

Vergleich der Qualität von Tetraeder- und Hexaeder-Netzen

Ausgabe: 8 / 2003

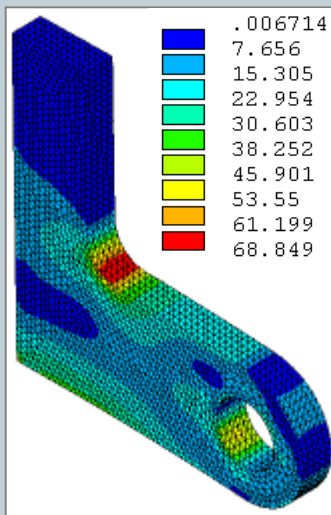
Problem:

Im letzten CADFEM Newsletter wurde die Qualität von Dreiecks- und Vierecks-Netzen diskutiert. Wir weiten diese Betrachtungen in dieser Ausgabe auf 3D aus, untersuchen also lineare und quadratische Tetraeder- und Hexaeder-Netze. Es werden Vernetzungen mit ANSYS Classic und ANSYS Workbench betrachtet.

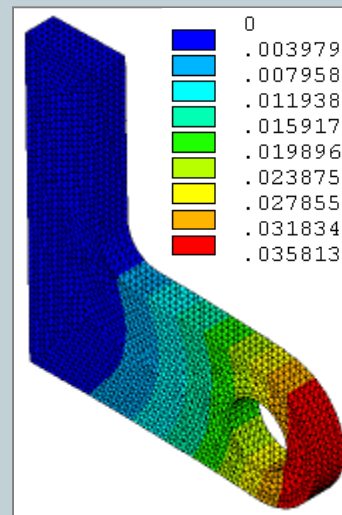
Erläuterung:

Als Beispiel dient eine Halterung, die am linken Ende fest eingespannt ist und in der Bohrung mit einer Drucklast beansprucht wird, so dass sie sich nach unten verformt. Beobachtet wird die Von Mises Vergleichsspannung und die Gesamtverschiebung.

Da eine analytische Lösung für dieses Problem nicht vorliegt, legen wir als Referenzlösung das FE-Ergebnis einer äußerst feinen Vernetzung mit quadratischen Elementen fest. Bei dieser Netzdichte spielte es keine Rolle mehr, ob Tetraeder oder Hexaeder verwendet worden waren. Diese Lösung wurde in ANSYS Classic erstellt. Dargestellt ist die Lösung mit einem Tetraeder-Netz:



Nodal Solution:
PLNSOL,S,SEQV



Nodal Solution:
PLNSOL,U,SUM

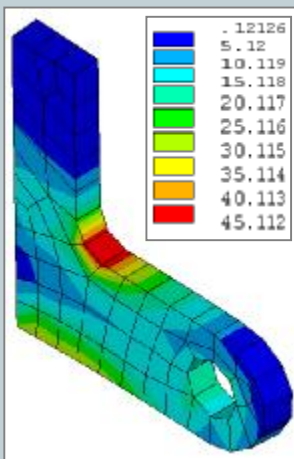
Es wird darauf hingewiesen, dass das Netz für jedes Ergebnis in der Konturdarstellung mit angezeigt wird. Diese ersten Rechnungen werden alle in ANSYS Classic durchgeführt. Alle Auswertungen sind hier mit der Grafikoption FULL GRAPHICS durchgeführt, um auch die Ergebnisse im Inneren des Bauteils mit zu berücksichtigen. Es wird stets die Nodal Solution für alle Ergebnisse dargestellt.

Vergleich der Qualität von Tetraeder- und Hexaeder-Netzen

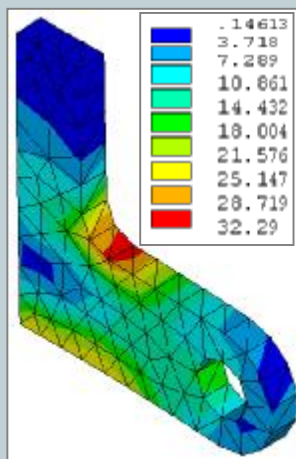
Ausgabe: 8 / 2003

Lineare Elemente (verschiedene Netze in Hex/Tet - Form):

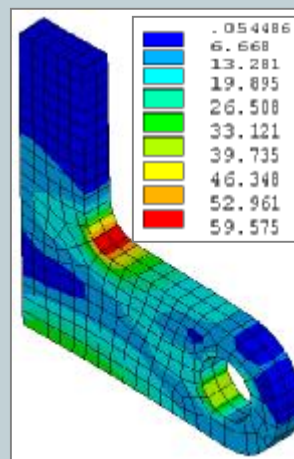
Nachfolgende Darstellungen zeigen die FE-Ergebnisse für lineare Elemente (Elementtype 185)



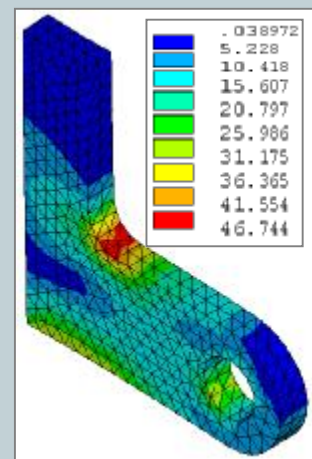
ET,1,185
ESIZE,10



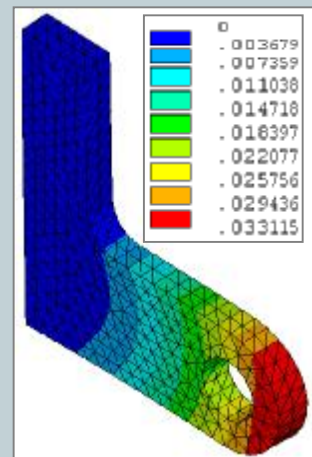
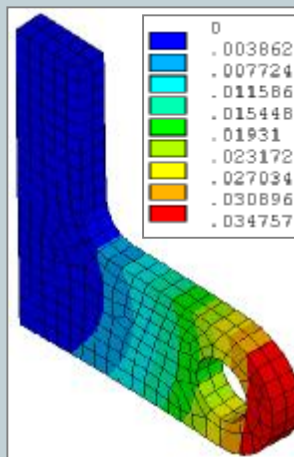
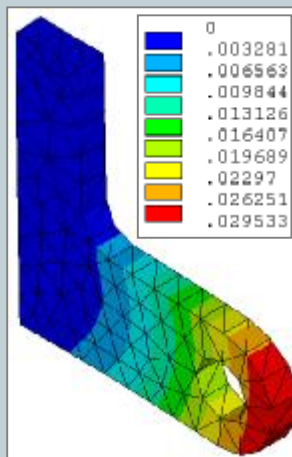
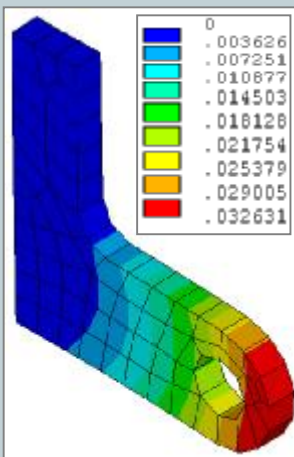
ET,1,185
ESIZE,10



ET,1,185
ESIZE,5



ET,1,185
ESIZE,5



Ergebnis:

Wir erkennen, dass eine grobe Vernetzung mit linearen Tetraedern keine zufriedenstellende Lösung lieferte, sowohl für Spannungen als auch für die Verformungen. Selbst die feine Tetraedervernetzung gibt noch keine zufriedenstellende Ergebnisse, gerade was die Spannungen angeht.

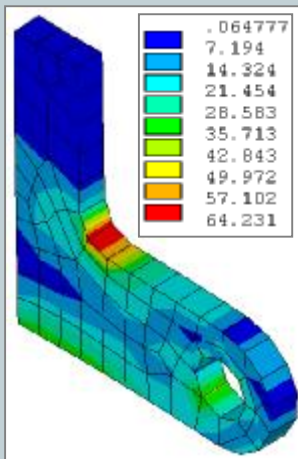
Zu der Hexaedervernetzung ist zu sagen, dass damit die Verformungen generell besser abgebildet werden, als die Spannungen. Verformungsergebnisse sind selbst bei einer groben Vernetzung schon relativ gut. Für die Spannungen sollte man eine Netzverfeinerungsstudie durchführen.

Vergleich der Qualität von Tetraeder- und Hexaeder-Netzen

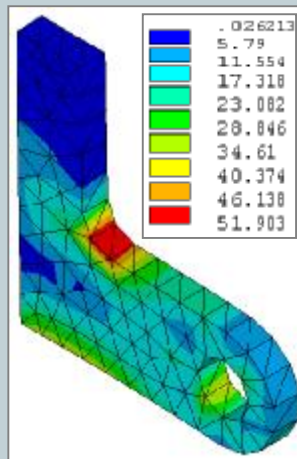
Ausgabe: 8 / 2003

Quadratische Elemente (verschiedene Netze in Hex/Tet - Form):

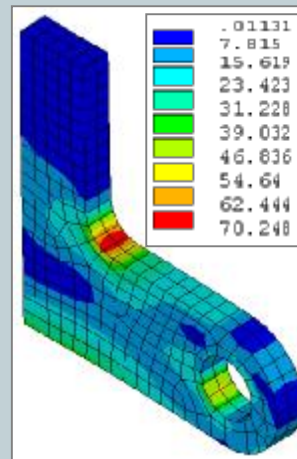
Wir zeigen nun die FE-Ergebnisse für quadratische Elemente, wobei die Elemente mit der Nummer 186 (Hex) und 187 (Tet) verwendet wurden:



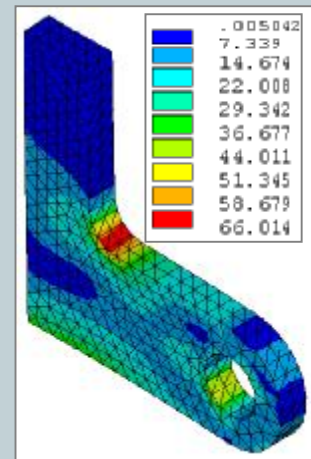
ET,1,186
ESIZE,10



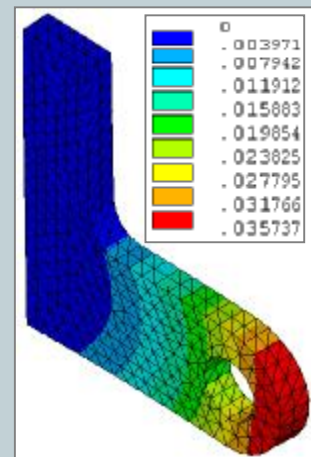
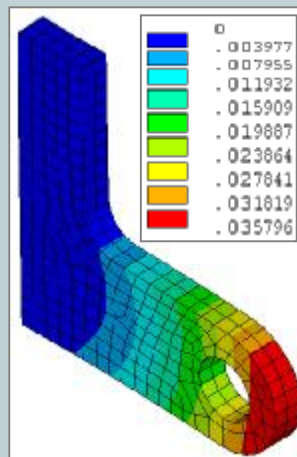
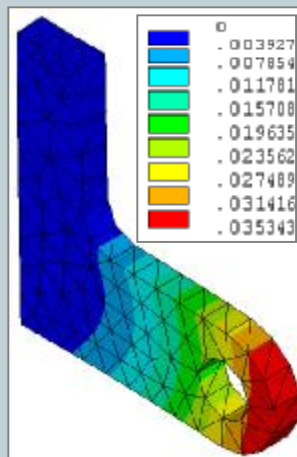
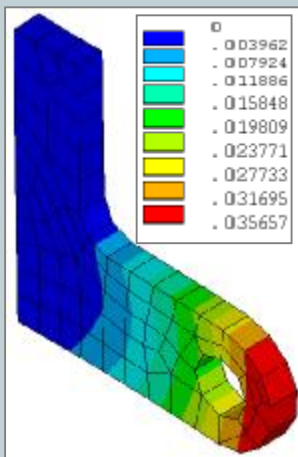
ET,1,187
ESIZE,10



ET,1,186
ESIZE,5



ET,1,187
ESIZE,5



Ergebnis:

Zunächst erkennt man deutlich, dass das Ergebnis für die Spannungen mit Hexaedern stets besser ist als bei Tetraedern, bei gleicher Netzfeinheit. Bei einer vernünftigen Netzfeinheit, liefern jedoch Tetraeder gute Ergebnisse. Da Tetraeder die flexibleren Elemente gerade bei komplexen Geometrien sind, werden diese auch generell empfohlen, jedoch ist eine vernünftige Vernetzung an den interessierenden Stellen notwendig.

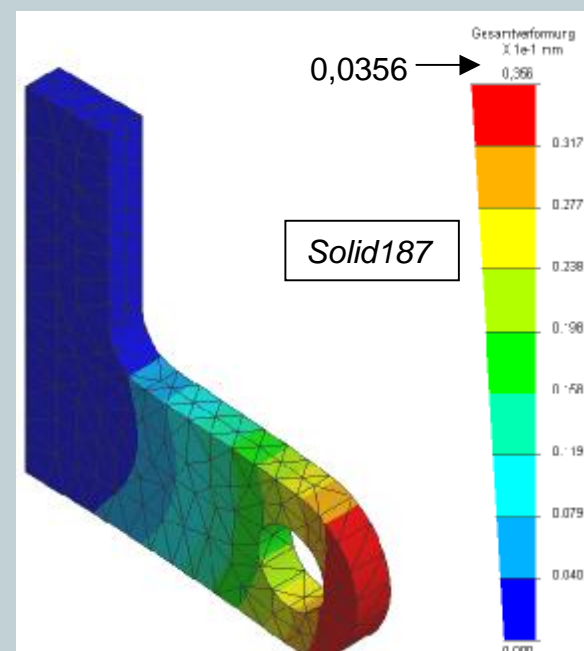
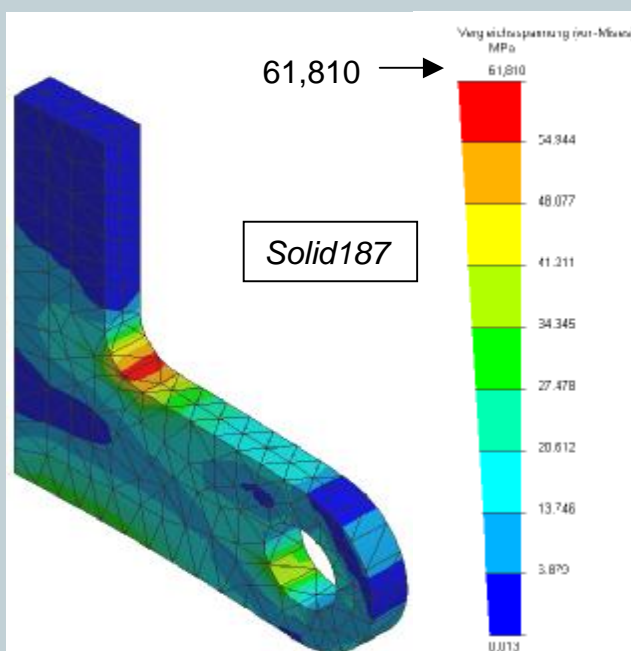
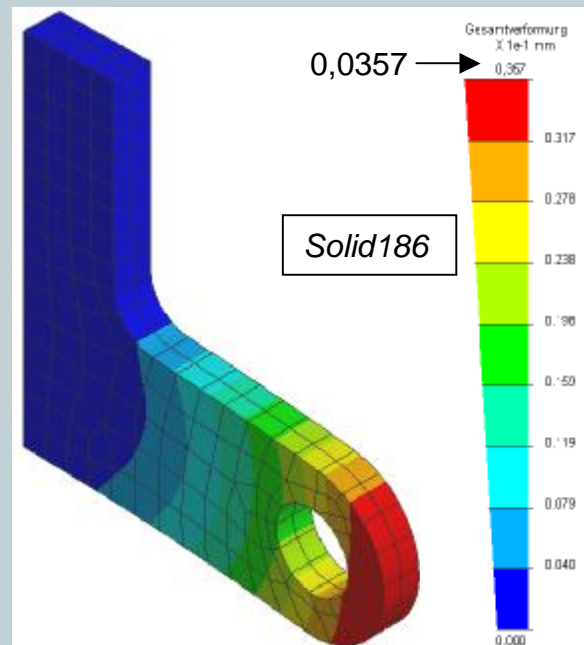
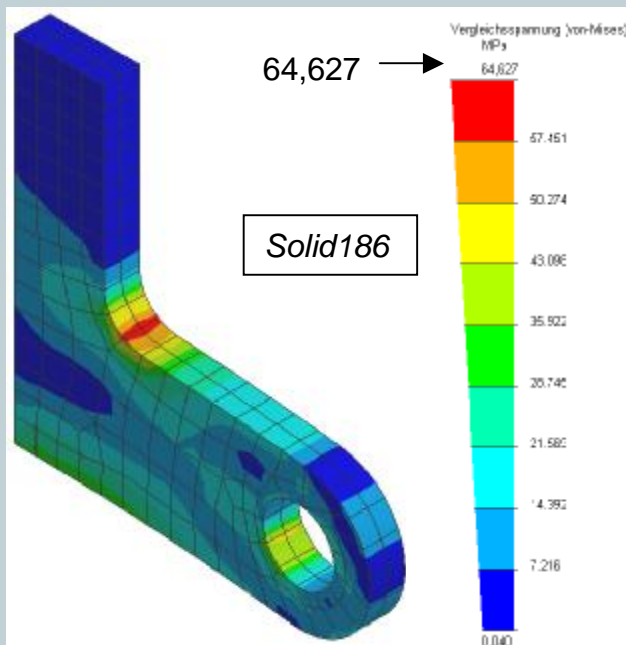
Einen merklichen Unterschied zwischen Hexaedern und Tetraedern kann man nur noch bei den Spannungen feststellen, die Verschiebungen werden mit beiden Elementformen gut abgebildet, auch mit groben Netzen.

Vergleich der Qualität von Tetraeder- und Hexaeder-Netzen

Ausgabe: 8 / 2003

ANSYS Workbench: Quadratische Elemente in Hex/Tet - Form

In ANSYS Workbench werden standardmäßig die Elemente mit der Nummer 186 oder 187 verwendet. Im Folgenden werden die Ergebnisse des Standardnetzes gezeigt:



Ergebnis:

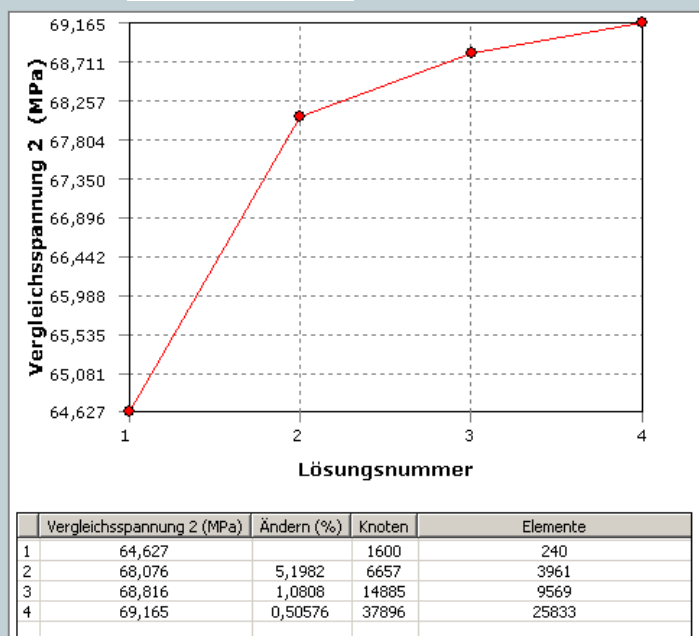
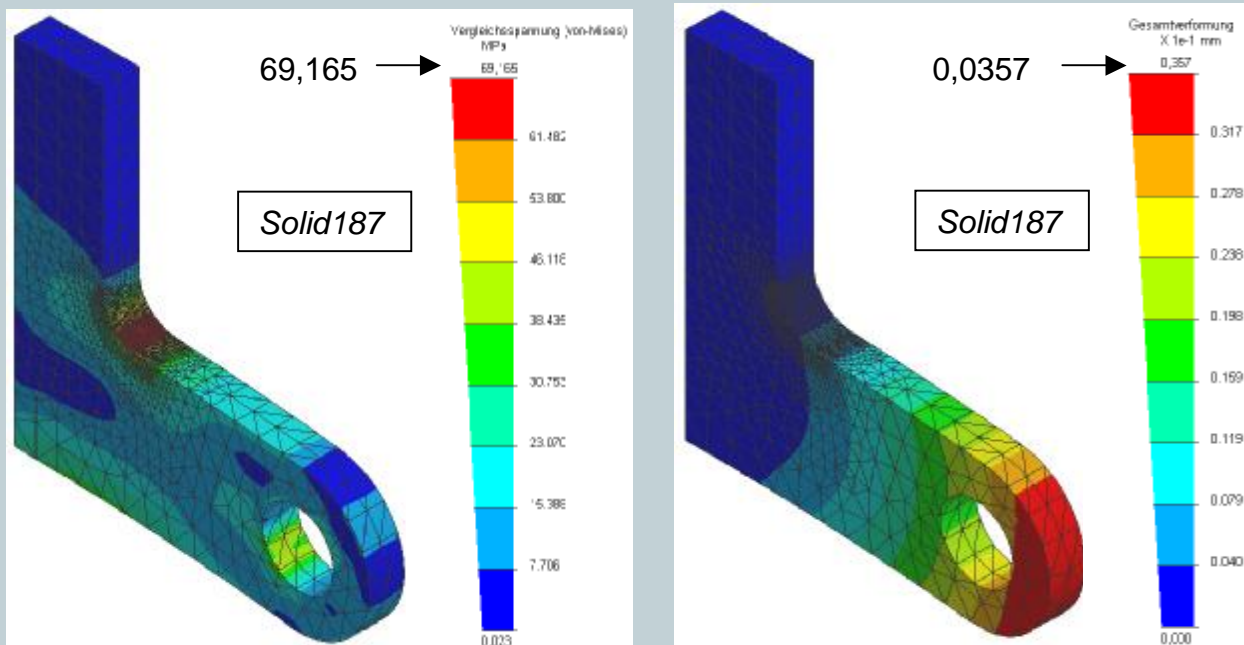
Die Spannungen können noch durch Netzverfeinerung verbessert werden, die Verschiebungen sind bereits gut abgebildet mit beiden Elementformen.

Vergleich der Qualität von Tetraeder- und Hexaeder-Netzen

Ausgabe: 8 / 2003

ANSYS Workbench: Adaptive Netzverfeinerung (Konvergenzkontrolle)

Das Ergebnis der adaptiven Netzverfeinerung wird nun gezeigt: In Workbench kann eine Fehlerschranke für eine Ergebnisgröße angegeben werden. Es wird solange das Netz verfeinert, bis die gewünschte Genauigkeit erreicht ist. Am Beispiel:



Für die gewünschte Genauigkeit der Von Mises Vergleichsspannungen (Änderung des Ergebnisses zwischen den Verfeinerungszyklen unter 1%) mussten also vier Netze gerechnet werden. In Workbench wird immer die Nodal Solution für alle Ergebnisse dargestellt. Die Lösung ist sehr gut (vgl. ANSYS Classic).

Vergleich der Qualität von Tetraeder- und Hexaeder-Netzen

Ausgabe: 8 / 2003

Fazit:

ANSYS Classic:

- Quadratische Elemente liefern stets bessere Ergebnisse in Hexaeder- und in Tetraederform als lineare Elemente bei gleichem Netz. Das Ergebnis für die Spannungen ist bei den Hexaedern jedoch stets etwas besser als bei den Tetraedern bei gleichem Netz und Ansatz. Mit einem vernünftigen Tetraedernetz werden jedoch gute Ergebnisse für die Spannungen berechnet.
- Lineare Elemente sind in der Tetraeder-Form zu vermeiden
- Lineare Elemente in der Hexaeder-Form sind zur Approximation der Verschiebungen geeignet, bei der Spannungsapproximation sollte man jedoch immer eine Netzverfeinerungsstudie durchführen, da die Spannungen auch einmal unterschätzt werden können.

ANSYS Workbench:

- Es sind zur Zeit nur quadratische Elemente verfügbar.
- Durch die adaptive Vernetzungssteuerung ist es in ANSYS Workbench möglich, solange das Netz automatisch lokal verfeinern zu lassen, bis eine auszuwählende Ergebnisgröße die gewünschte Genauigkeit besitzt. Meist wählt man dazu eine Spannung, da Verformungen – wie gezeigt wurde – auch bei groben Netzen schon richtige Ergebnisse liefern und somit schnell konvergieren.

GENERELLE BEMERKUNG:

- Die Spannungsergebnisse sind immer sensibler, was die Netzfeinheit angeht als die Verschiebungsergebnisse.
- Die Steifigkeit der Struktur kann auch schon mit einem groben Netz gut abgebildet werden. (Verschiebungsergebnisse sind bereits bei groben Netz gut)
- An den Stellen, an denen eine Auswertung von abgeleiteten Grössen (z.B. Spannungen) stattfinden soll, ist das Netz lokal zu verfeinern. (Dies kann in Workbench automatisch erfolgen.