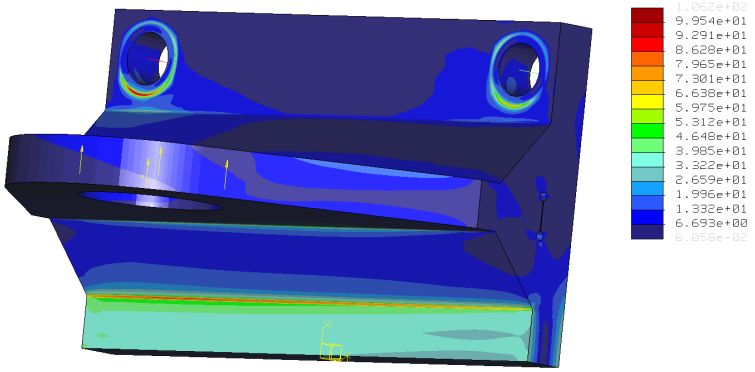
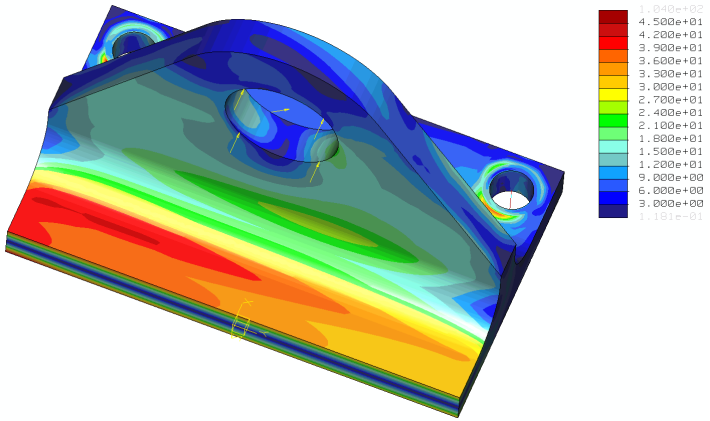
Simulation und Bewertung von Schweißstellen mit MECHANICA sowie Vergleich mit Abaqus





Alexander Reul, Dr. Stefan Reul

Seminar: Simulationen in der Verbindungstechnik - Möglichkeiten und Grenzen

PRETECH GmbH

19. April 2010

Agenda

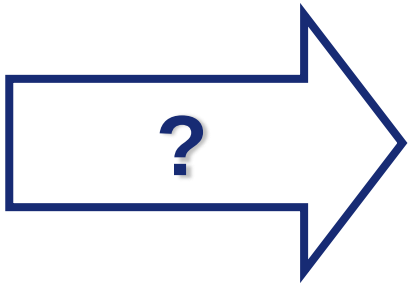
- » Problemstellung und Regelwerke
- » ‘Herausforderung’ Geometrievorbereitung
- » Beispiel mit MECHANICA und Abaqus
- » Spannungsergebnisse und numerische Qualität
- » Bewertung der Ergebnisse
- » Fazit

All rights reserved – Copyright per DIN 34

Problemstellung

» Schweißnähte müssen gegenüber nicht geschweißten Bereichen gesondert behandelt werden:

- Veränderungen des Materialgefüges
- Eigenspannungen
- Geometrie kann nur vereinfacht berücksichtigt werden



All rights reserved – Copyright per DIN 34

Regelwerke

- U.a. folgende Regelwerke geben Empfehlungen zur Bewertung von Schweißnahtspannungen:
  - FKM-Richtlinie
  - AD-Merkblätter 2002 (Druckbehälter)
  - DIN 18800-1 (Krane, Stahltragwerke)
  - DIN 15018-1 (Stahlbauten)
- Hier betrachtet: FKM-Richtlinie

All rights reserved – Copyright per DIN 34

Agenda

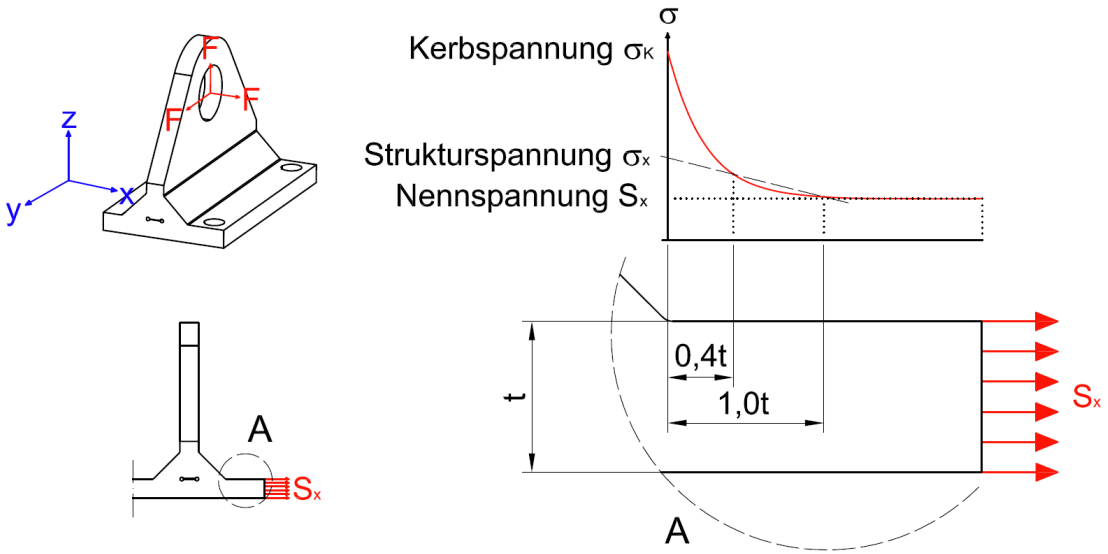
- » Problemstellung und Regelwerke
- » ‘Herausforderung’ Geometrievorbereitung
- » Beispiel mit MECHANICA und Abaqus
- » Spannungsergebnisse und numerische Qualität
- » Bewertung der Ergebnisse
- » Fazit

All rights reserved – Copyright per DIN 34

Berechnungsmethoden

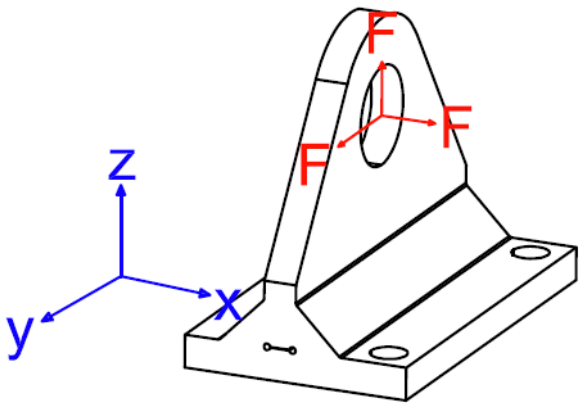
» Hier diskutiert:

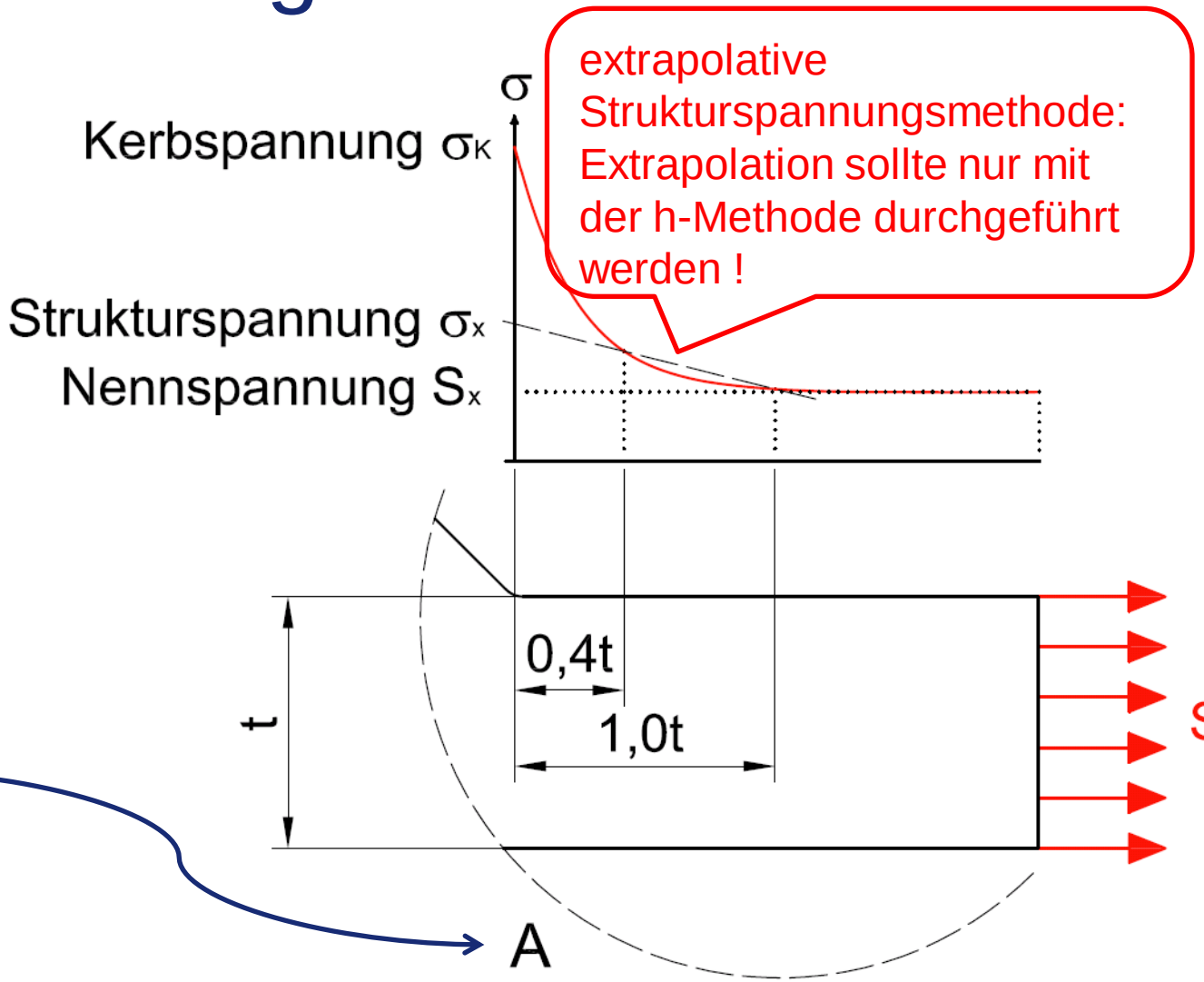
- Nennspannungsmethode
- Strukturspannungsmethode
- Kerbspannungsmethode



All rights reserved – Copyright per DIN 34

Berechnungsmethoden

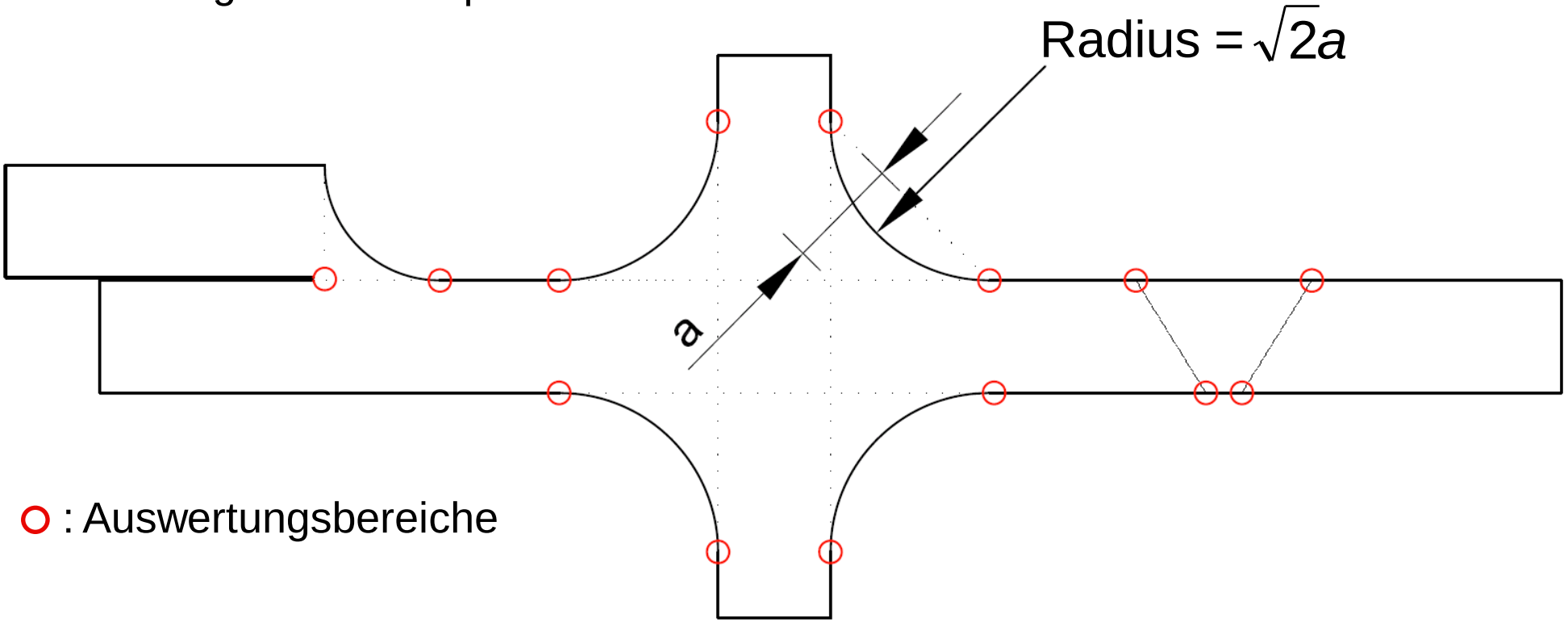




All rights reserved – Copyright per DIN 34

Strukturspannungsmethode

Berechnung mit h- oder p-Methode

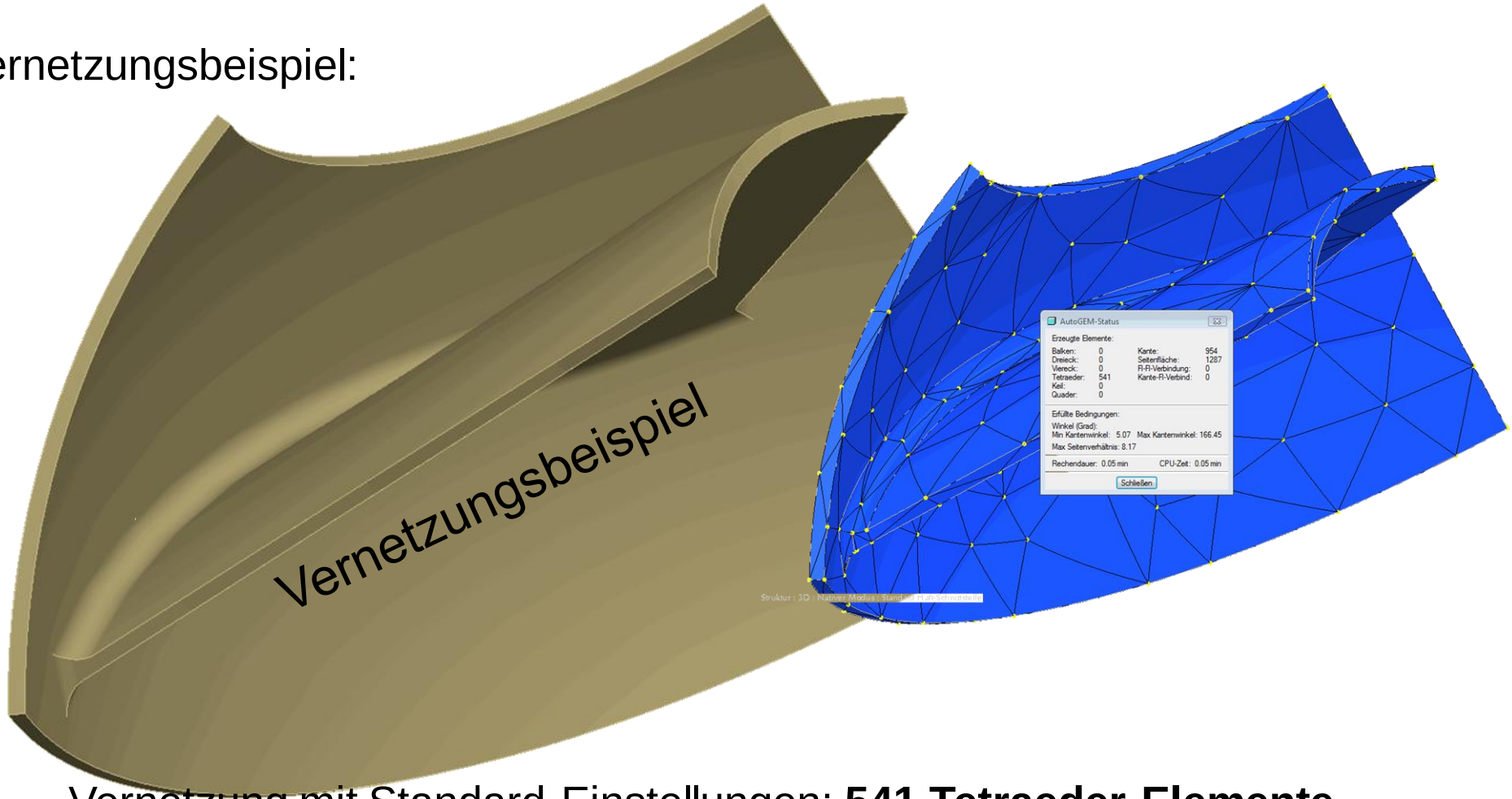


○ : Auswertungsbereiche

All rights reserved – Copyright per DIN 34

Strukturspannungsmethode

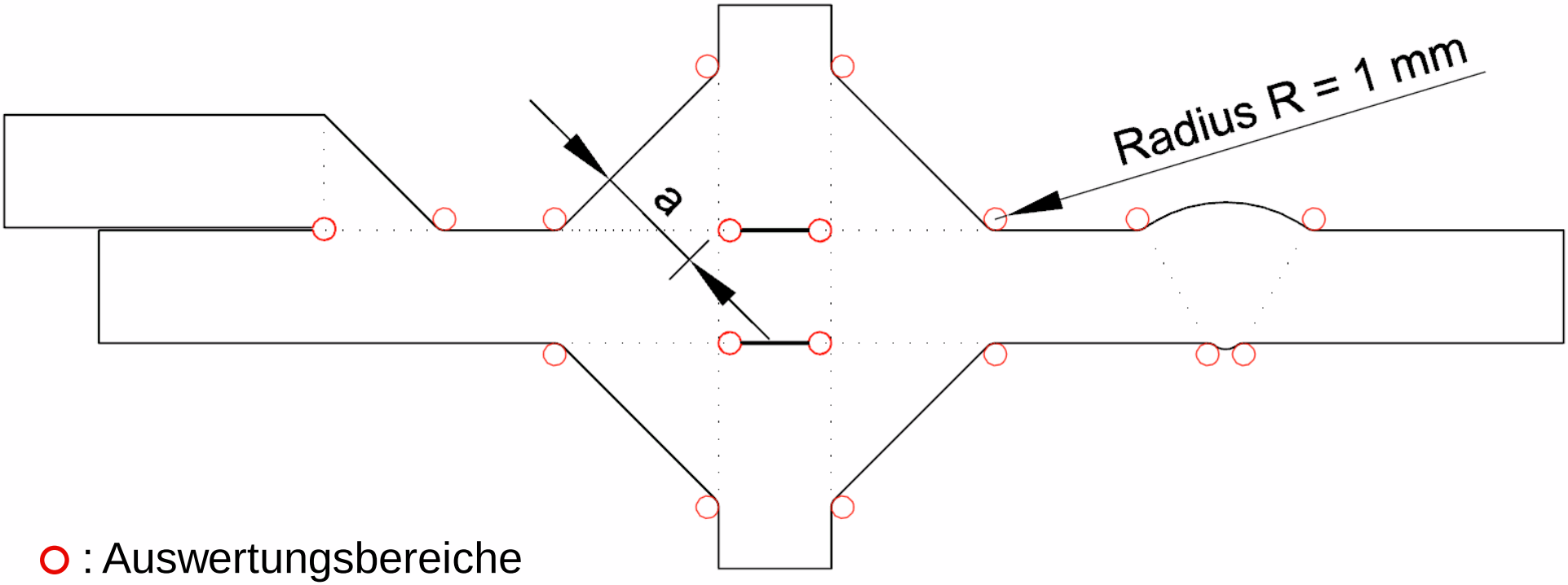
Vernetzungsbeispiel:



Vernetzung mit Standard-Einstellungen: **541 Tetraeder-Elemente**

All rights reserved – Copyright per DIN 34

Kerbspannungsmethode



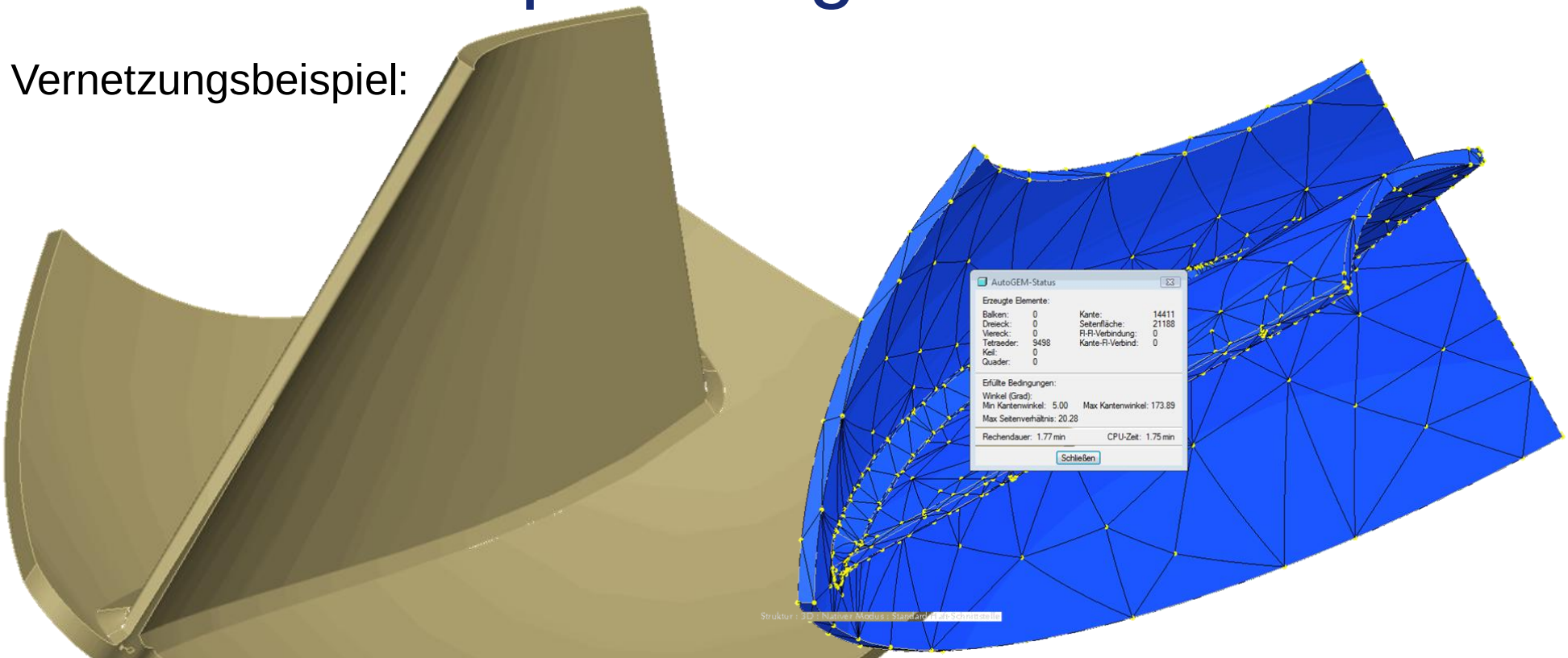
○ : Auswertungsbereiche

R ist immer 1 mm, wenn der reale Kerbradius < 1 mm ist !

All rights reserved – Copyright per DIN 34

Kerbspannungsmethode

Vernetzungsbeispiel:



Vernetzung mit Standard-Einstellungen: **9.498 Tetraeder-Elemente**

(18-mal mehr als bei der Strukturspannungsmethode

-> Rechenzeiten könnten um 300-mal größer sein !)

All rights reserved – Copyright per DIN 34

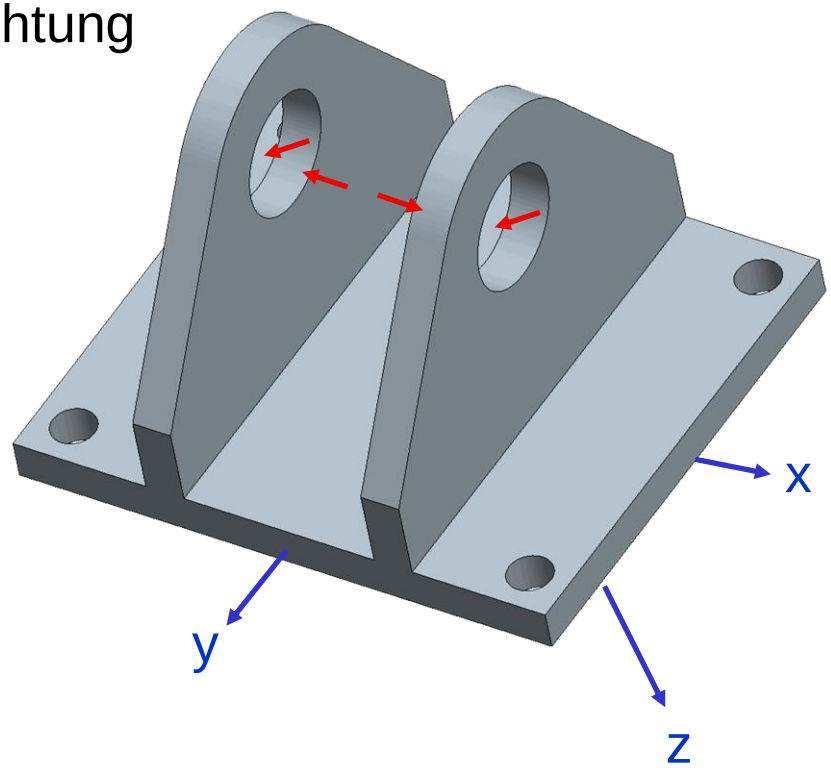
Agenda

- » Problemstellung und Regelwerke
- » ‘Herausforderung’ Geometrievorbereitung
- » Beispiel mit MECHANICA und Abaqus
- » Spannungsergebnisse und numerische Qualität
- » Bewertung der Ergebnisse
- » Fazit

All rights reserved – Copyright per DIN 34

Beispiel-Modell

- Jeweils 1 kN Lagerlast in -z- und +y-Richtung
- Jeweils 1 kN axial auf Bohrung
- Blechstärke 10 mm
- Kehlnahthöhe a = 10 mm
- Material Stahl
- Halbmodell wird genutzt
- Soll Zyklenzahl (schwellende Last) von 1e6 ertragen können



All rights reserved – Copyright per DIN 34

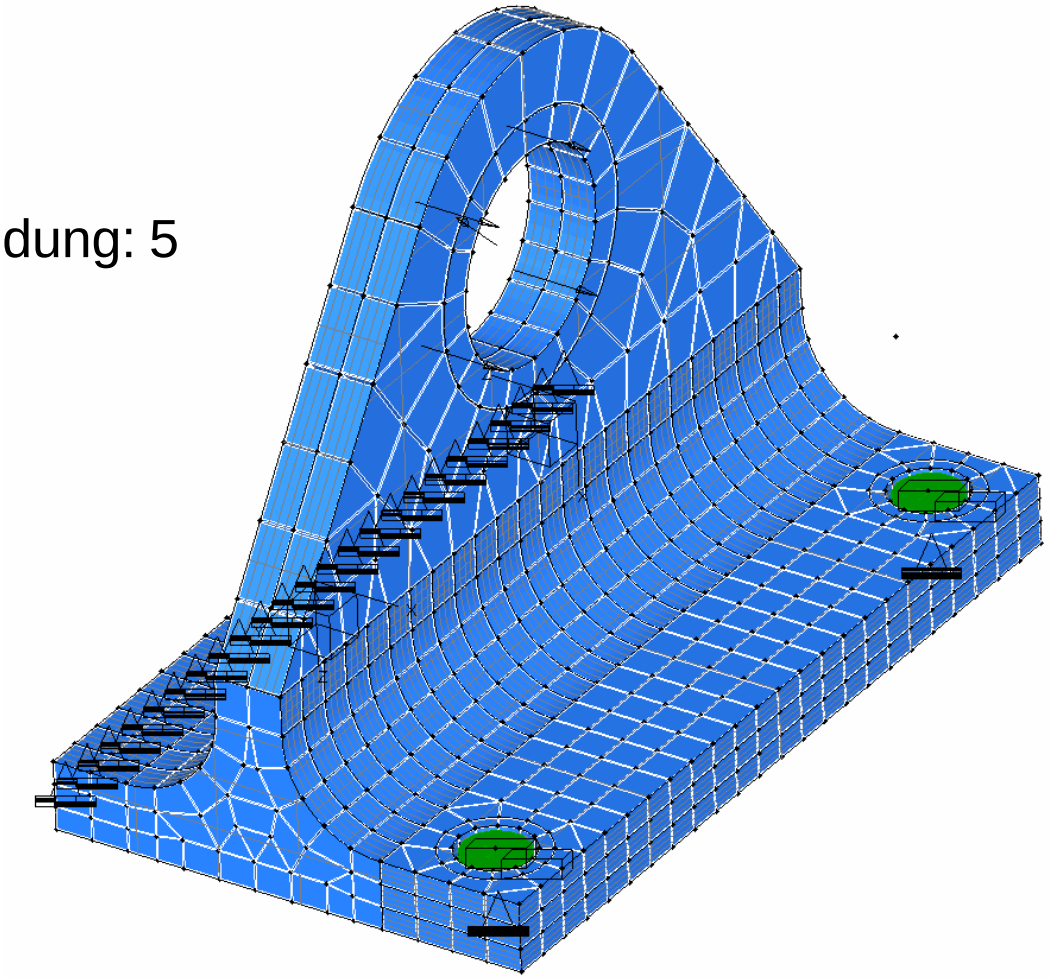
Vernetzung mit MECHANICA

Strukturspannungsmethode:

» Anzahl Elemente über Verrundung: 5

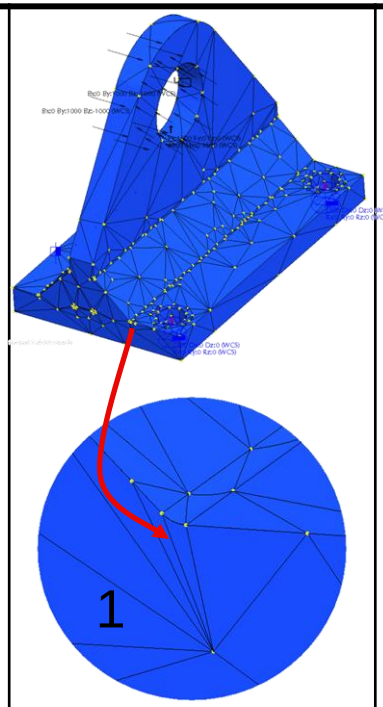
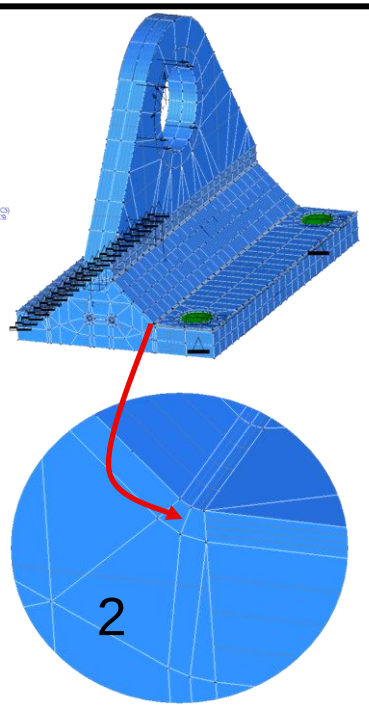
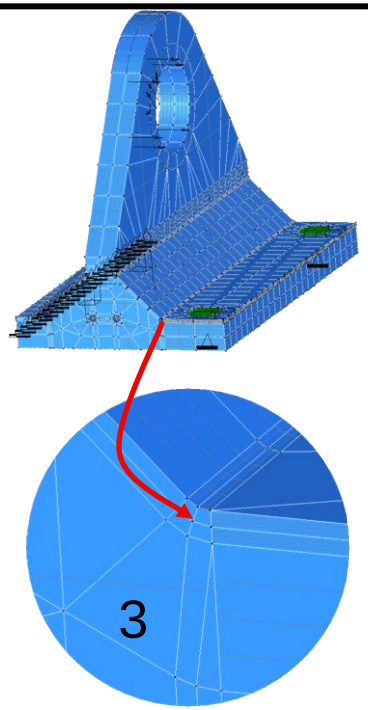
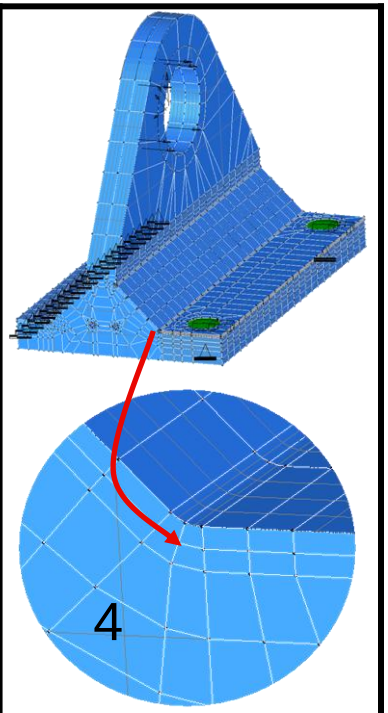
» Anzahl der Elemente: 1.478

» → geringste Modell-Größe



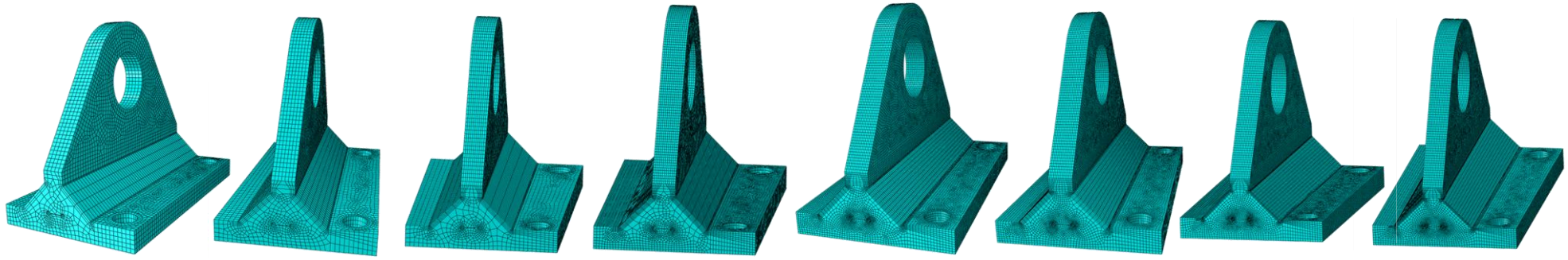
All rights reserved – Copyright per DIN 34

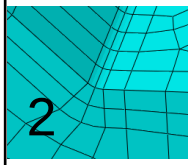
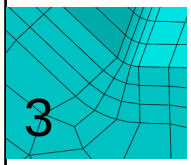
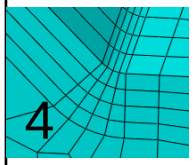
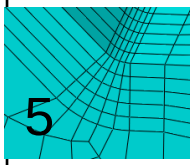
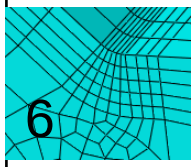
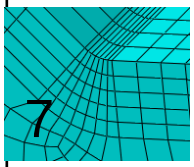
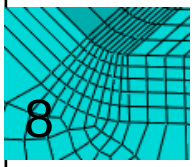
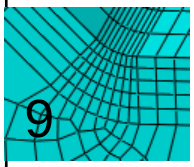
Vernetzung mit MECHANICA

Kerbspannungs -methode Modell				
Element-Schichten über Verrundung	1	2	2	2
Elemente gesamt	2.788	2.786	3.416	5.299
Elementart	Tetraeder	Hexaeder / Keil	Hexaeder / Keil	Hexaeder / Keil

All rights reserved – Copyright per DIN 34

Vernetzung mit Abaqus



Kerbspannungs-methode Modell	 2	 3	 4	 5	 6	 7	 8	 9
Element-Schichten über Verrundung	2	3	4	5	6	7	8	9
Elemente gesamt*	27.105	38.955	40.374	128.924	233.616	230.827	274.916	285.816

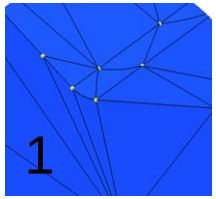
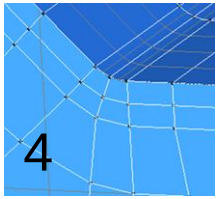
Vernetzung ausschließlich mit Hexaedern mit quadratischem Ansatz !

*Knotenzahl: ca. 4,3-fache Anzahl der Elemente

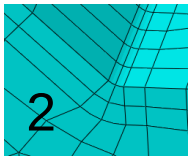
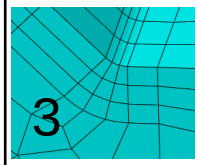
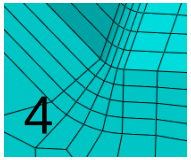
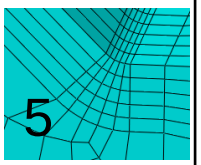
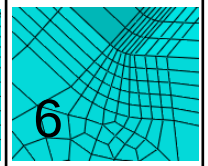
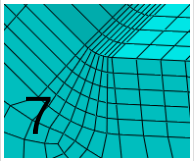
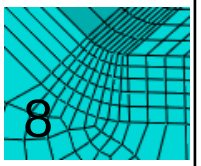
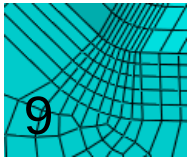
All rights reserved – Copyright per DIN 34

Rechenzeiten mit Kerbspannungs-Geometrie

MECHANICA:

Modell				
Rechenzeit [h]	0,07	0,9	2,7	ca. 4,7 (Laptop)

Abaqus:

Modell								
Rechenzeit [h]	0,03	0,06	0,05	0,9	8,1	5,3	11,1	33,2

All rights reserved – Copyright per DIN 34

Agenda

- Problemstellung und Regelwerke
- ‘Herausforderung’ Geometrievorbereitung
- Beispiel mit MECHANICA und Abaqus
- Spannungsergebnisse und numerische Qualität
- Bewertung der Ergebnisse
- Fazit

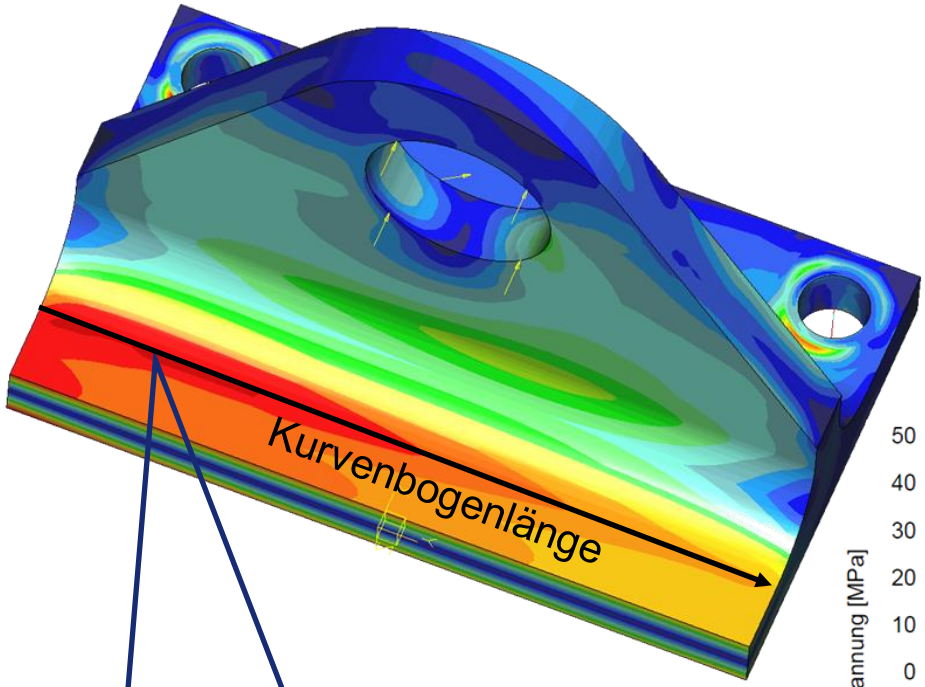
All rights reserved – Copyright per DIN 34

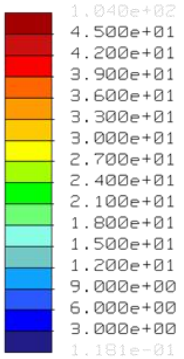
Spannungsergebnisse

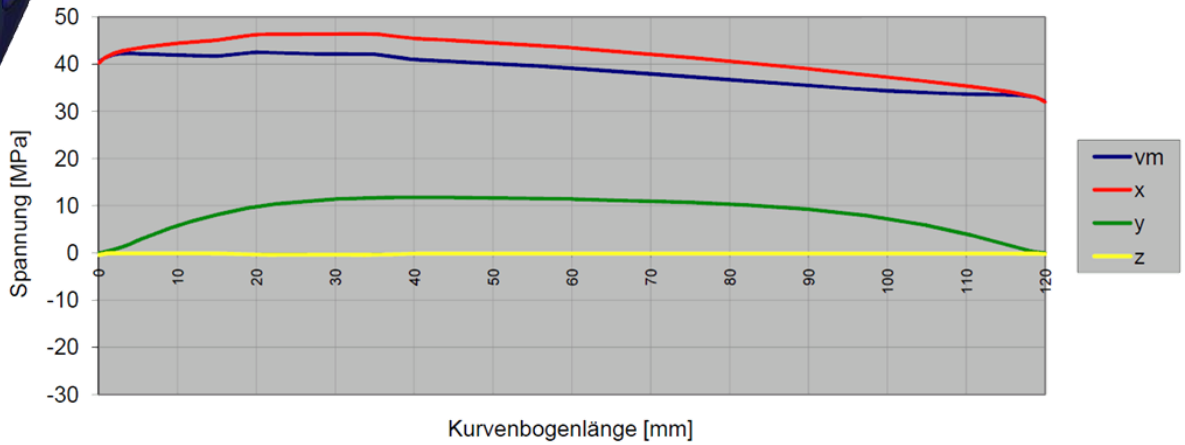
- Strukturspannungskonzept (mit Verrundung):
  - Es werden Normalspannungen in der Oberflächenebene (bezeichnet mit σ_x und σ_y), sowie die maximale Schubspannung τ ausgewertet
- Kerbspannungskonzept:
  - Es werden Normalspannungen tangential zur Verrundung (σ_x) ausgewertet sowie die hier auftretende maximale Schubspannung τ

All rights reserved – Copyright per DIN 34

Strukturspannungskonzept







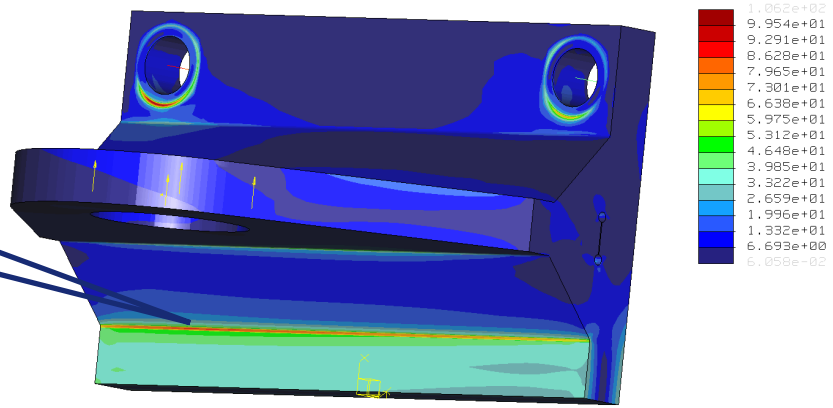
In diesem Übergang treten die maximalen Spannungen auf

$\sigma_x = 46{,}2 \quad \sigma_y = 11{,}7 \quad \tau = 23{,}4$ MPa

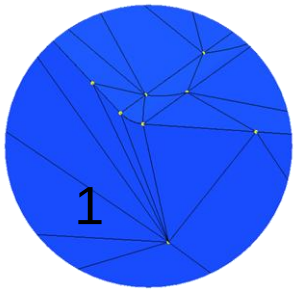
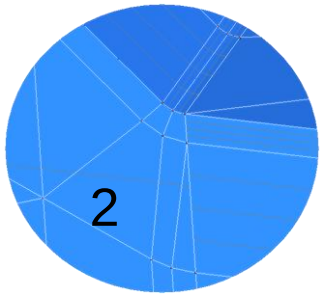
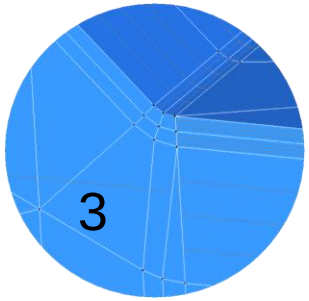
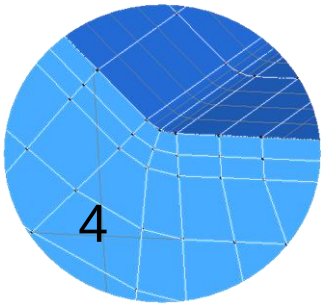
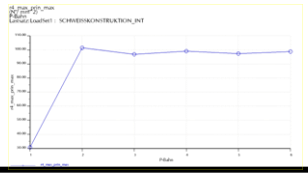
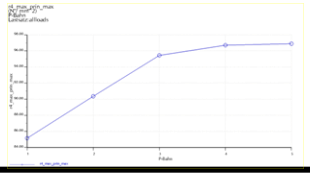
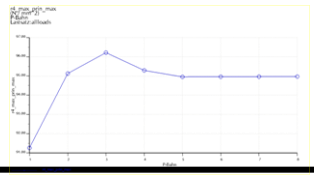
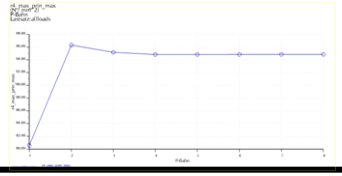
All rights reserved – Copyright per DIN 34

Kerbspannungskonzept

Hier ebenfalls maximale Spannungen in diesem Übergang



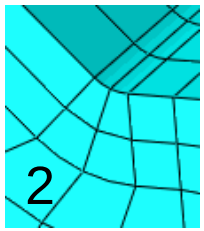
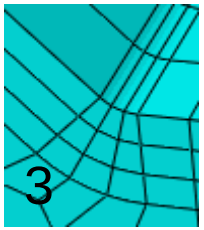
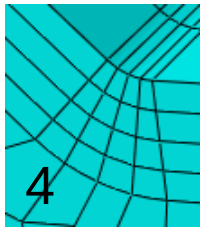
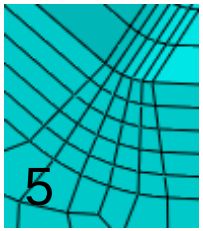
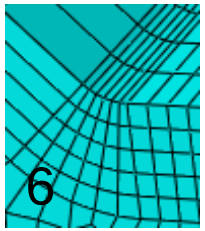
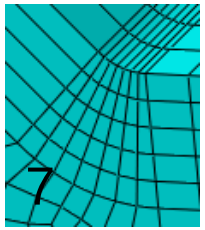
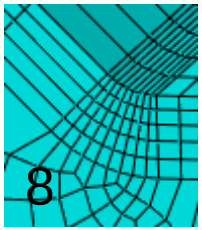
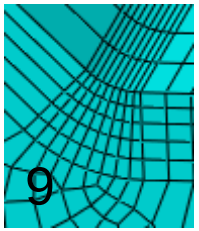
» MECHANICA Ergebnisse

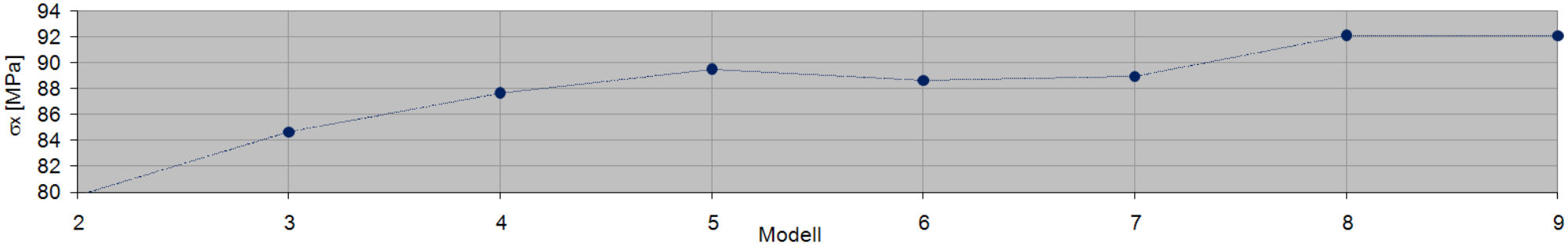
Modell	 1	 2	 3	 4
σ_x / τ [MPa]	**98,8** / 47,5	**96,9** / 48,8	**95,0** / 47,6	**94,9** / 47,5
Konvergenz				

All rights reserved – Copyright per DIN 34

Kerbspannungskonzept

» Abaqus Ergebnisse (Spannungen in MPa)

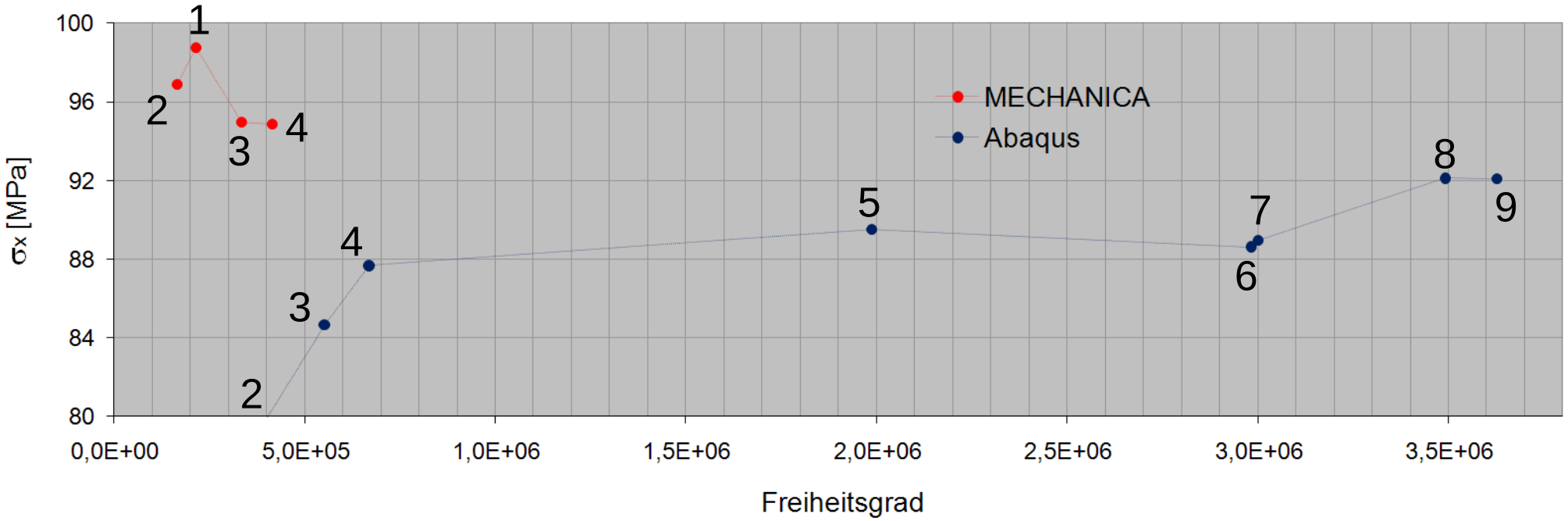
Modell	 2	 3	 4	 5	 6	 7	 8	 9
σ_x	79,7	84,6	87,7	89,5	88,6	88,9	92,1	92,1
τ	37,7	40,3	41,6	43,2	42,8	42,9	45,3	45,3



All rights reserved – Copyright per DIN 34

Kerbspannungskonzept

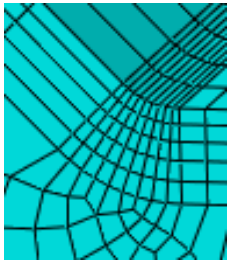
» Vergleich von MECHANICA mit Abaqus in Abhängigkeit von Freiheitsgrad / Knotenanzahl



All rights reserved – Copyright per DIN 34

Kerbspannungskonzept

- Minimale Differenzen zwischen MECHANICA und Abaqus betragen ca. 3 %
- Gründe für Differenzen zwischen Abaqus und MECHANICA:
  - Möglicherweise unterschiedliche Definitionen der Lagerlast
  - Homogenität der Elementgrößen (Abwechslung von kurzen und langen Elementkanten) kann bei Abaqus noch optimiert werden



All rights reserved – Copyright per DIN 34

Agenda

- Problemstellung und Regelwerke
- ‘Herausforderung’ Geometrievorbereitung
- Beispiel mit MECHANICA und Abaqus
- Spannungsergebnisse und numerische Qualität
- Bewertung der Ergebnisse
- Fazit

All rights reserved – Copyright per DIN 34

Bewertung der Spannungen

» Maximal zulässige Spannungs**amplituden** nach der FKM-Richtlinie (Sicherheit 1,5):

- Strukturspannungskonzept:
  - $\sigma_{x,max}$: 46,6 MPa
  - $\sigma_{y,max}$: 46,6 MPa
  - τ_{max} : 29,1 MPa
- Kerbspannungskonzept:
  - $\sigma_{x,max}$: 104,9 MPa
  - τ_{max} : 42,2 MPa

All rights reserved – Copyright per DIN 34

Bewertung der Spannungen

- Bewertung nach Auslastungsgrad a:
  - $a = \frac{\text{Auftretende Spannungs}\mathbf{amplitude}}{\text{Zulässige Spannungs}\mathbf{amplitude}}$ muss kleiner 1 sein !
- Strukturspannungskonzept:
  - $\mathbf{a_{GH,SS} = 0{,}602}$ (Gestaltänderungsenergie-Hypothese)
- Kerbspannungskonzept:
  - $\mathbf{a_{GH,KS,Mech} = 0{,}724}$ **(MECHANICA)**
  - $\mathbf{a_{GH,KS,Abaq} = 0{,}693}$ **(Abaqus)**

Damit ist Nachweis mit allen Modellen erbracht !

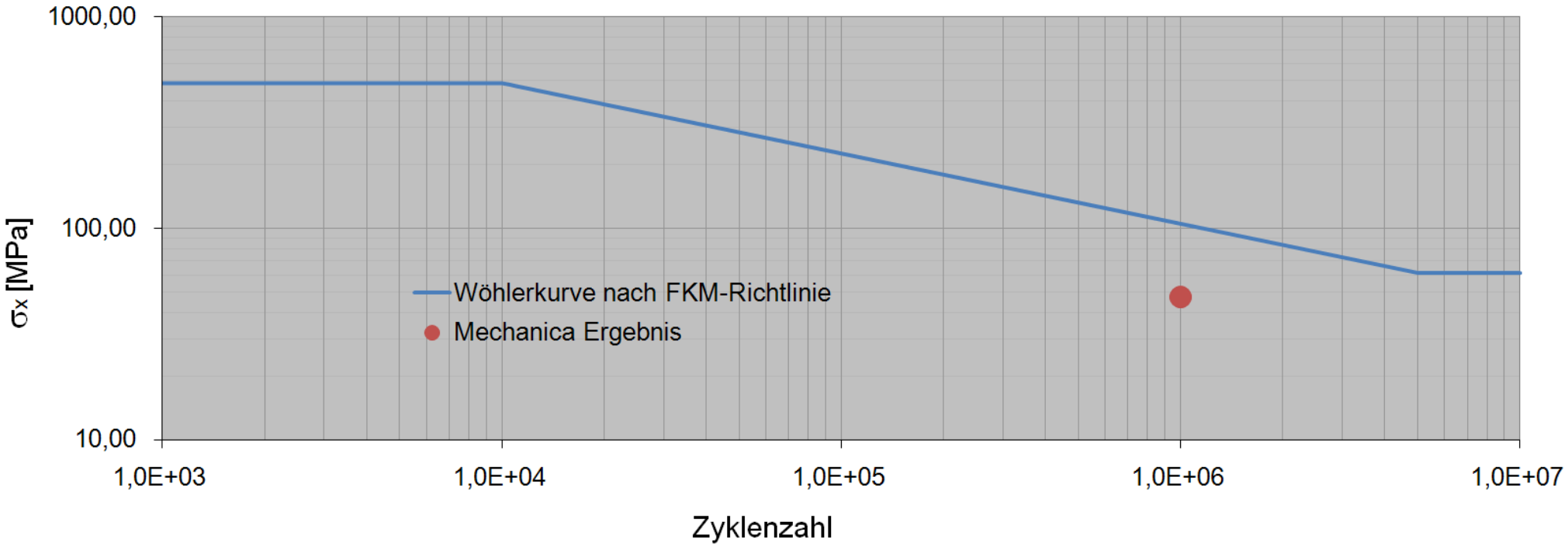
All rights reserved – Copyright per DIN 34

Bewertung der Spannungen

- Bei den verschiedenen Berechnungsmodellen des Kerbspannungskonzepts variieren die maximalen Hauptspannungen um:
  - MECHANICA: 3,8 %
  - Abaqus: 13 %
- Für diesen Nachweis sind die Unterschiede unbedeutend, da die Spannungen noch weit unterhalb der maximal zulässigen Spannung bei der geforderten Zyklenzahl liegen

All rights reserved – Copyright per DIN 34

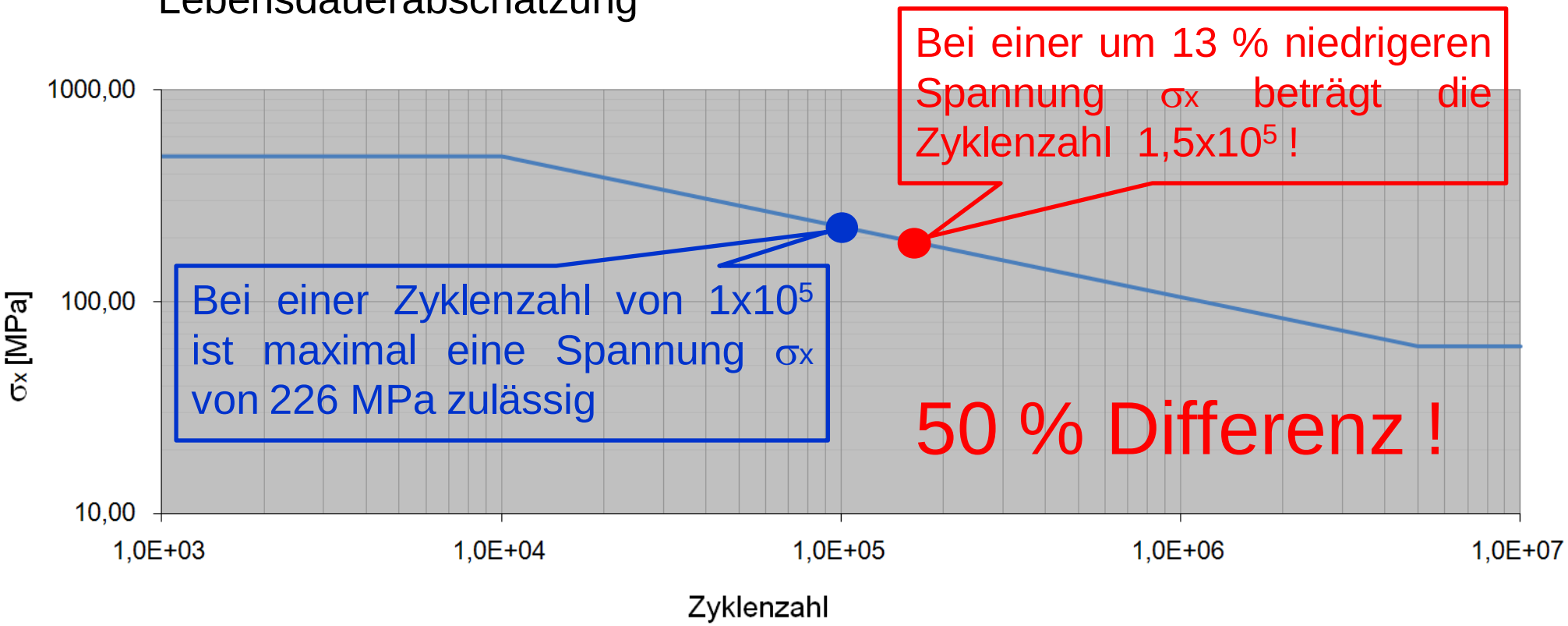
Bewertung der Spannungen



All rights reserved – Copyright per DIN 34

Bewertung der Spannungen

» Relevant werden diese Unterschiede bei der Lebensdauerabschätzung



All rights reserved – Copyright per DIN 34

Agenda

- Problemstellung und Regelwerke
- ‘Herausforderung’ Geometrievorbereitung
- Beispiel mit MECHANICA und Abaqus
- Spannungsergebnisse und numerische Qualität
- Bewertung der Ergebnisse
- Fazit

All rights reserved – Copyright per DIN 34

Fazit I

- Mit der H- und der P-Methode können präzise Aussagen zu den Schweißspannungen gewonnen werden, wenn die Regeln für die Erstellung der Geometrien eingehalten werden
- Die Nennspannungsmethode ist am unsichersten
- Die extrapolative Strukturspannungsmethode ist ebenfalls unsicher und ist nur für die H-Methode entwickelt worden (Nutzung von Schalen, u.a. um die 3D-Geometrie nicht modellieren zu müssen)
- Die Kerbspannungsmethode ergibt erfahrungsgemäß realistischere Ergebnisse, ist aber wesentlich aufwändiger als die Strukturspannungsmethode

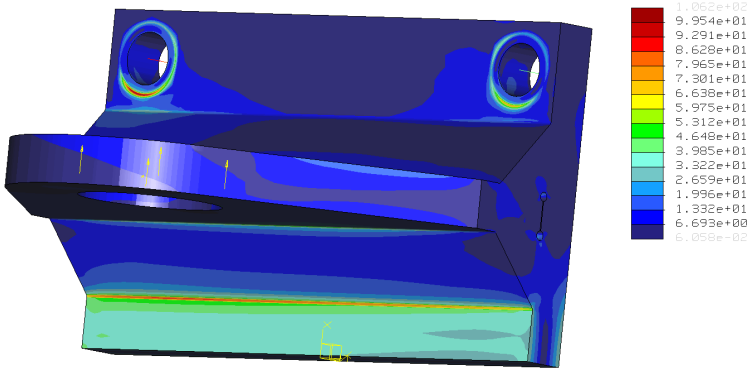
All rights reserved – Copyright per DIN 34

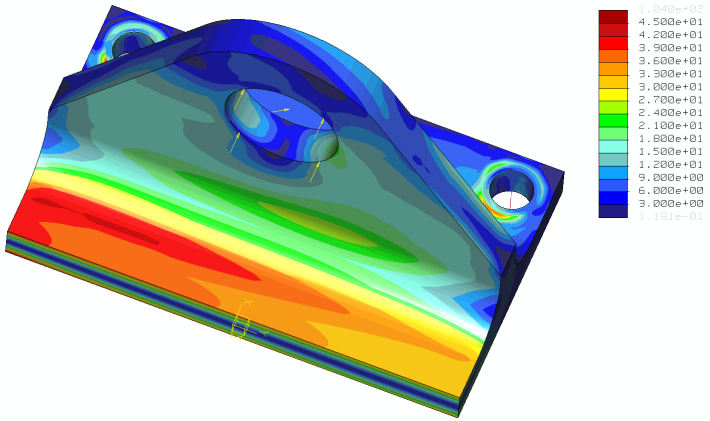
Fazit II

- Mit Abaqus ist der Zeitaufwand viel höher, um mit MECHANICA vergleichbare Ergebnisse zu erhalten (bei automatischer Vernetzung mit Tetraedern würden noch ungenauere Ergebnisse errechnet werden)
- Die Kerbspannungsmethode ist bei großen Modellen mit Abaqus praktisch nicht durchführbar
- Bester Kompromiss ist die Strukturspannungsmethode mit MECHANICA (→ „worst case“)
- Strukturspannungsmethode kann auch für statische Fälle benutzt werden (Kerbspannungsmethode nur für dynamische)

All rights reserved – Copyright per DIN 34

Simulation und Bewertung von Schweißstellen mit MECHANICA sowie Vergleich mit Abaqus





Alexander Reul, Dr. Stefan Reul

Seminar: Simulationen in der Verbindungstechnik - Möglichkeiten und Grenzen

PRETECH GmbH

19. April 2010