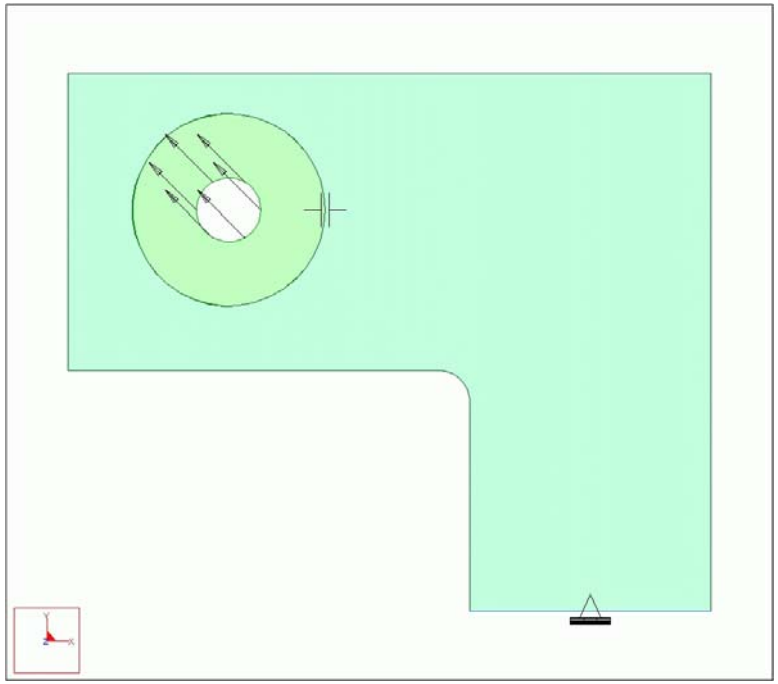
Simulation von Lagern
- Vergleiche -



Dr.-Ing. Stefan Reul, PRETECH GmbH, 28. April 2009

Diskussionspunkte

- Problemstellung
- MECHANICA-Modelle
- Verschiebungen und Spannungen
- Vergleich mit ABAQUS
- Schlußfolgerungen
- Regeln

Problemstellung

- Lager können sehr komplex aufgebaut sein
- Was ist u.a. zu beachten ?
- Wie genau müssen die Spannungen in unmittelbarer Umgebung bestimmt werden ?
- Welche Modellierungs-Methoden gibt es ?
- Vergleich und Bewertung der Methoden anhand eines einfachen Beispiels
- Ableitung von Regeln

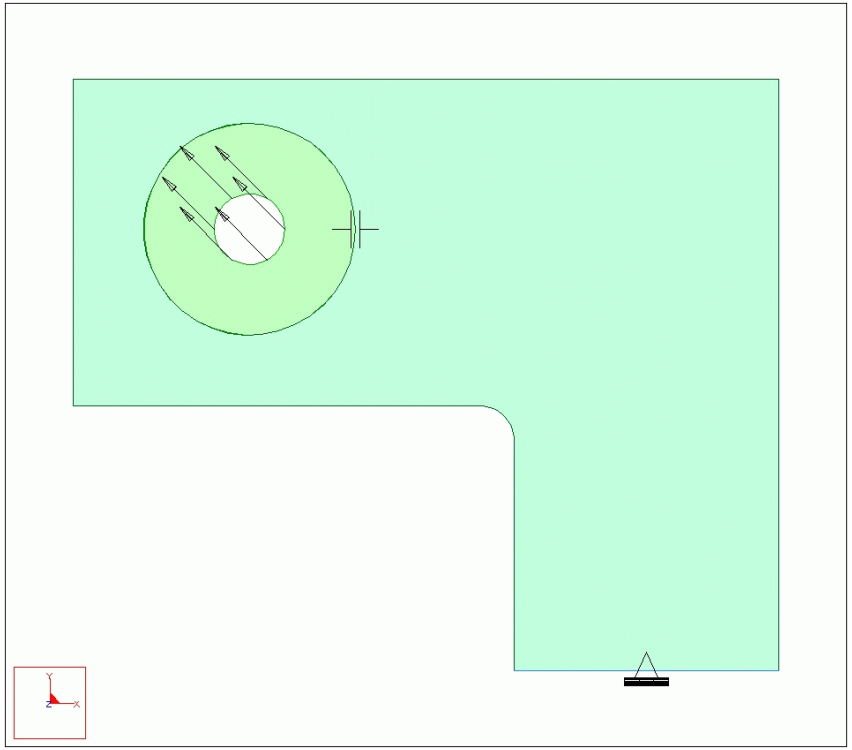
Was ist zu beachten ?

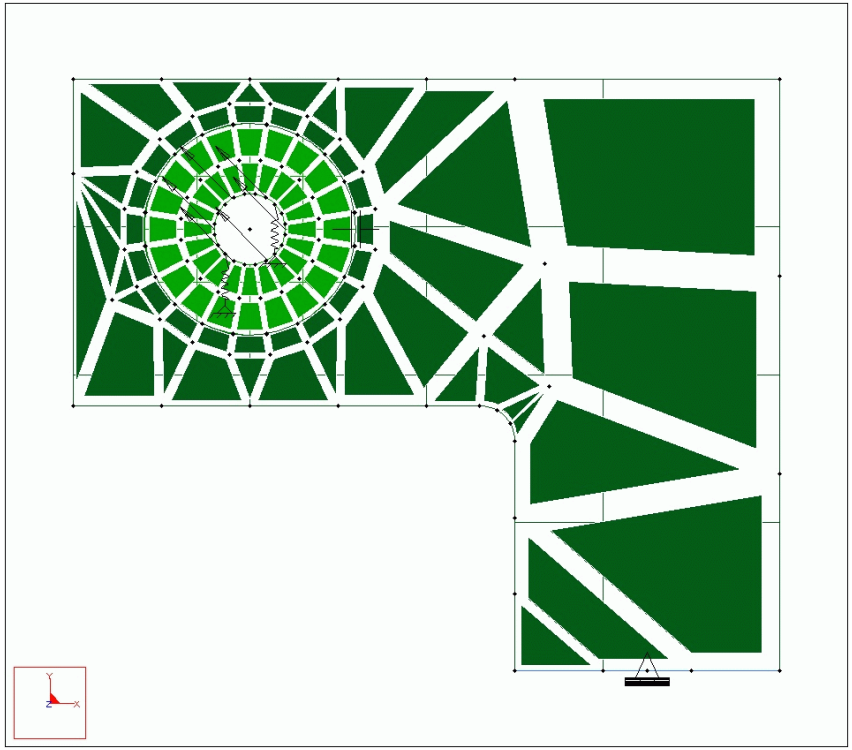
- Lagerart z.B.
  - Gleitlager
  - Kugellager
  - Kegelrollenlager
- Lagerspiel
  - Radial und Verkippung
  - Vorspannung (achsial u. radial -> Presspassung)
- Genau rechnen oder nur vereinfacht nutzen ?

Vergleichs-Beispiel

- 2D-Modell, ebener Dehnungszustand
- Gleitlager mit R = 12 mm im L-Profil
- Kerbradius 4 mm
- Last -100 N in x- und 100 N in y-Richtung
- Fixierung rechts unten
- Material: Aluminium
- Vernetzung im Winkel immer identisch

Vergleichs-Beispiel, Geometrie und Vernetzung

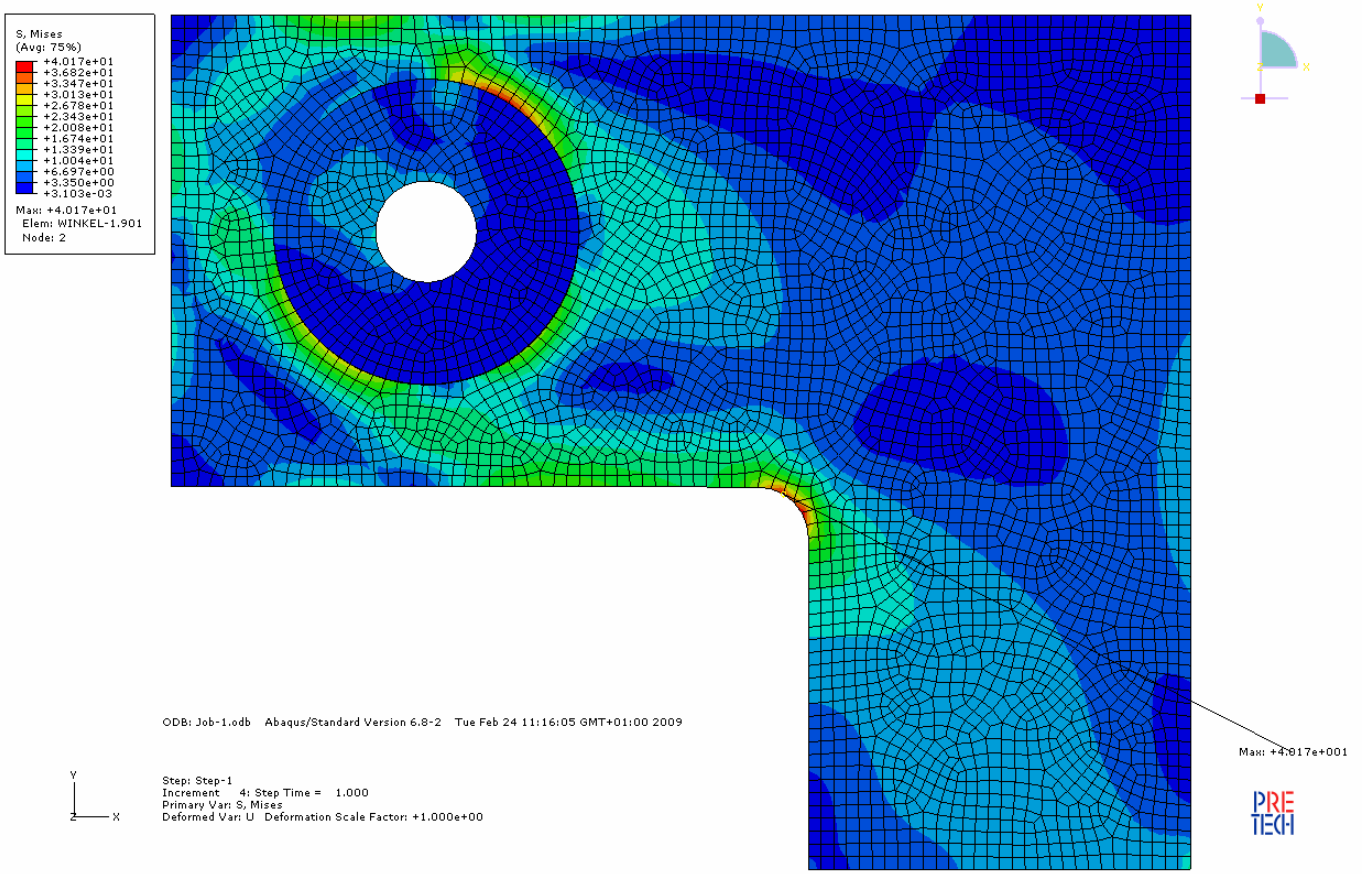




» Geometrie

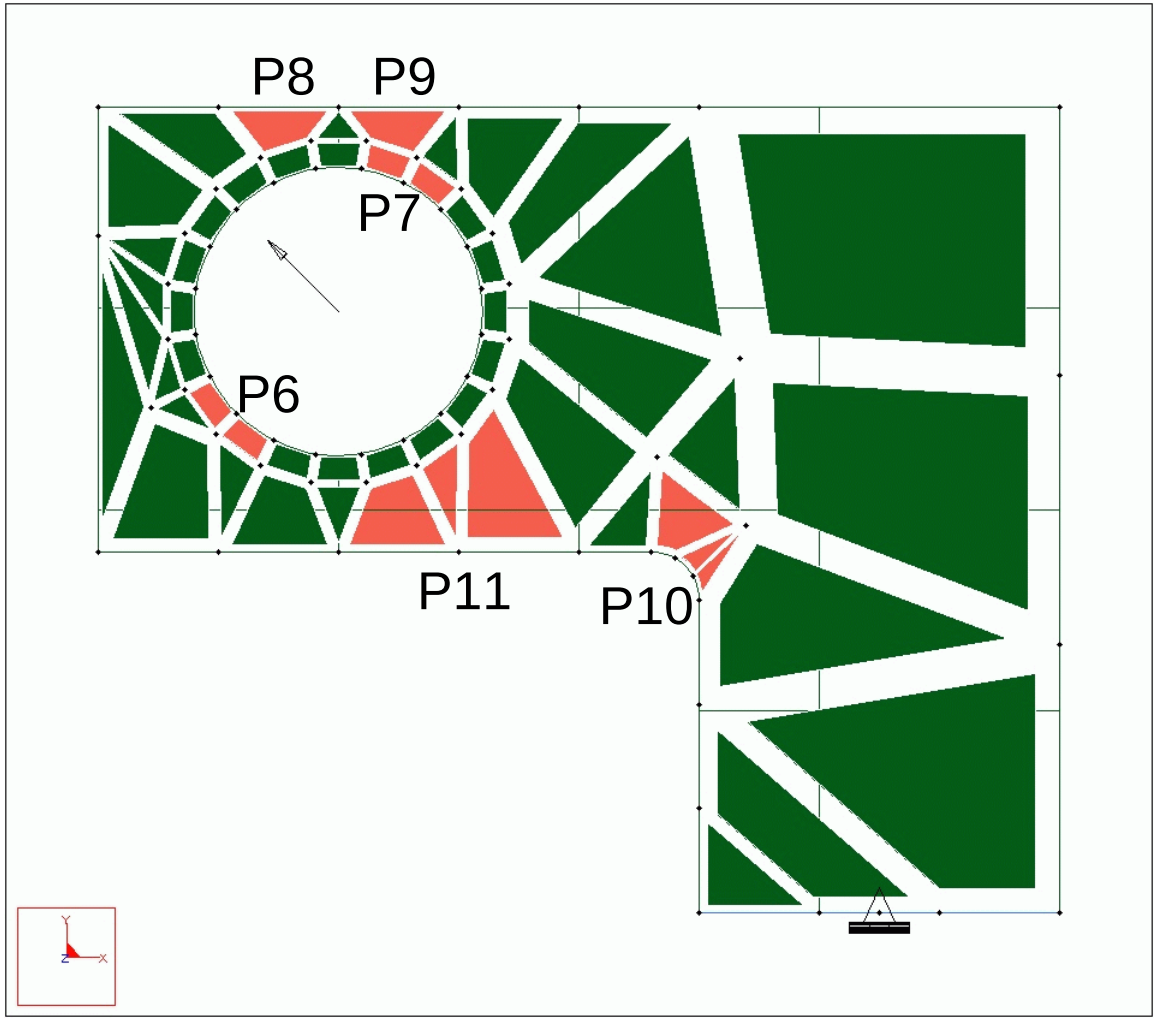
Vernetzung

Vergleichs-Beispiel, Geometrie und Vernetzung ABAQUS



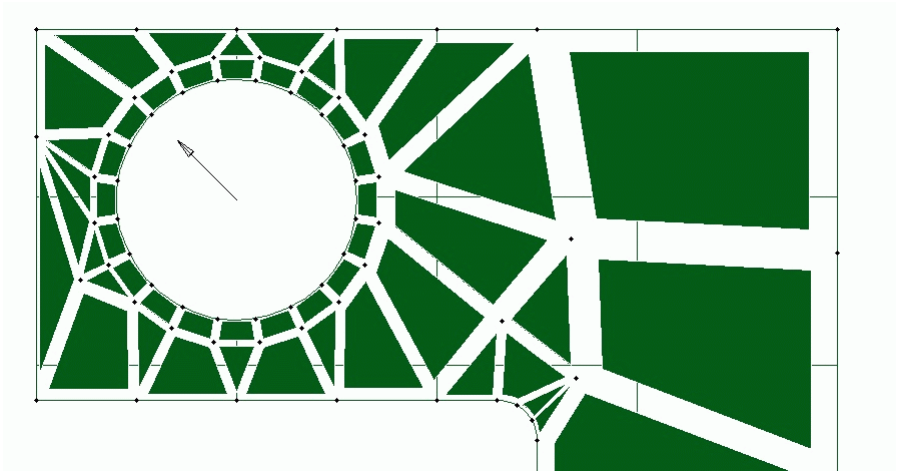
Messpunkte für max. Spannung

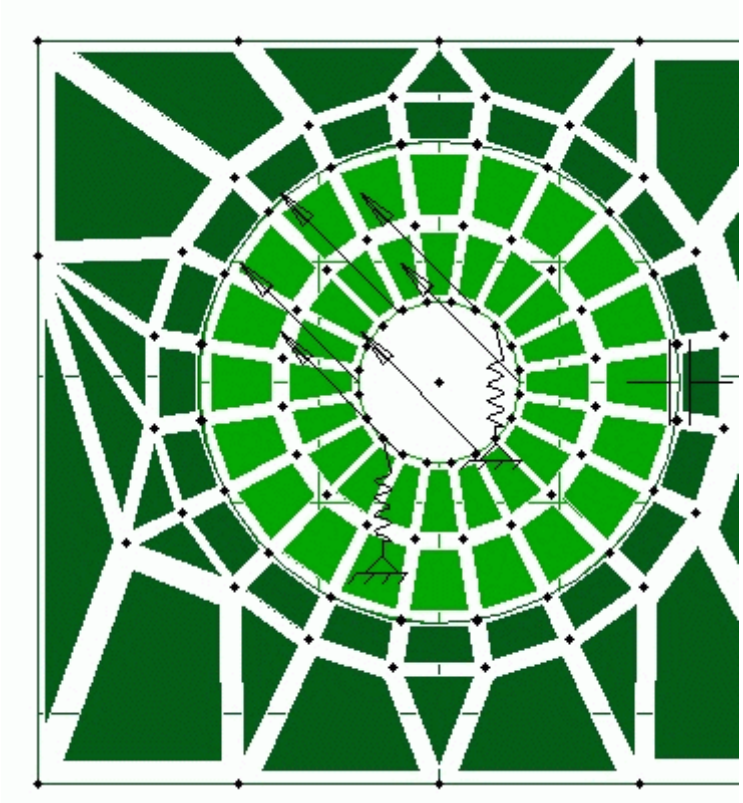
- Weitere Messungen:
  - Max. Verschiebung des Winkels dmag
  - Numerischer Fehler / Konvergenz
  - DOF



Variationen I

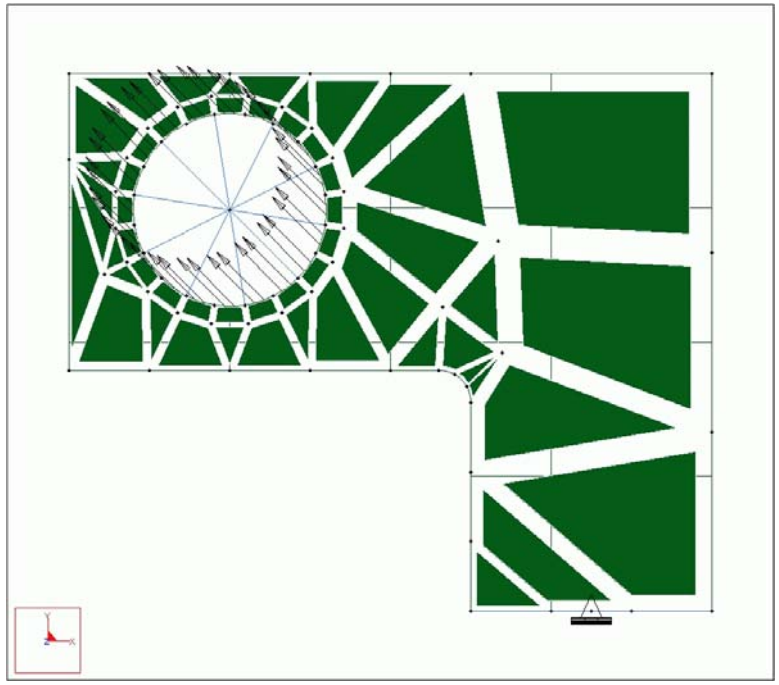
- Spalt am Gleitlager (1 µm, 20 µm, 50 µm und100 µm)
- Lagerlast (idealisierte Lastverteilung)

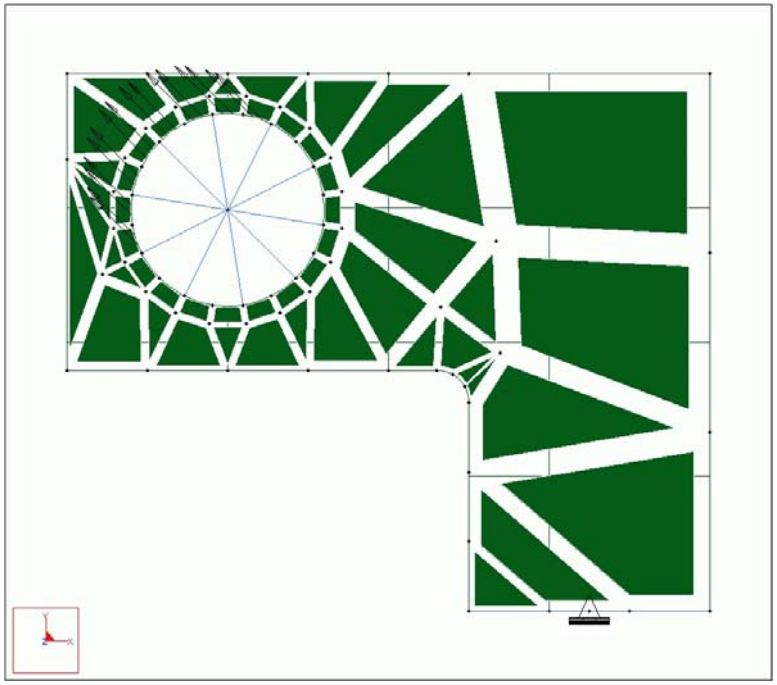




Variationen II

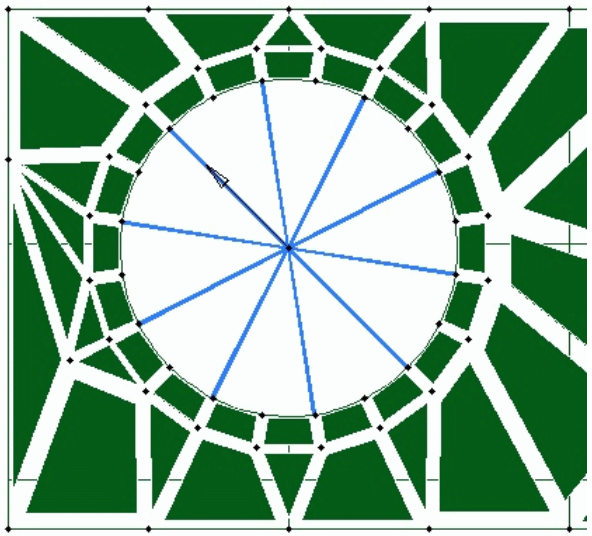
- » Last auf ganzer Kurve
- » Last auf halber Kurve

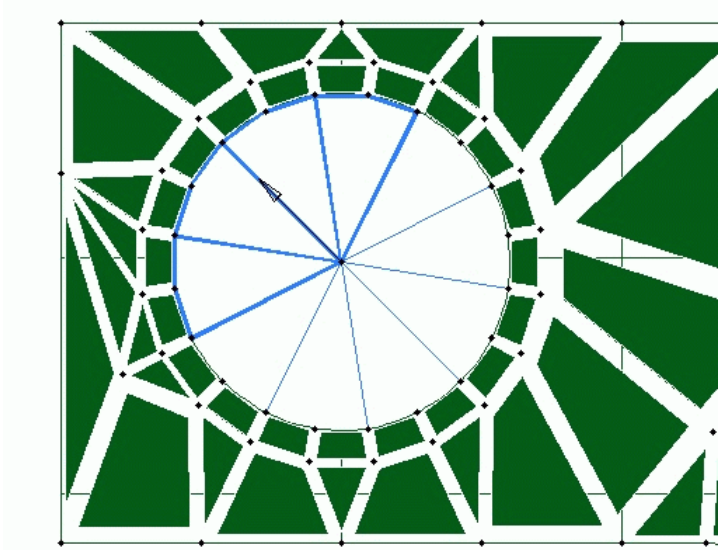


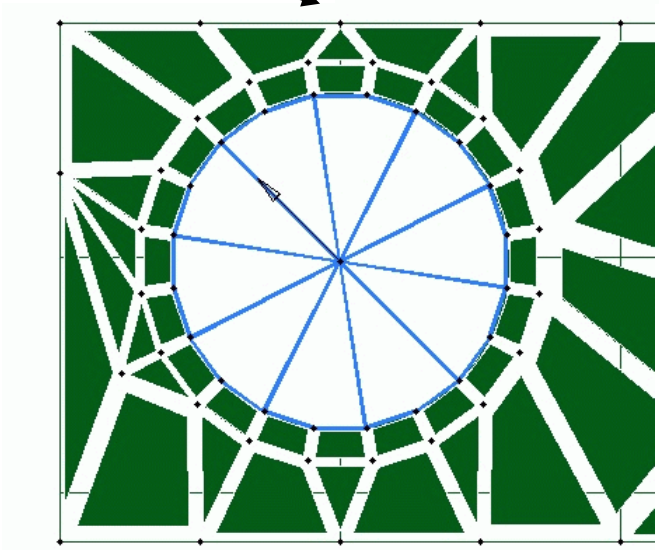


Variationen III

- Balkenspinne
  - Punktförmige Anbindung
  - Umlaufende Balken
  - Halb umlaufende Balken

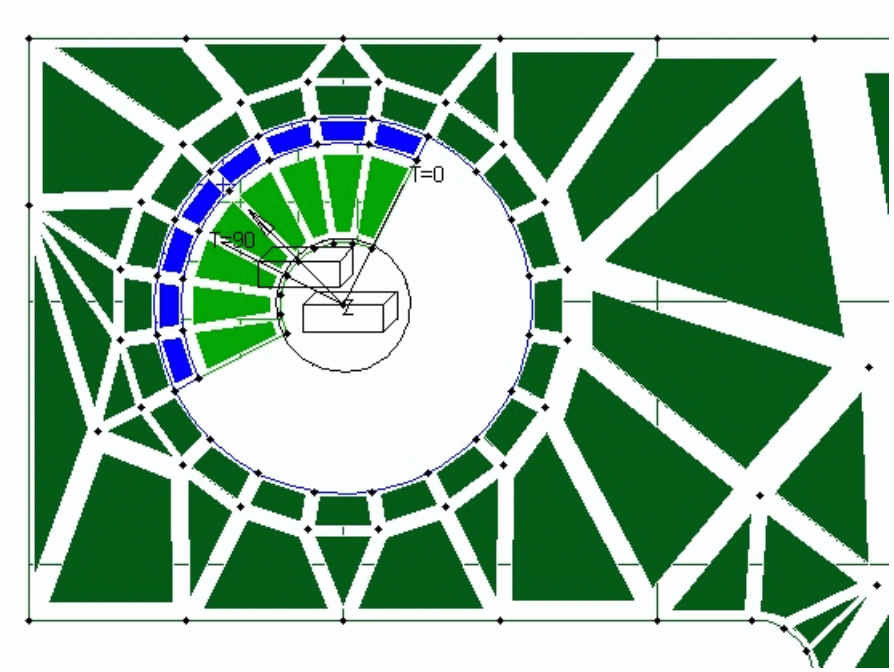


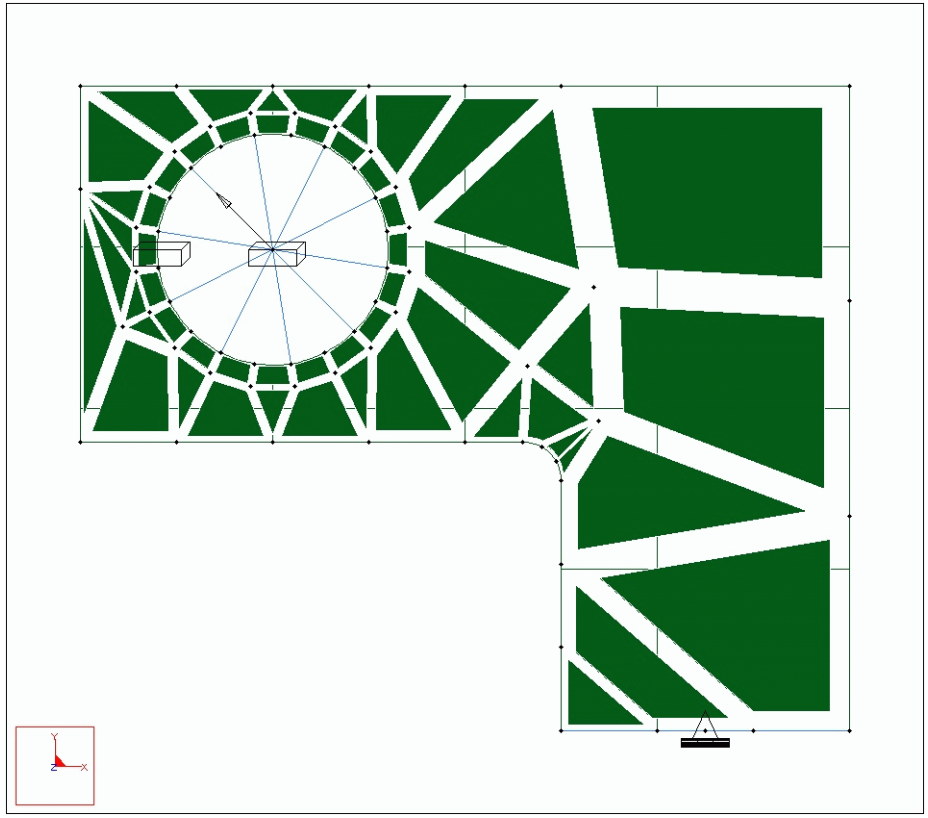




Variationen IV

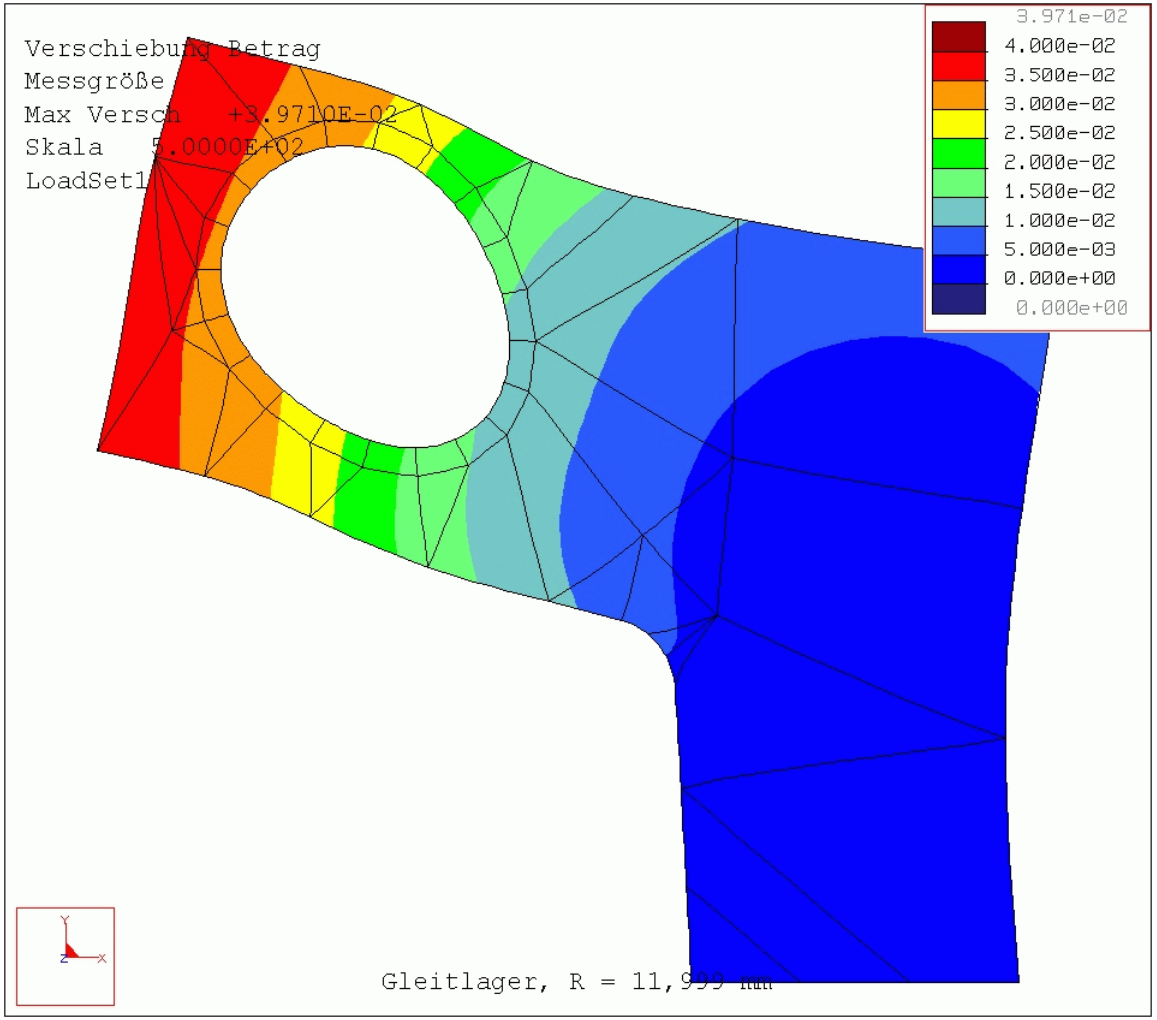
- Starre Verbindung
- Halbe orthotrope Schicht





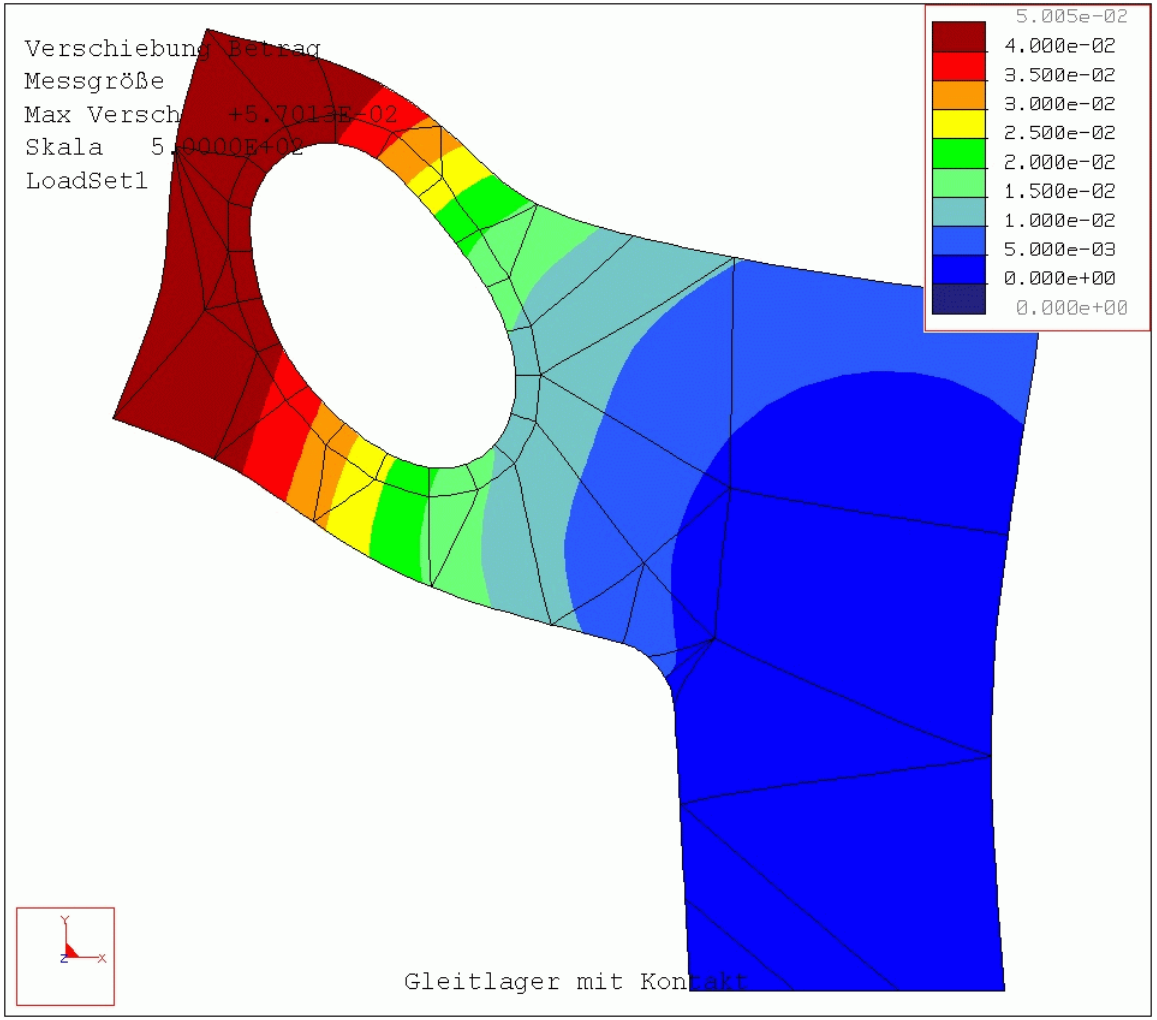
Verformungs-Ergebnisse

- MECHANICA-Analyse mit Kontakt
- Spalt: 1 µm
- Max. Verschiebung: 39,7 µm



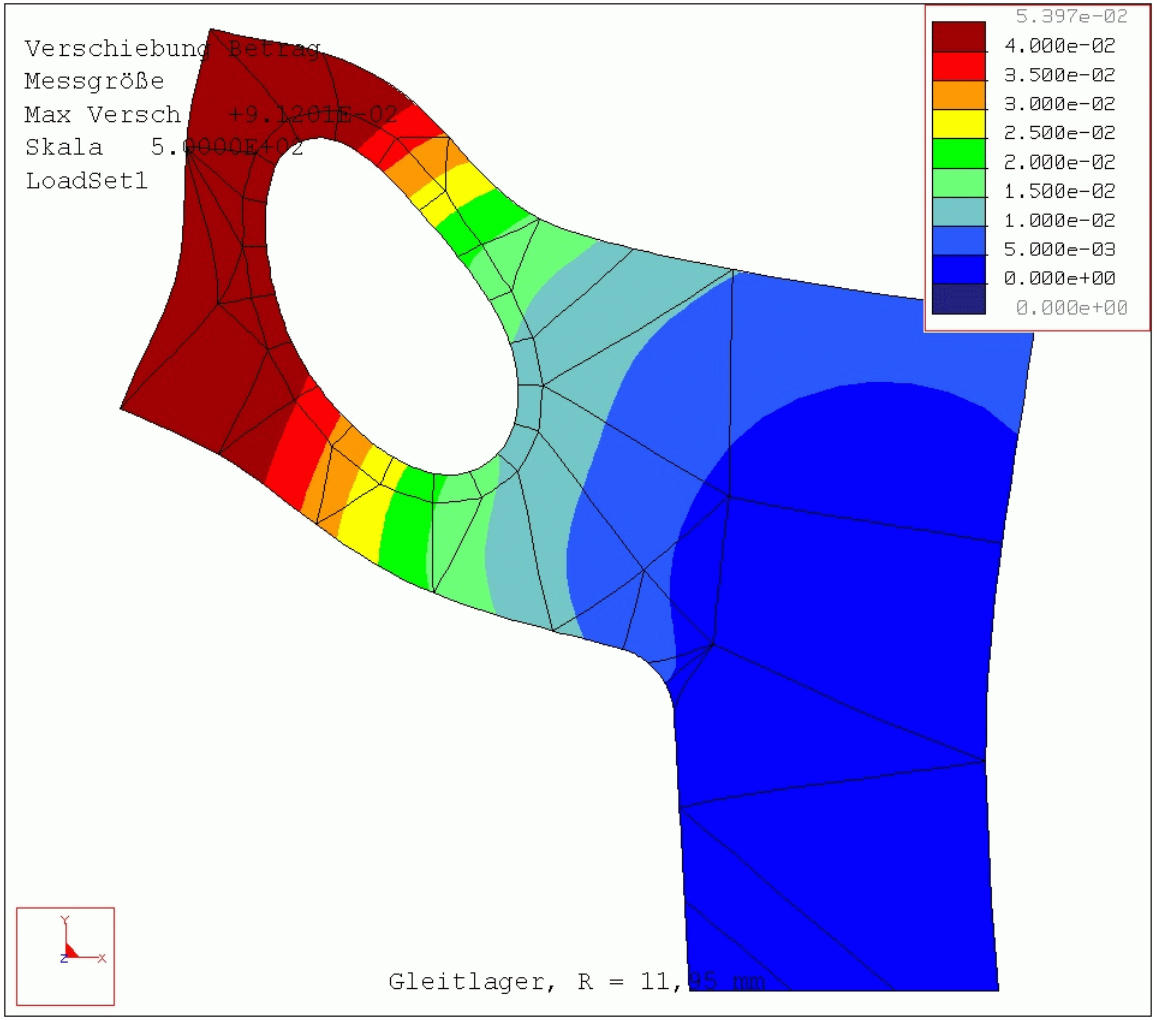
Verformungs-Ergebnisse

- Referenz: MECHANICA-Analyse mit Kontakt
- Spalt: 20 µm
- Max. Verschiebung: 50,0 µm



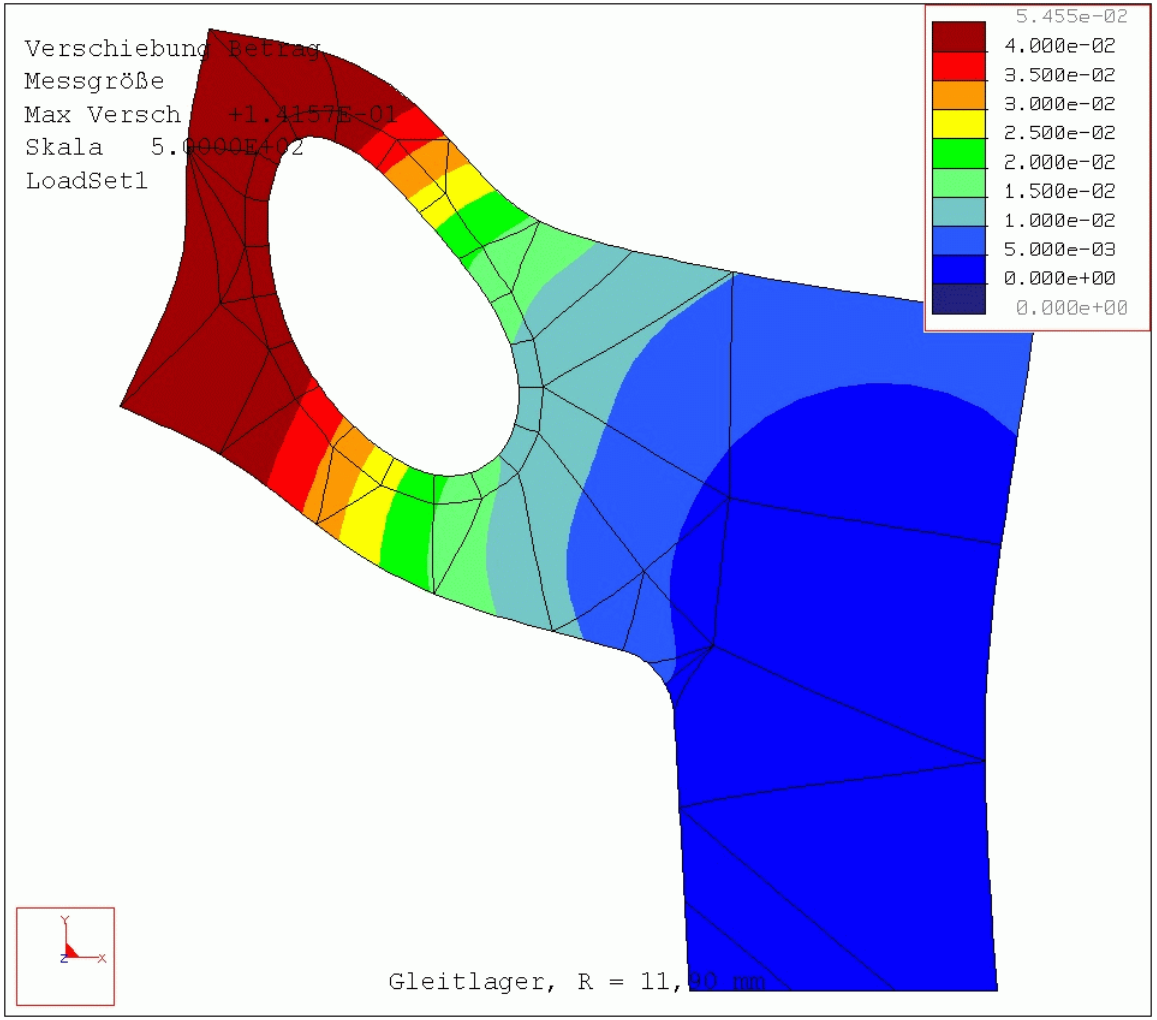
Verformungs-Ergebnisse

- MECHANICA-Analyse mit Kontakt
- Spalt: 50 µm
- Max. Verschiebung: 54,0 µm



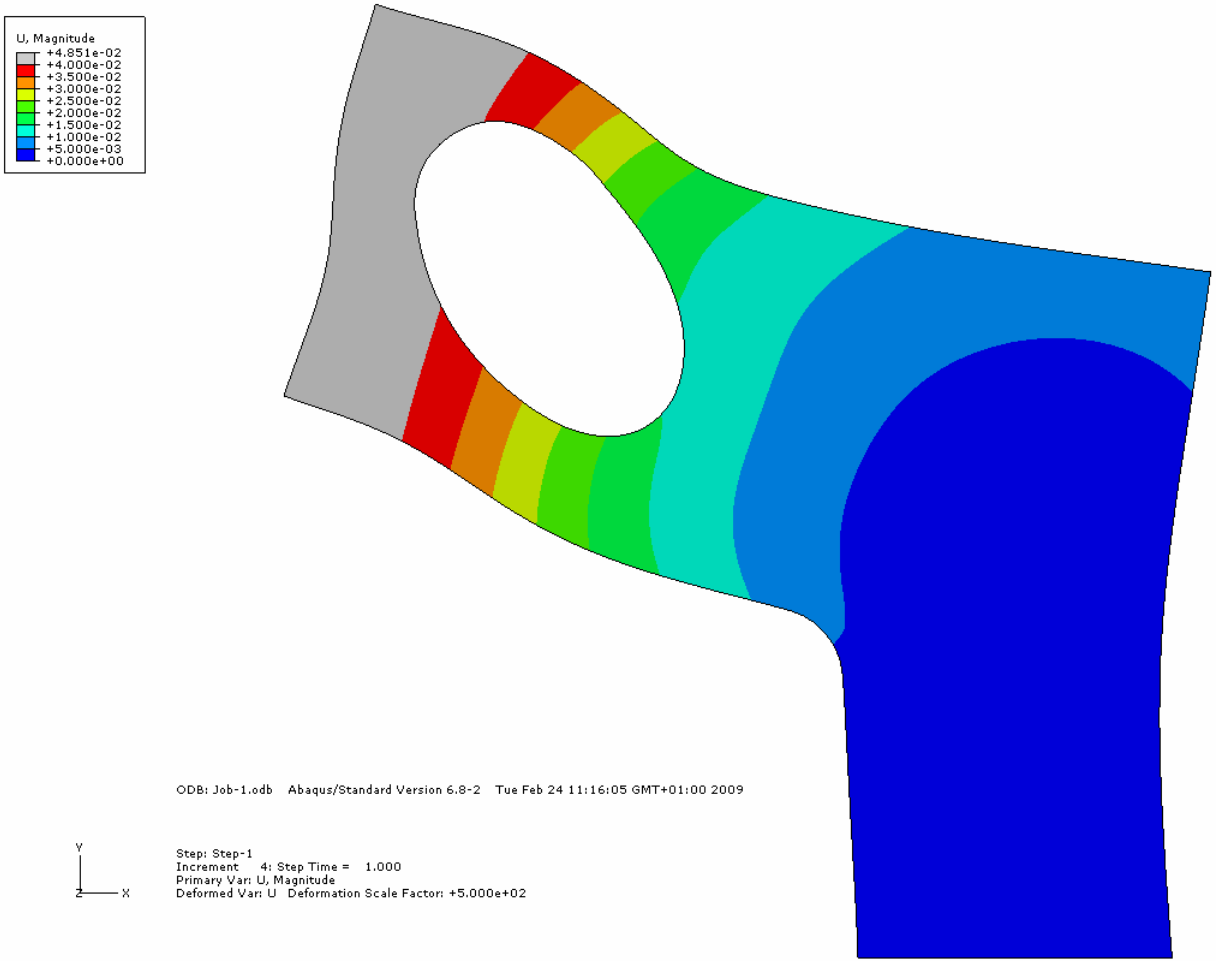
Verformungs-Ergebnisse

- MECHANICA-Analyse mit Kontakt
- Spalt: 100 µm
- Max. Verschiebung: 54,6 µm



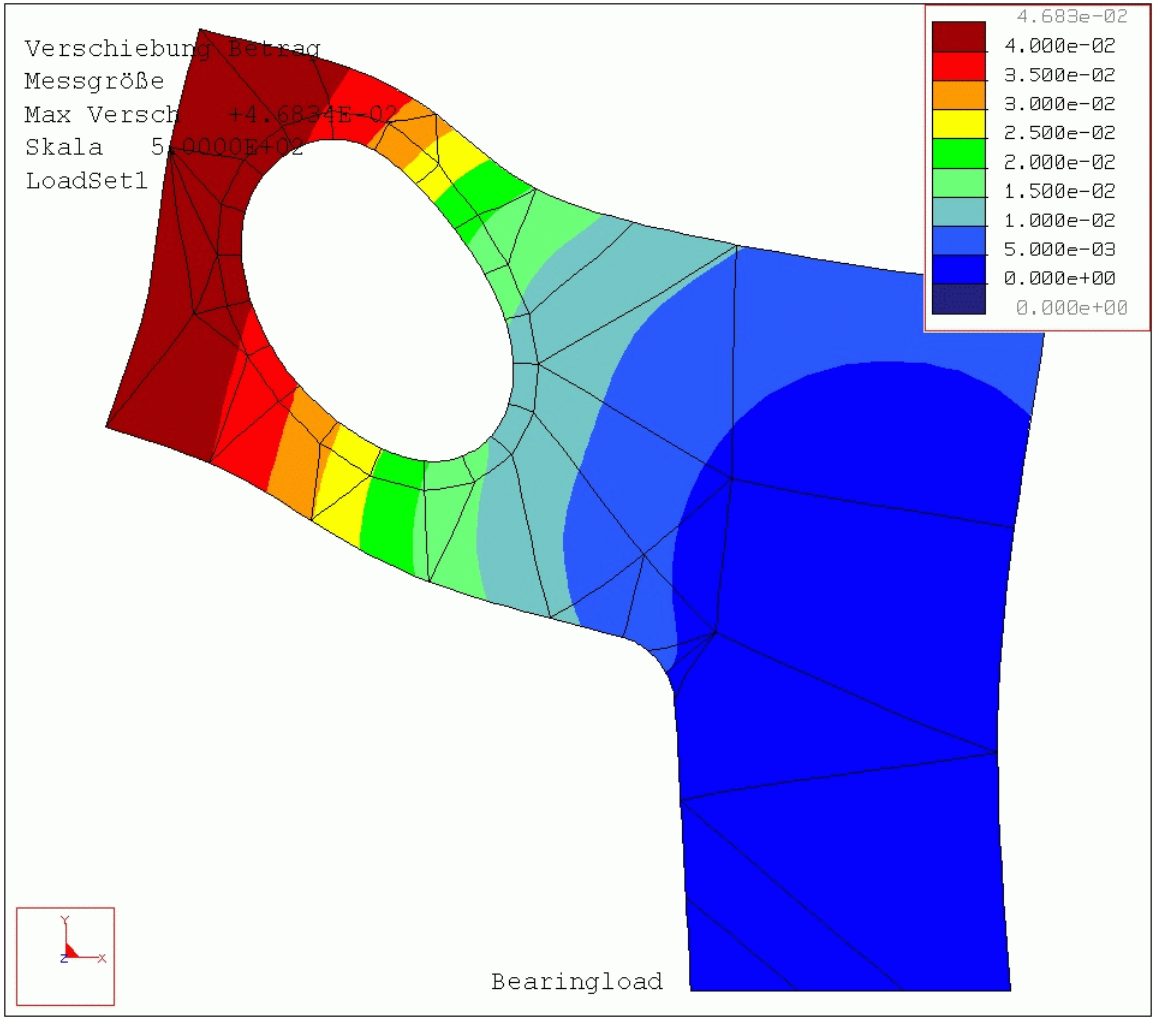
Verformungs-Ergebnisse

- ABAQUS-Analyse mit Kontakt
- Spalt: 20 µm
- Max. Verschiebung: 48,5 µm



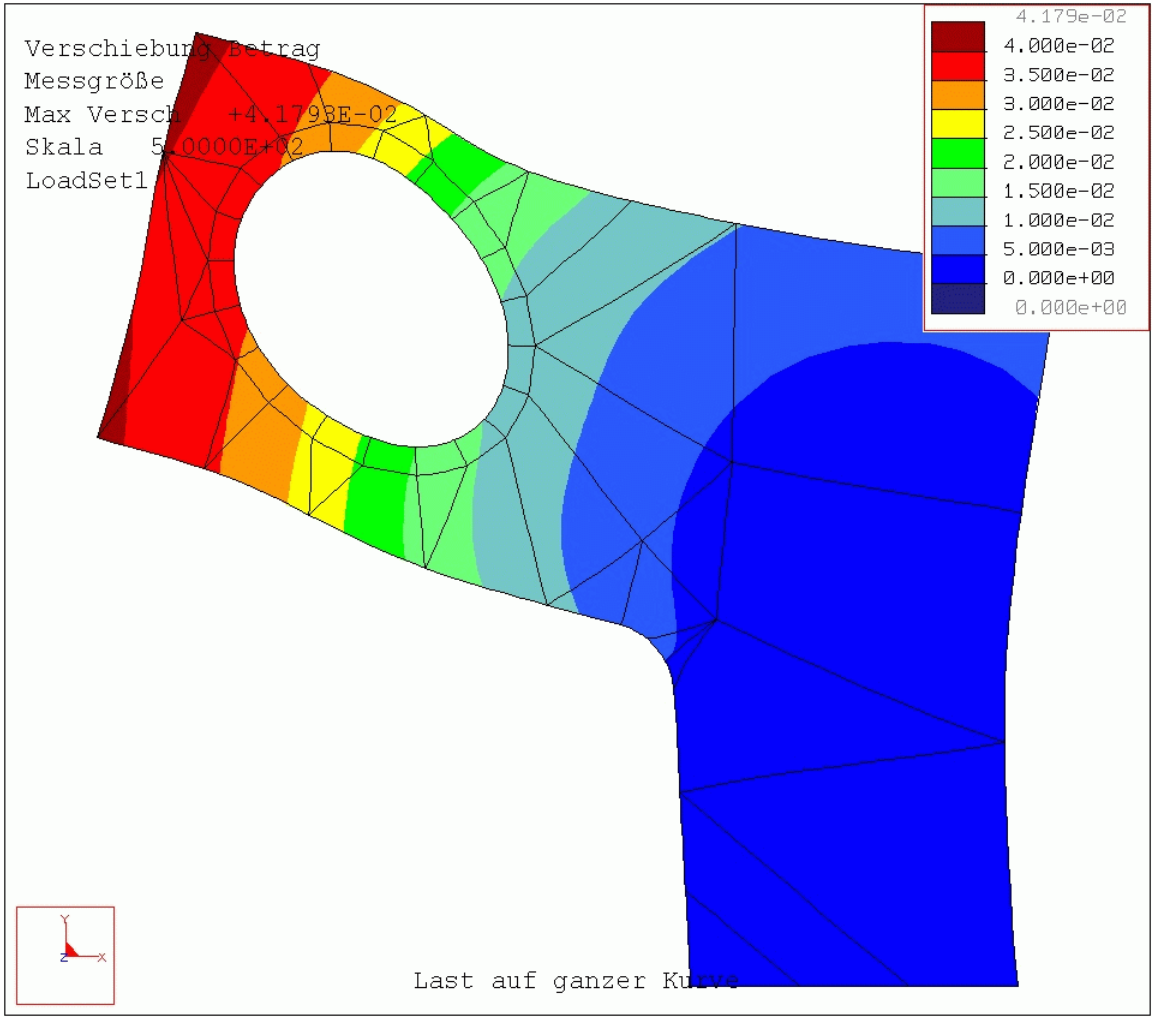
Verformungs-Ergebnisse

- » MECHANICA-Analyse mit Lagerlast
- » Max. Verschiebung: 46,8 µm



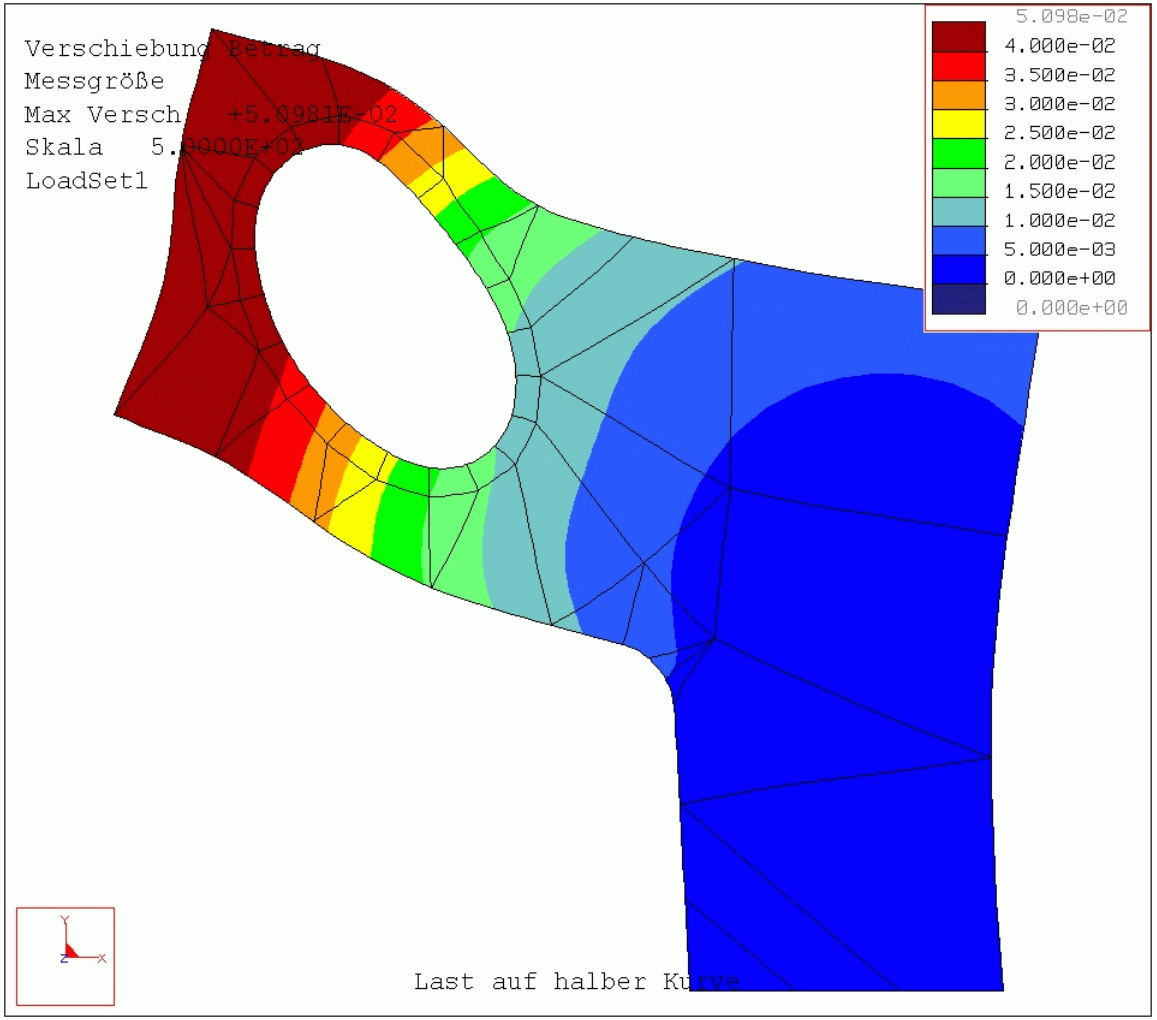
Verformungs-Ergebnisse

- MECHANICA-Analyse mit Kurvenlast
- Max. Verschiebung: 41,8 µm



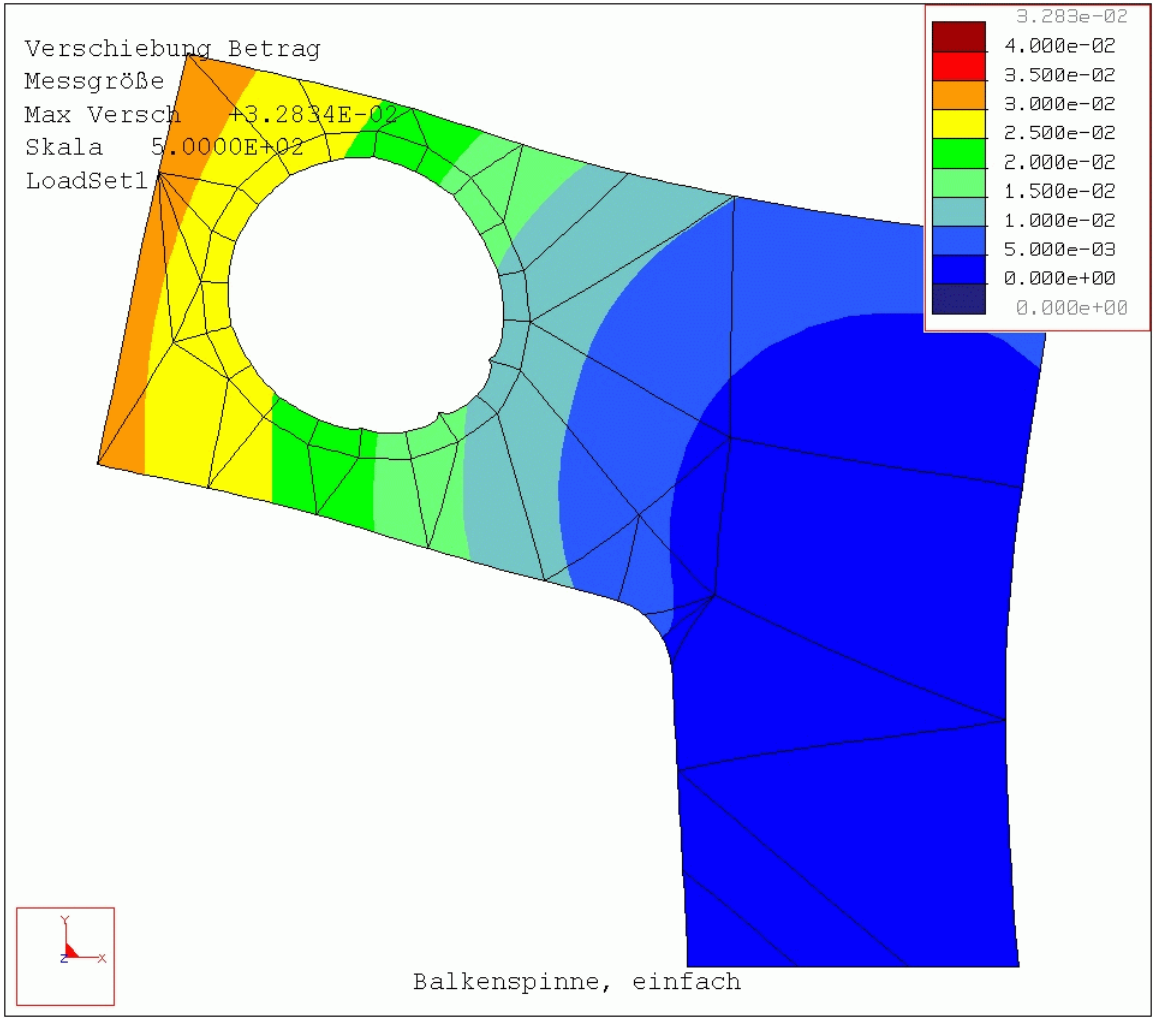
Verformungs-Ergebnisse

- MECHANICA-Analyse mit halber Kurvenlast
- Max. Verschiebung: 51,0 µm



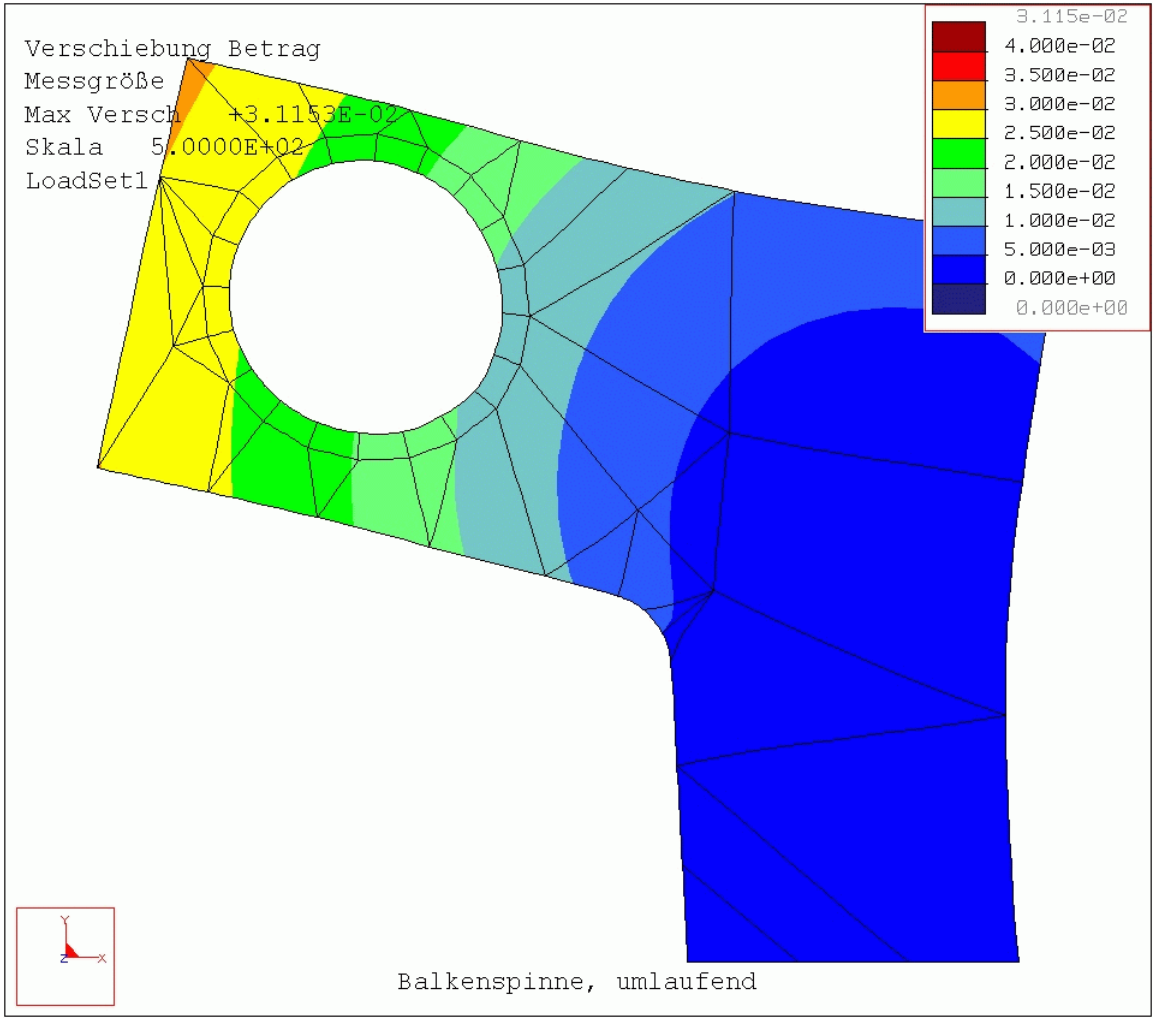
Verformungs-Ergebnisse

- MECHANICA-Analyse mit punktförmiger Balkenspinne
- Max. Verschiebung: 32,8 µm



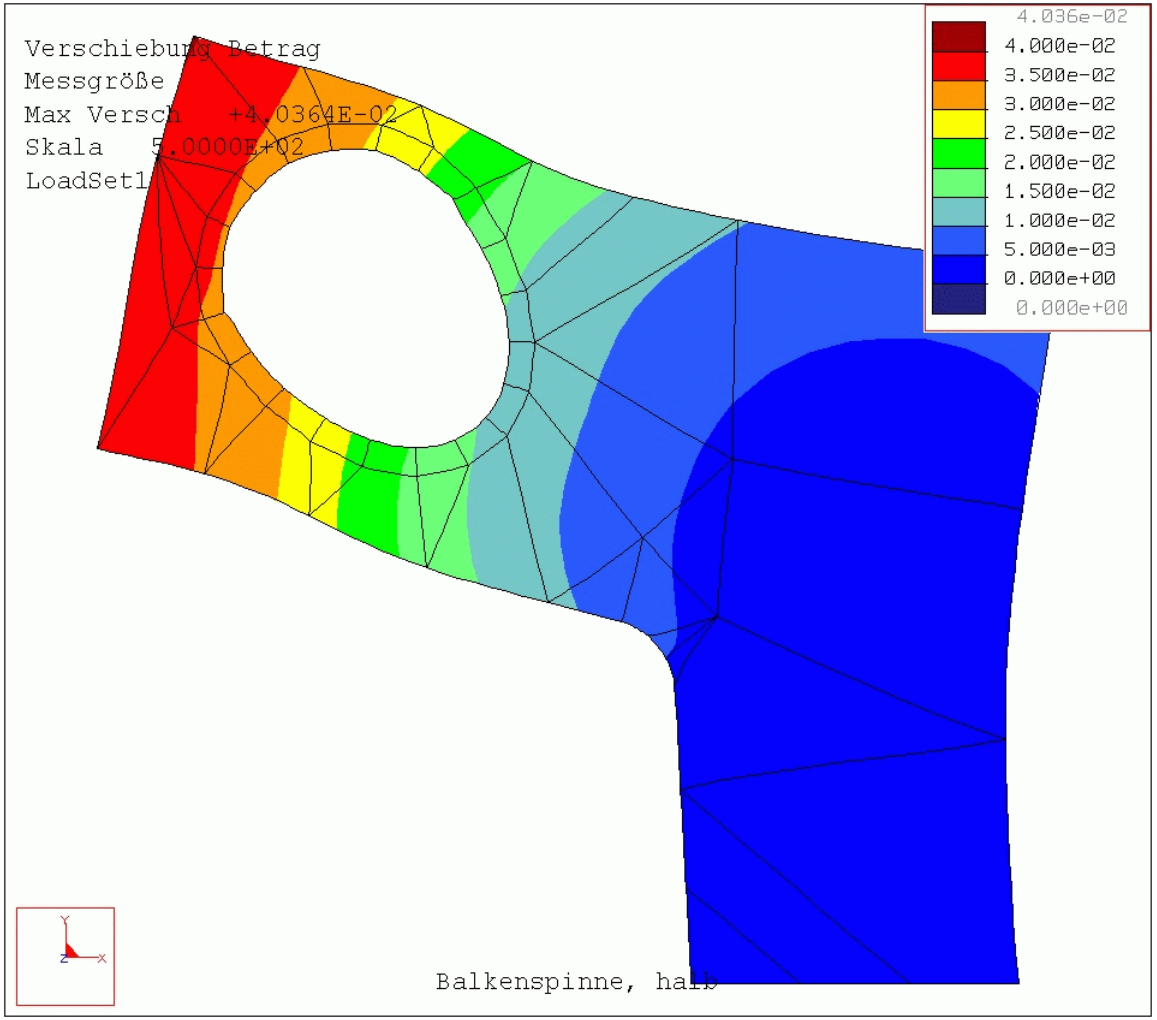
Verformungs-Ergebnisse

- MECHANICA-Analyse mit Balkenspinne und umlaufenden Balken
- Max. Verschiebung: 31,2 µm



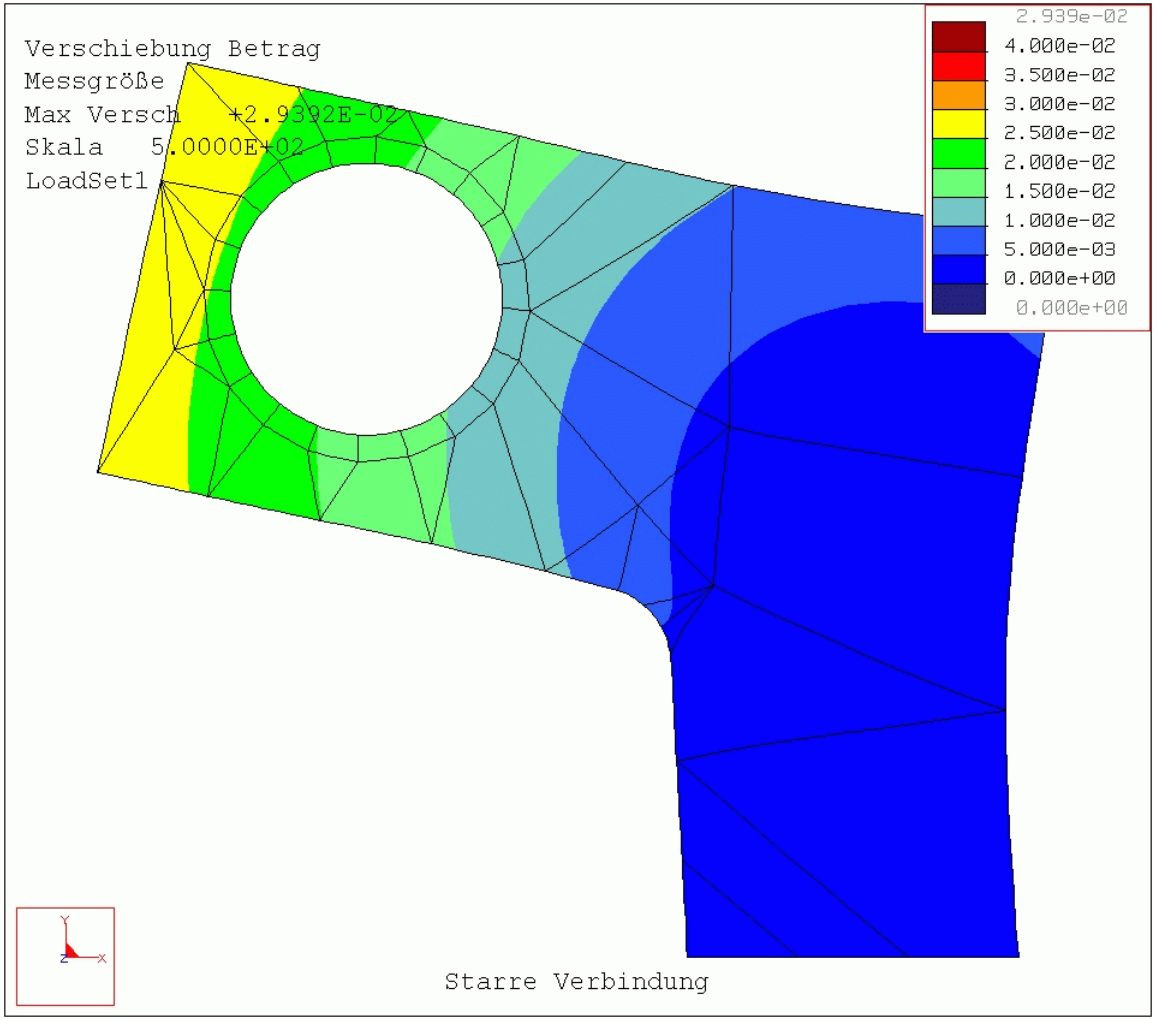
Verformungs-Ergebnisse

- MECHANICA-Analyse mit Balkenspinne und halb umlaufenden Balken
- Max. Verschiebung: 40,4 µm



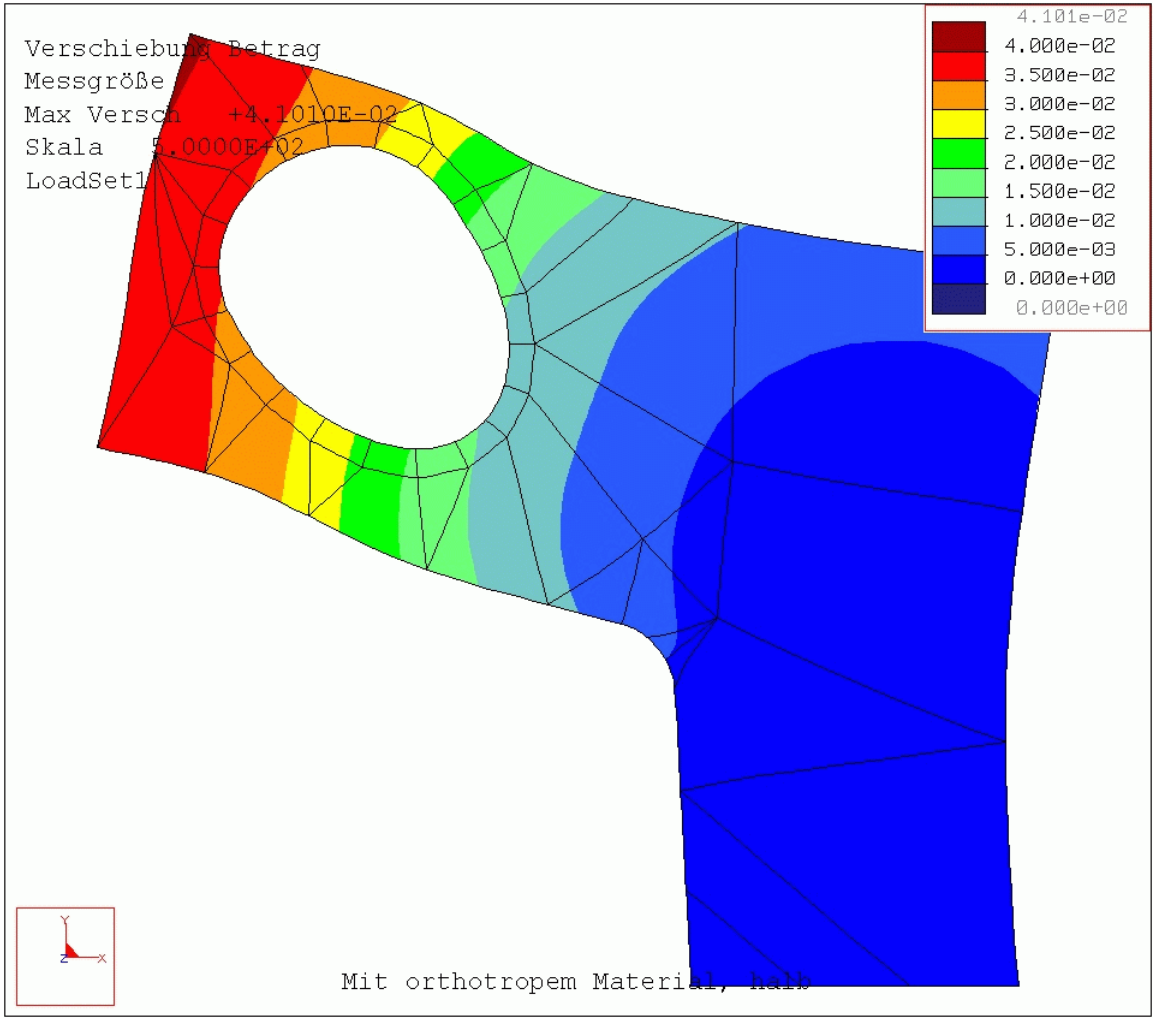
Verformungs-Ergebnisse

- MECHANICA-Analyse mit starrer Verbindung
- Max. Verschiebung: 29,4 µm



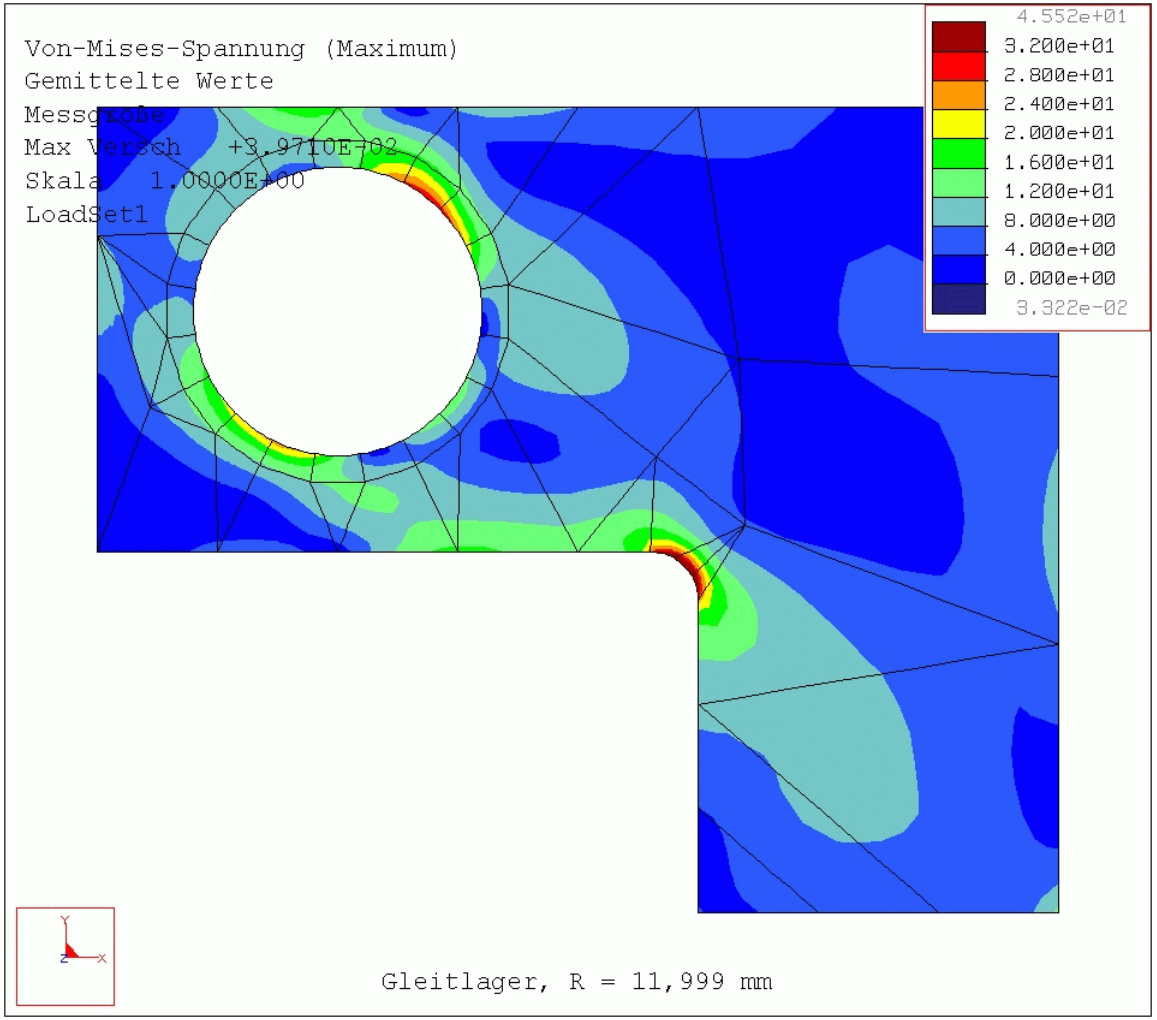
Verformungs-Ergebnisse

- MECHANICA-Analyse mit halber orthotroper Schicht
- Max. Verschiebung: 41,0 µm



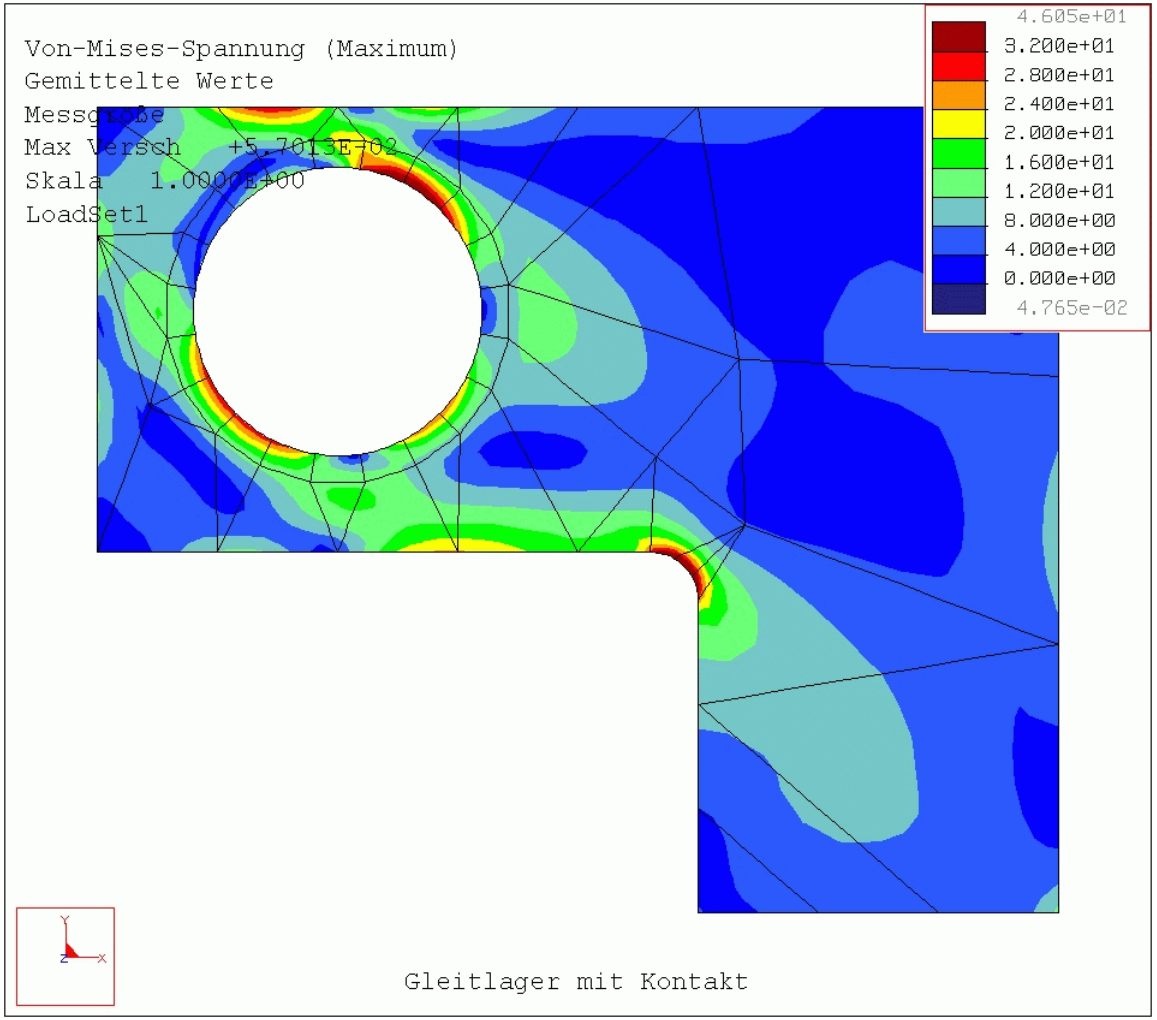
Von Mises-Ergebnisse

- MECHANICA-Analyse mit Kontakt
- Spalt: 1 µm
- Max. Von Mises Spannung: 45,5 MPa



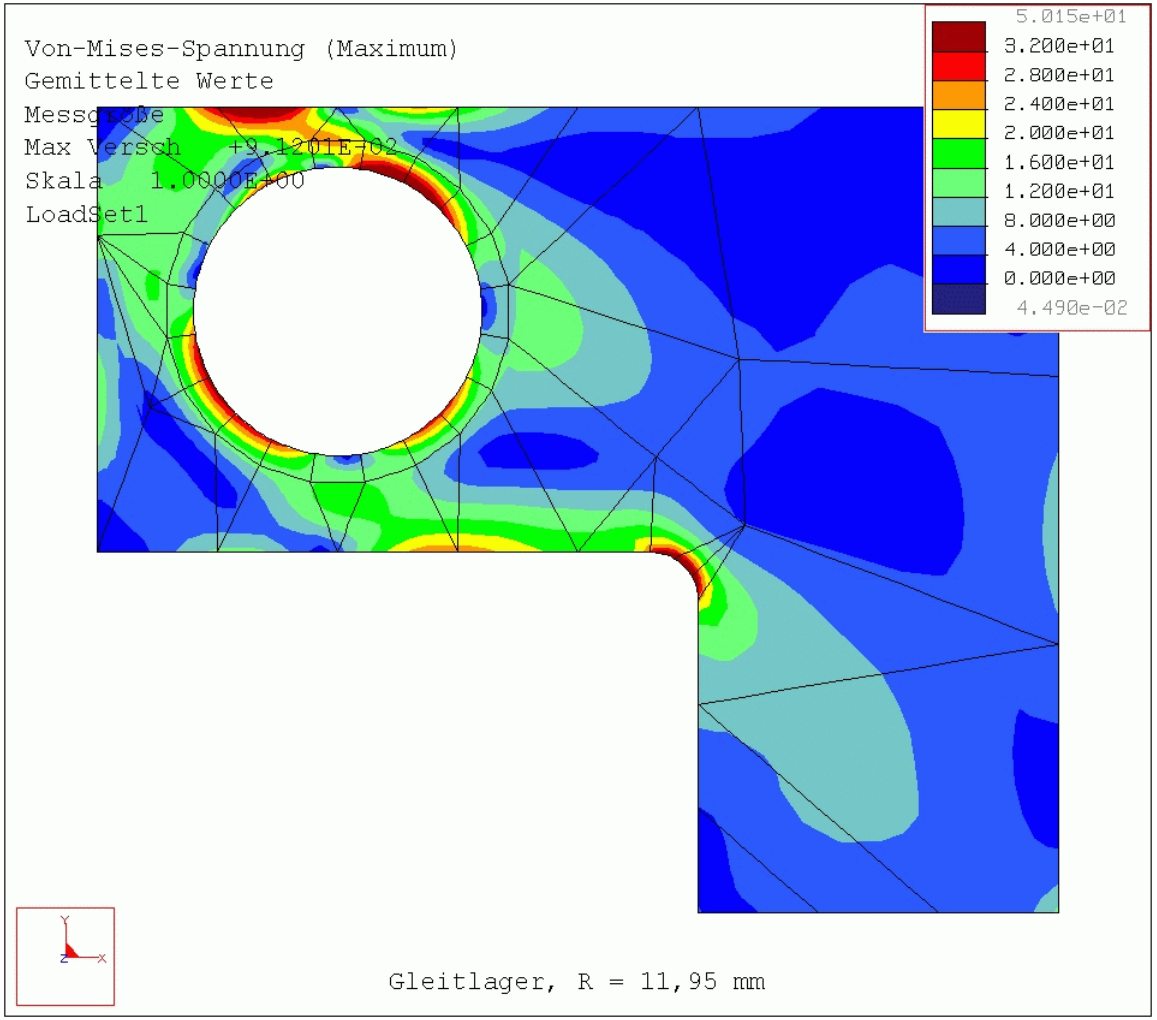
Von Mises-Ergebnisse

- Referenz: MECHANICA-Analyse mit Kontakt
- Spalt: 20 µm
- Max. Von Mises Spannung: 46,1 MPa



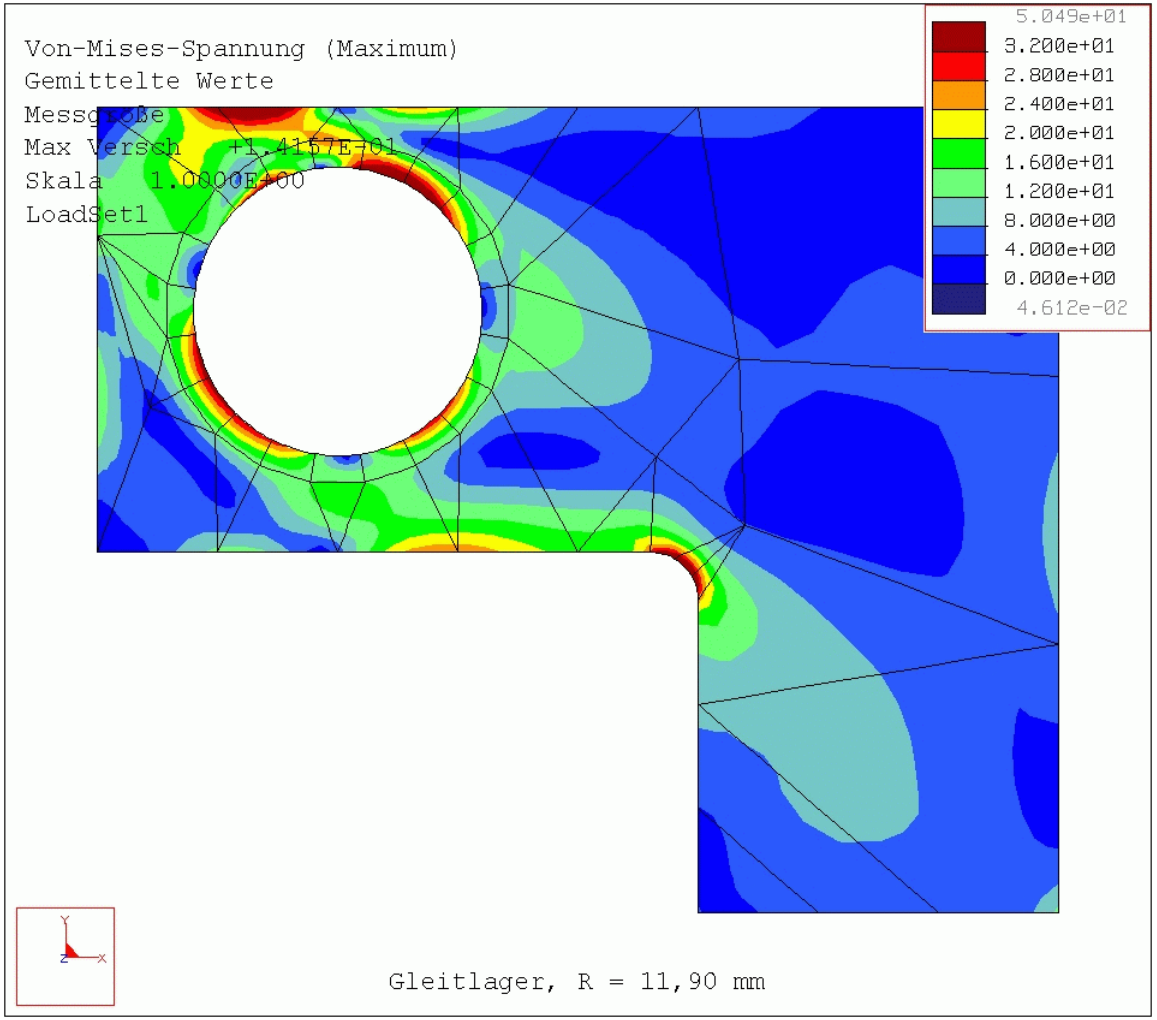
Von Mises-Ergebnisse

- MECHANICA-Analyse mit Kontakt
- Spalt: 50 µm
- Max. Von Mises Spannung: 50,2 MPa



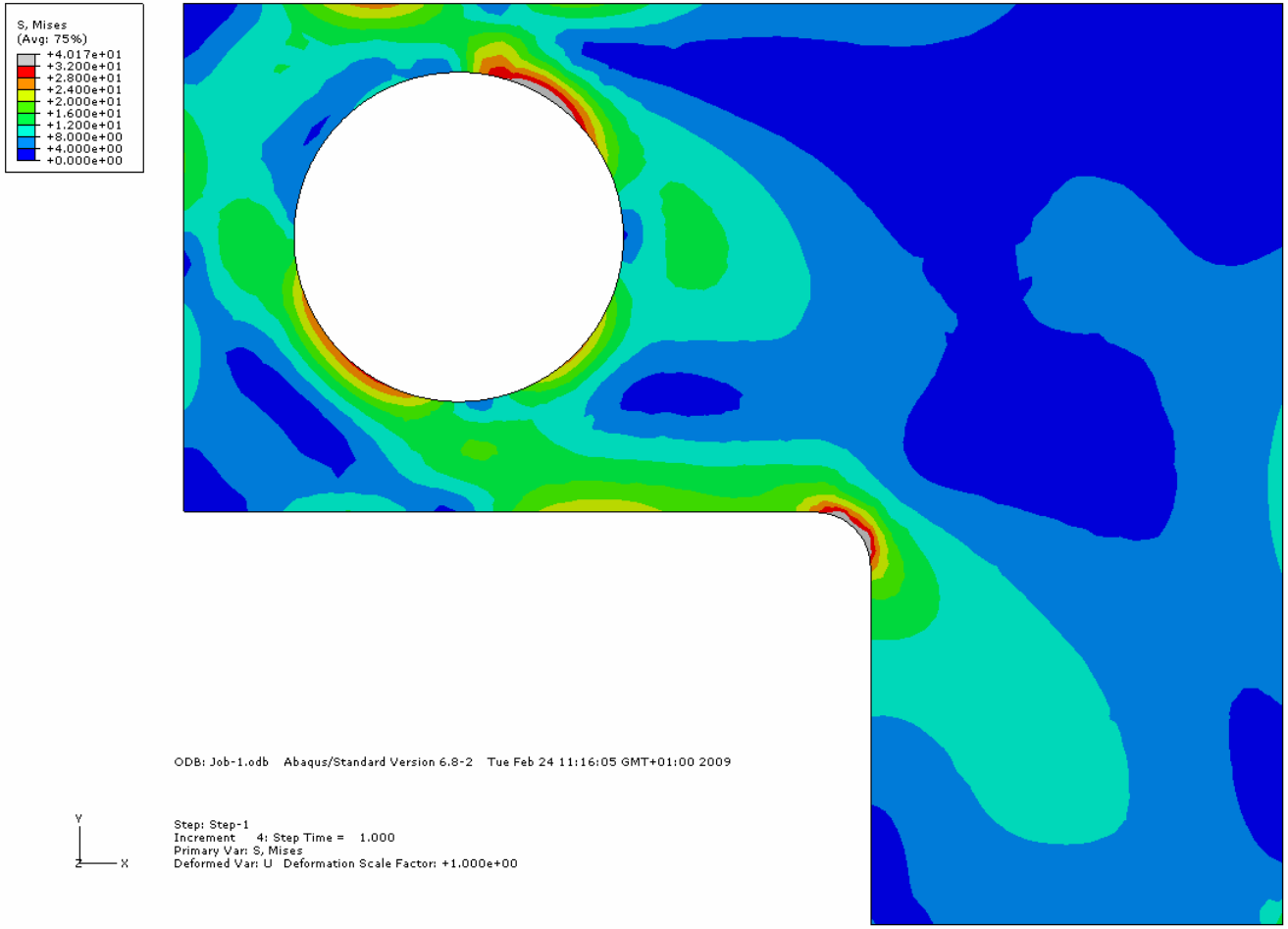
Von Mises-Ergebnisse

- MECHANICA-Analyse mit Kontakt
- Spalt: 100 µm
- Max. Von Mises Spannung: 50,5 MPa



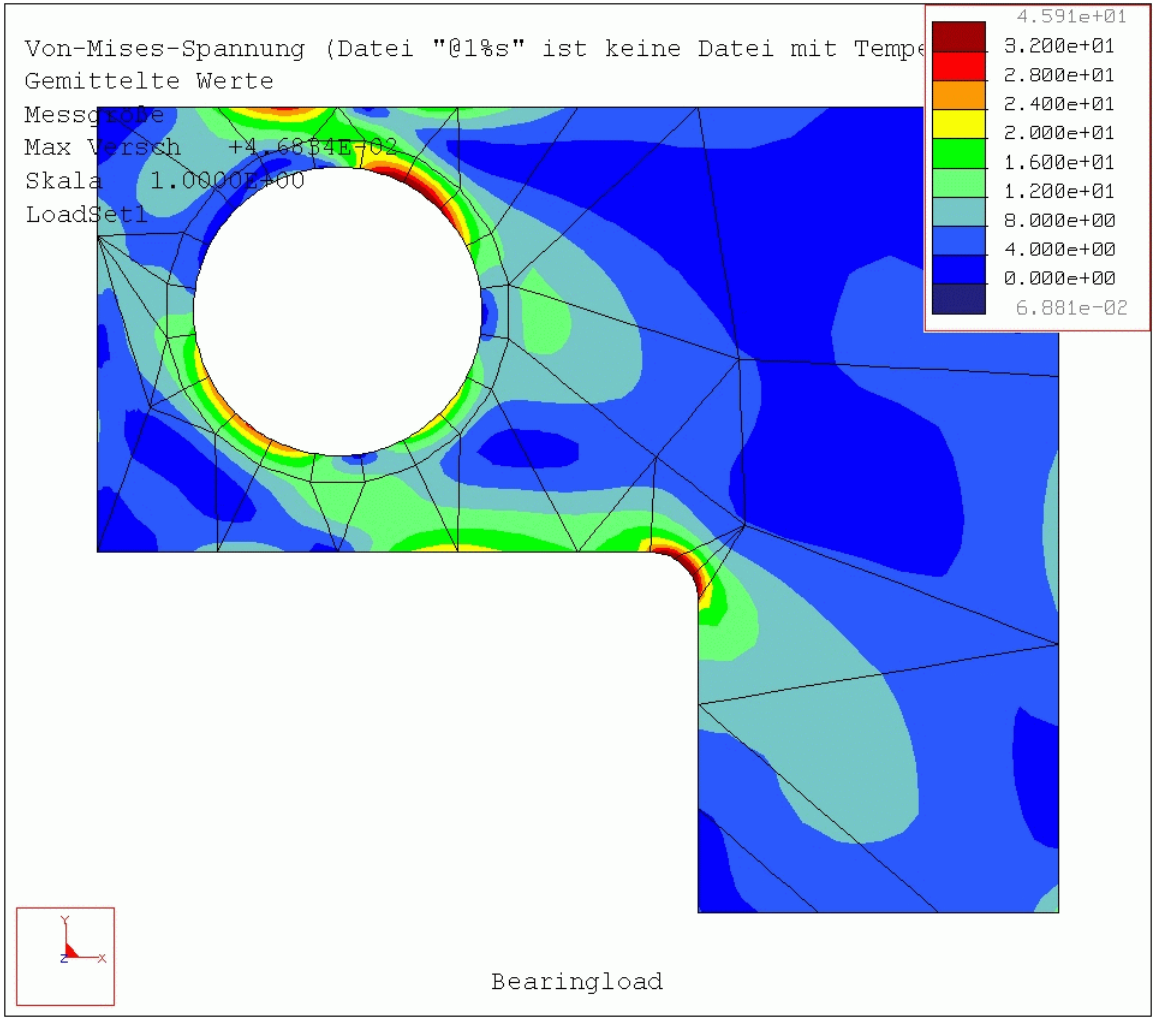
Von Mises-Ergebnisse

- » ABAQUS-Analyse mit Kontakt
- » Spalt: 20 µm
- » Max. Von Mises Spannung: 40,2 MPa



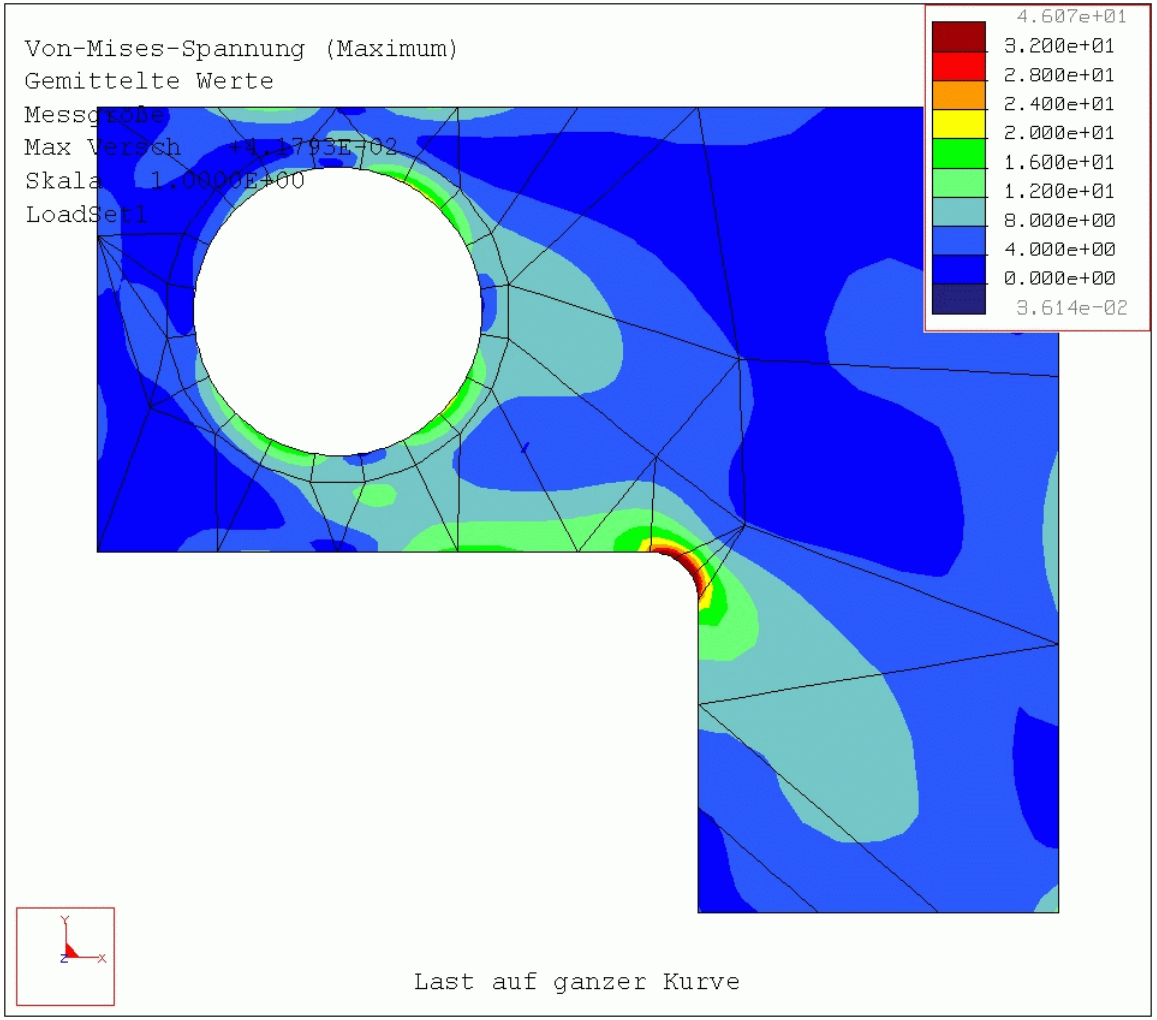
Von Mises-Ergebnisse

- MECHANICA-Analyse mit Lagerlast
- Max. Von Mises Spannung: 45,9 MPa



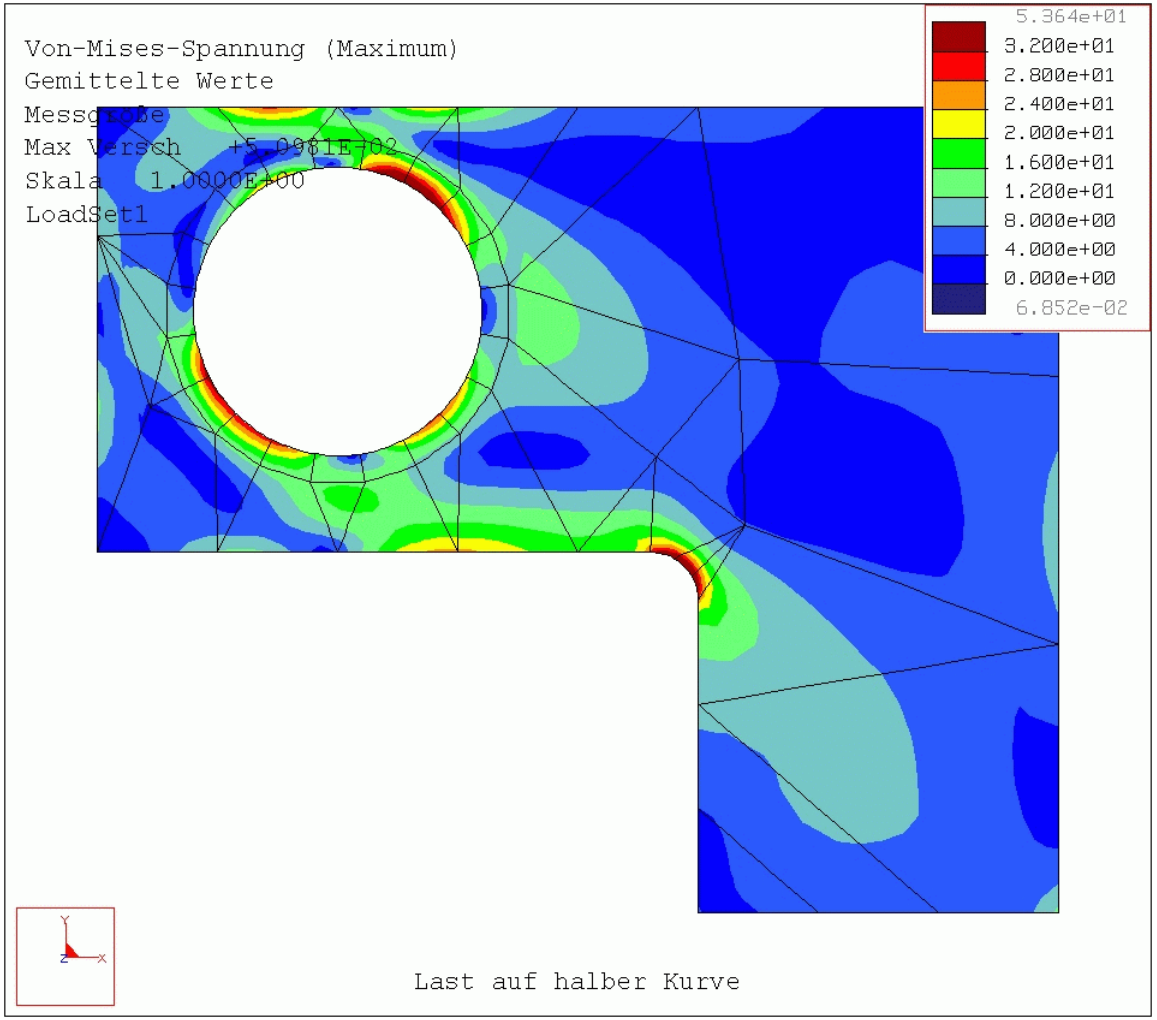
Von Mises-Ergebnisse

- » MECHANICA-Analyse mit Kurvenlast
- » Max. Von Mises Spannung: 46,1 MPa



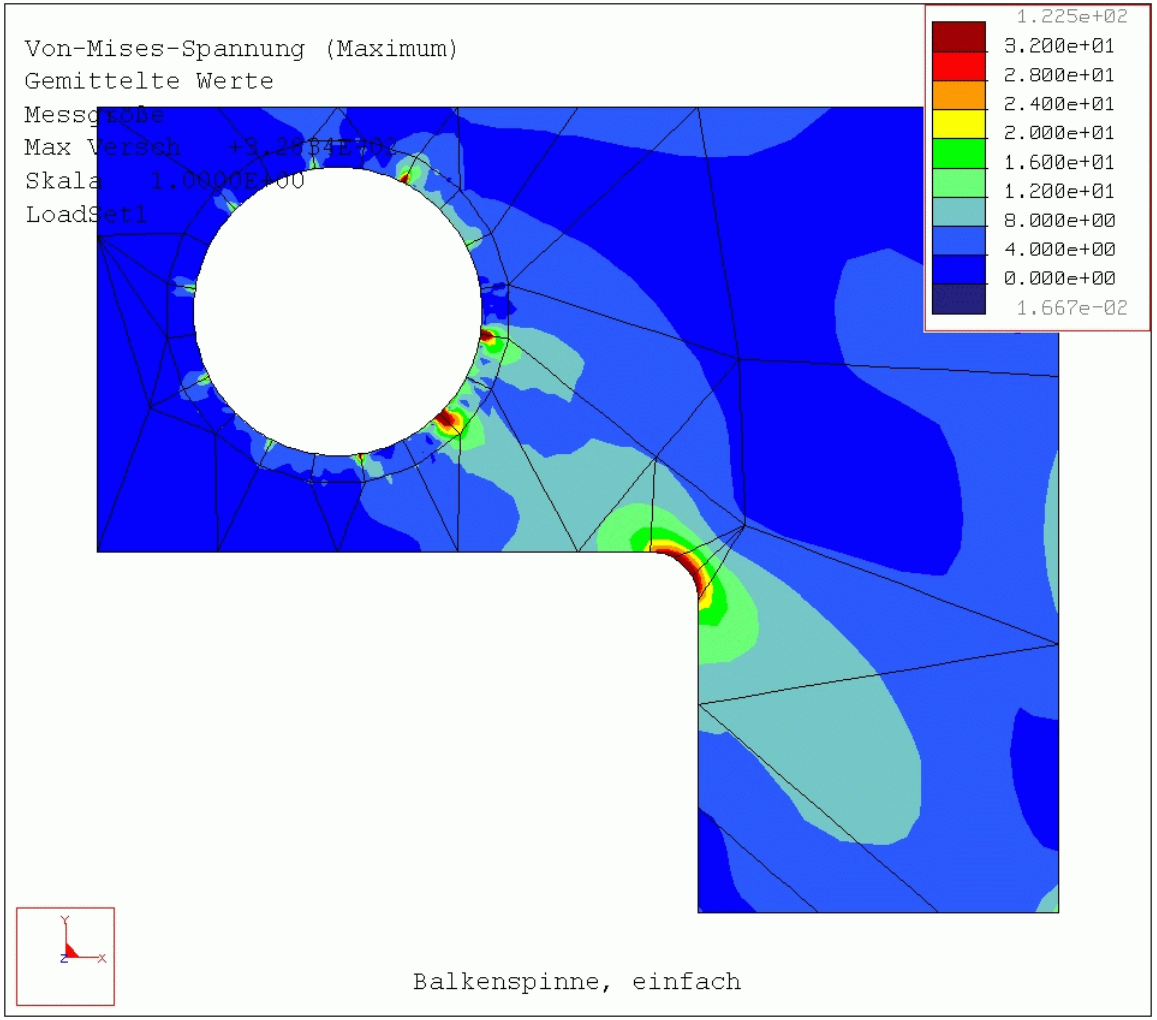
Von Mises-Ergebnisse

- MECHANICA-Analyse mit halber Kurvenlast
- Max. Von Mises Spannung: 53,6 MPa



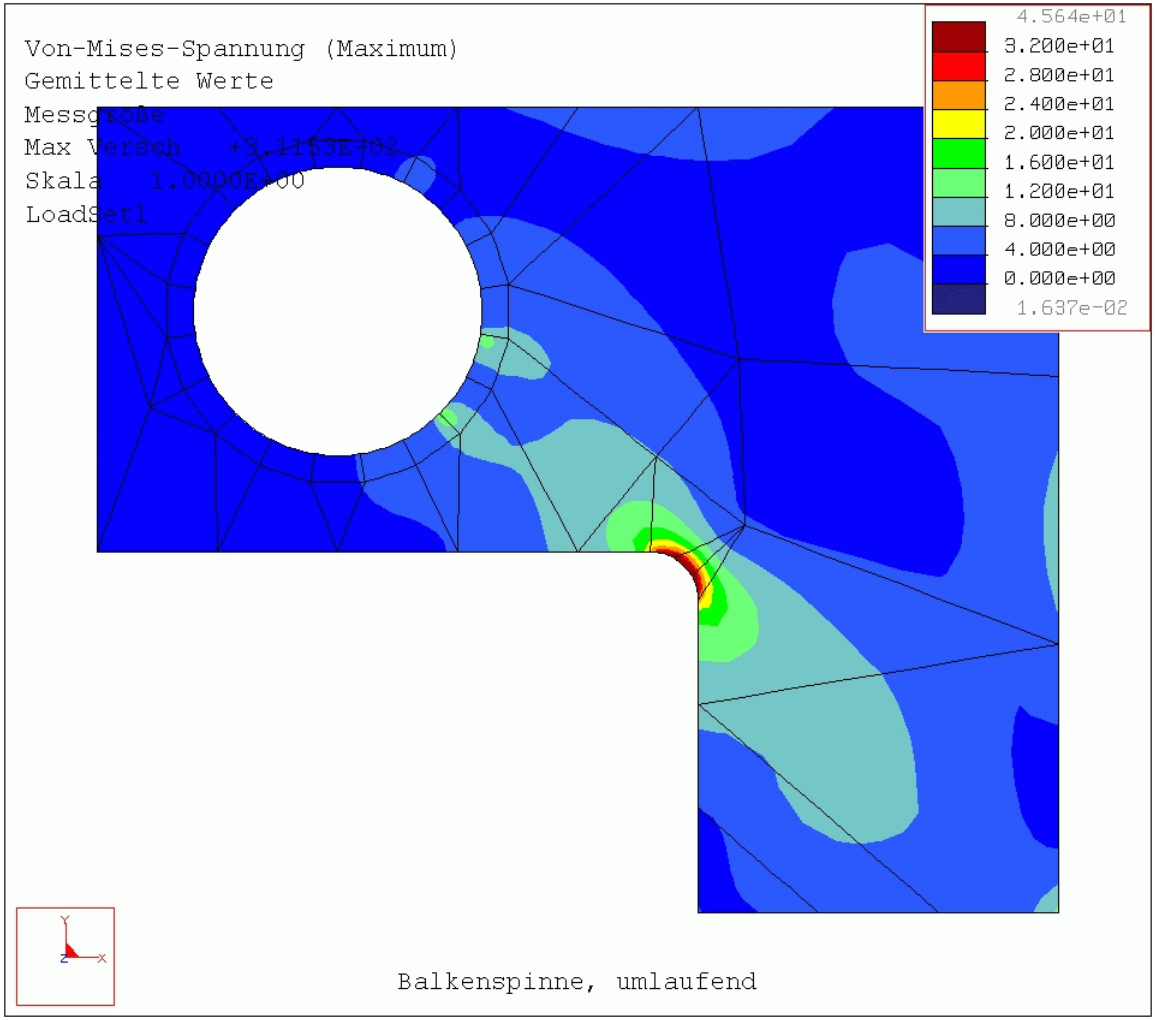
Von Mises-Ergebnisse

- MECHANICA-Analyse mit punktförmiger Balkenspinne
- Max. Von Mises Spannung: 122,5 MPa



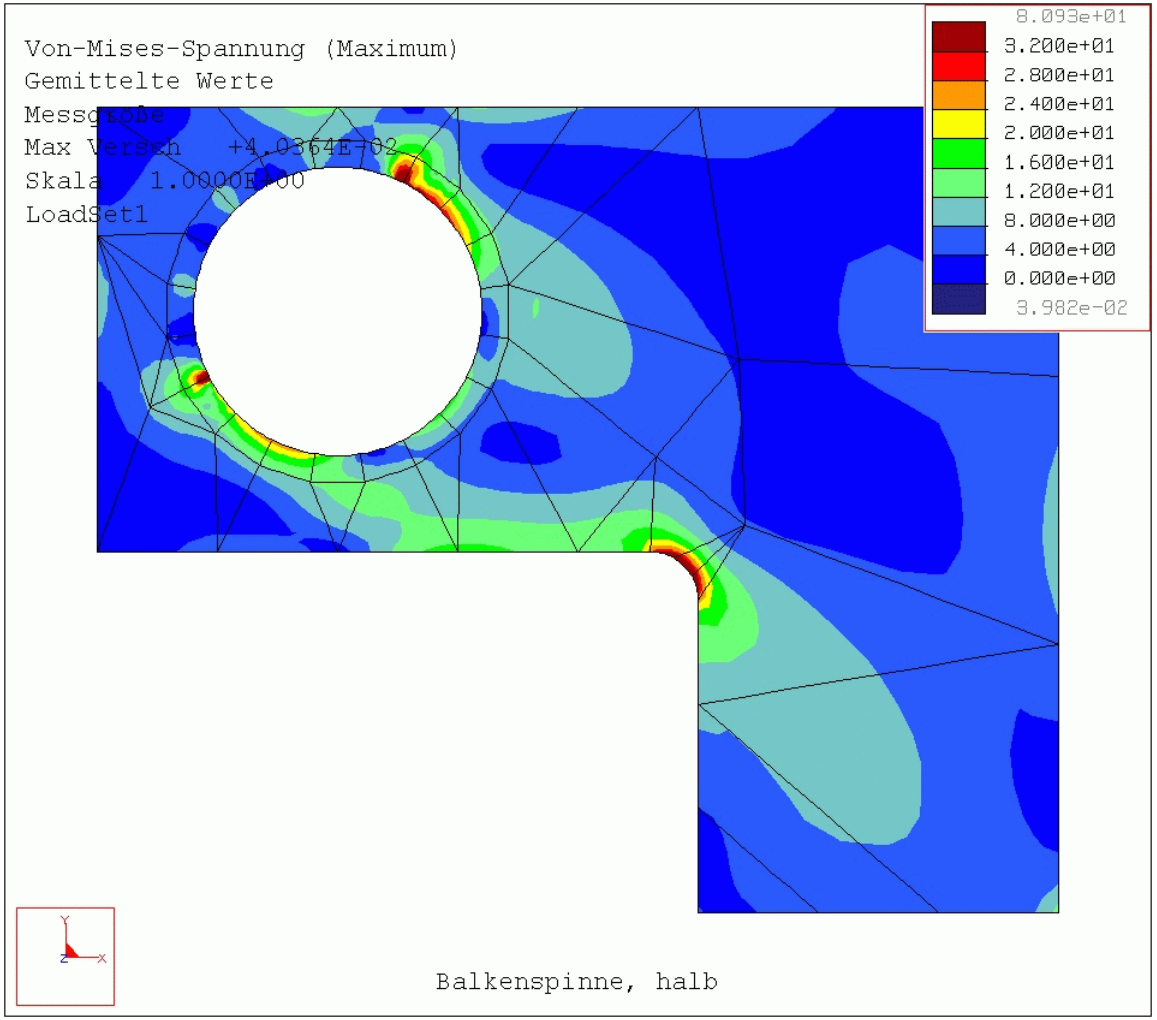
Von Mises-Ergebnisse

- » MECHANICA-Analyse mit Balkenspinne und umlaufenden Balken
- » Max. Von Mises Spannung: 45,6 MPa



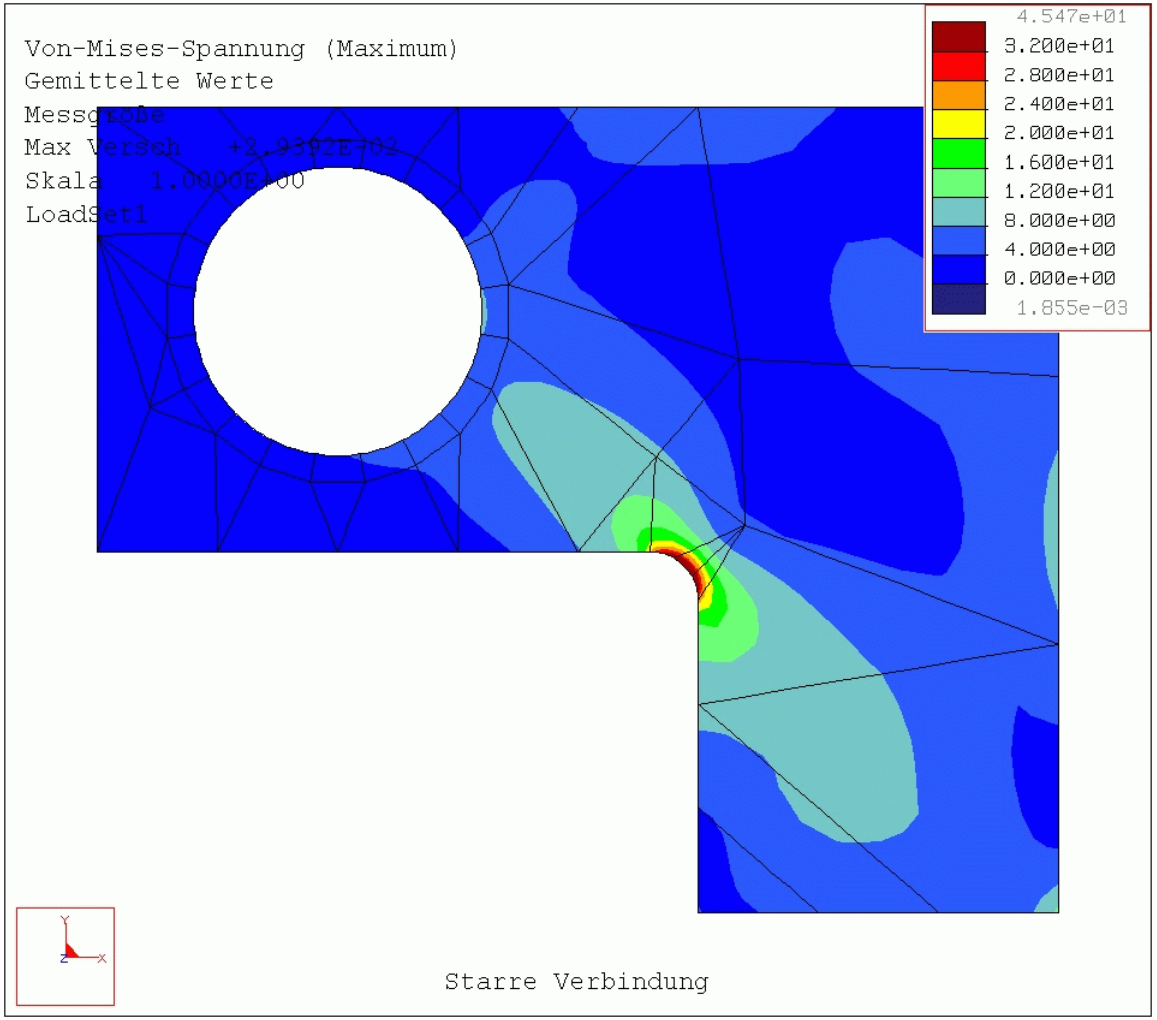
Von Mises-Ergebnisse

- MECHANICA-Analyse mit Balkenspinne und halb umlaufenden Balken
- Max. Von Mises Spannung: 80,9 MPa



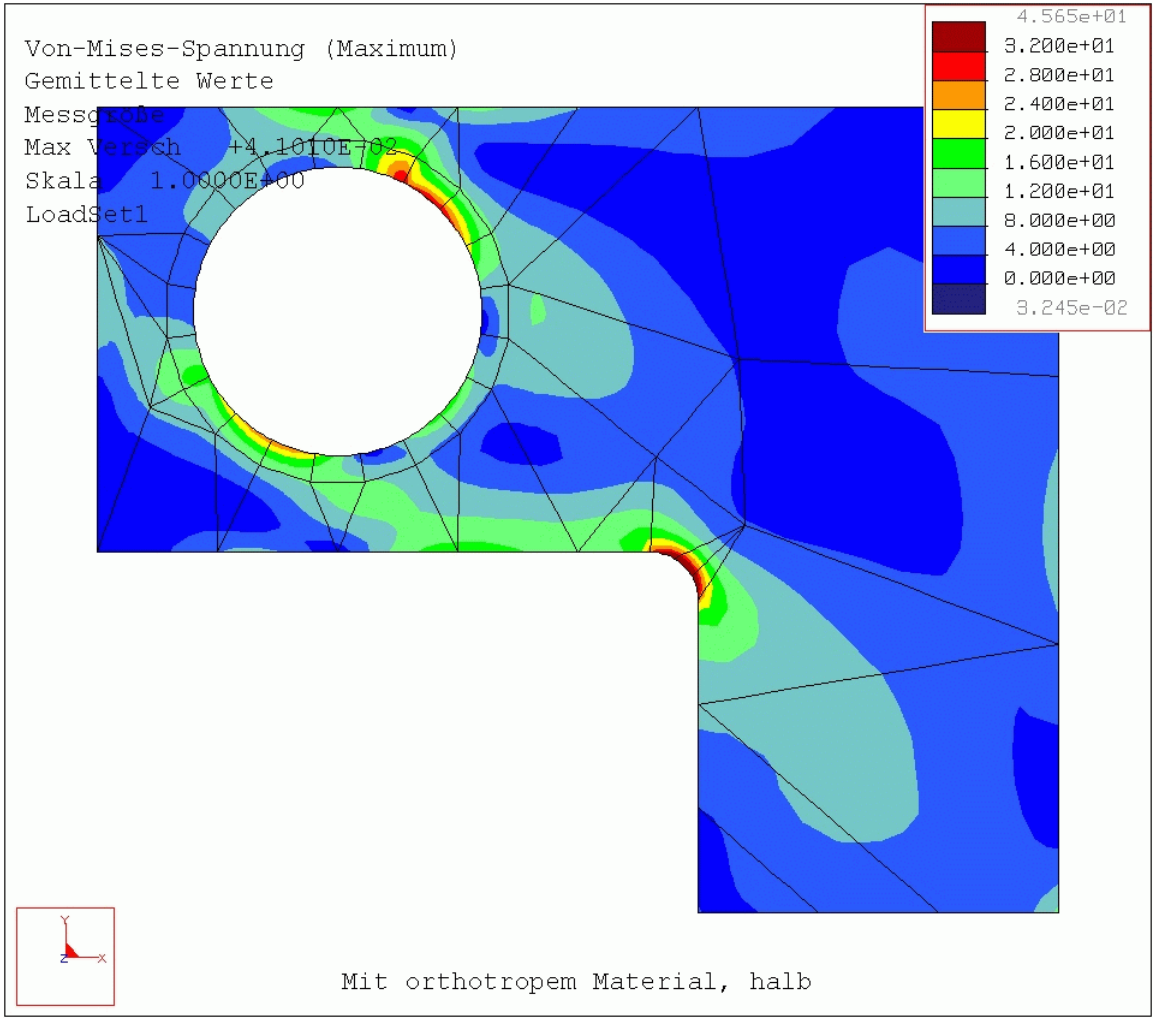
Von Mises-Ergebnisse

- MECHANICA-Analyse mit starrer Verbindung
- Max. Von Mises Spannung: 45,5 MPa



Von Mises-Ergebnisse

- MECHANICA-Analyse mit halber orthotroper Schicht
- Max. Von Mises Spannung: 45,7 MPa



Fehler-Einstufungen

- Referenz: MECHANICA Kontakt-Analyse mit 20 µm Spalt: 15 % schwarz
- Fehler 0 bis 5 %: 30 % schwarz
- Fehler 5 bis 10 %: 45 % schwarz
- Fehler 10 bis 20 %: 60 % schwarz
- Fehler größer 20 %: 75 % schwarz
- Der Spaltbreiten-Vergleich zeigt nur die Abweichungen zum Referenz-Modell

Vergleiche I

Kontakt-Modelle		DOF [-]	d_mag [µm]	P6 [MPa]	P7 [MPa]	P8 [MPa]	P9 [MPa]	P10 [MPa]	P11 [MPa]
1 µm Spalt	MECH	3.806	39,7	25,7	31,9	18,9	17,4	45,5	17,2
20 µm Spalt	MECH	3.972	50,0	31,4	45,5	32,1	22,1	46,1	24,8
50 µm Spalt	MECH	4.024	54,0	35,1	50,2	44,1	25,5	46,2	27,1
100 µm Spalt	MECH	4.128	54,6	35,8	50,5	45,5	25,7	46,2	27,4
20 µm Spalt	ABAQ	9.348	48,5	29,1	38,7	26,2	17,9	40,2	23,2

Vergleiche II

MECH-Modelle	DOF [-]	RMS Spann.-Fehler [%]	d_mag [µm]	P6 [MPa]	P7 [MPa]	P8 [MPa]	P9 [MPa]	P10 [MPa]	P11 [MPa]
20 µm Spalt	3.972	0,9	50,0	31,4	45,5	32,1	22,1	46,1	24,8
Lagerlast	2.356	0,4	46,8	29,0	41,8	29,7	19,5	45,9	22,5
Kurvenlast	2.314	0,5	41,8	23,0	19,1	13,6	12,5	46,1	17,4
Halbe Kurvenlast	2.570	0,4	51,0	53,6	38,9	29,5	23,1	46,1	25,2
Starre Verbindung	1.501	0,5	29,4	2,6	1,6	0,1	0,7	45,5	8,7

Vergleiche III

MECH-Modelle	DOF [-]	RMS Spann.-Fehler [%]	d_mag [µm]	P6 [MPa]	P7 [MPa]	P8 [MPa]	P9 [MPa]	P10 [MPa]	P11 [MPa]
20 µm Spalt	3.972	0,9	50,0	31,4	45,5	32,1	22,1	46,1	24,8
Balkenspinne, einfach	3.655	11,2	32,8	53,3	26,1	6,6	10,6	45,9	20,1
Balkenspinne, umlaufend	2.806	0,9	31,2	7,7	4,0	3,3	4,2	45,6	10,7
Balkenspinne, halb umlaufend	3.451	3,9	40,4	80,9	60,1	14,2	22,6	45,6	17,8
Halbe ortho-trope Schicht	3.097	1,0	41,0	27,3	34,5	18,8	21,6	45,7	18,4

Schlußfolgerungen I

» Spaltvergrößerung:

- In unmittelbarer Umgebung der Kontaktstelle steigen die Verformungen und Spannungen mit zunehmendem Spalt - zum Teil erheblich - an
- Bei P10 (Radius) sind die Spannungen konstant
- Qualitativ sind die Spannungsverteilungen gleich
- Bei allen Analysen sind die numerischen Fehler (Konvergenz) kleiner 1,0 %

Schlußfolgerungen II

» Vergleich MECHANICA / ABAQUS (20 µm):

- ABAQUS zeigt stets zu geringe Verformungen (3 %) und Spannungen (5 % bis 20 %; 13 % bei P10)
- Qualitativ sind die Spannungsverteilungen gleich
- ABAQUS benötigte 9.348 DOF gegenüber 3.972 DOF bei MECHANICA
- Hinweis: mit ABAQUS können fast die gleichen Ergebnisse erreicht werden, wenn noch wesentlich feiner vernetzt wird (ca. 12.000 bis 20.000 DOF -> deutlich höherer Aufwand)

Schlußfolgerungen III

» Vergleich Modellierungsmethoden:

- Alle Methoden erlauben eine sehr genau Analyse der Spannungen außerhalb des Lagerbereichs (P10 und weiter entfernt)
- Die maximalen Verformungen schwanken erheblich (von 29,4 bis 51 µm)
- Lediglich die Lagerlast und halbe Kurvenlast ermöglicht noch befriedigende Spannungen in Lagernähe
- Mangelhaft sind aber starre Verbindungen, Balkenspinnen und orthotrope Schichten

Regeln

- Entscheidend ist, an welchen Stellen im Modell korrekte Ergebnisse nötig sind
- Starre Verbindungen in Lagern meiden (sind dafür auch nicht entwickelt worden)
- Balkenspinnen und orthotrope Schichten mit Vorsicht einsetzen (führen immer zu mehreren singulären Stellen)
- Kontakt-Analysen sind aufwändig, aber sehr genau und können Toleranzen berücksichtigen

Keine Experimente - Virtuelle Prototypen

Fragen ?
Bemerkungen ?
Kritik ?