

# Modellierung mit FEM

## Kapitel 1: Einführung

Prof. Dr.-Ing. Thomas Grätsch  
Department Maschinenbau und Produktion  
Fakultät Technik und Informatik  
Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

[thomas.graetsch@haw-hamburg.de](mailto:thomas.graetsch@haw-hamburg.de)

# Organisatorisches (WS 2017/18)

Vorlesung	Do 12:15 – 13:45 Uhr
Labore	Di 15:45 – 19:00 Uhr an 4 Terminen genauer Terminplanung siehe nächste Folie
Laborbericht	Präsentation am Ende des Semesters
Sprechstunde	Do 10:00 – 12:00 Uhr, Raum 226e
Skript	PDF-Folien, Mitschriften
Klausur	KW 05 (Di oder Do) oder Fr 16.02., 12:30 Uhr

# Vorlesungstermine und –inhalte, 1/2

Datum	Tag	Thema
12.10.	Do 3.V	1. Einführung
19.10.	Do 3.V	2. Mathematische Grundlagen der FEM Herleitung über PdvV, mathematische Notation, Ansatzfunktionen
26.10.	Do 3.V	3. Grundlagen der Elastizitätstheorie Spannungen, Gleichgewicht, Verzerrungen, Ausgabegrößen
02.11.	Do 3.V	4. Wahl des 'richtigen' Modells Modelle der Strukturmechanik, 2D- und 3D-Elemente, Elementbewertung, Symmetrie, Submodellierung, linear vs. nichtlinear
07.11.	Di 5.+6.V	Labor Modellierung
09.11. / 16.11.	Do 3.V	5. Singularitäten Singularitäten aus Geometrie, scharfe Ecken und Knicke, Fehler in der Geometrie, Praxisempfehlungen, Singularitäten aus der Belastung, Einzelkräfte und –momente, äquivalente Knotenkräfte
21.11.	Di 5.+6.V	Labor Singularitäten
23.11. / 30.11.	Do 3.V	6. Genauigkeit der FE-Methode Vernetzungstipps, Elementauswahl, Konvergenz, FE-Lastfall, Fehlerschätzung, Einflussfunktionen, Verifizierung vs. Validierung

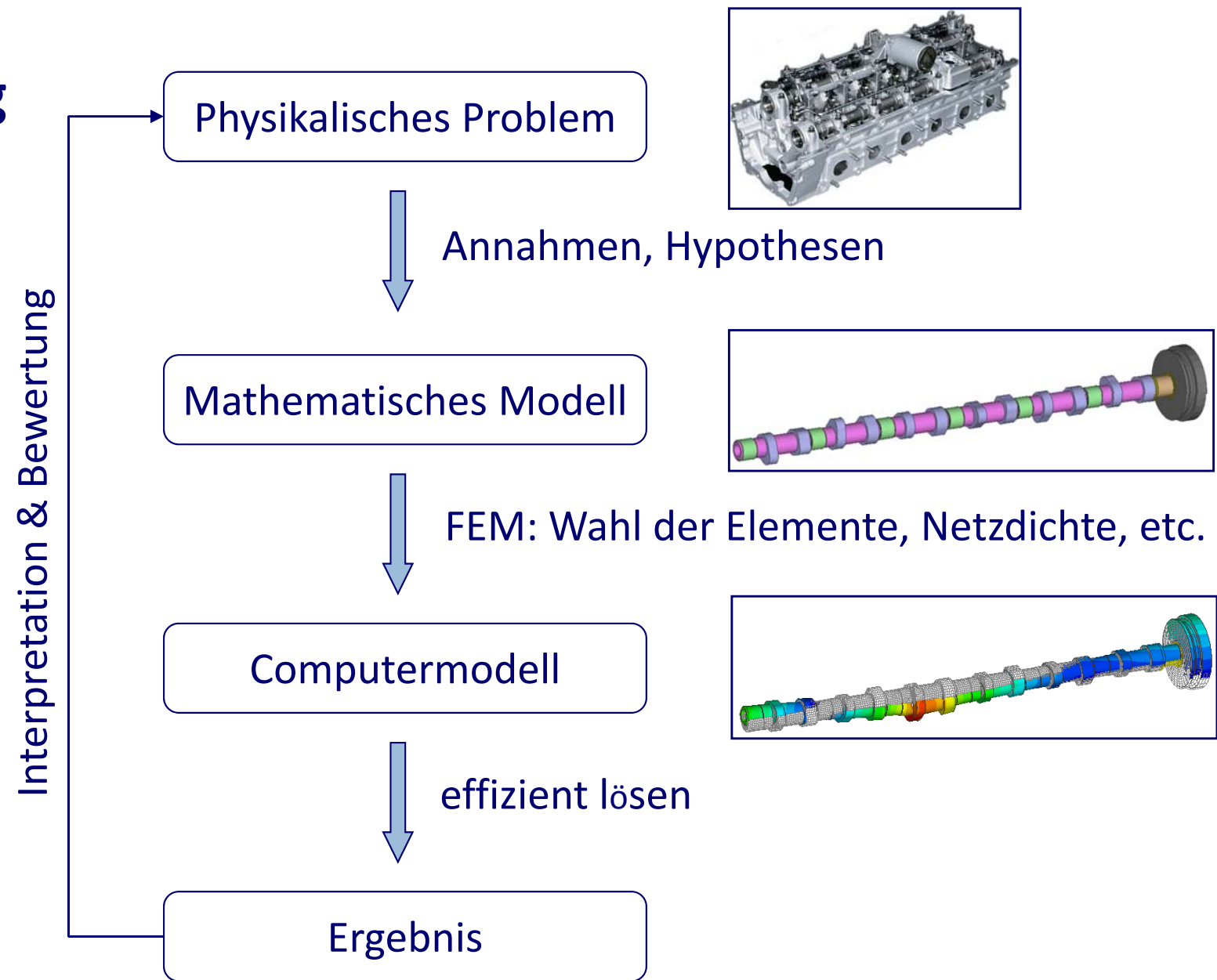
# Vorlesungstermine und –inhalte, 1/2

Datum	Tag	Thema
07.12.	Do 3.V	Keine Vorlesung
14.12.	Do 3.V	7. Kopplung von Bauteilen RBE-Elemente, Glue/Join/Tie-Verbindungstechniken
19.12.	Di 5.+6.V	Labor Kopplung / Genauigkeit
21.12. / 11.01.	Do 3.V	8. Schraub- und Schweißverbindungen Schraubenmodelle, Konzepte zur Berechnung von Schweiß- verbindungen, Praxisempfehlungen
16.01.	Di 5.+6.V	Labor Schraub- und Schweißverbindungen
18.01.	Do 3.V	9. Ausgewählte Themen Modellierung von Flüssigkeiten und Dichtungen, Erstellen einer Berechnungspräsentation
23.01.	Di 5.+6.V	Laborvorträge
25.01.	Do 3.V	Zusammenfassung / Klausurvorbereitung

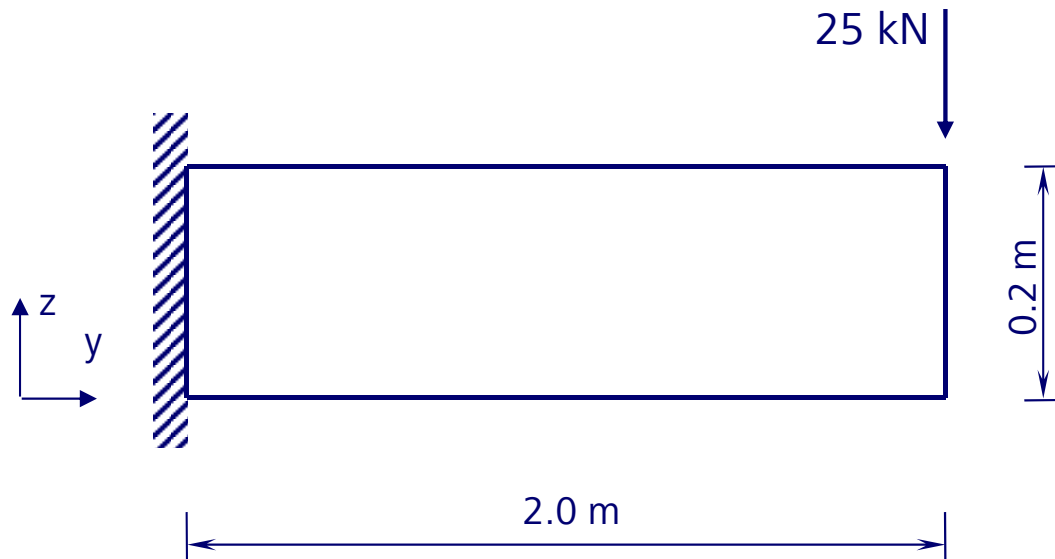
# Literaturempfehlungen

- Bathe KJ: Finite-Elemente-Methoden, Springer, 2001
- Nasdala, L: FEM-Formelsammlung Statik und Dynamik, Vieweg, 2010
- Hartmann F, Katz C: Structural Analysis with Finite Elements, Springer, 2006
- Grundlagen der FEM:
  - Fish J, Belytschko T: A first course in FEM, Wiley, 2007
  - Link M: Finite Elemente in der Statik und Dynamik, Vieweg, 2014
  - Steinke P: Finite-Elemente-Methode, Springer, 2015
  - ...

# Modellbildung



# Ein einfaches(?) Beispiel



Gegeben:

$$E = 2.1 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$$

$$\nu = 0.2$$

Rechteckprofil: 40 mm x 200 mm

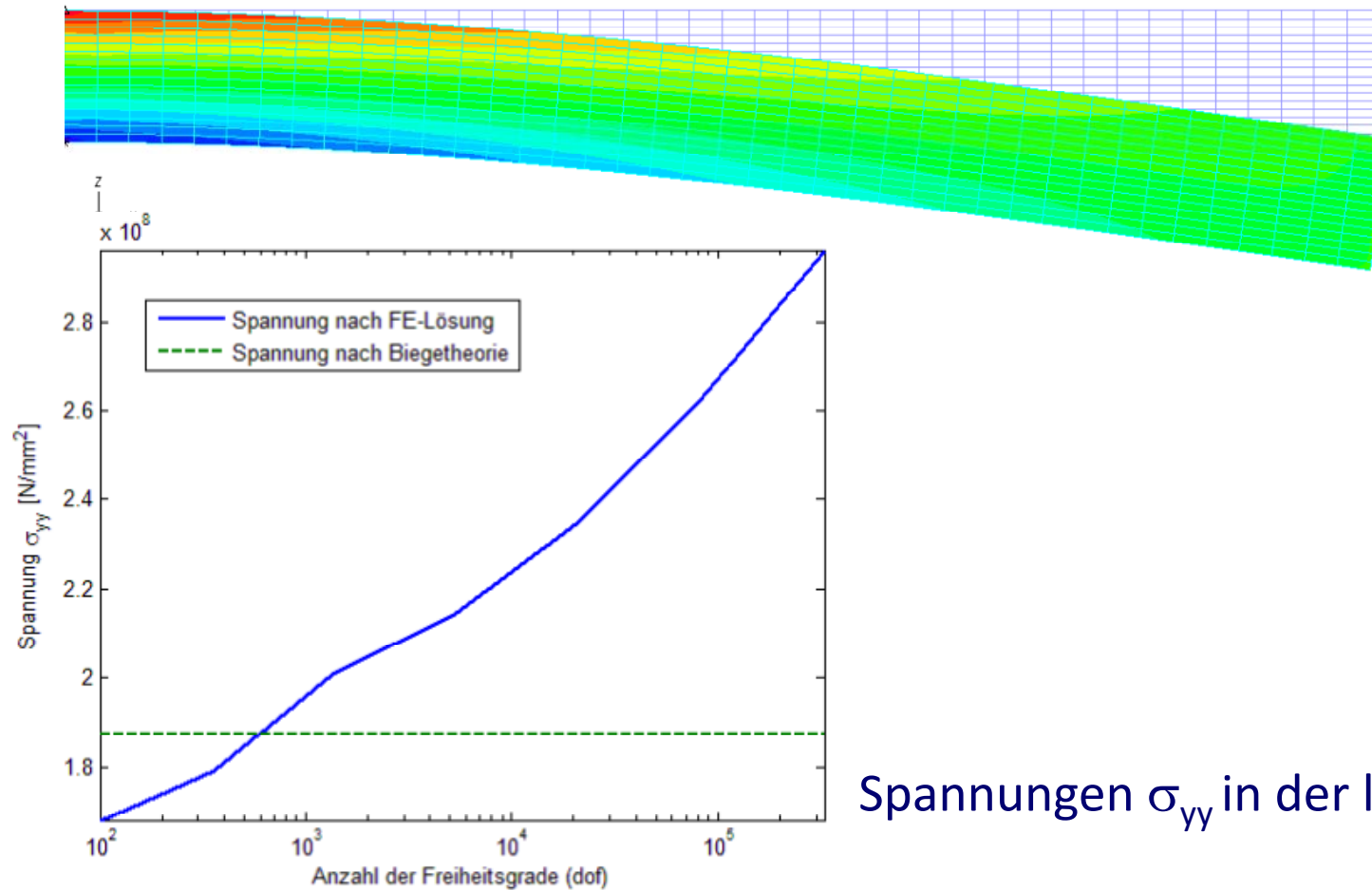
$$\sigma = \frac{M}{W} \quad \text{mit } W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{0,04\text{m} \cdot (0,2\text{m})^2}{6} = 2,667 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$M = F \cdot l = 25000 \text{ N} \cdot 2 \text{ m} = 50000 \text{ Nm}$$

$$\Rightarrow \sigma = \frac{50000 \text{ Nm}}{2,667 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3} = \underline{\underline{187,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}}$$

# Ein einfaches(?) Beispiel

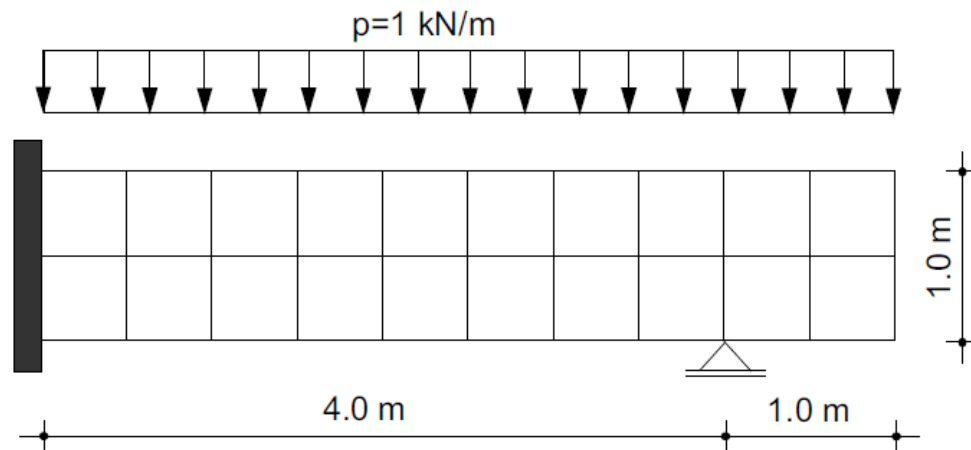
Spannungen  $\sigma_{yy}$



Spannungen  $\sigma_{yy}$  in der linken oberen Ecke

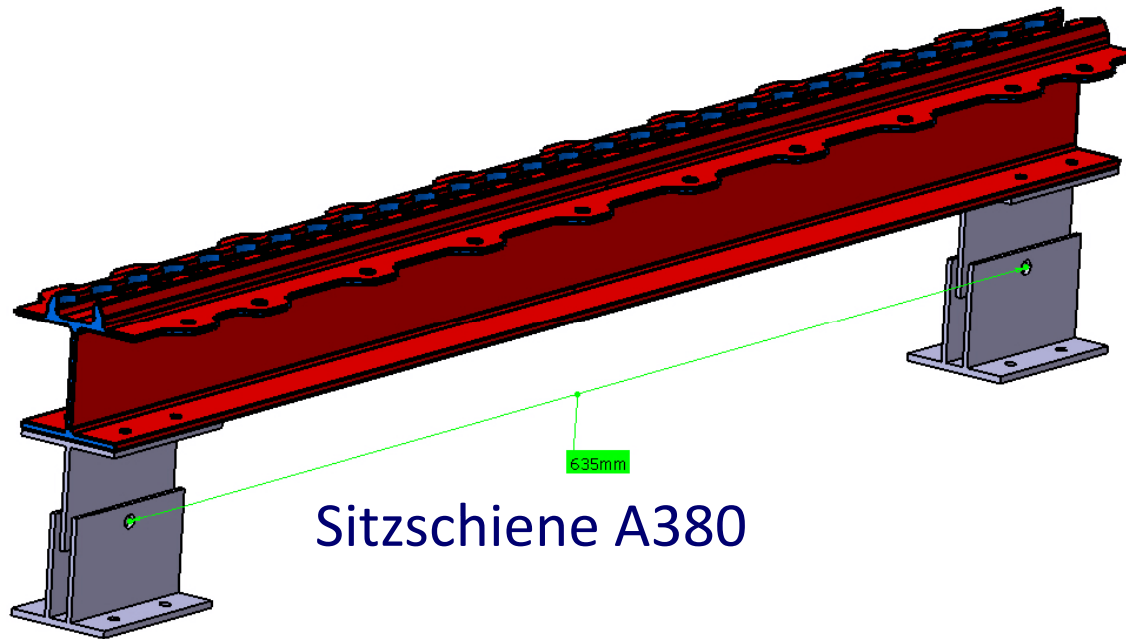


# Ein weiteres Beispiel

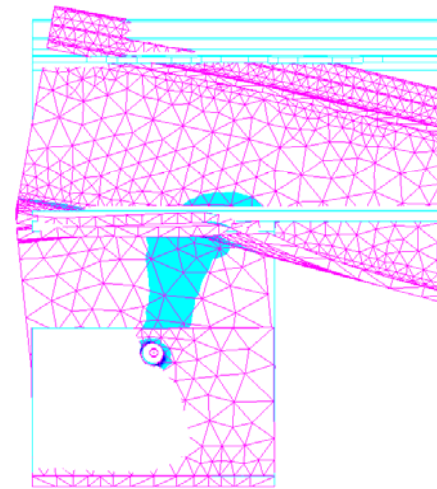


Freiheitsgrade	Lagerkraft	Einspannmoment	Durchbiegung
Balkenlösung	2.70	-1.70	8.39
66	2.70	-1.70	4.45
116	2.70	-1.70	3.67
203	2.70	-1.70	2.89
378	2.69	-1.74	1.00
694	2.69	-1.74	-0.37
1202	2.68	-1.78	-1.98
$\infty$	0	-12.5	-937.5

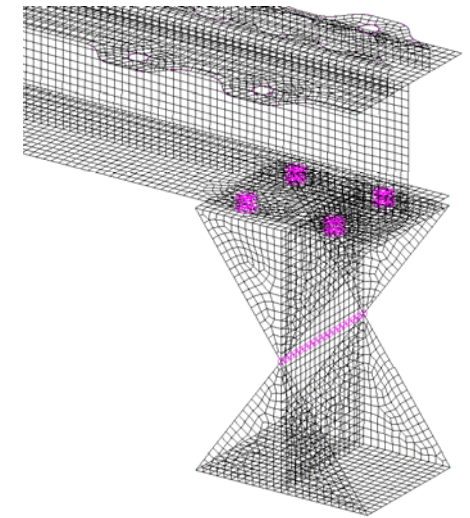
# 2D- oder 3D-Elemente



Sitzschiene A380



Volumenmodell

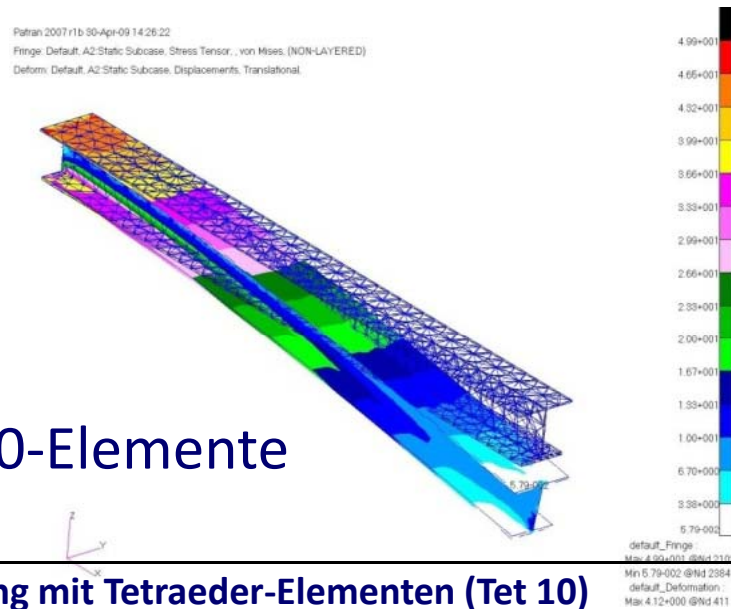


Schalenmodell

	Schalenmodell	Volumenmodell	Abweichungen
max. Verschiebung	6,10 mm	5,85 mm	4,3 %
max. Spannungen	330 MPa	354 MPa	7,3 %
DOF	102684	567712	ca. 450 %

# Tetraeder oder Hexaeder

Tet10-Elemente



## Vernetzung mit Tetraeder-Elementen (Tet 10)

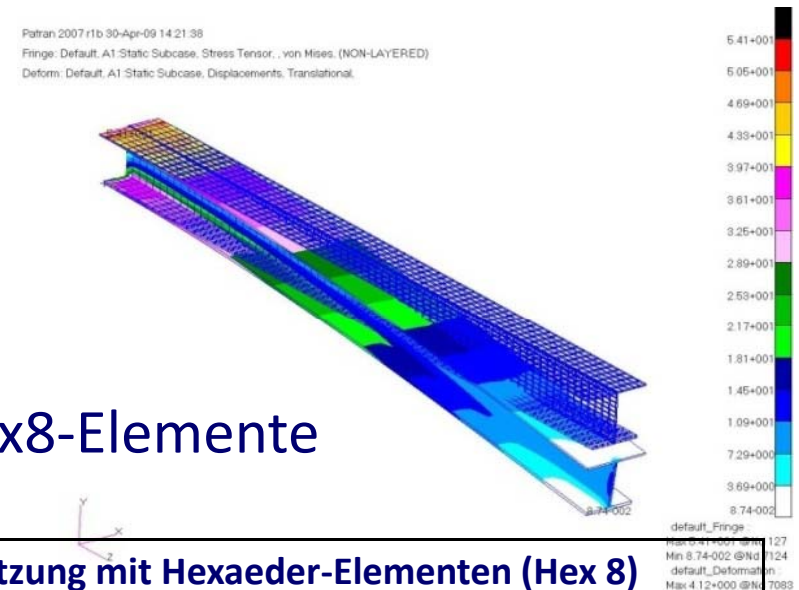
6871 Knoten

max. Durchbiegung : 4,12mm

Eigenfrequenzen

1. 2,46 Hz
2. 3,4383 Hz
3. 4,1286 Hz
4. 13,841 Hz
5. 17,265 Hz

Hex8-Elemente



## Vernetzung mit Hexaeder-Elementen (Hex 8)

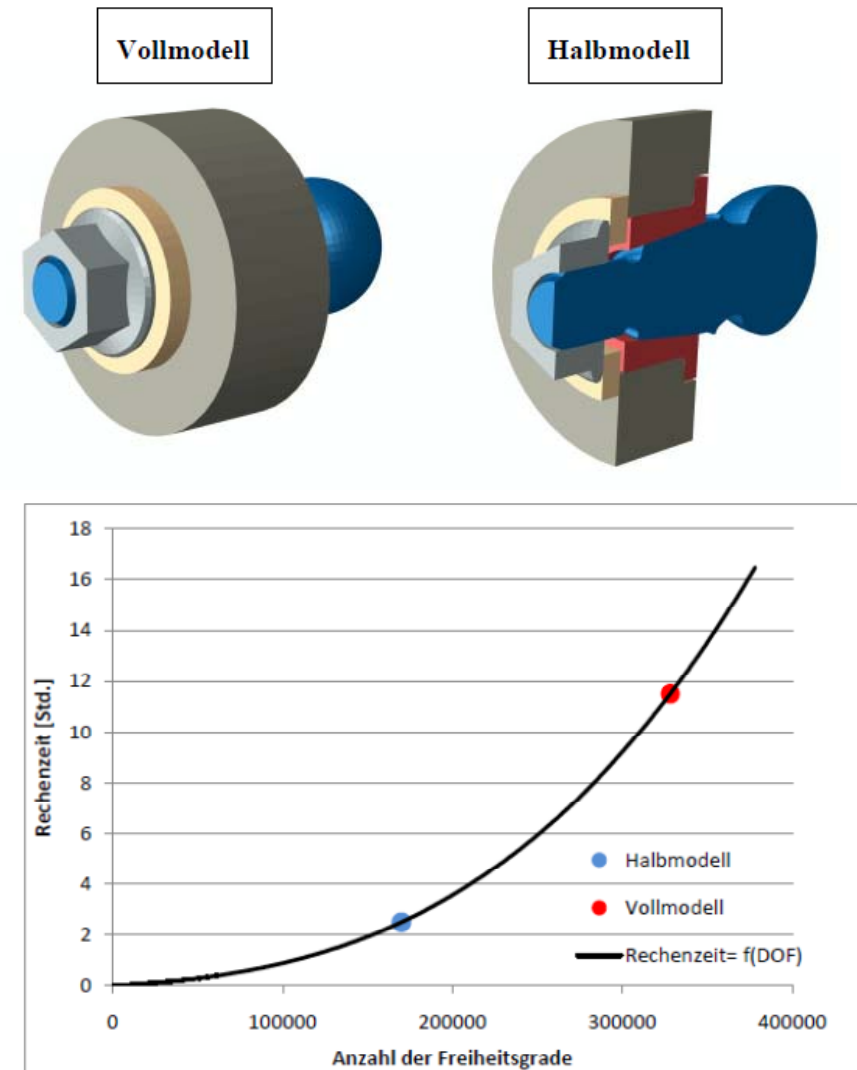
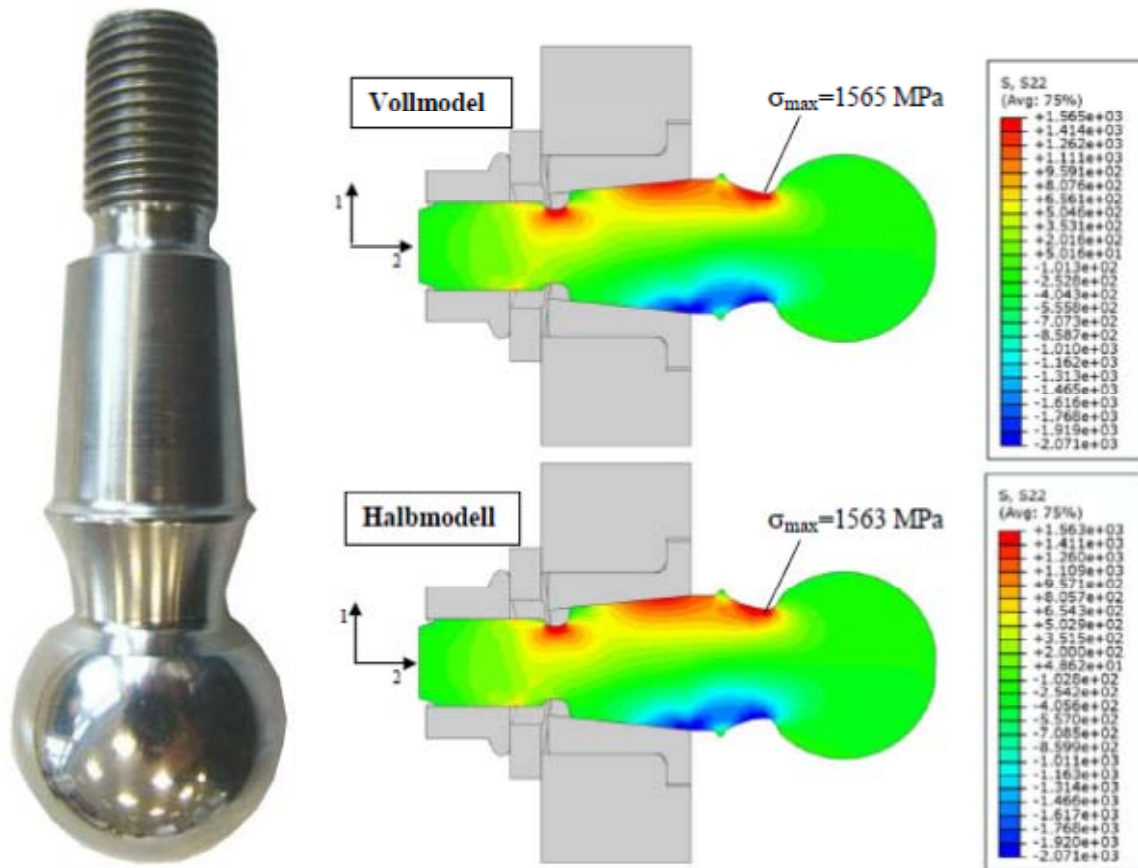
7128 Knoten

max. Durchbiegung : 4,12mm

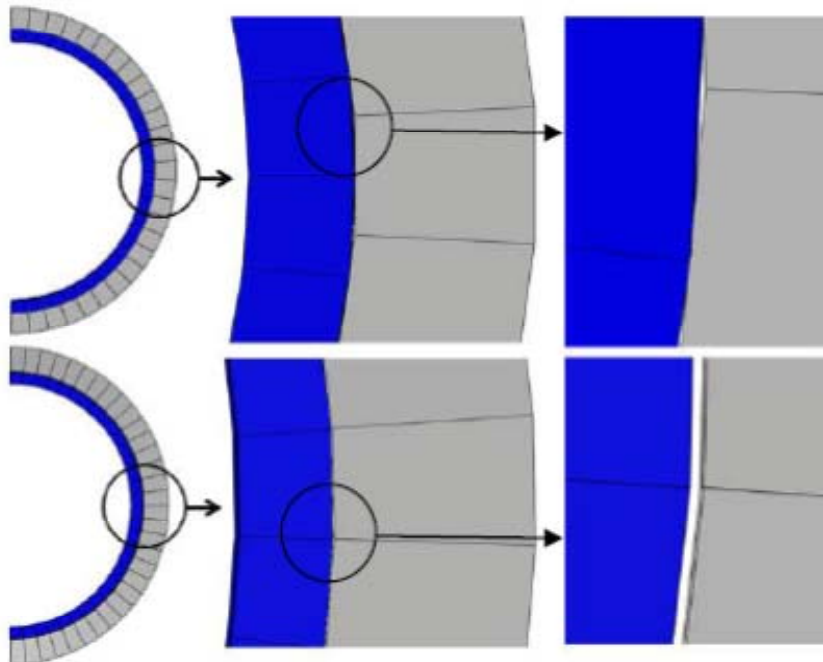
Eigenfrequenzen

1. 2,4576 Hz
2. 3,4084 Hz
3. 4,1275 Hz
4. 13,709 Hz
5. 17,079 Hz

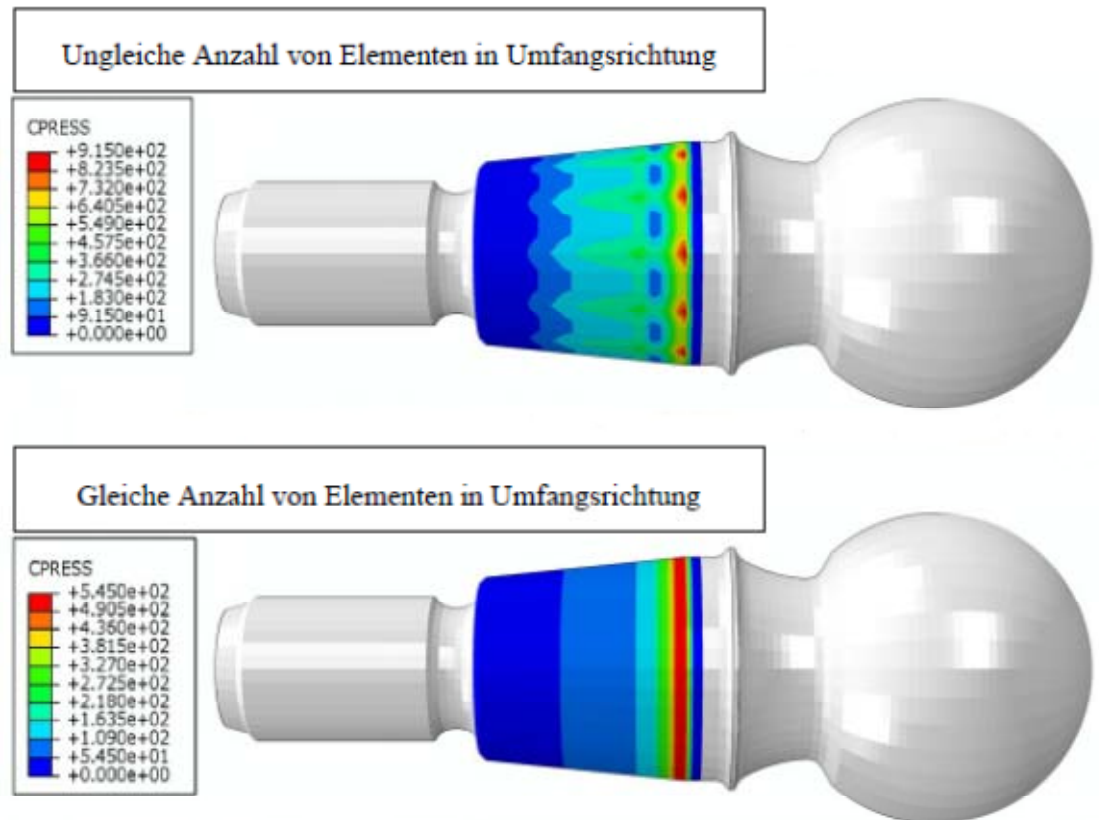
# Ausnutzung von Symmetrie



# Gute Netze vs. schlechte Netze

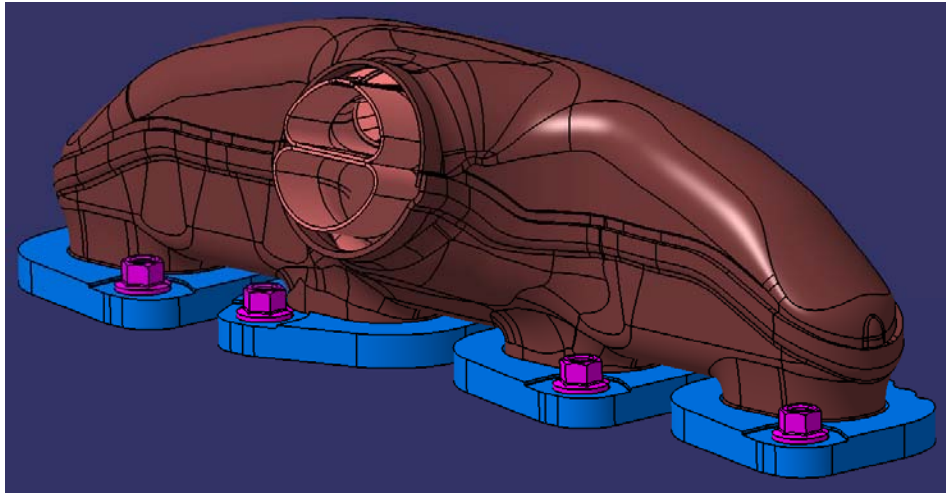


## Modellierung Konus - Lagerbuchse





# Hexaeder-Vernetzung eines Abgaskrümmers



Vernetzung mit 200.000 Hexaeder-Elementen:

