

Wie genau/fehlerhaft sind Simulationen ?

Ein kurzer Überblick



Warum ist das so wichtig ?

Mögliche Fehler

H- und P-Methode

Beispiele

Schlußfolgerungen

Warum ist das so wichtig ?

- Analysen sollten die Realität mit besser 10 % abbilden
- Dann können z.B. Lebensdauer-Aussagen genau genug getroffen werden (ein Fehler von ca. 7 % in den Spannungen bedeutet ein Lebensdauer-Fehler von 100 % !)
- Fehlerarten:
 - Geometrie (z.B. falsche Wanddicken, vernachlässigte Verstrebungen oder Verschleiß, ...)
 - Lagerung (z.B. flächige Lagerung, obwohl keine Momente übertragen werden)
 - Lasten (z.B. falsche Lasten, falscher Kraftangriffspunkt, falsche Verteilung, ...)
 - Materialeigenschaften (z.B. orthotrope Eigenschaften anstatt isotrop, ...)
 - Analysenart (z.B. nur lineare Theorie anstatt 'große Verformungen', ...)
 - Falsche Elementwahl
 - Zu grobe Elementierung



Mögliche Fehleraddition (grobe Erfahrungswerte)

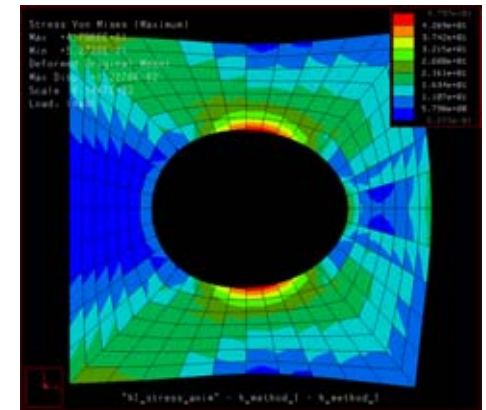
- Geometrie 2 %
- Lagerung 5 - 10 %
- Lasten (ohne 'vergessene' Belastungen) 10 %
- Materialeigenschaften 5 %
- Analysenart 2 - 10 %
- Falsche Elementwahl 5 %
- Zu grobe Elementierung 10 - 40 %
- Gesamtfehler 33 - 65 %
- Sicherheitsfaktoren (z.B. in Luftfahrt) 1,4 (+40 %)
- Die Qualität muß insbesondere bei der Elementierung erheblich gesteigert werden



H- und P-Finite-Elemente-Methode

Traditionelle H-Methode:

- Unterteilung der Geometrie in viele kleine (Kantenlänge h) Elemente z.B. Quader
- Für jedes Element gibt es eine Lösung / Elementansatz
- Meist sind Elemente linear oder quadratisch in den Verschiebungen und damit konstant oder linear in den Spannungen
- Elementkanten sind Geraden
- Typische h -Systeme: NASTRAN, ANSYS, MARC, etc.

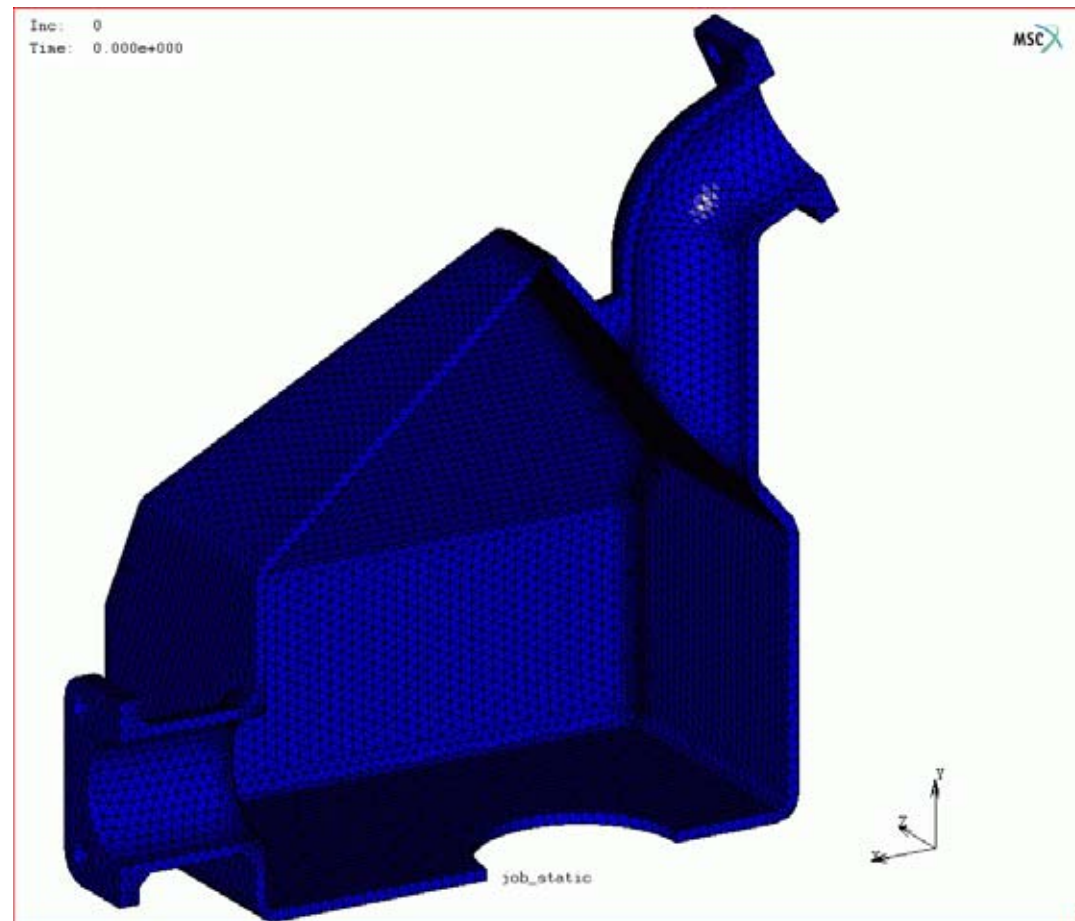


Moderne P-Methode (bei MECHANICA):

- Unterteilung der Geometrie in wenige große Elemente
- Die Elemente folgen exakt der Geometrie (gekrümmte Kanten/Seitenflächen)
- Der Lösungsansatz ist ein Polynom (P) 1-ten bis 9-ten Grades
- Dadurch automatische 'Elementverfeinerung' und Möglichkeit des Vergleichs der Ergebnisse bis zu einem konvergenten Ergebnis

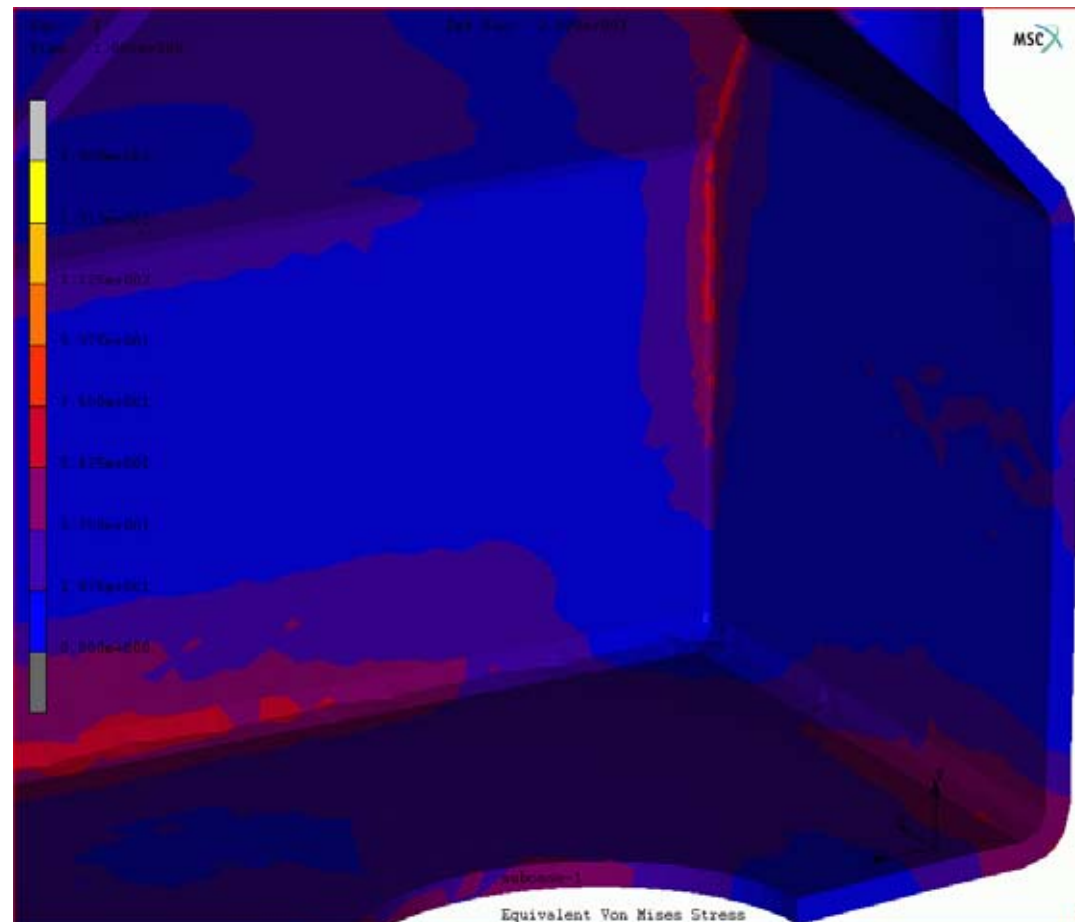
Tank-Analysen für verschiedene Netze

- Tetraeder-h-Elemente in MARC: 68.409 Freiheitsgrade



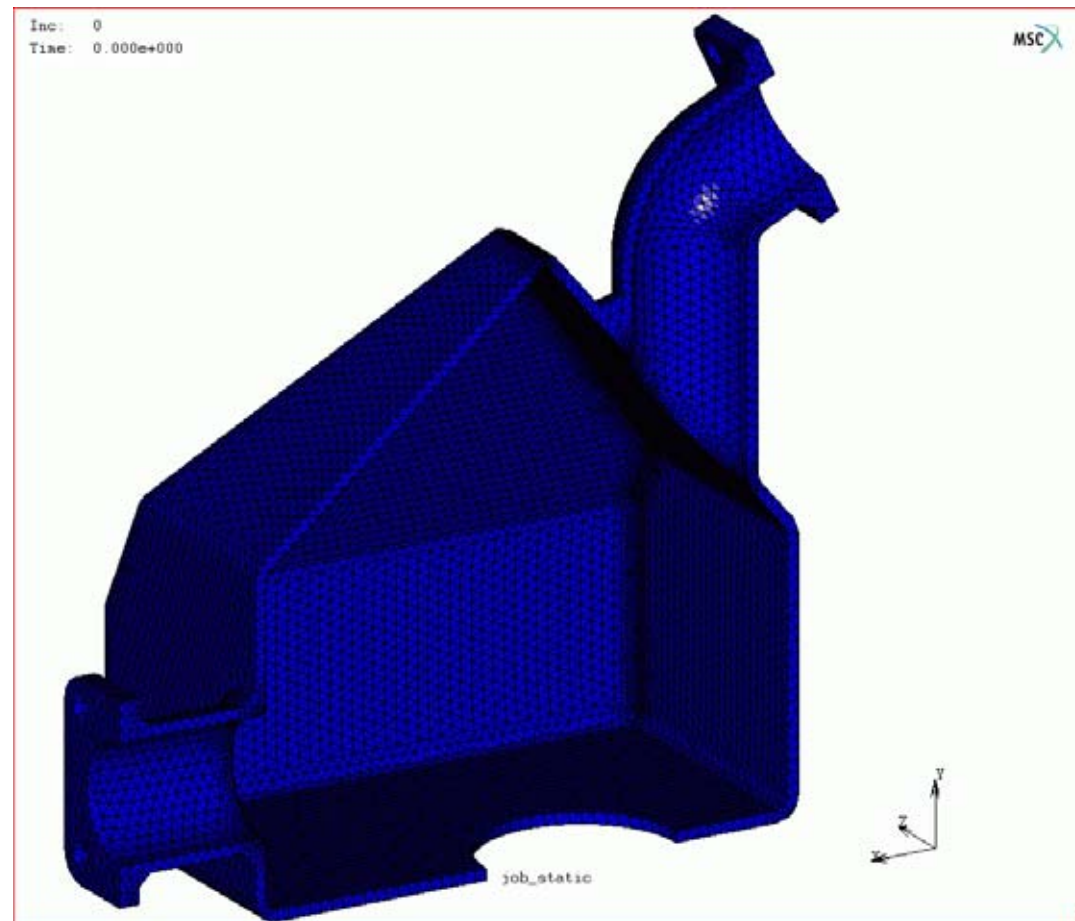
Tank-Analysen für verschiedene Netze

- Spannungen 'rechts unten' bei Tetraeder-h-Elementen in MARC: 58 MPa



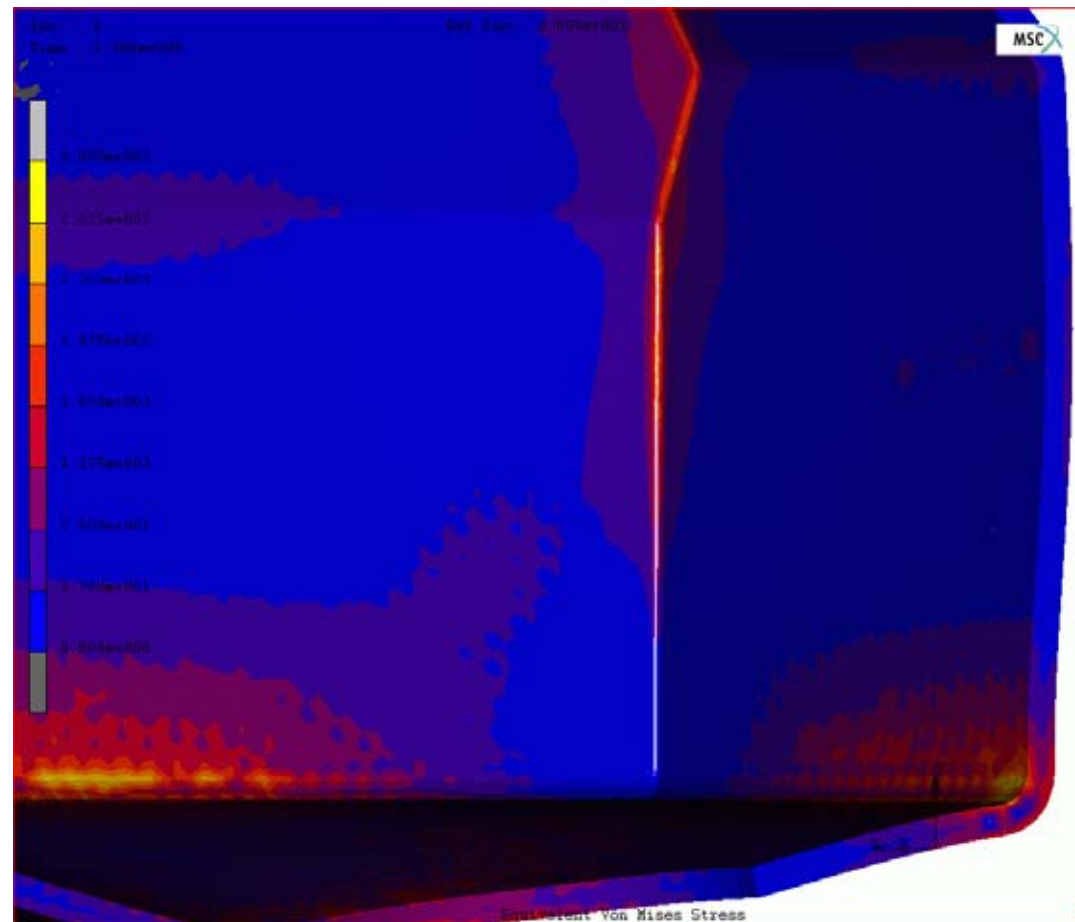
Tank-Analysen für verschiedene Netze

- Tetraeder-h-Elemente in MARC: 439.317 Freiheitsgrade



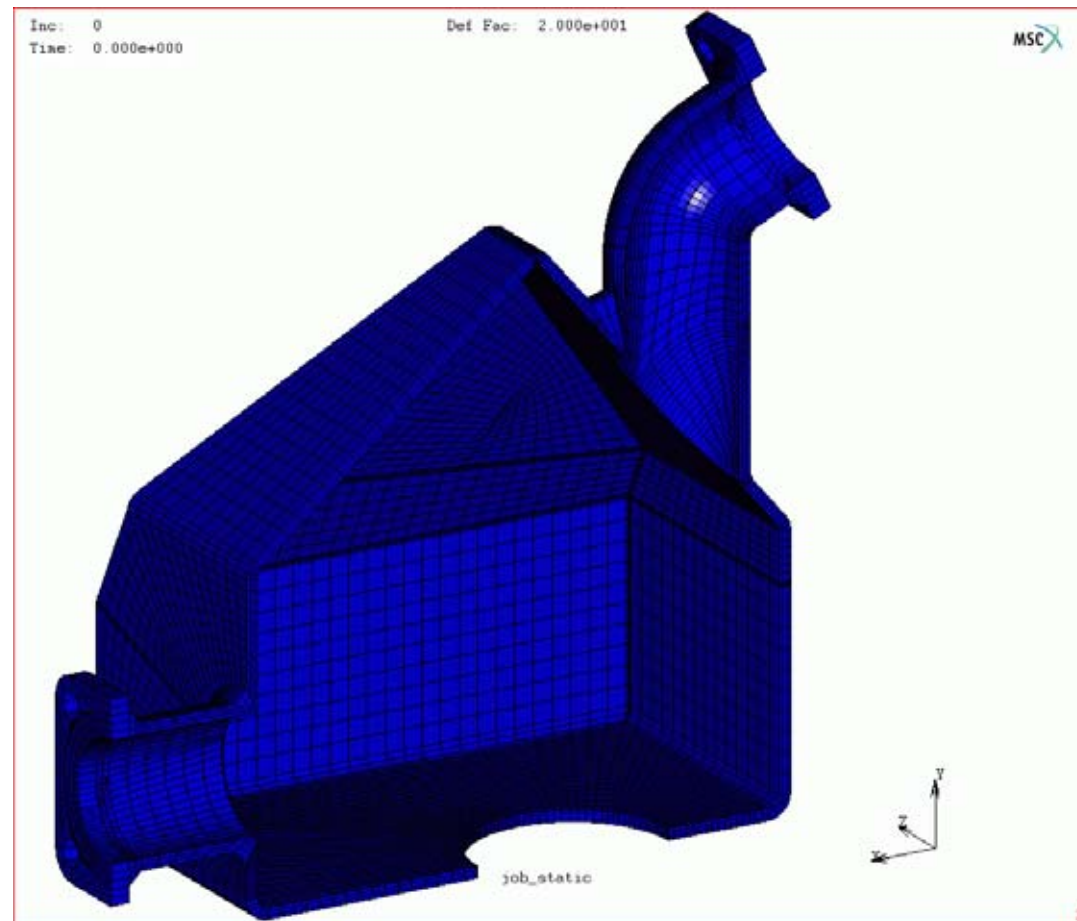
Tank-Analysen für verschiedene Netze

- Spannungen 'rechts unten' bei Tetraeder-h-Elementen in MARC: 259 MPa



Tank-Analysen für verschiedene Netze

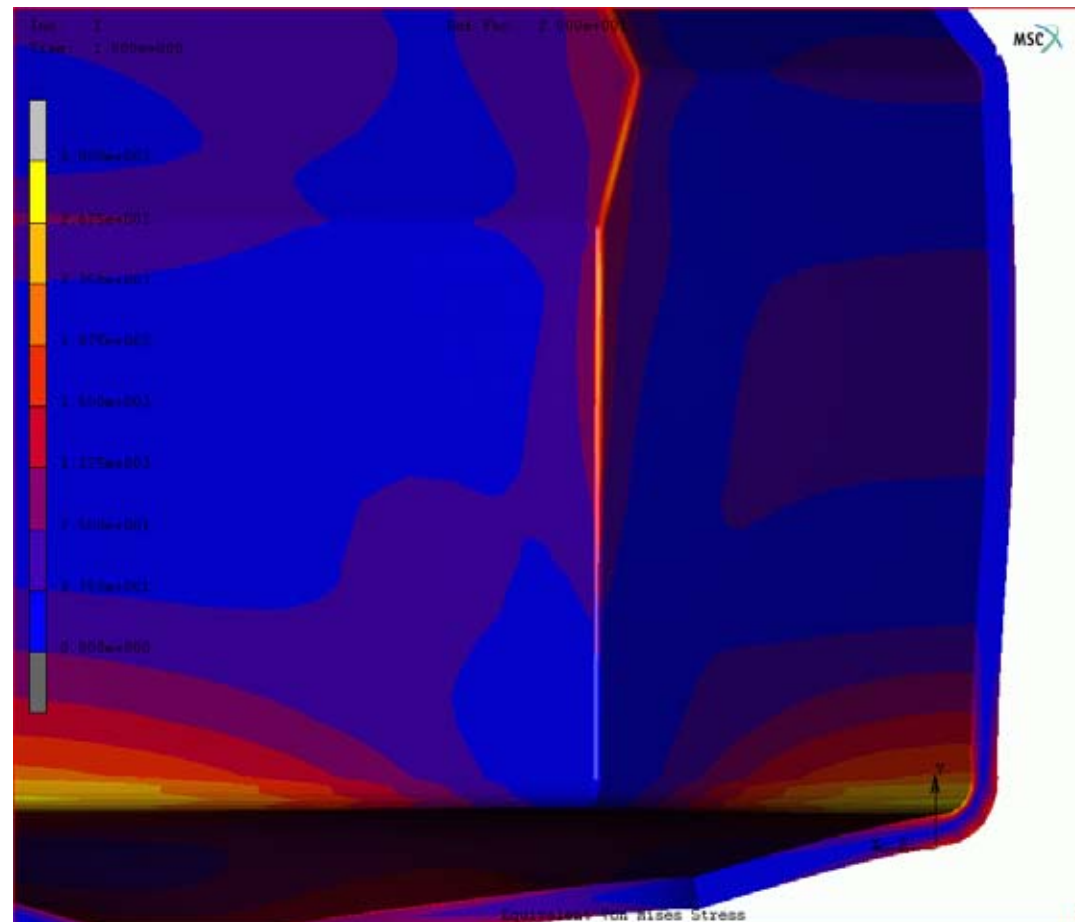
- 3 Schichten Brick-h-Elemente in MARC: 242.955 Freiheitsgrade



Keine Experimente
Virtuelle Prototypen !

Tank-Analysen für verschiedene Netze

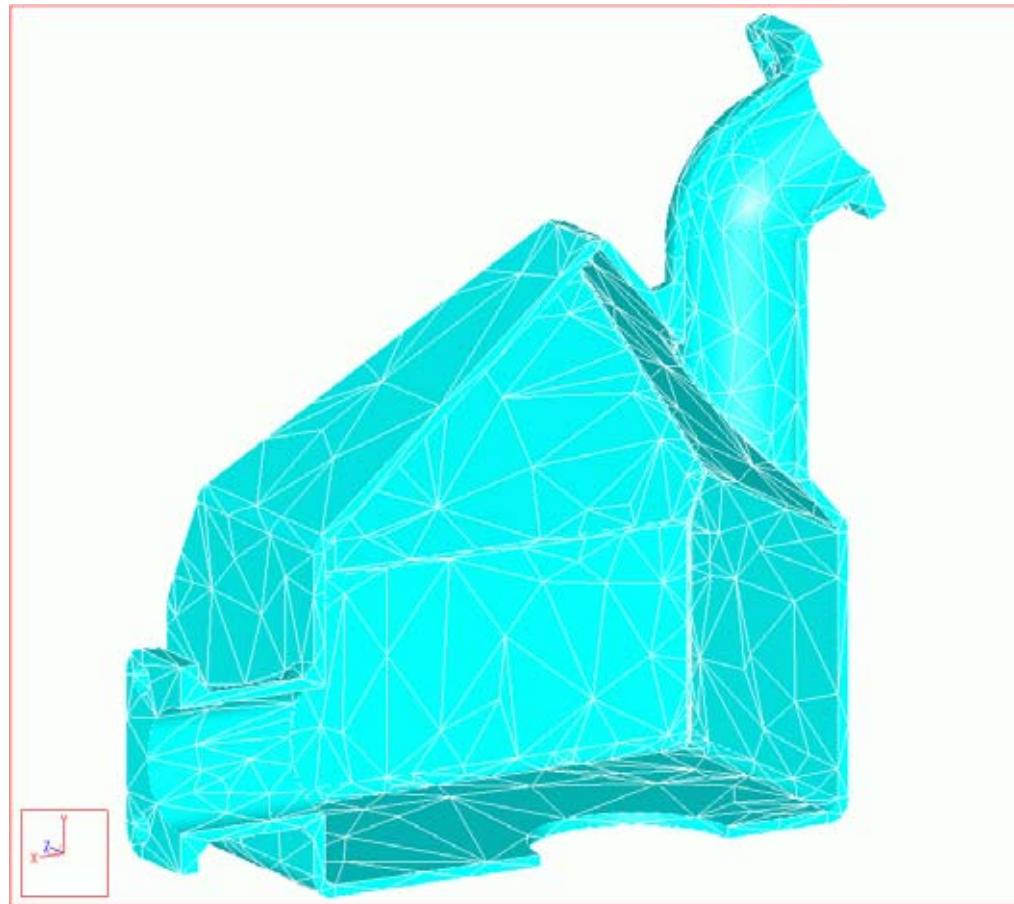
- Spannungen 'rechts unten' bei 3 Schichten Brick-h-Elementen in MARC: 273 MPa



Keine Experimente
Virtuelle Prototypen !

Tank-Analysen für verschiedene Netze

- Tetraeder-p-Elementen in MECHANICA: 232.454 Freiheitsgrade



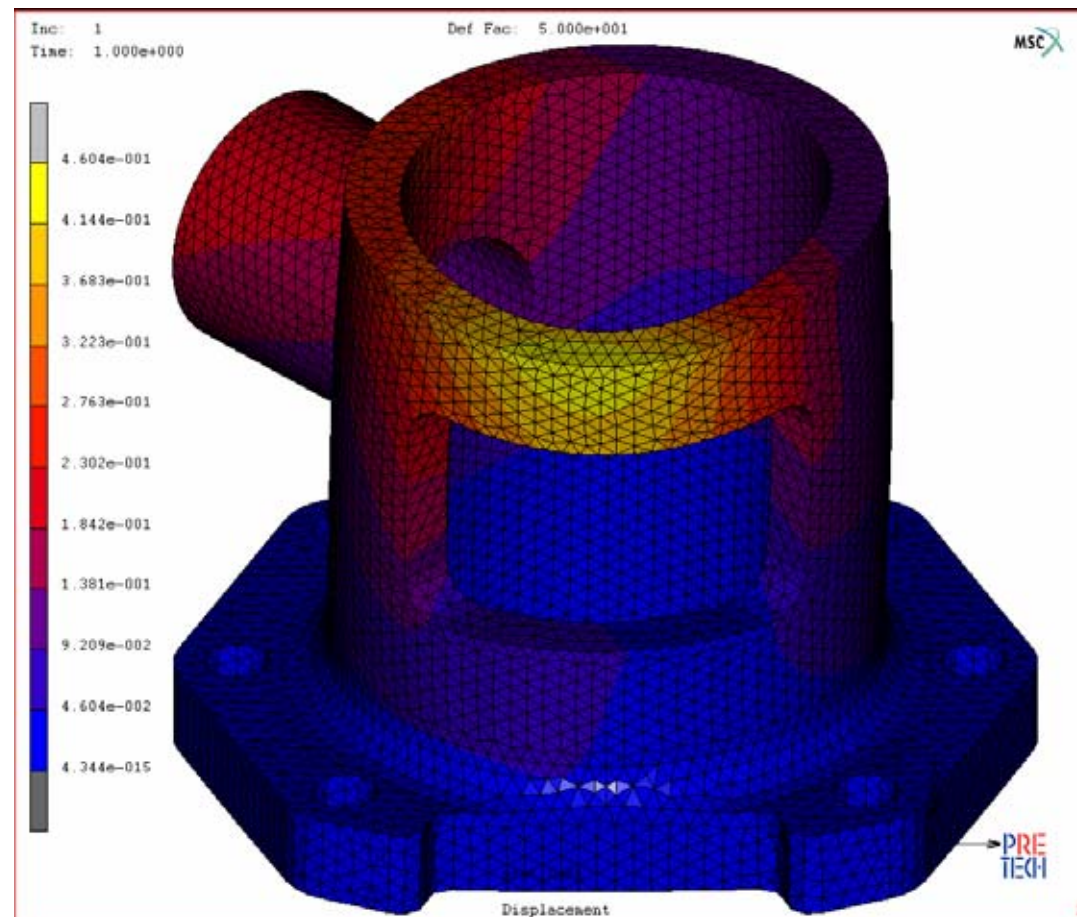
Tank-Analysen für verschiedene Netze

- Vergleich der Verformungen und Spannungen sowie Analyseaufwand

Programm/ Freiheitsgrade	Position	max. von Mises Spannungen [MPa]	maximale Verformung [mm]	Analyseaufwand [h]
MECHANICA 232.454 TET	links oben	332 (100 %)	0,95 (100 %)	ca. 2
	rechts oben	290 (100 %)		
MARC 68.409 TET4	links oben	157 (47,3 %)	0,21 (22,1 %)	ca. 2
	rechts oben	103 (35,5 %)		
MARC 439.317 TET10	links oben	311 (93,7 %)	0,94 (98,7 %)	ca. 2
	rechts oben	254 (87,6 %)		
MARC 242.955 HEX20 mit 3 Schichten	links oben	275 (82,8 %)	0,95 (99,8 %)	ca. 10
	rechts oben	236 (81,4 %)		

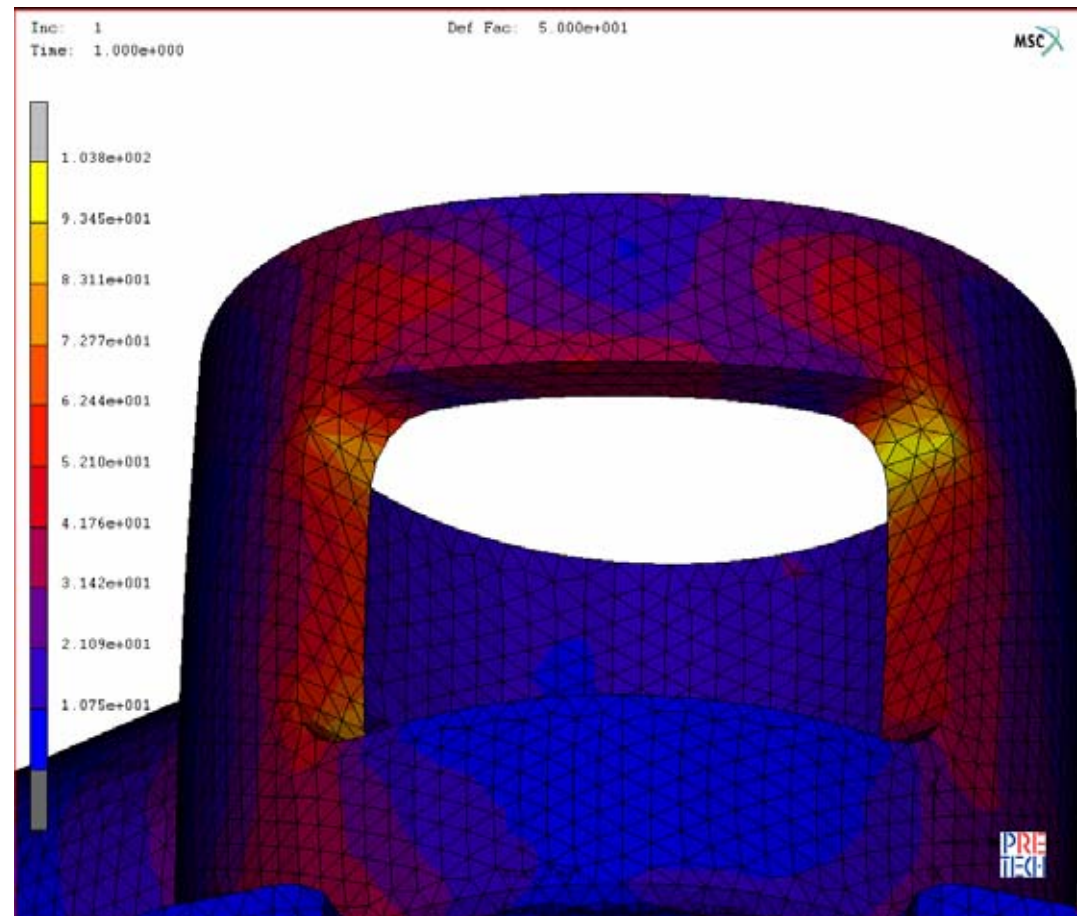
Rahmen-Analyse bei verschiedenen Netzen

- 3 Schichten TET4-Elemente in MARC: 68.094 DOF; Max. Verschiebung 0,46 mm



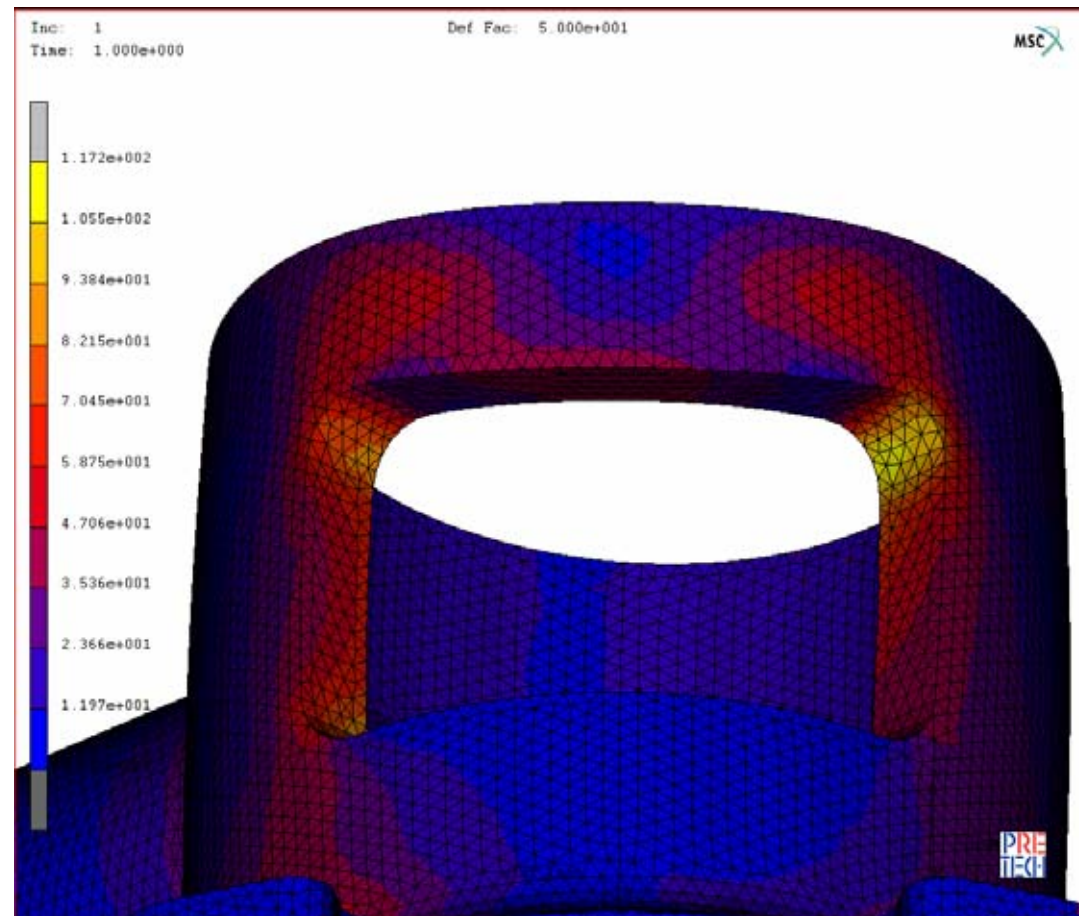
Rahmen-Analyse bei verschiedenen Netzen

- 3 Schichten TET4-Elemente in MARC: 68.094 DOF; Max. von Mises 103,8 MPa



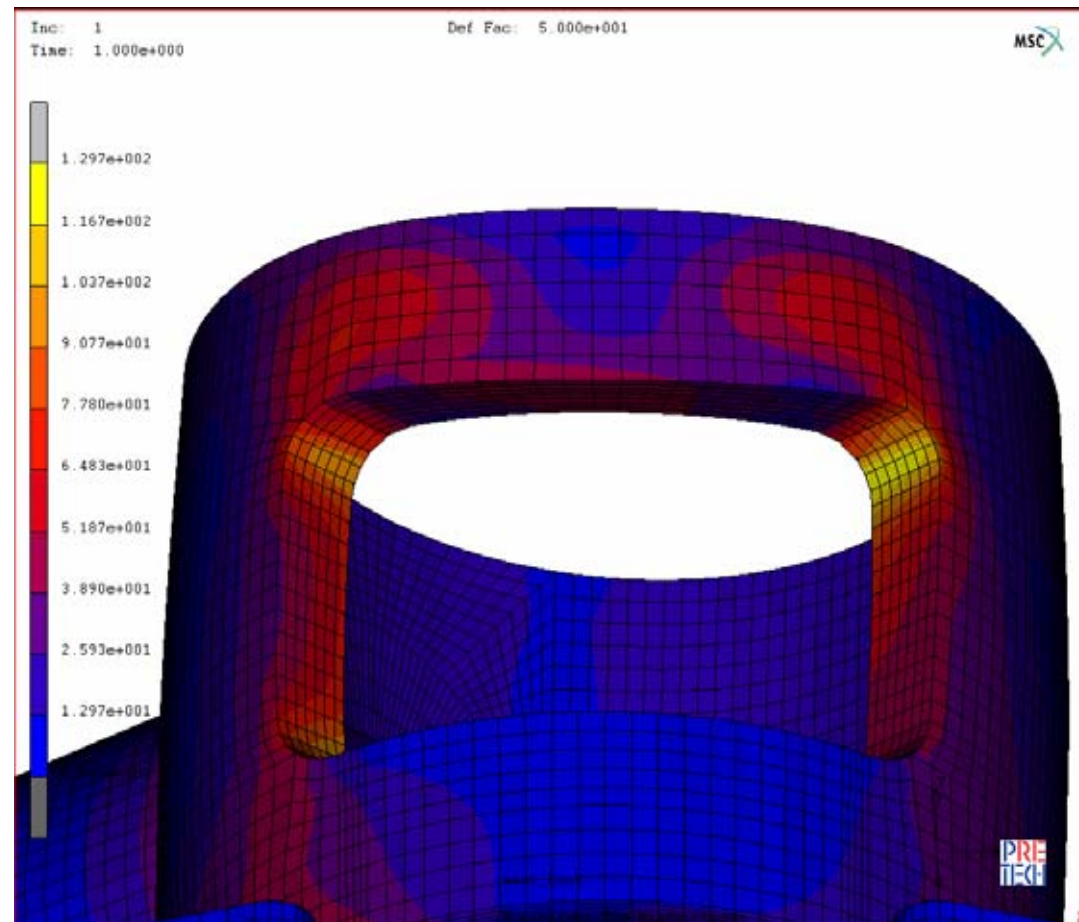
Rahmen-Analyse bei verschiedenen Netzen

- 5 Schichten TET4-Elemente in MARC: 199.251 DOF; Max. von Mises 117,2 MPa



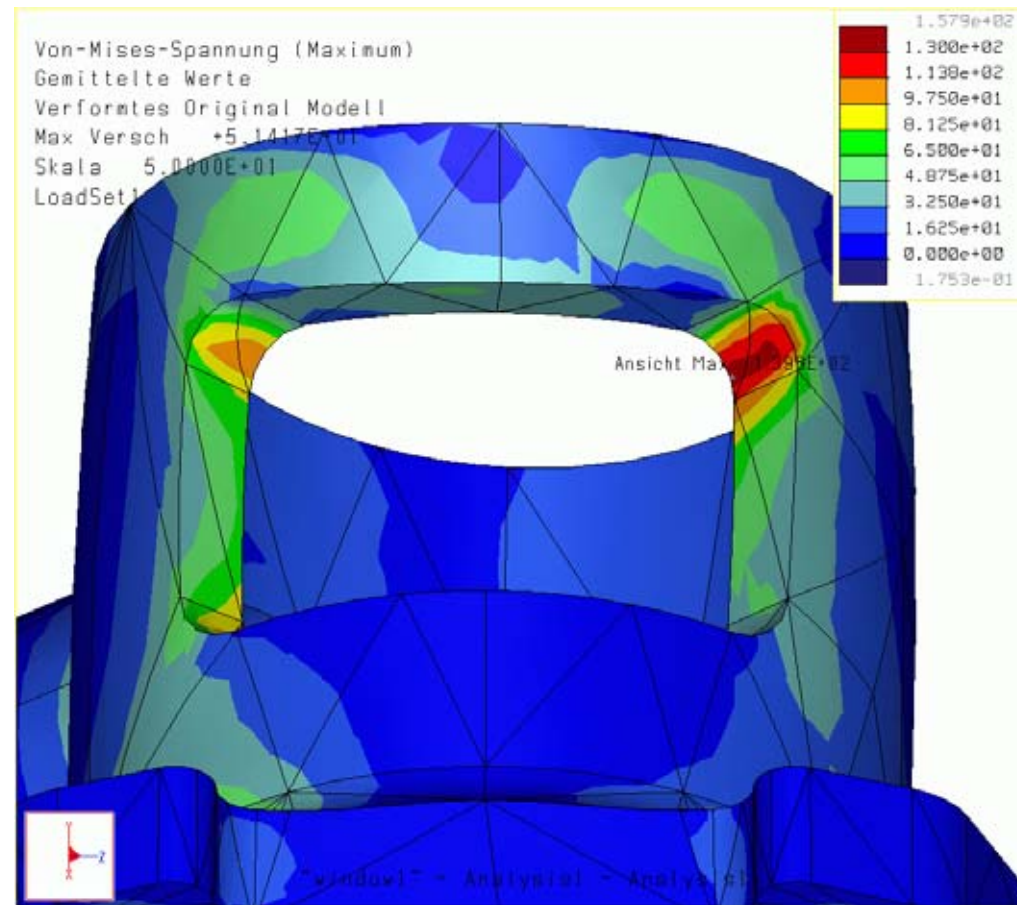
Rahmen-Analyse bei verschiedenen Netzen

- 7 Schichten HEX20-Elemente in MARC: 195.528 DOF; Max. von Mises 129,7 MPa



Rahmen-Analyse bei verschiedenen Netzen

- 1 Schicht TET-Elemente in MECHANICA: 72.762 DOF; Max. von Mises 139,8 MPa



Rahmen-Analyse bei verschiedenen Netzen

- Vergleich der maximalen Verformungen und Spannungen

Programm/ Elemente	Anzahl Elemente	Freiheitsgrade (DOF)	max. von Mises Spannung [MPa]	maximale Verformung [mm]
MECHANICA 1 Schicht TET	792	72.762	139,8 (100 %)	0,514 (100 %)
MARC 3 Schichten TET4	107.212	68.094	103,8 (74,2 %)	0,460 (89,5 %)
MARC 5 Schichten TET4	330.006	199.251	117,2 (83,8 %)	0,484 (94,2 %)
MARC 7 Schichten HEX20	54.592	195.528	129,7 (92,8 %)	0,505 (98,2 %)
NASTRAN 7 Schichten HEX20	54.592	195.528	138,0 (98,7 %)	0,509 (99,0 %)

Bemerkungen

- Selbst 3 Schichten Tetraeder-Elemente sind nicht in der Lage genügend gute Ergebnisse zu liefern
- Verschiedene h-Elemente Systeme erreichen in etwa gleiche Ergebnisse
- Eine verlässliche Lebensdauer-Aussage ist nur mit einem hohen Aufwand und Berücksichtigung aller wichtigen Effekte möglich
- Beispiel ICE-Katastrophe: Radreifen unter Biegebelastungen (Zugspannungen innen!) und starkem Druck durch erwärmten Gummiring (Wärmedehnung)



Schlußfolgerungen

- Die kritischsten Fehler werden - auch von Profis - bei der Elementierung gemacht
- Manchmal aber werden wichtige Effekte 'vergessen' (z.B. Knicken, Wärmedehnung)
- Aus Zeitdruck werden sehr oft keine Vergleiche zwischen verschiedenen feinen Vernetzungen gemacht, d.h. der numerische Fehler ist unbekannt
- Tückisch ist, dass vor einer Analyse der Kraftfluß (die Stellen mit kritischen Spannungen und großen Gradienten) nicht bekannt ist -> damit kann vorher nicht an der 'richtigen' Stelle fein genug vernetzt werden
- Die P-Methode errechnet immer die korrekten Ergebnisse, da verschieden 'feine' Modelle automatisch gegeneinander verglichen werden
- Mit der h-Methode ist dies auch immer erreichbar, aber nur mit einem Mehraufwand



Eine billige schnelle Analyse ist stets zu verdächtigen sehr teuer zu sein !

Keine Experimente
Virtuelle Prototypen !



Gern diskutieren wir mit Ihnen weitere Fragen
auf unserem Stand !

Danke !