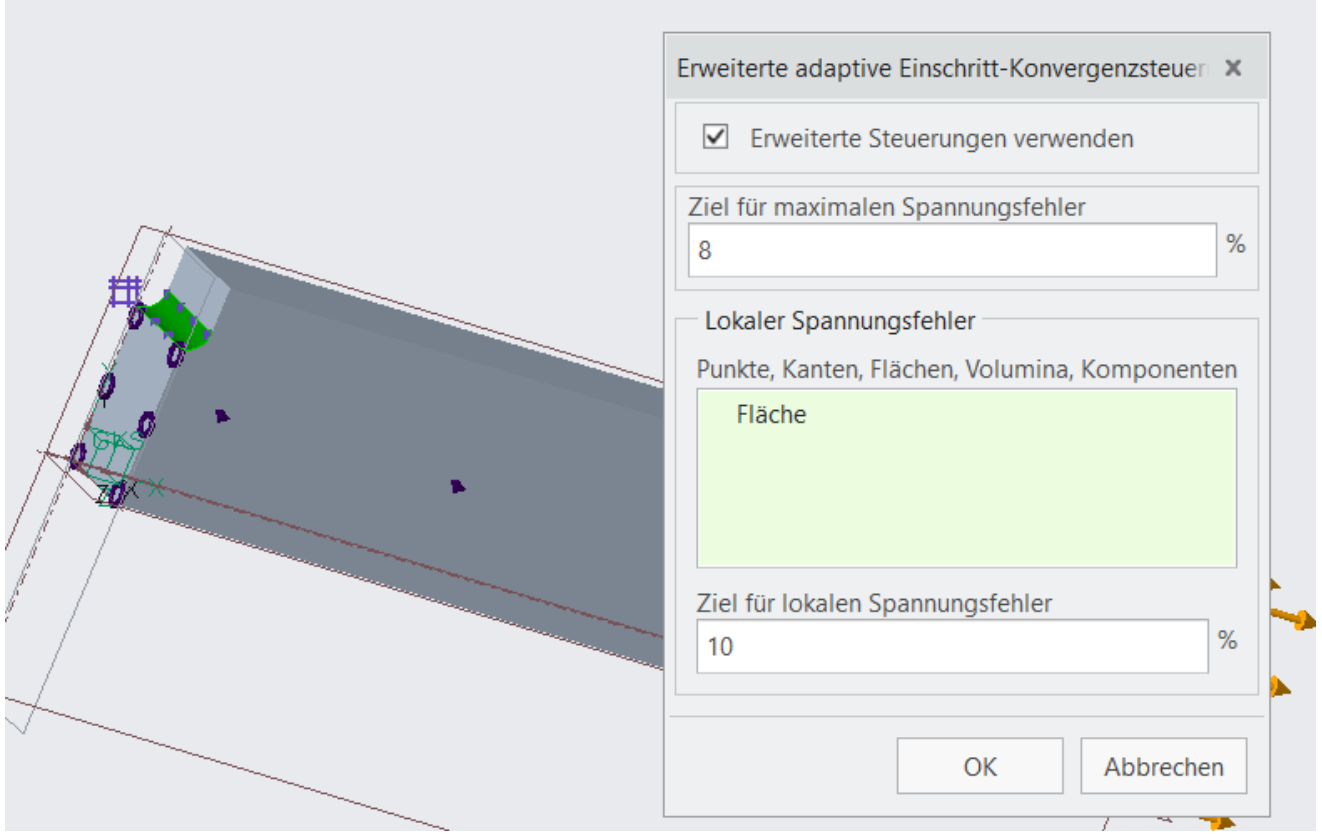


Weitere Aufgaben:

- Vergleich von
  - Anzahl Elementen und Knoten
  - Polynomgrad
  - CPU-Zeit
- Vergleich AEK und AMK
- Für jede Rechnung maximale Spannung notieren
- Tabelle mit Ergebnissen erstellen

Adaptive-Einschritt-Konvergenz

- Analyse / Eigenschaften
- Erweiterte Steuerungen verwenden:
  - Ziel für maximalen Spannungsfehler => 8%
  - Fläche Auswählen
  - Ziel für lokalen Spannungsfehler => 10%



FE Methoden

Adaptive Einschritt-Konvergenz (E)

- Rechenlauf in 2 Schritten beginnend mit Polynomgrad 3
- Spannungsfehler werden berechnet
- anhand dieser Fehler erfolgt neue Polynomgradverteilung
- Die Methode ist empfehlenswert

Vorteile:

- höhere Geschwindigkeit, nur zwei Berechnungsschritte
- weniger Verbrauch von Plattenplatz
- Keine unnötigen Freiheitsgrade im Modell
- Direkte, auf die Spannung bezogene Fehlerabschätzung
- Spannungsberechnung auf zwei Arten
- Singularitäten treiben nicht den lokalen Polynomgrad

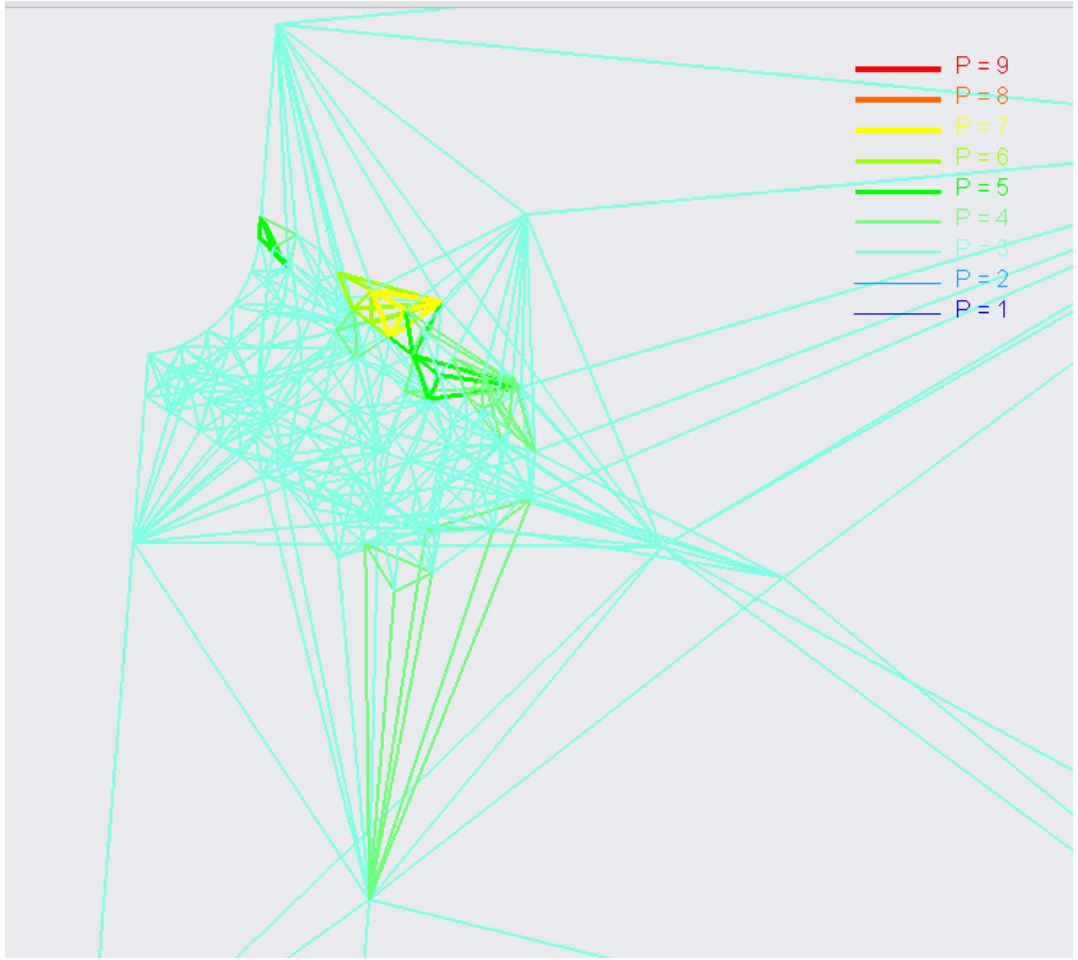
Nachteile:

- Keine Konvergenzkurve
- Keine Konvergenzvorgabe
- Fehlerwert schwierig zu interpretieren
- Spannungsbild oft zackig und ausgefranst, obwohl gute Ergebnisse
- Symmetrische Bauteile haben ein etwas unsymmetrisches Spannungsbild

Ergebnis

Polynomgrad AEK

- Max Polynomgrad = 7
- In nur zwei Schritten optimiert



Adaptive Mehrfach-Konvergenz

- Creo 2.0 Simulate führt mehrere Rechenläufe durch
- jeweils Erhöhung des Polynomgrades bis max. 9.
- Konvergenzgrad wird angegeben (Ergebnisdifferenz zweier aufeinanderfolgender Rechenläufe in %).
- Der Konvergenzgrad wird vorgegeben; die Berechnung schließt ab, wenn der Vorgabewert erreicht ist!

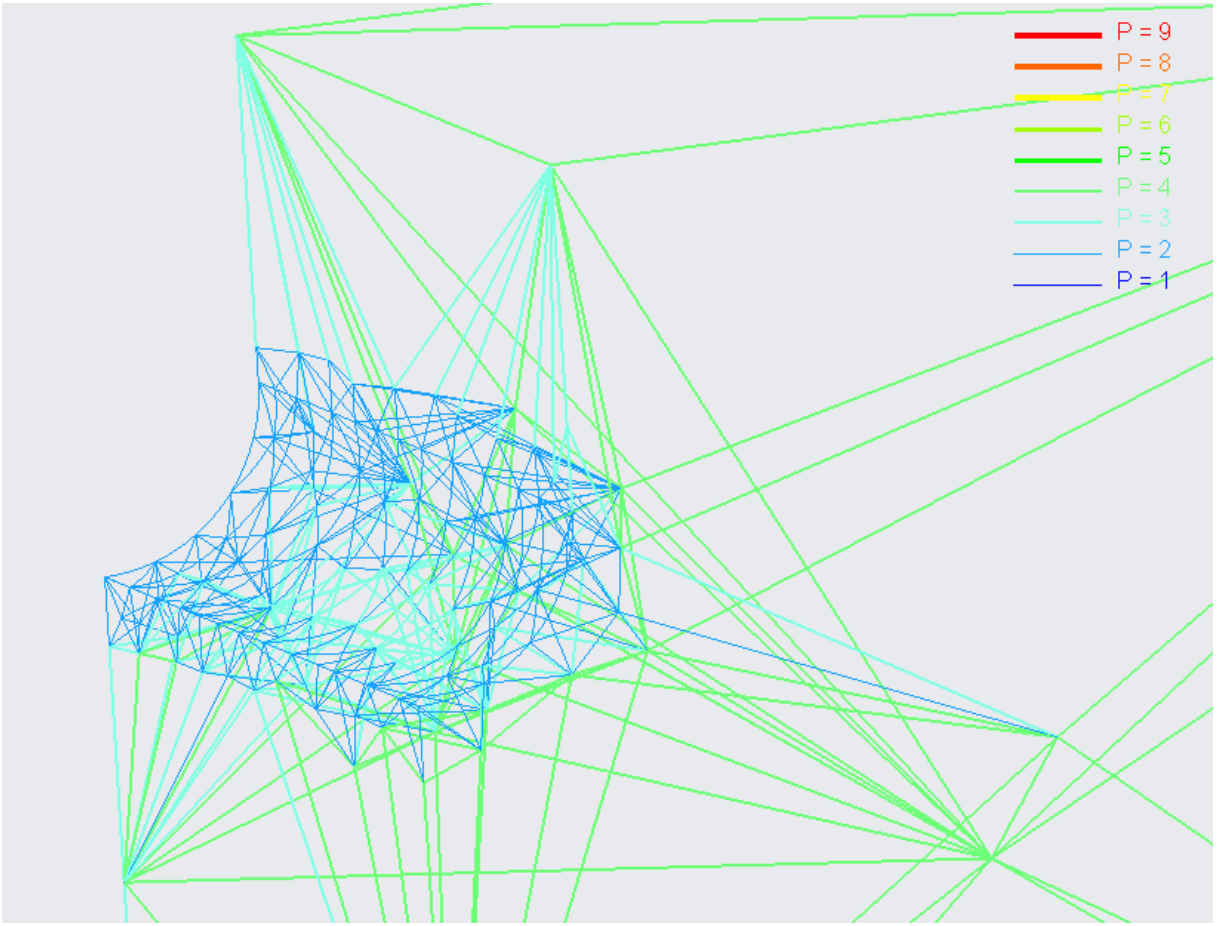
<u>Vorteile:</u>

- Gemischte Modelle (Balken, Schalen, Tetraeder)
- Modelle mit isotropem Materialverhalten
- Angabe der Konvergenz

Ergebnis

Polynomgrad AMK

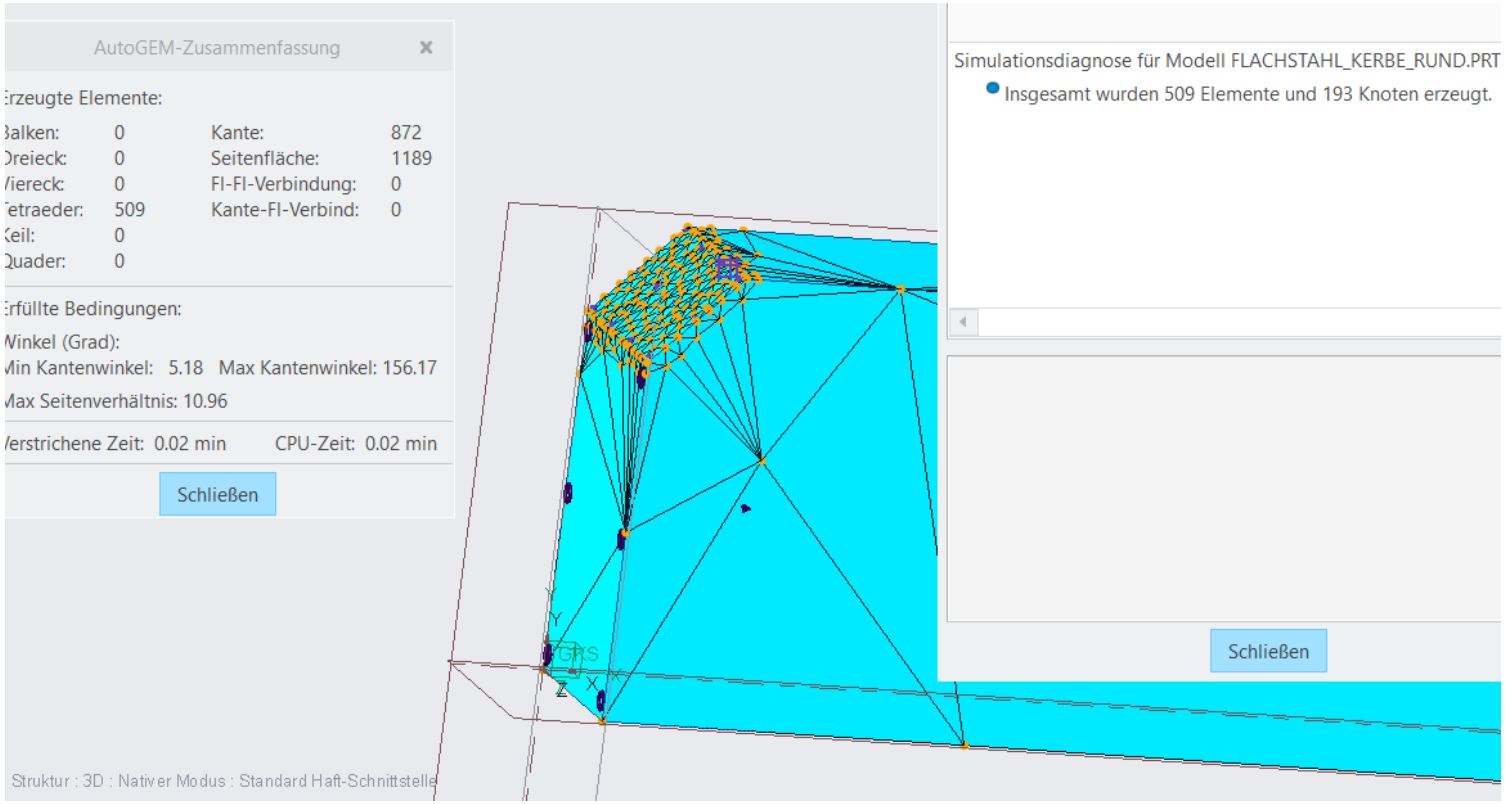
- Maximaler Polynomgrad = 4
- Besser optimiert



2. Bauteil mit spitzer Kerbe

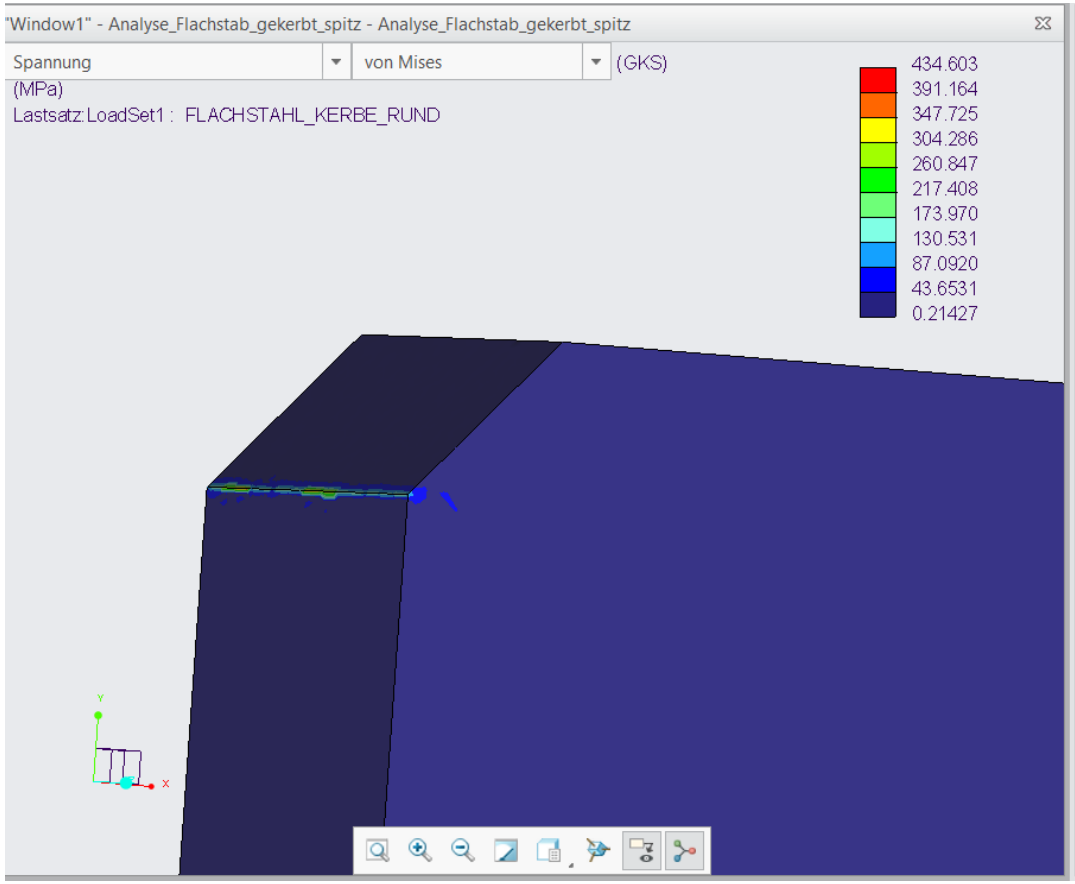
⇒Netz-Generierung

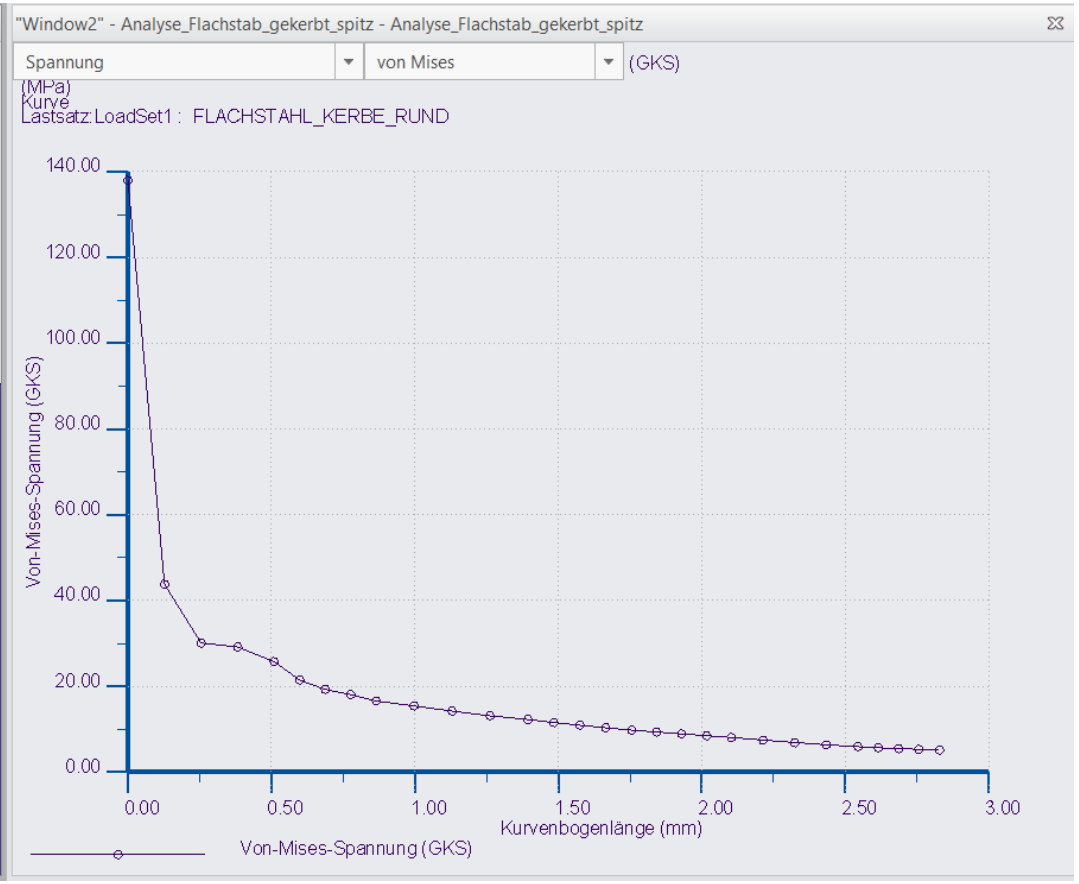
⇒Elementgröße 0.5 mm



Ergebnis Flachstahl mit spitzer Kerbe (AEK)

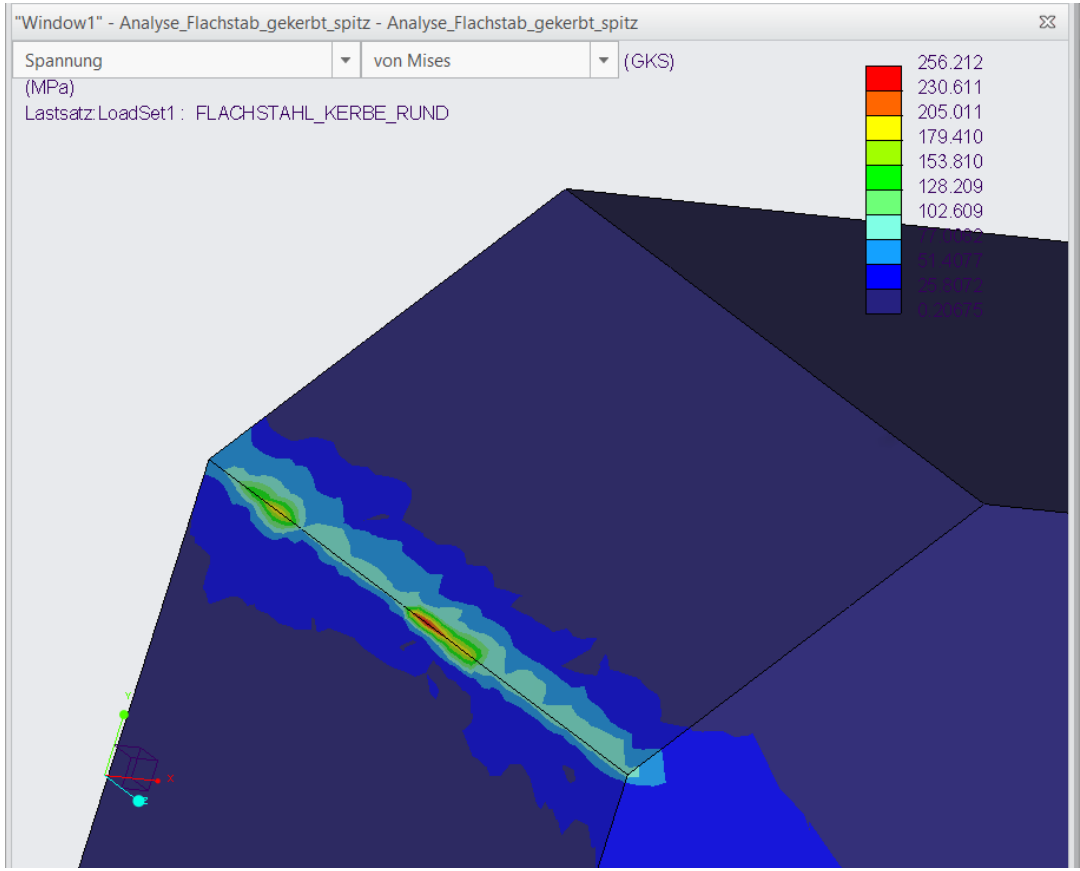
=> Warnung Streckgrenze überschritten !!

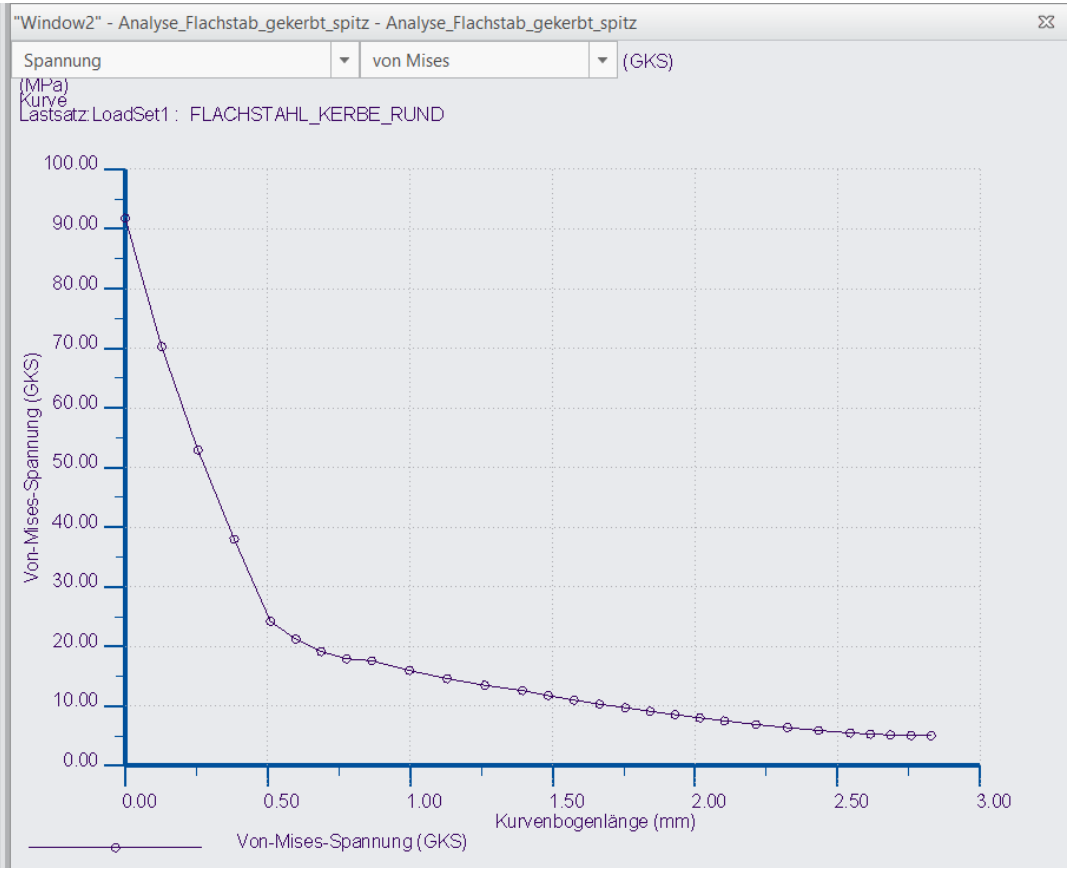




Ergebnis Flachstahl mit spitzer Kerbe (AMK)

=> Warnung Streckgrenze überschritten !!





Viel Erfolg !

Impressum

Hinweis

Diese Folien sind ausschließlich für den internen Gebrauch im Rahmen der Lehrveranstaltung an der Frankfurt University of Applied Sciences bestimmt. Sie sind nur zugänglich mit Hilfe eines Passwortes, dass in der Vorlesung bekannt gegeben wird.