

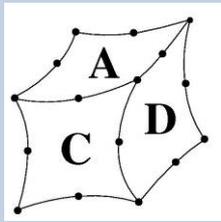
Vergleichsrechnungen in verschiedenen Simulationssystemen

Potentiale und Grenzen der FEA

Vortrag: Dipl.-Ing. Christoph Wehmann

Autoren: Dipl.-Ing. Christoph Wehmann, Dr.-Ing. Bettina Alber-Laukant,
Dipl.-Ing. Bernd Roith, Prof. Dr.-Ing. Frank Rieg

Lehrstuhl für Konstruktionslehre und CAD **Universität Bayreuth**



Vorgehen



- Beispiele aus Antriebstechnik und Prüfstandsentwicklung
- Vergleich von **Verschiebungen** und **Spannungen**
- Betrachtung ausgewählter Knoten bzw. Elemente

Finite Elemente Analyse

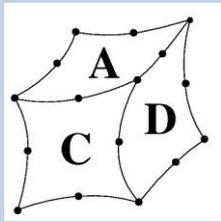


Berechnung mit dem frei erhältlichen Programm

- Z88 V13 

Berechnung und Preprocessing mit kommerziellen Programmen (anonymisiert)

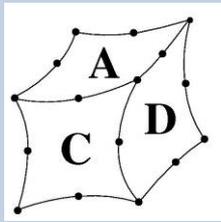
- Pro/MECHANICA Wildfire 2.0 
- ABAQUS Standard. Version 6.7 
- NASTRAN 2007r1
- PATRAN 2008r2 



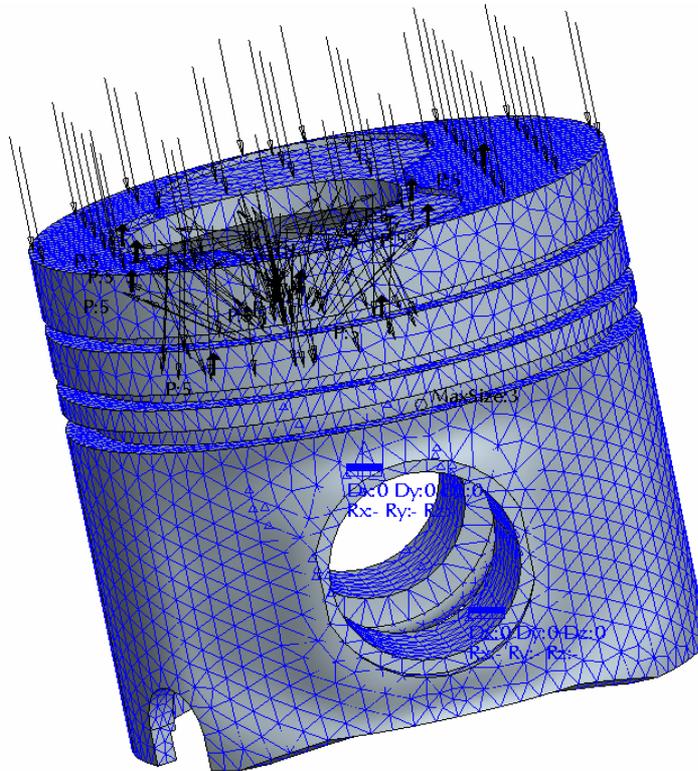
Gliederung



- **Modell Kolben Tet4**
 - Vergleich der Verschiebungen in den drei Raumrichtungen an drei Knoten
 - Variation der Elementzahl
 - Ergebnisse
- **Modell Kurbelwelle Tet10**
 - Vergleich der Verschiebungen in den drei Raumrichtungen an drei Knoten
 - Ergebnisse
- **Modell Adapterflansch Tet4**
 - Vergleich der Verschiebungen an drei Knoten und der Spannungen dreier Elemente
 - Untersuchung der Netzabhängigkeit
 - Ergebnisse



Modell Kolben

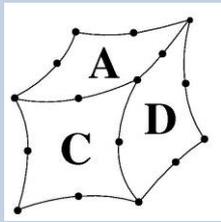


Struktur:

- Tetraederelemente mit linearem Ansatz
- 140 152 Elemente
- 29 359 Knoten

Randbedingungen:

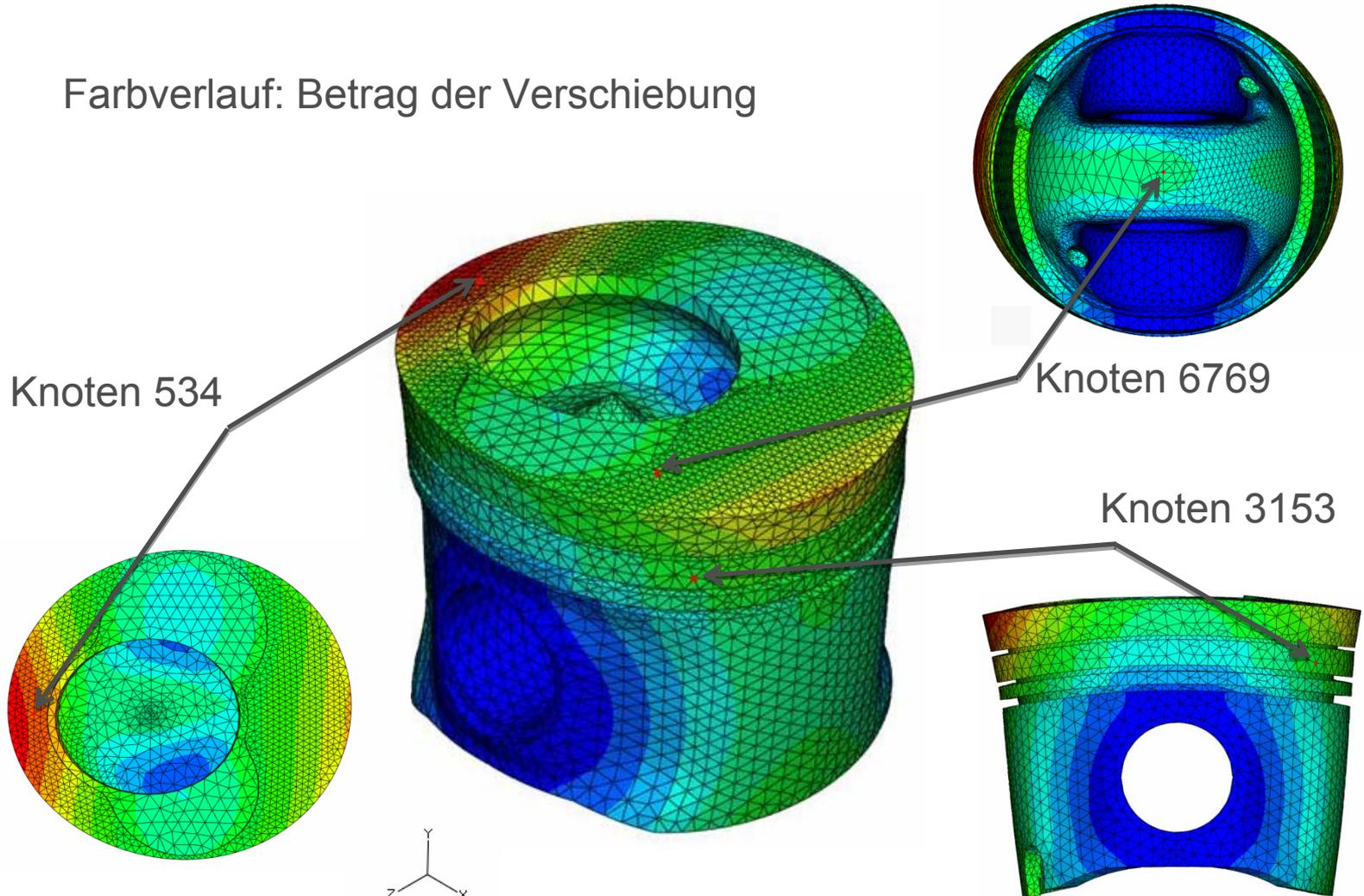
- Drucklast entlang des Kolbenbodens
- Fixierung der Bolzennabe

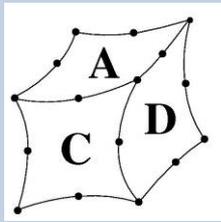


Betrachtete Knoten



Farbverlauf: Betrag der Verschiebung





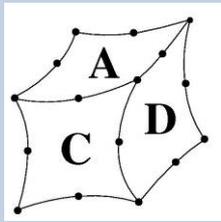
Ergebnisse Vergleichsrechnung Kolben I



Verschiebungen X	Knoten 534	Knoten 3153	Knoten 6769
Z88 V13	-0.0092540	0.0021454	0.0000283
kommerzielle Software 1	-0.0092537	0.0021464	0.0000285
kommerzielle Software 2	-0.0092540	0.0021460	0.0000290

Verschiebungen Y	Knoten 534	Knoten 3153	Knoten 6769
Z88 V13	-0.0095101	-0.0067575	-0.0058091
kommerzielle Software 1	-0.0095098	-0.0067579	-0.0058091
kommerzielle Software 2	-0.0095100	-0.0067580	-0.0058090

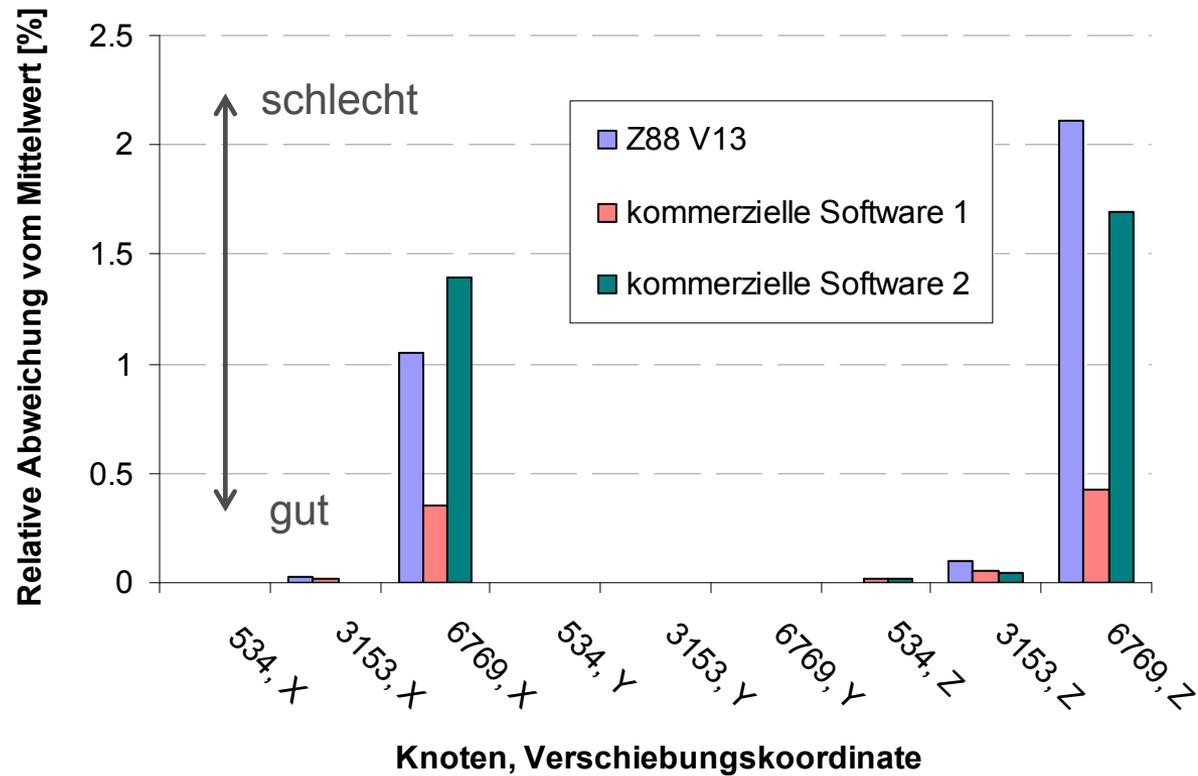
Verschiebungen Z	Knoten 534	Knoten 3153	Knoten 6769
Z88 V13	0.0005259	0.0008863	0.0000322
kommerzielle Software 1	0.0005258	0.0008849	0.0000314
kommerzielle Software 2	0.0005260	0.0008850	0.0000310

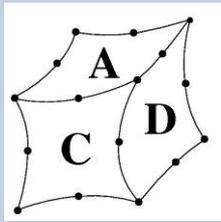


Ergebnisse Vergleichsrechnung Kolben II



Berechnungsergebnisse im Vergleich zum Mittelwert





Ergebnisse Vergleichsrechnung Kolben III

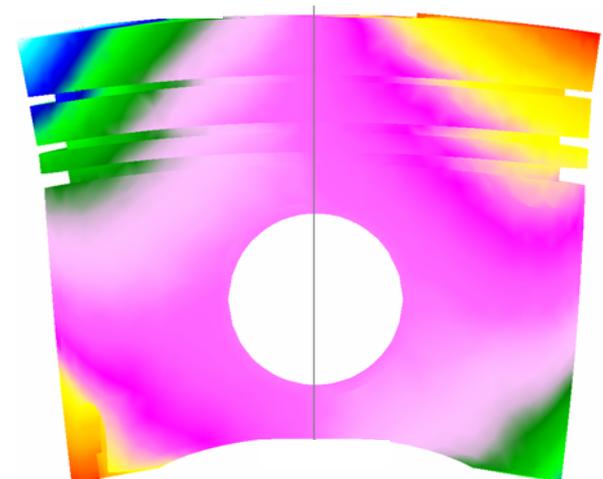
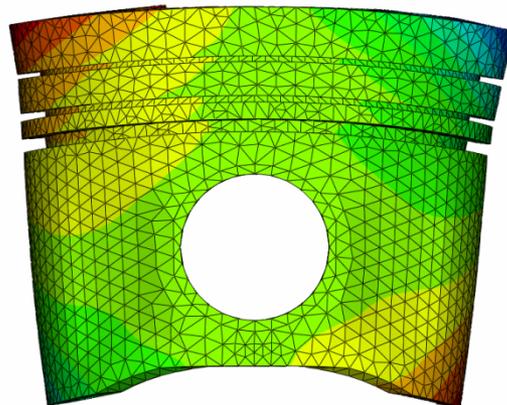
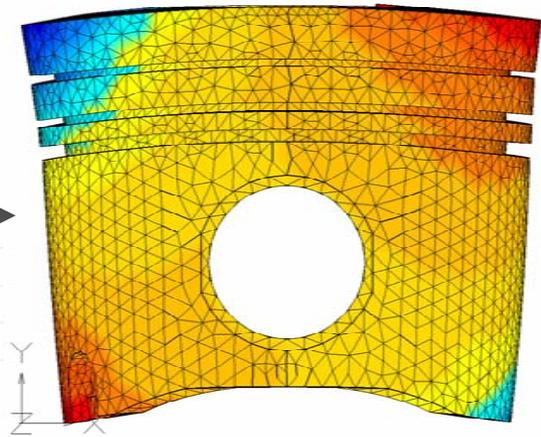


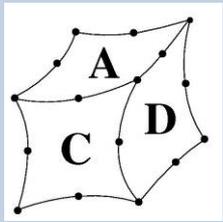
UNIVERSITÄT
BAYREUTH

Verschiebungen X

Z88 V13

kommerzielle Programme





Ergebnisse Vergleichsrechnung Kolben IV

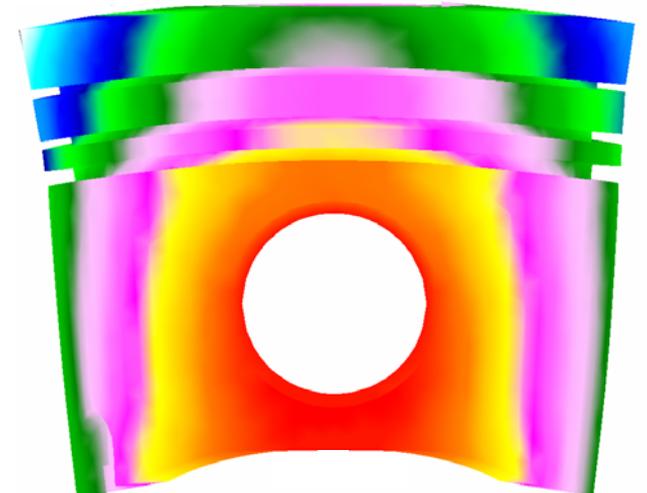
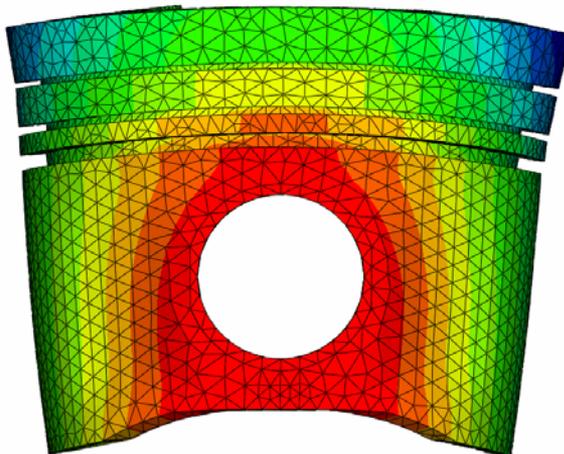
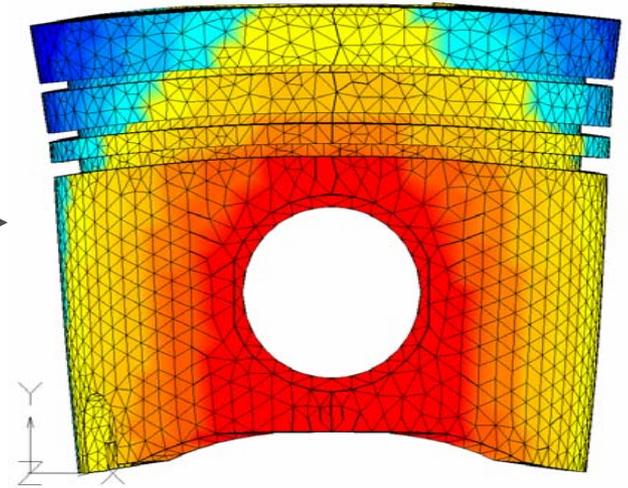


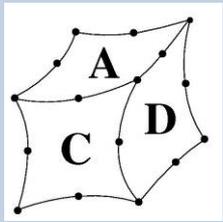
UNIVERSITÄT
BAYREUTH

Verschiebungen Y

Z88 V13 →

kommerzielle Programme





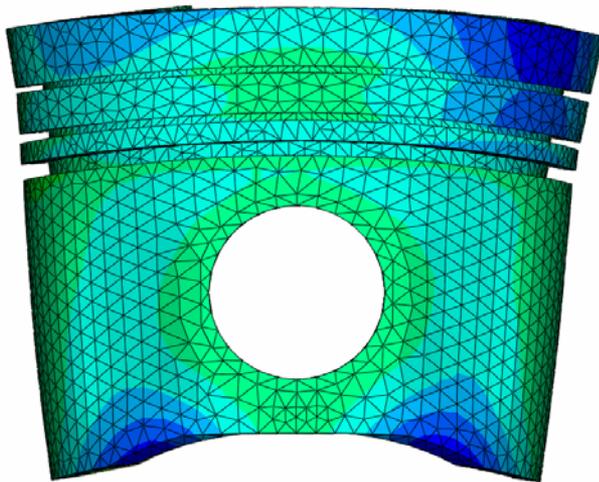
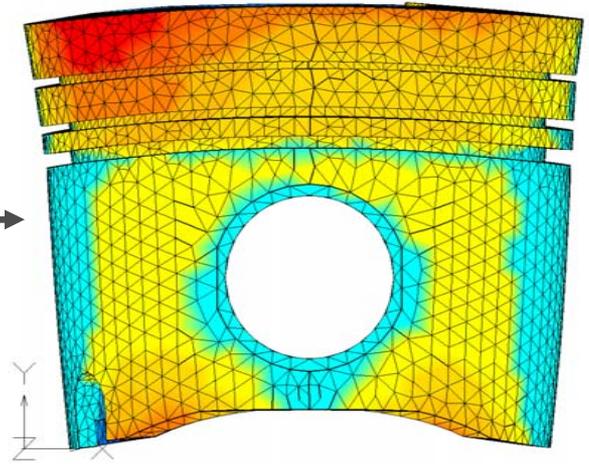
Ergebnisse Vergleichsrechnung Kolben V

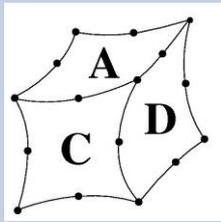


Verschiebungen Z

Z88 V13

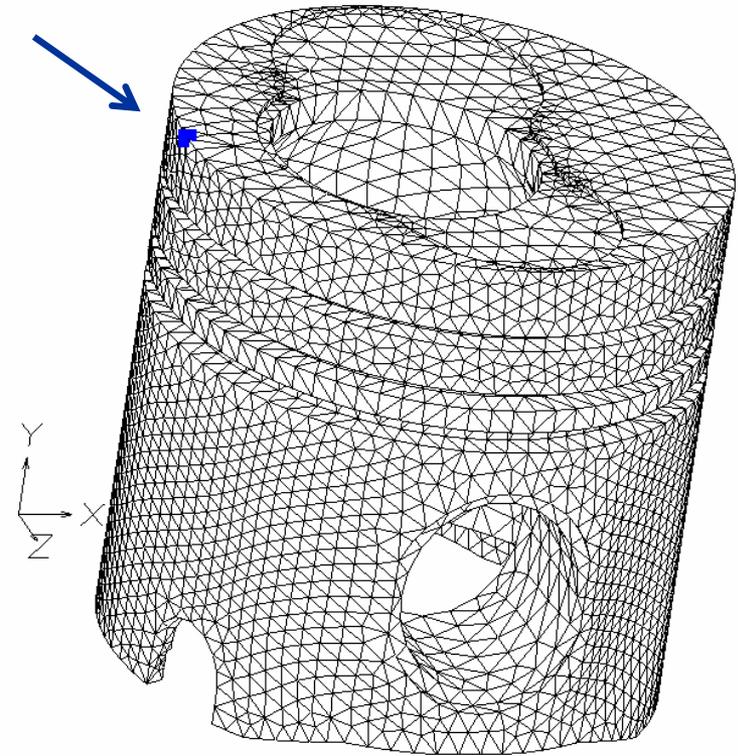
kommerzielle Programme

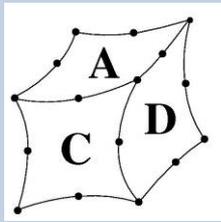




Einfluss der Elementzahl

- Berechnung mit **unterschiedlich feinen** Netzen
- Definition eines **Vergleichsortes**
- **Gesteuerte Netzgenerierung** garantiert Knoten am Vergleichsort
- Betrachtung der berechneten **y-Verschiebung**

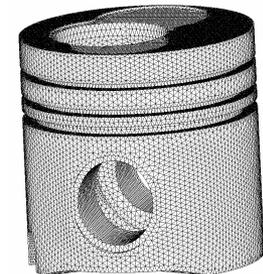
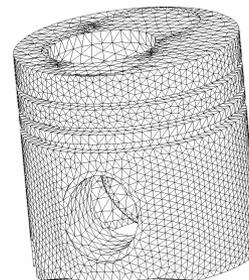
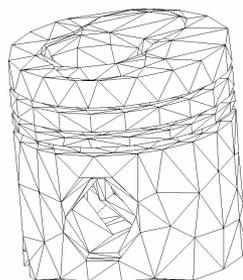
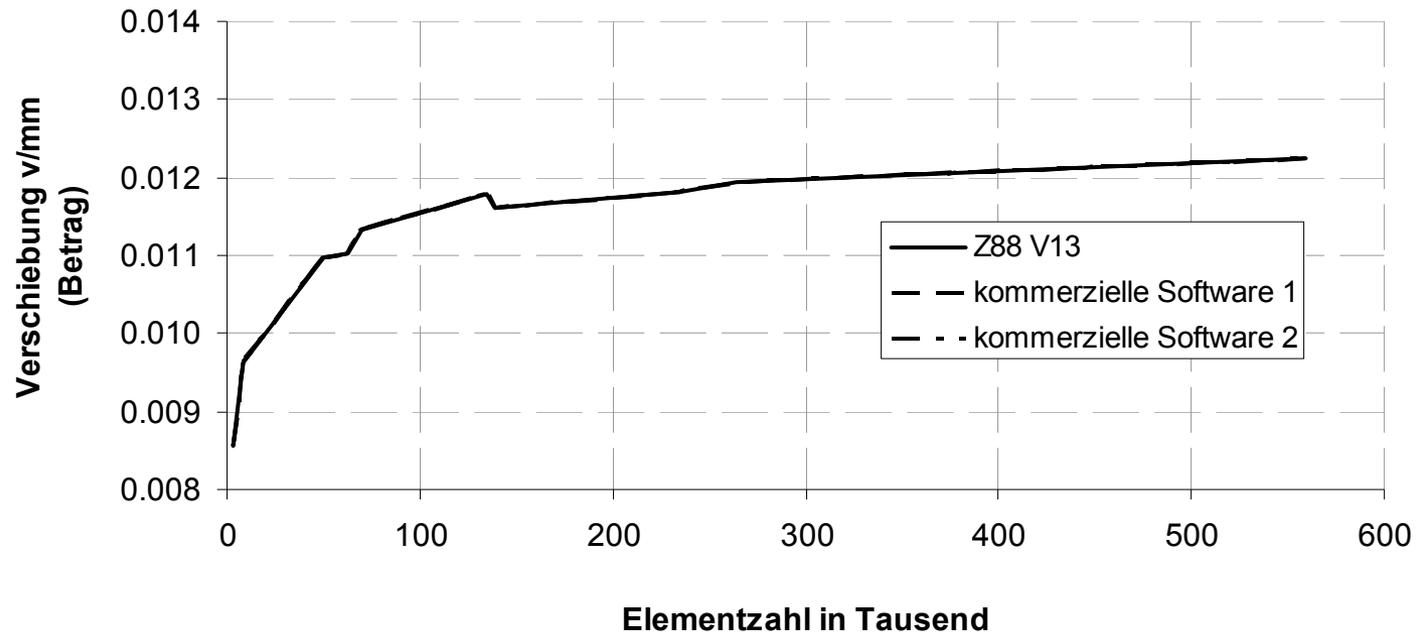


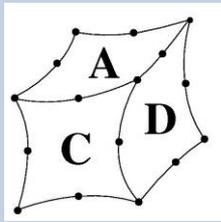


Ergebnisse Vergleichsrechnung Kolben VI



Einfluss der Elementzahl

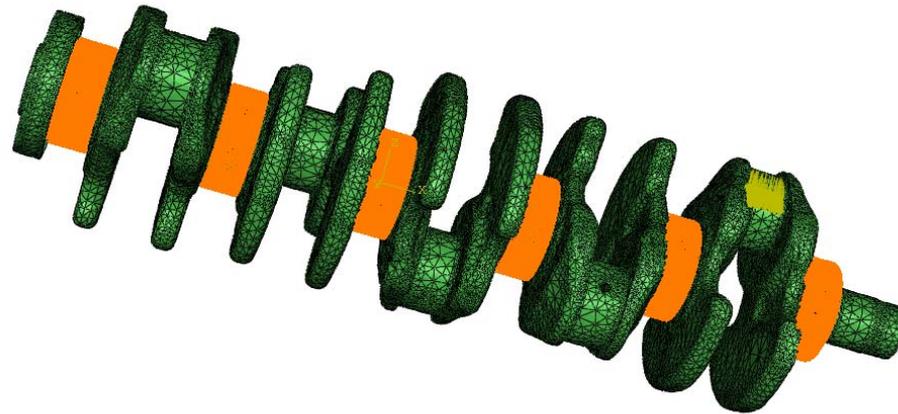




Modell Kurbelwelle



UNIVERSITÄT
BAYREUTH

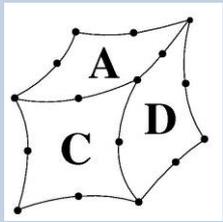


Struktur:

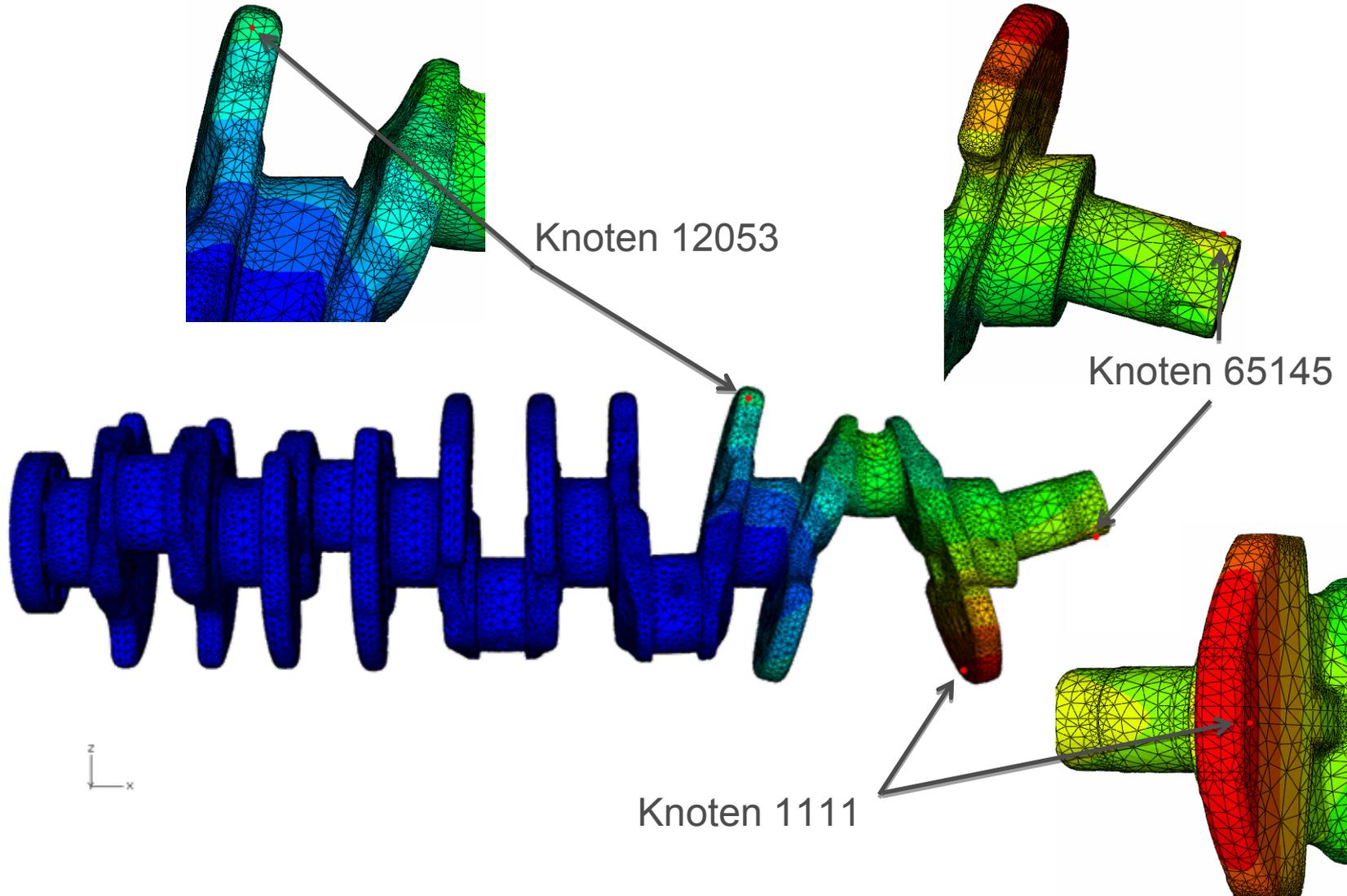
- Tetraederelemente mit quadratischem Ansatz
- 932 033 Elemente
- 1 407 131 Knoten

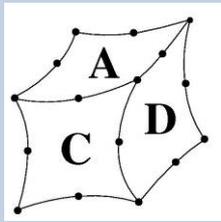
Randbedingungen:

- Fixierung an den Lagerzapfen
- Flächenlast an den Kurbelzapfen



Betrachtete Knoten





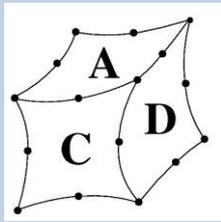
Ergebnisse Vergleichsrechnung Kurbelwelle I



Verschiebungen X	Knoten 1111	Knoten 65145	Knoten 12053
Z88	118.862	43.692	82.615
kommerzielle Software	118.892	43.710	82.625

Verschiebungen Y	Knoten 1111	Knoten 65145	Knoten 12053
Z88	0.38503	-0.33161	0.53042
kommerzielle Software	0.38563	-0.32502	0.52013

Verschiebungen Z	Knoten 1111	Knoten 65145	Knoten 12053
Z88	-20.044	7.983	34.721
kommerzielle Software	-20.253	7.985	34.750

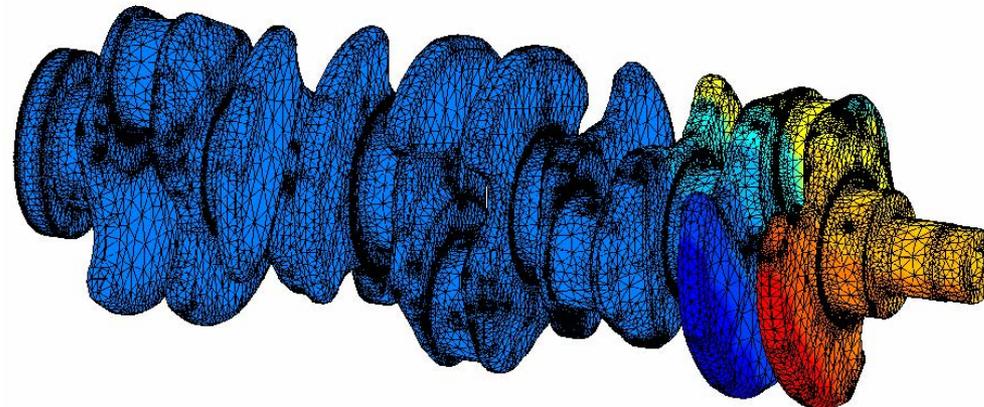
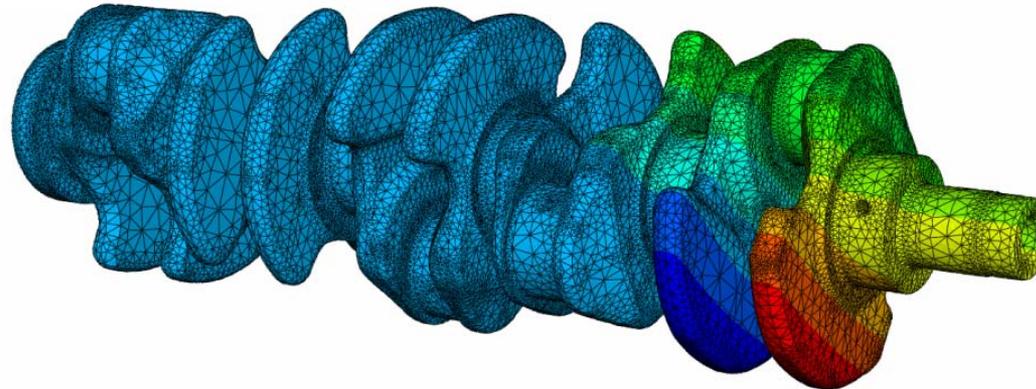


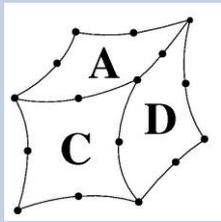
Ergebnisse Vergleichsrechnung Kurbelwelle II



UNIVERSITÄT
BAYREUTH

Verschiebungen X



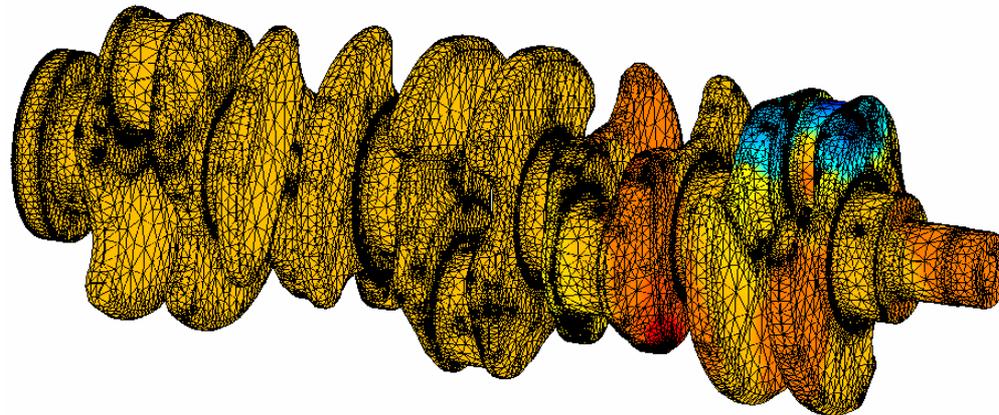
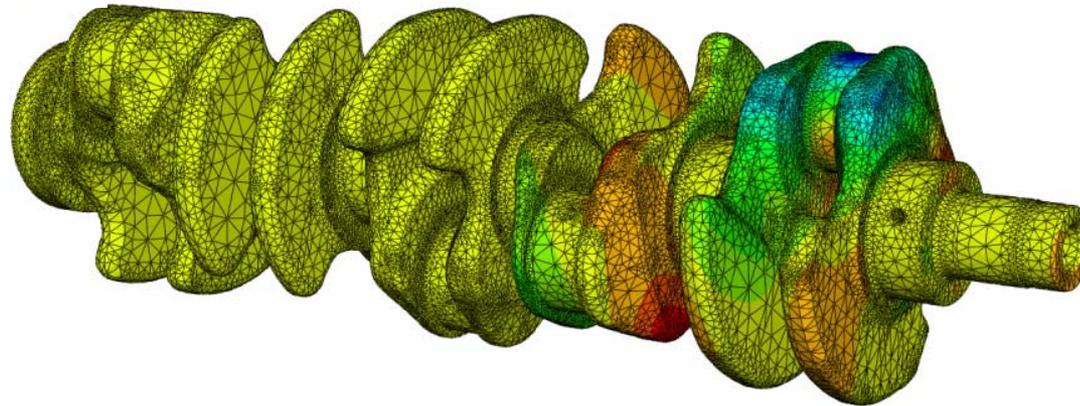


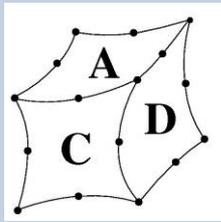
Ergebnisse Vergleichsrechnung Kurbelwelle III



UNIVERSITÄT
BAYREUTH

Verschiebungen Y



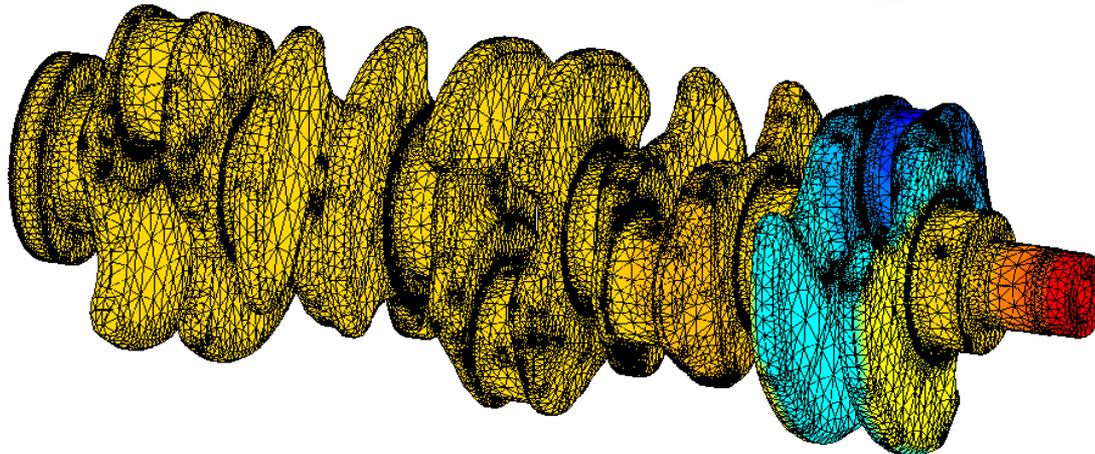
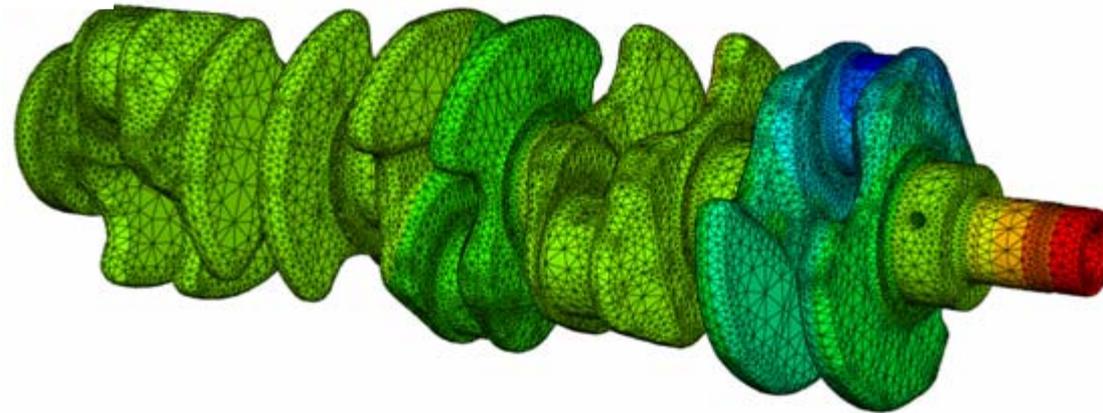


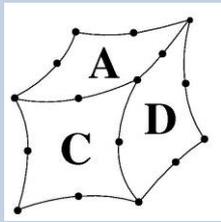
Ergebnisse Vergleichsrechnung Kurbelwelle IV



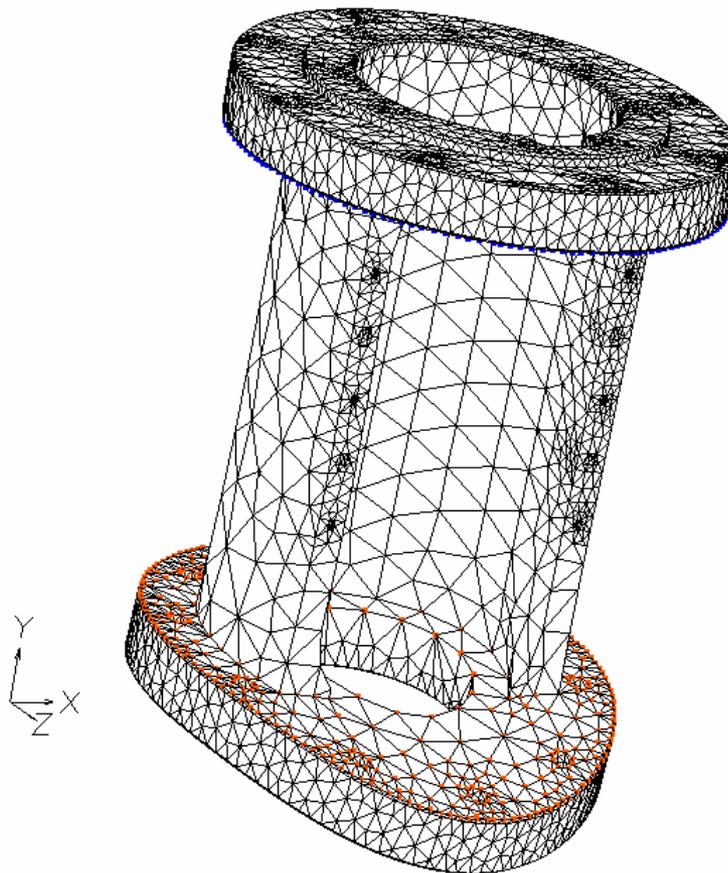
UNIVERSITÄT
BAYREUTH

Verschiebungen Z





Modell Adapterflansch

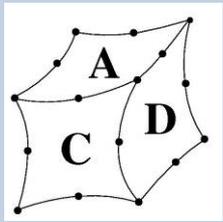


Struktur:

- Tetraederelemente mit linearem Ansatz
- 55 927 Elemente
- 13 228 Knoten

Randbedingungen:

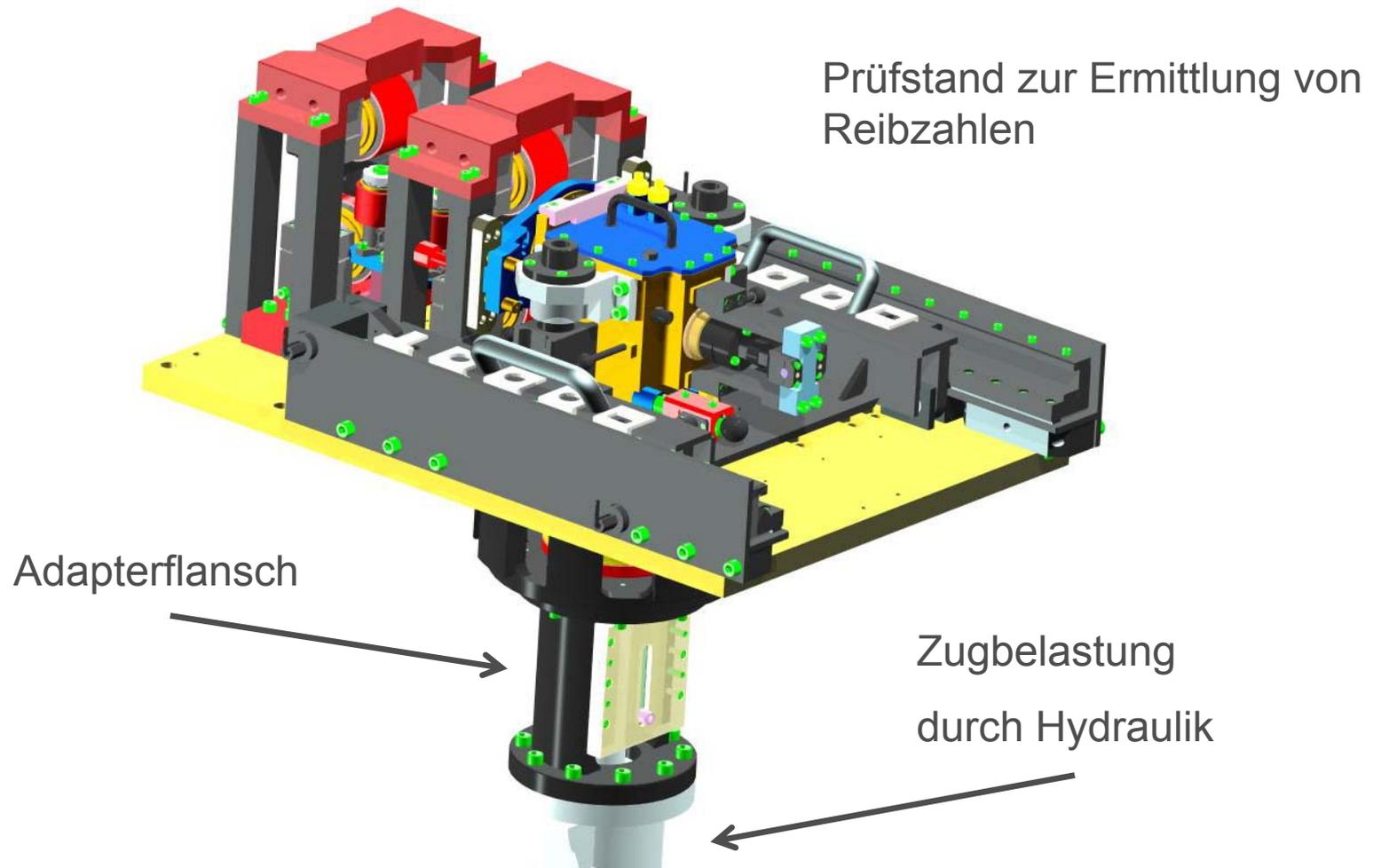
- Fixierung am oberen Ende (blau)
- Kraftaufbringung von insgesamt 16 000 N am unteren Ende (orange)



HiTOM



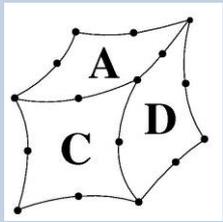
UNIVERSITÄT
BAYREUTH



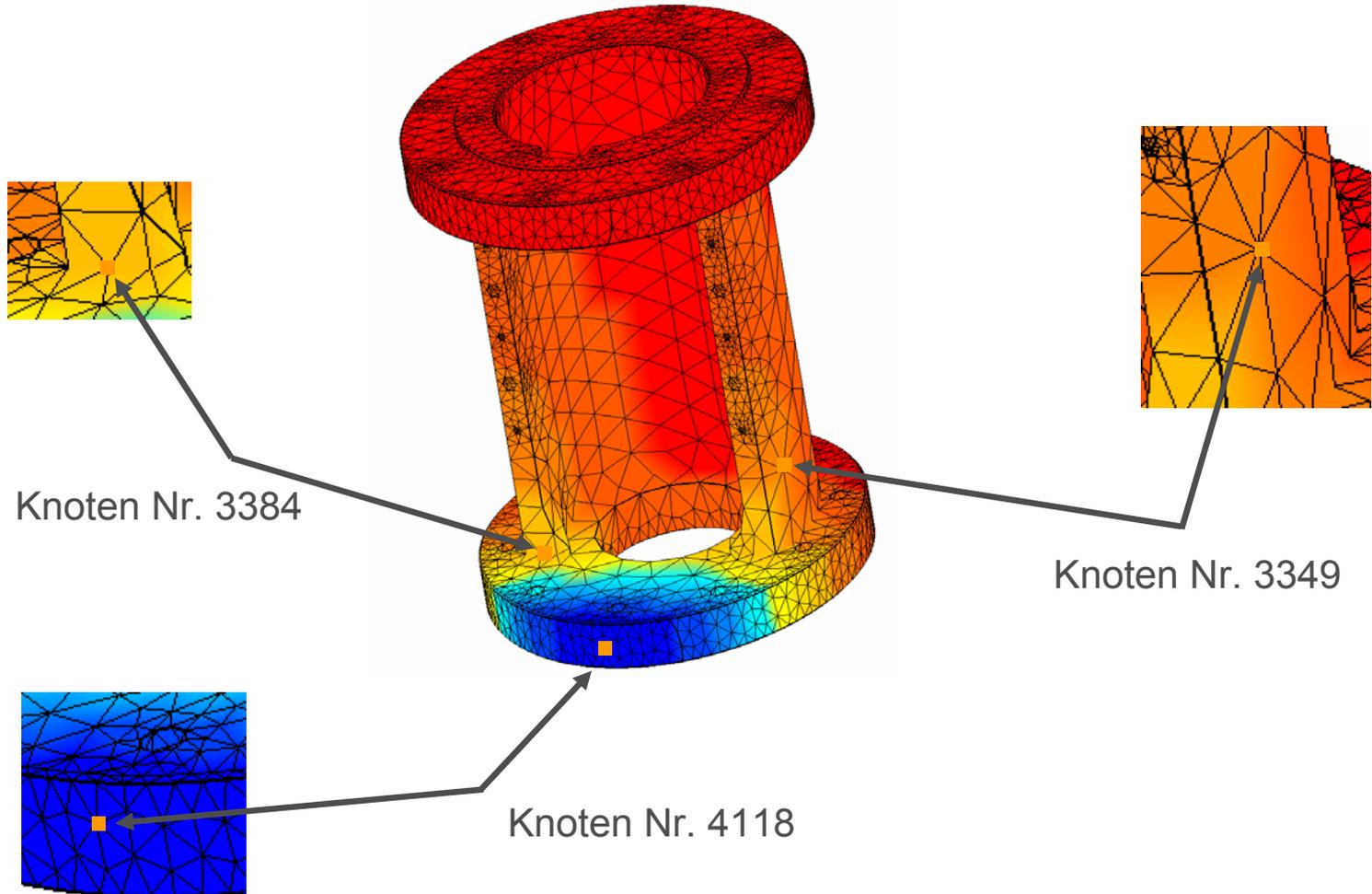
Prüfstand zur Ermittlung von
Reibzahlen

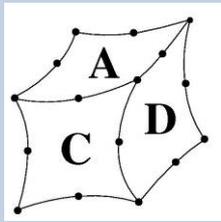
Adapterflansch

Zugbelastung
durch Hydraulik



Betrachtete Knoten





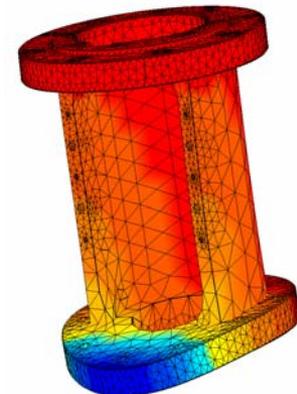
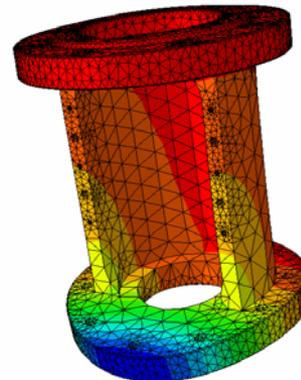
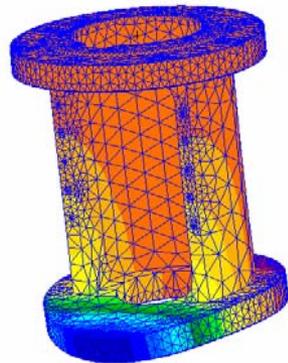
Ergebnisse Vergleichsrechnung Flansch I

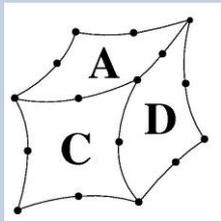


UNIVERSITÄT
BAYREUTH

Verschiebungen Y	Knoten 4118	Knoten 3349	Knoten 3384
Z88 V13	-0.0382368	-0.00621589	-0.0107272
kommerzielle Software 1	-0.0382368	-0.00621589	-0.0107272
kommerzielle Software 2	-0.0382368	-0.00621589	-0.0107272

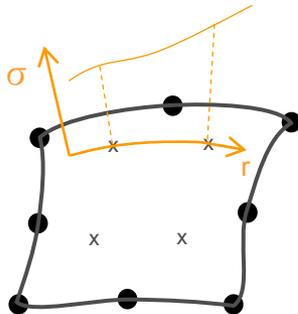
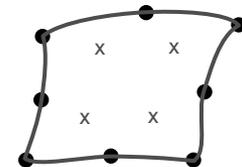
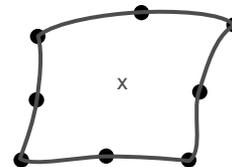
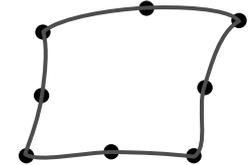
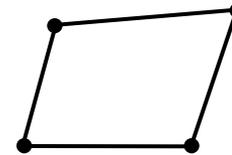
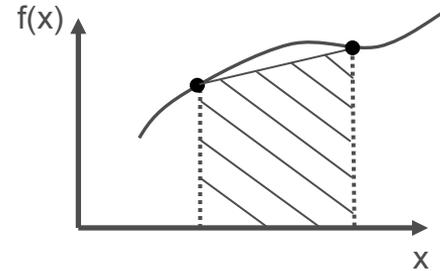
Die Verschiebungen stimmen exakt überein!



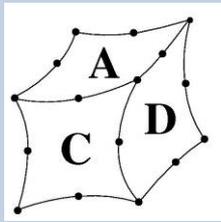


Spannungsberechnung

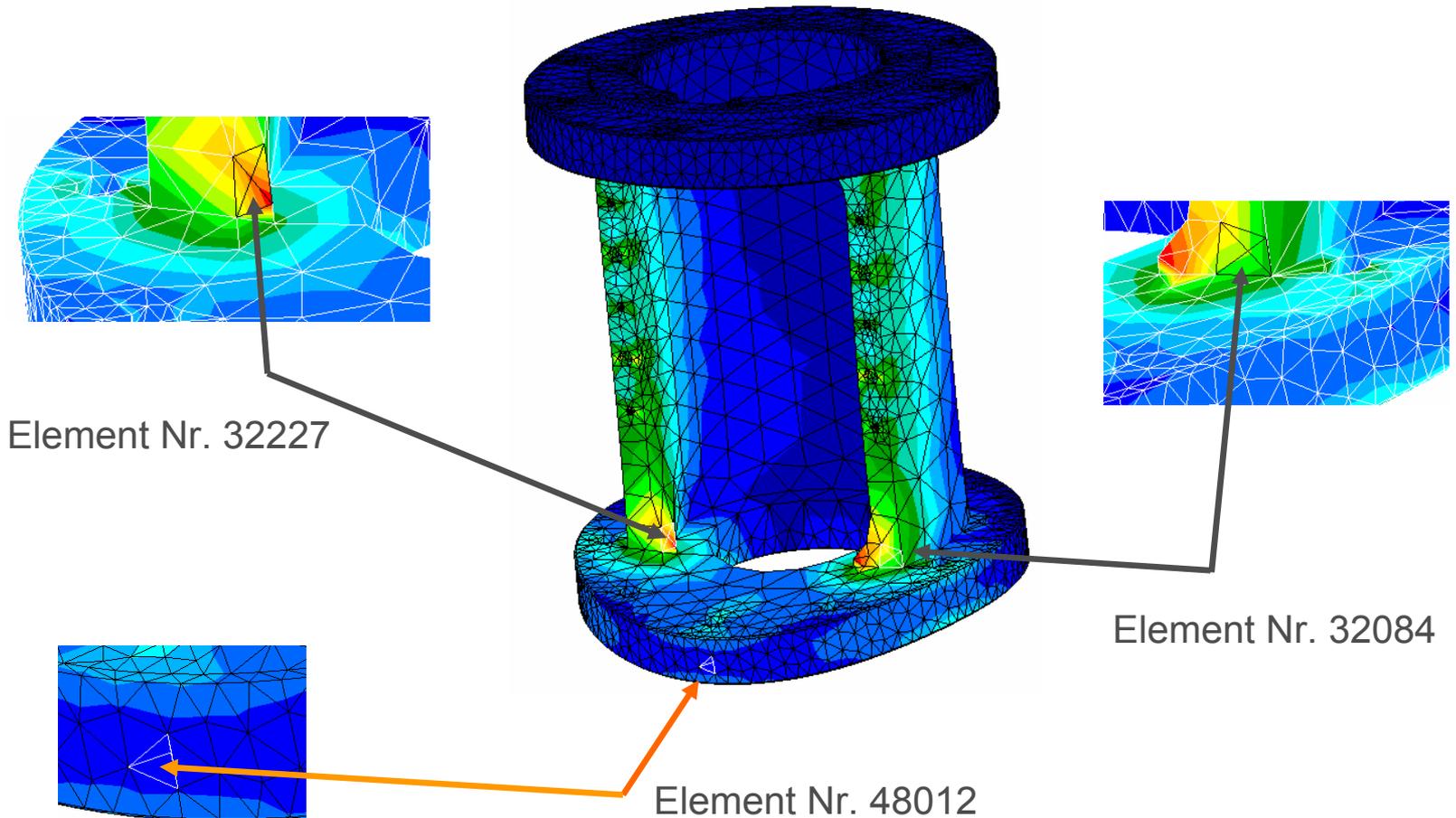
- Integrationsverfahren
- Elementansatz
- Integrationsordnung
- Vergleichsspannung
- Interpolation

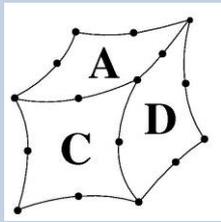


$$\sigma_v = \sqrt{\frac{1}{2} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2]}$$



Betrachtete Elemente

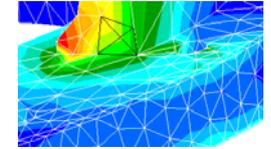
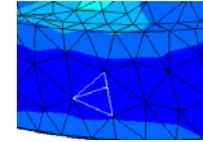
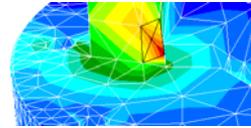




Ergebnisse Vergleichsrechnung Flansch II

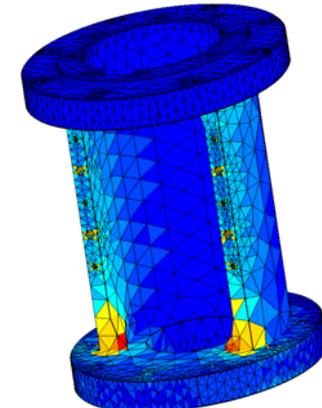
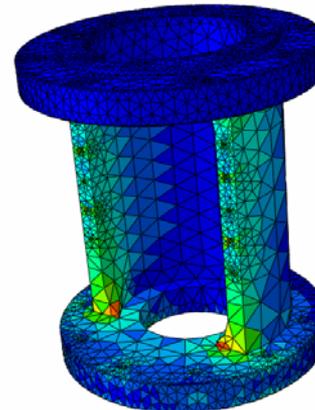
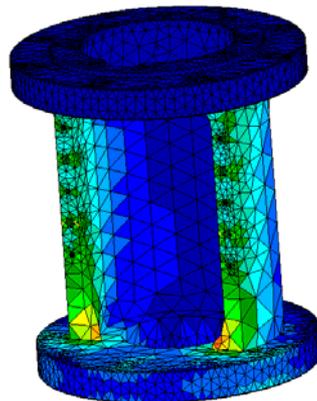


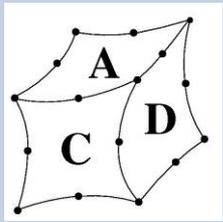
UNIVERSITÄT
BAYREUTH



Spannungen σ_v / [N/mm ²]	Element 32227	Element 48012	Element 32084
Z88 V13	26.25	1.852	20.42
kommerzielle Software 1	26.25	1.852	20.42
kommerzielle Software 2	26.25	1.852	20.42

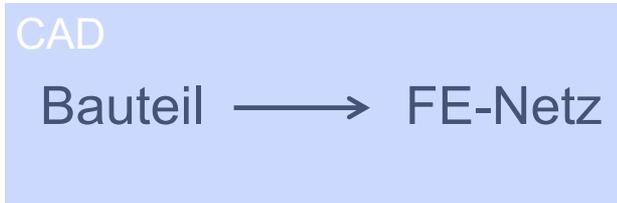
Auch die Vergleichsspannungen stimmen exakt überein!





Neue Vorgehensweise

Bisher:

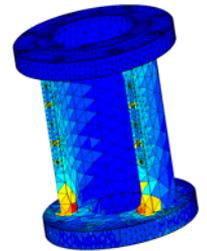
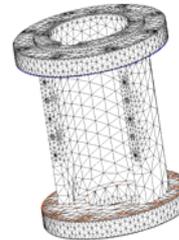


CAE

FEA-Software 1 → Ergebnis

FEA-Software 2 → Ergebnis

FEA-Software 3 → Ergebnis



Jetzt:

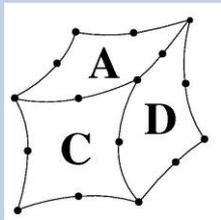


CAE

FEA-Software 1 → FE-Netz → Ergebnis

FEA-Software 2 → FE-Netz → Ergebnis

FEA-Software 3 → FE-Netz → Ergebnis



Ergebnisse

Vergleichsrechnung Flansch III

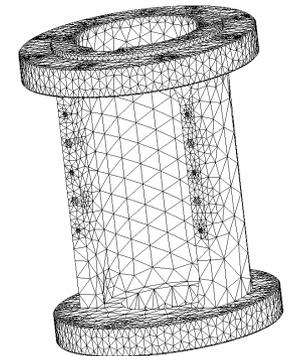
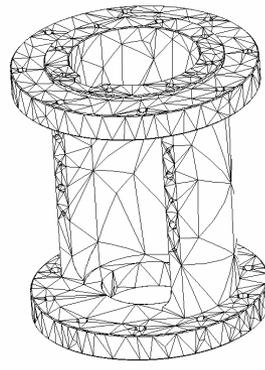
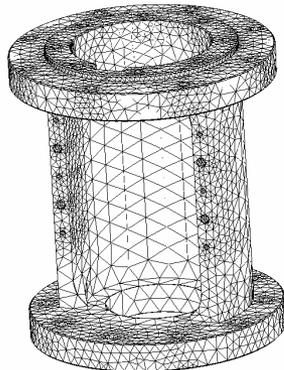


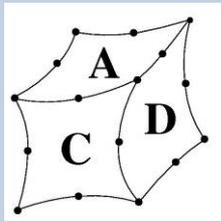
UNIVERSITÄT
BAYREUTH

Vergleich der **maximalen Vergleichsspannung** σ_v

	max. Spannung σ_v / [N/mm ²]
Z88 V13	26.25
kommerzielle Software 1	35.60
kommerzielle Software 2	29.80
kommerzielle Software 3	69.14

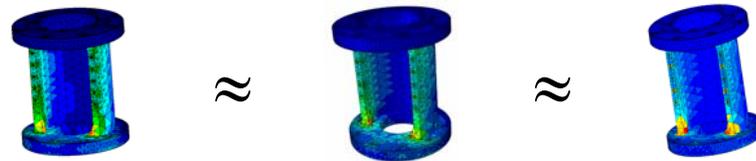
Unterschiedliche Netze!



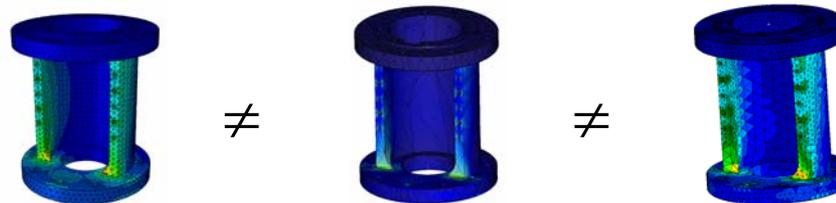


Fazit

- **Gleiche Netze führen in unterschiedlichen Systemen zu nahezu identischen Ergebnissen**



- **Bei Verwendung von verschiedenen Vernetzern kommt es zu Abweichungen**



- **Mit zunehmend feiner Diskretisierung nähern sich die Ergebnisse einem Grenzwert an**

