

# Chancen und Risiken des unreflektierten Gebrauchs von FEM Programmen

**PTC Simulationsanwendertreffen 2007**

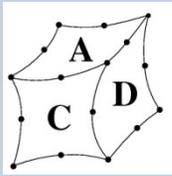
Dipl.-Wirtsch.-Ing. R. Hackenschmidt

Dipl.-Ing. Alexander Troll

Dipl.-Ing. Bernd Roith

**Lehrstuhl für Konstruktionslehre und CAD  
Universität Bayreuth**

**[reinhard.hackenschmidt@uni-bayreuth.de](mailto:reinhard.hackenschmidt@uni-bayreuth.de)**



# Die Universität Bayreuth

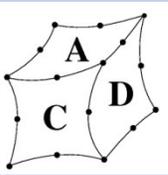


UNIVERSITÄT  
BAYREUTH



Gegründet 1975  
9500 Studenten  
6 Fakultäten



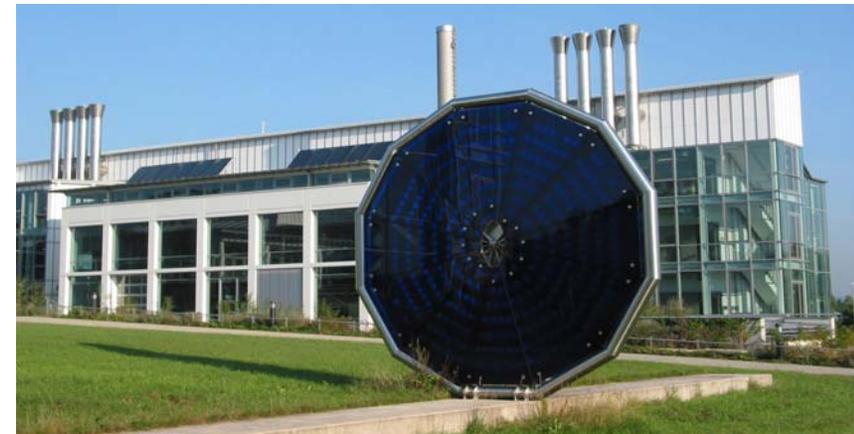


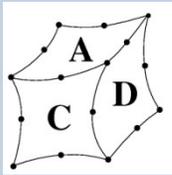
## Fakultät für Angewandte Naturwissenschaften

### Lehrstuhl für Konstruktionslehre und CAD

Prof. Dr.-Ing. Frank Rieg

16 Mitarbeiter

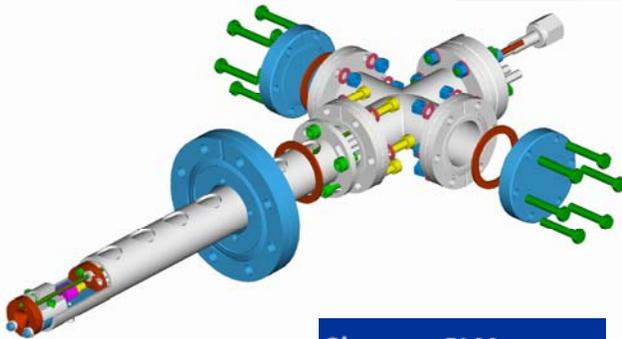
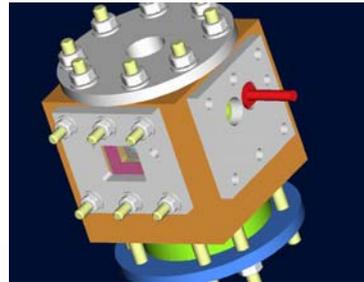
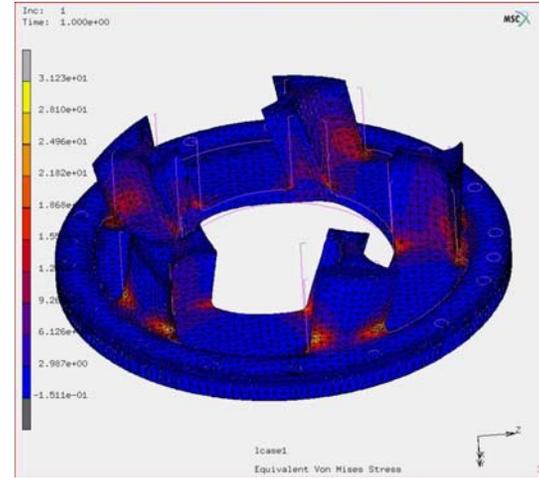




# Spezialgebiet: CAD + Simulation



UNIVERSITÄT  
BAYREUTH



Siemens PLM  
Software





# Prüfstände

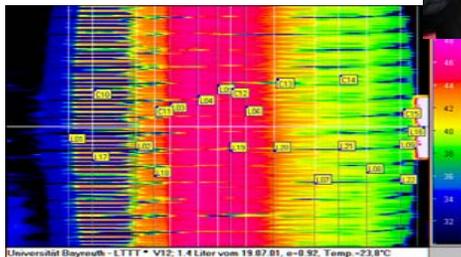


UNIVERSITÄT  
BAYREUTH

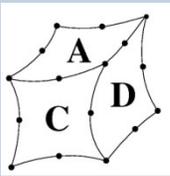
## Sonderprüfstände



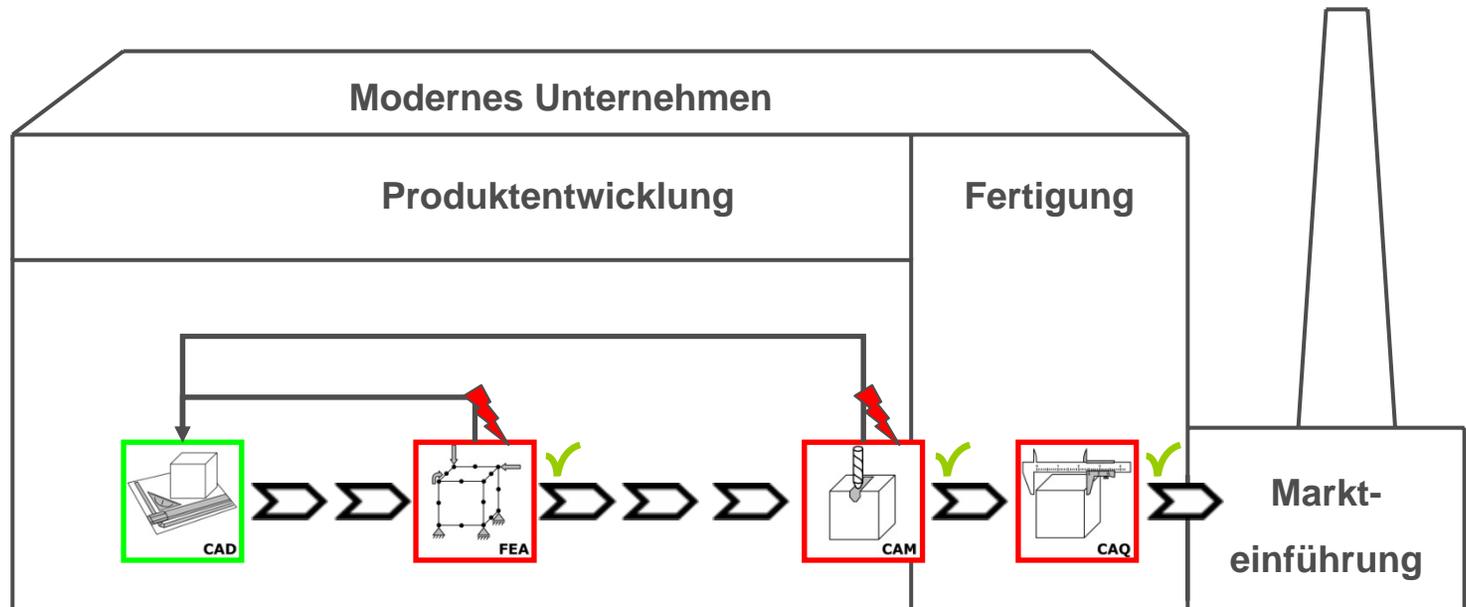
## Motorprüfstand



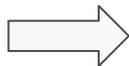
## Verspannungsprüfstand 1000 kW



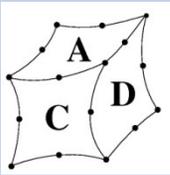
# Motivation der Studie



- Notwendigkeit zur Verkürzung der Entwicklungszeit
- Verstärkter Einsatz computergestützter Methoden (CAx)
- Verbesserung der Bedienbarkeit von CAx-Werkzeugen



**Durchführung einfacher Simulationen durch den Konstrukteur beschleunigt Entwicklung**



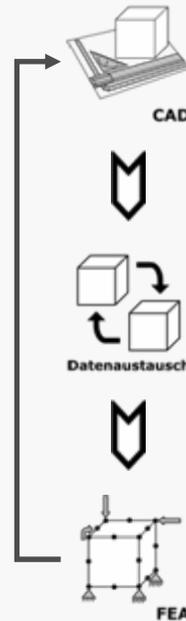
# Betrachtung integrierter und separater FE- Programme



UNIVERSITÄT  
BAYREUTH

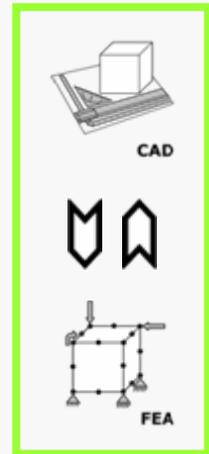
## Eigenständige Simulationssoftware

- Entstehung zusätzlicher Modelle
- Datenaustausch verhindert direkte Änderungen
- Einarbeitung in umfangreiche Funktionen nötig



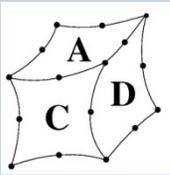
## Integrierte Module

- Einfaches Datenmanagement
- Leichte Übernahme von Änderungen
- Keine zusätzliche Einarbeitung in GUI
- Beschränkter Funktionsumfang



..... Modul  
— sep. Programm

**Integrierte Module eignen sich besonders zur Beschleunigung des Entwicklungsprozesses**



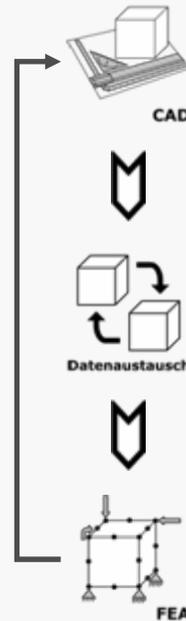
# Benutzte FE- Programme



UNIVERSITÄT  
BAYREUTH

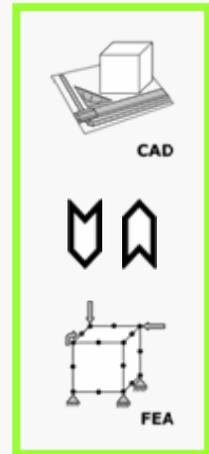
## Eigenständige Simulationssoftware

- Z88
- Abaqus
- MSC.Marc

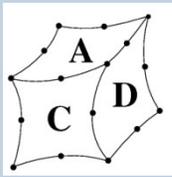


## Integrierte Module

- Pro/MECHANICA
- CATIA V5 R17
- NX4



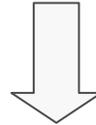
- Modul
- sep. Programm



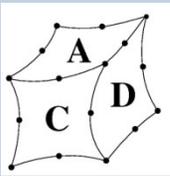
## Ziel der Studie



Nachweis, ob aktuelle FE-Pakete für die Verwendung durch reine Anwender ohne FE-Grundwissen tauglich sind.

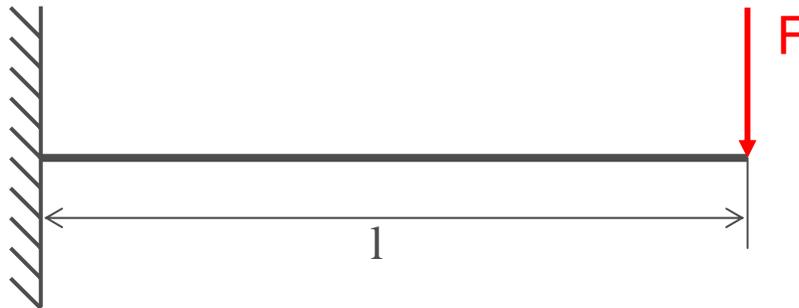


- Vergleich von drei integrierten und drei eigenständigen FE-Programmen
- Übernahme der automatischen Einstellungen die vom System vorgeschlagen werden
- Verwendung simpler & praxisnaher Beispiele
- Vergleich der Resultate für normierte maximalen Verschiebungen (Betrag) und Vergleichsspannungen (GEH) zur Klärung des Interpretationsbedarfs bei den Ergebnissen (Normierung auf den größten aufgetretenen Wert)



## Beispiel 1

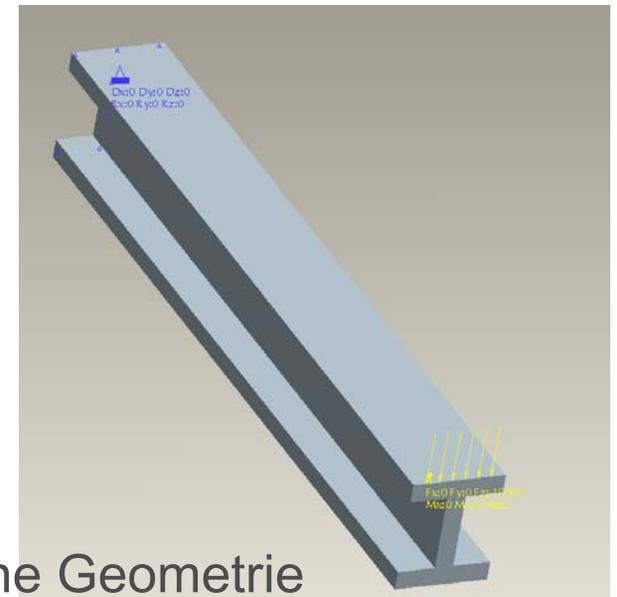
| Geometrie   | Lasten     | Material | Randbedingungen |
|-------------|------------|----------|-----------------|
| Biegebalken | Linienlast | Stahl    | - Einspannung   |



Elastizitätsmodul:  $206000 \frac{N}{mm^2}$

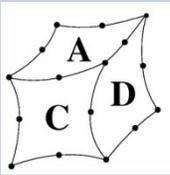
Querkontraktionszahl: 0,3

Kraft  $F = 10.000 \text{ N}$



- einfache Geometrie
- leicht nachvollziehbar

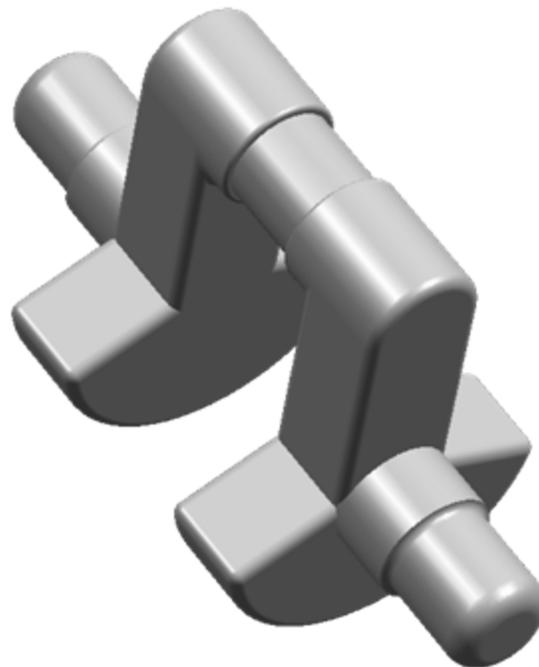


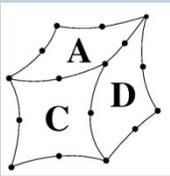


## Beispiel 3



| Geometrie   | Lasten       | Material | Randbedingungen                         |
|-------------|--------------|----------|-----------------------------------------|
| Kurbelwelle | Flächenkraft | Stahl    | - Radiale Lagerung<br>- Axiale Lagerung |





## Beispiel 4



UNIVERSITÄT  
BAYREUTH

**Geometrie**

**Lasten**

**Material**

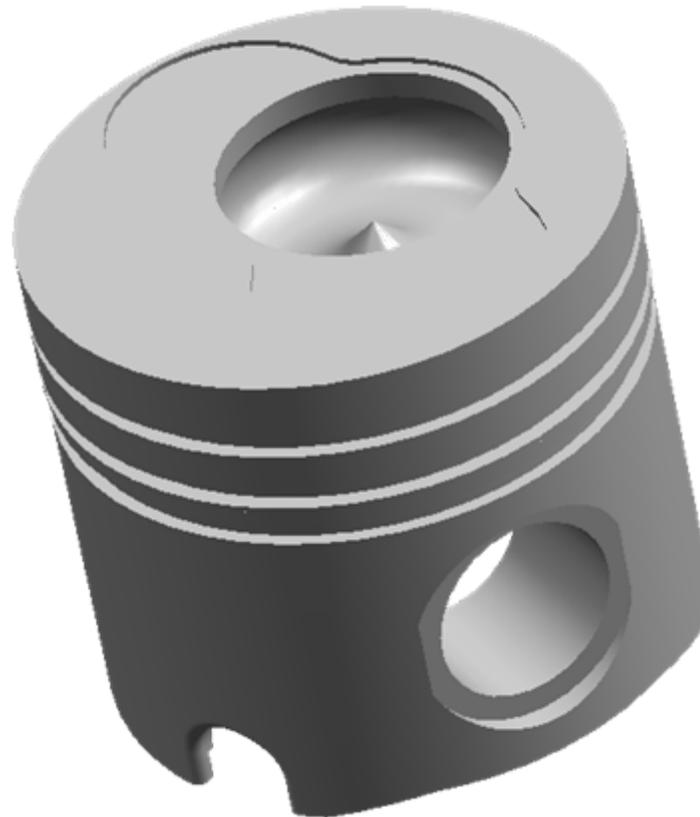
**Randbedingungen**

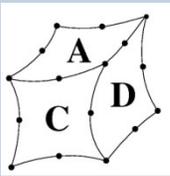
Dieselmotor

Druck

Stahl

- Einspannung





## Beispiel 5



**Geometrie**

**Lasten**

**Material**

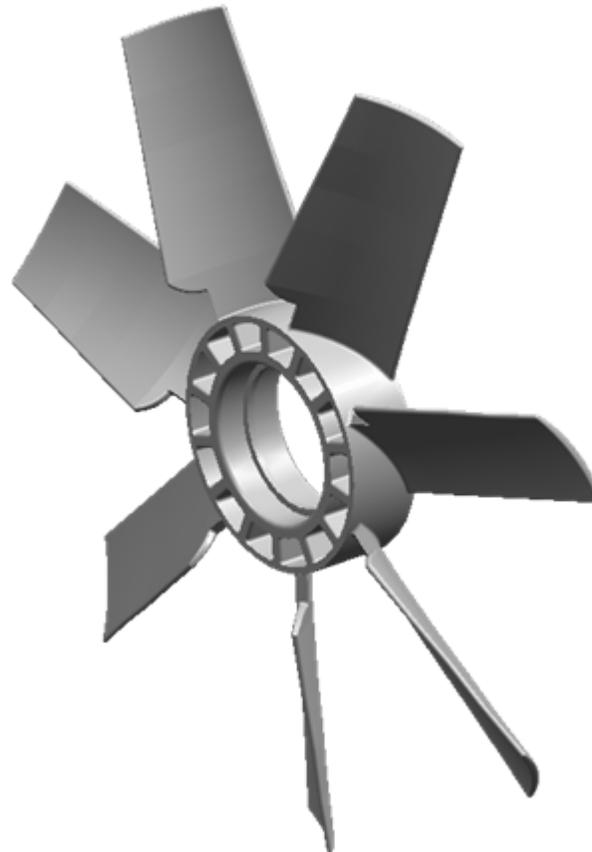
**Randbedingungen**

Lüfterrad

Druck

Polymer

- Radiale Lagerung  
- Axiale Lagerung





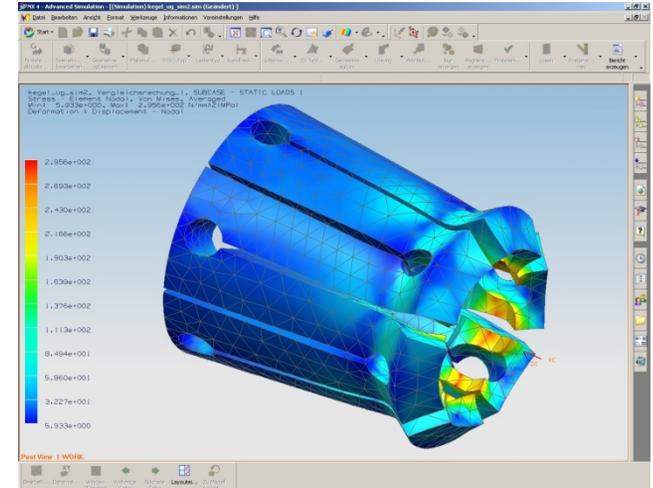
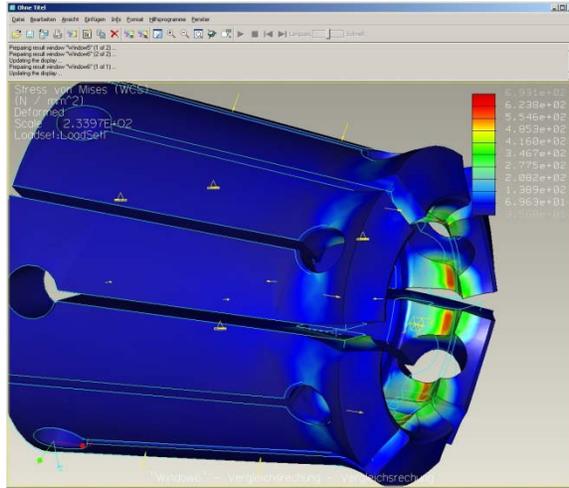
# Randbedingungen der Studie



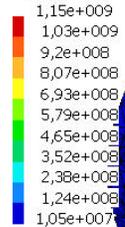
|                      | Identische Vorgaben                                                                                                                                                                                                                                           | Automatische Einstellungen                                                                                                                 |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Geometrie</i>     | Integrierte Module<br>⇒ zugehöriges Konstruktionsmodul<br><br>Standalone<br>⇒ Import als Parasolid (.x_t)                                                                                                                                                     |                                                                                                                                            |
| <i>Preprozessor</i>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Randbedingungen</li> <li>- Materialkennwerte</li> <li>- Lasten</li> </ul> soweit möglich: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Elementtyp (Tetraeder)</li> <li>- Elementansatz (linear / quadratisch)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Geometrische Vereinfachungen</li> <li>- Elementgröße</li> <li>- Methode der Vernetzung</li> </ul> |
| <i>Solver</i>        |                                                                                                                                                                                                                                                               | -Solvvertyp                                                                                                                                |
| <i>Postprozessor</i> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Größte Verschiebung (Betrag)</li> <li>- Höchste Vergleichsspannung (von Mises)</li> </ul>                                                                                                                            |                                                                                                                                            |



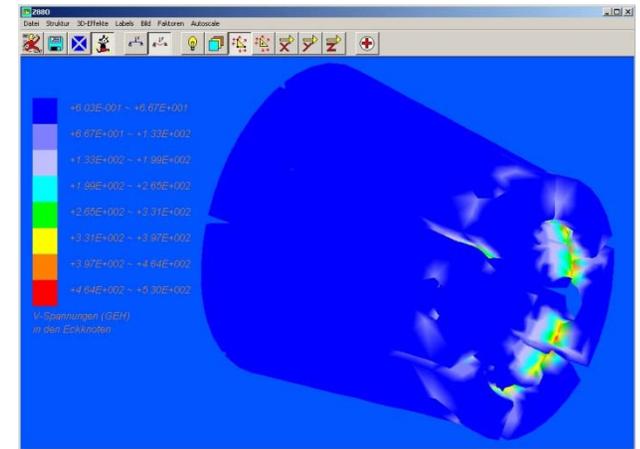
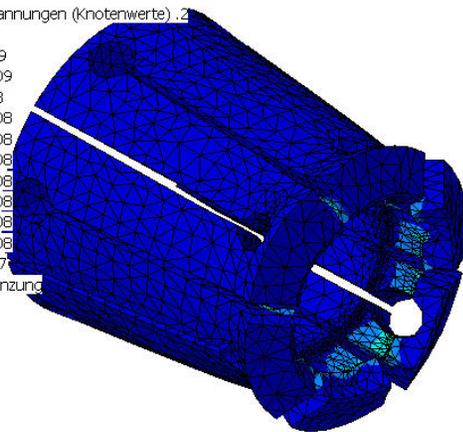
# Ergebnisvergleich Spannungen



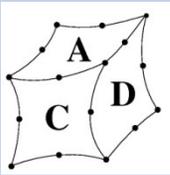
von Mises-Spannungen (Knotenwerte) .z  
 N\_m2



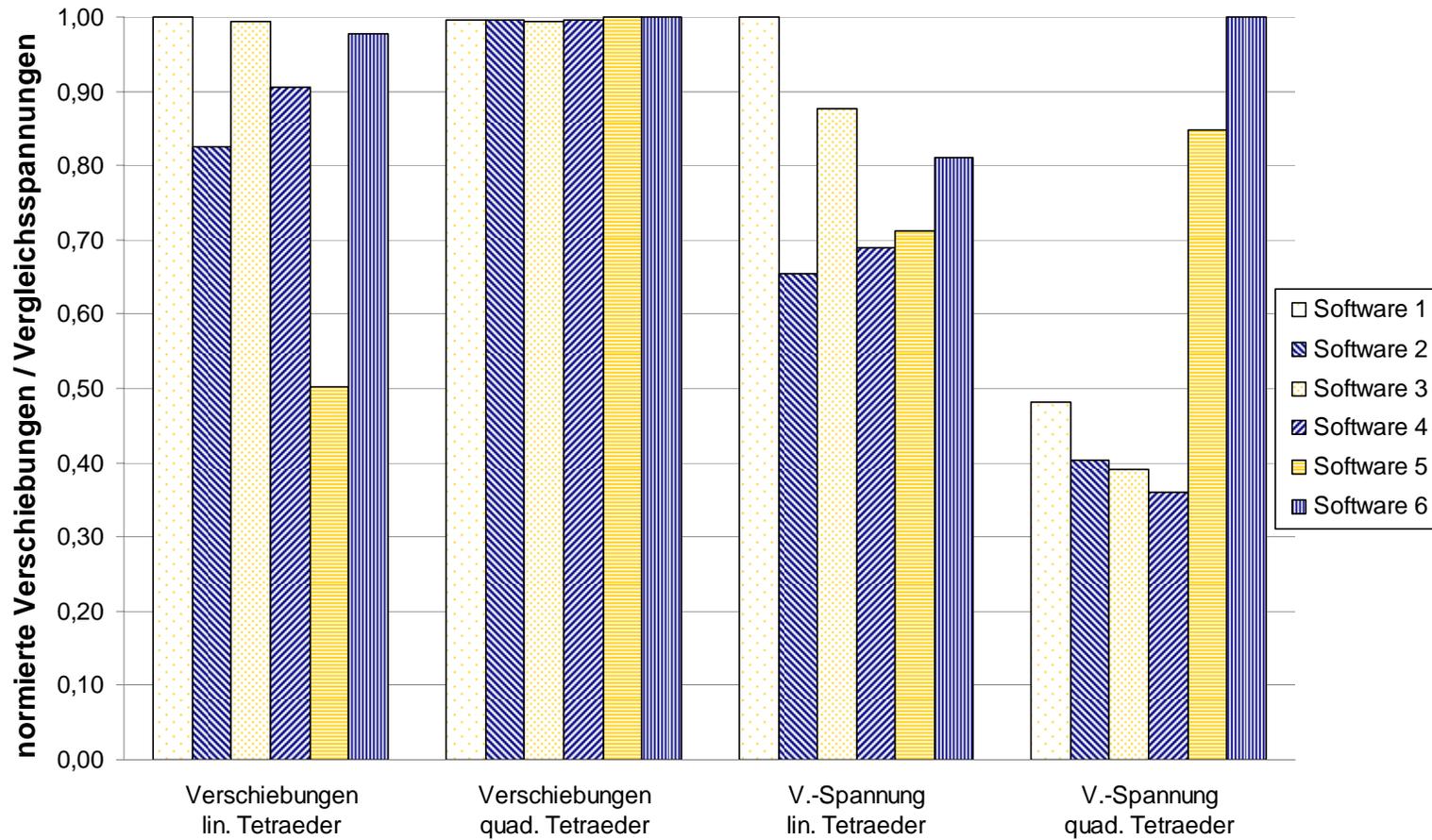
Auf der Begrenzung

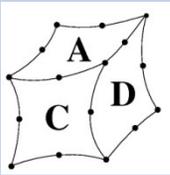


Der Ort <sup>xyz</sup> ist normalerweise nicht das Problem

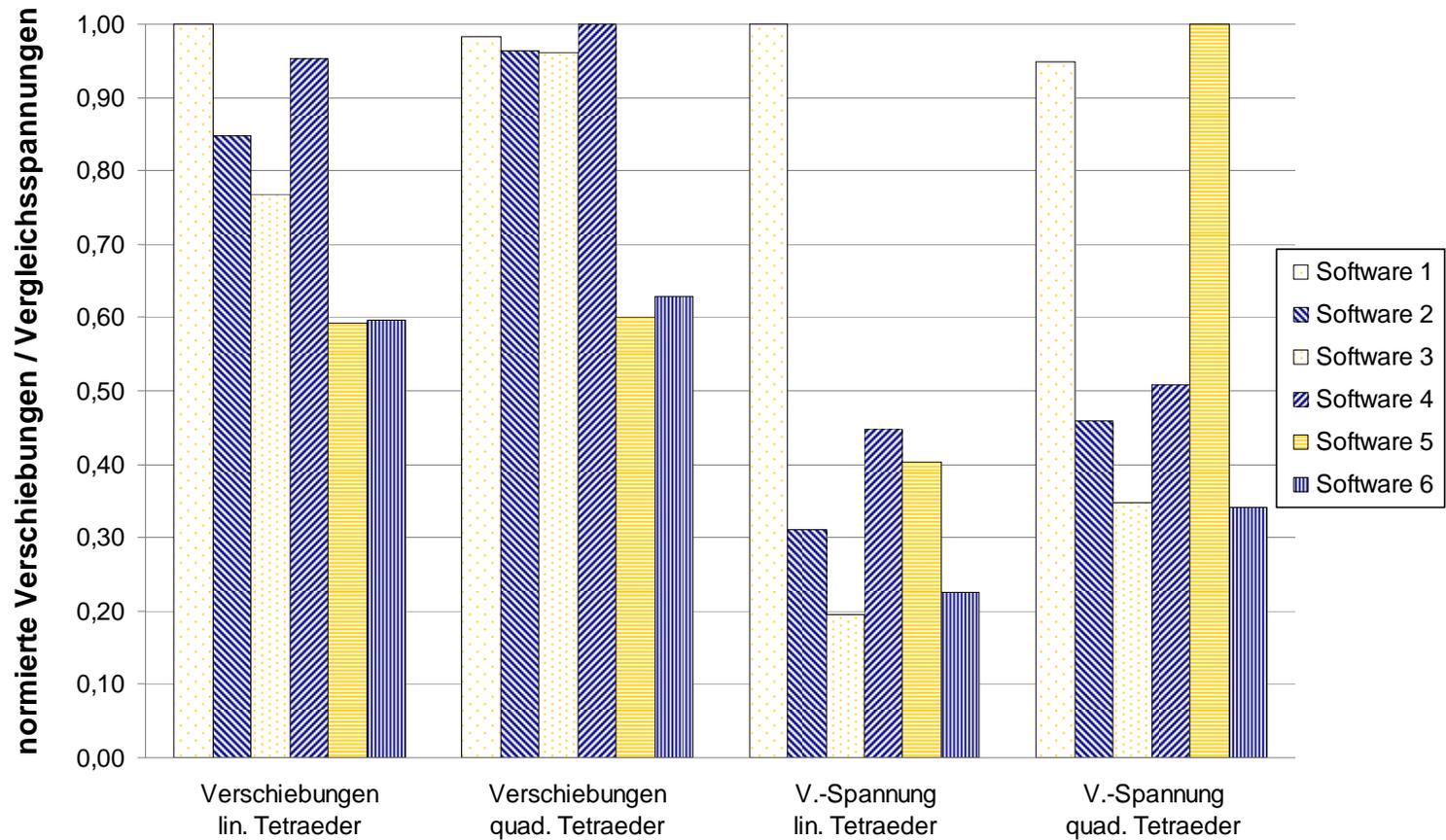


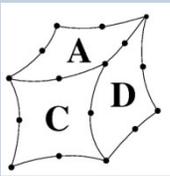
# Resultate für das Beispiel des Balkens





# Resultate für das Beispiel der Kurbelwelle

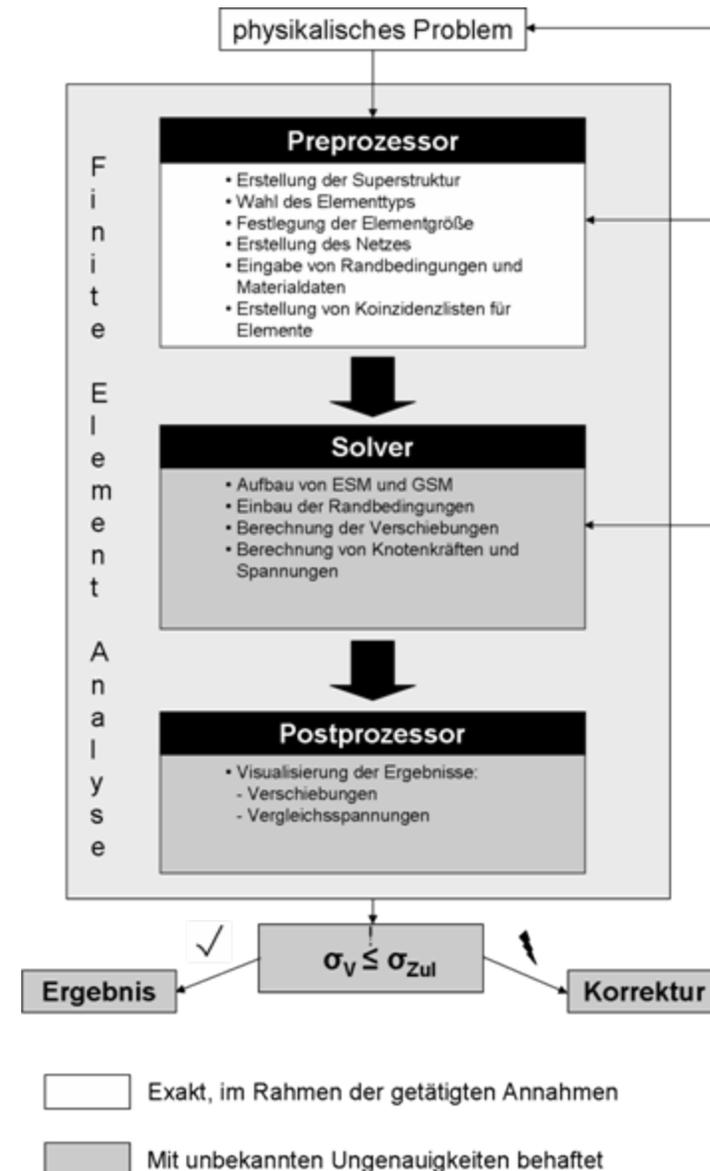


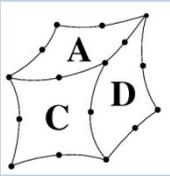


# Herausforderungen in der FEA

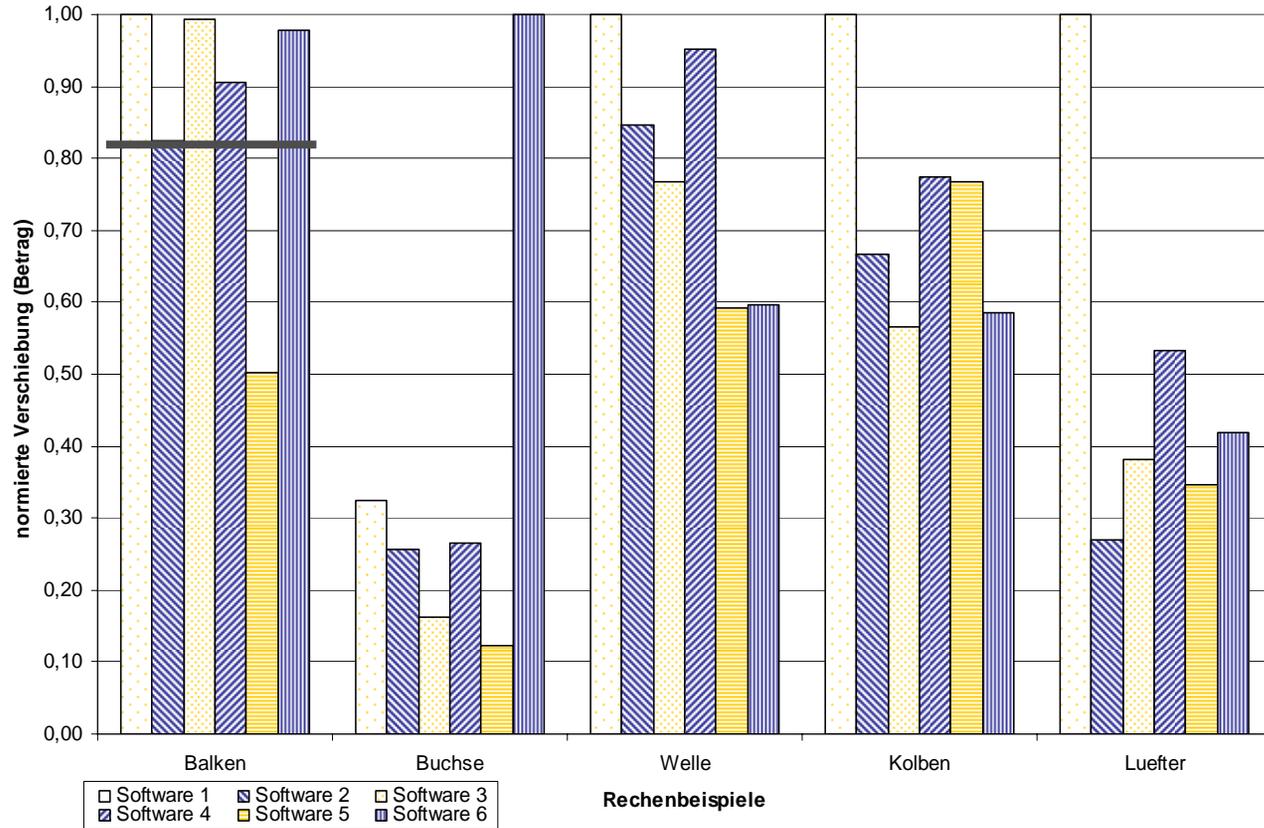


- Analytische Berechnungen liefern im Rahmen der Vereinfachungen genaue und reproduzierbare Ergebnisse.
- Bei der FEA entstehen aufgrund der Parameter bei der Modellbildung Ungenauigkeiten, deren Einflüsse nicht quantifizierbar sind.
- Die Güte der Lösung wird von vielen Parametern beeinflusst.
  - Der Einfluss ist oft nicht genau bekannt.
  - Die Parameter sind in FE-Programmen oft weder einsehbar, noch können sie verändert werden.
- **Der Deutung der Ergebnisse kommt die größte Bedeutung zu.**





# Resultate für lineare Tetraeder - Verschiebungen

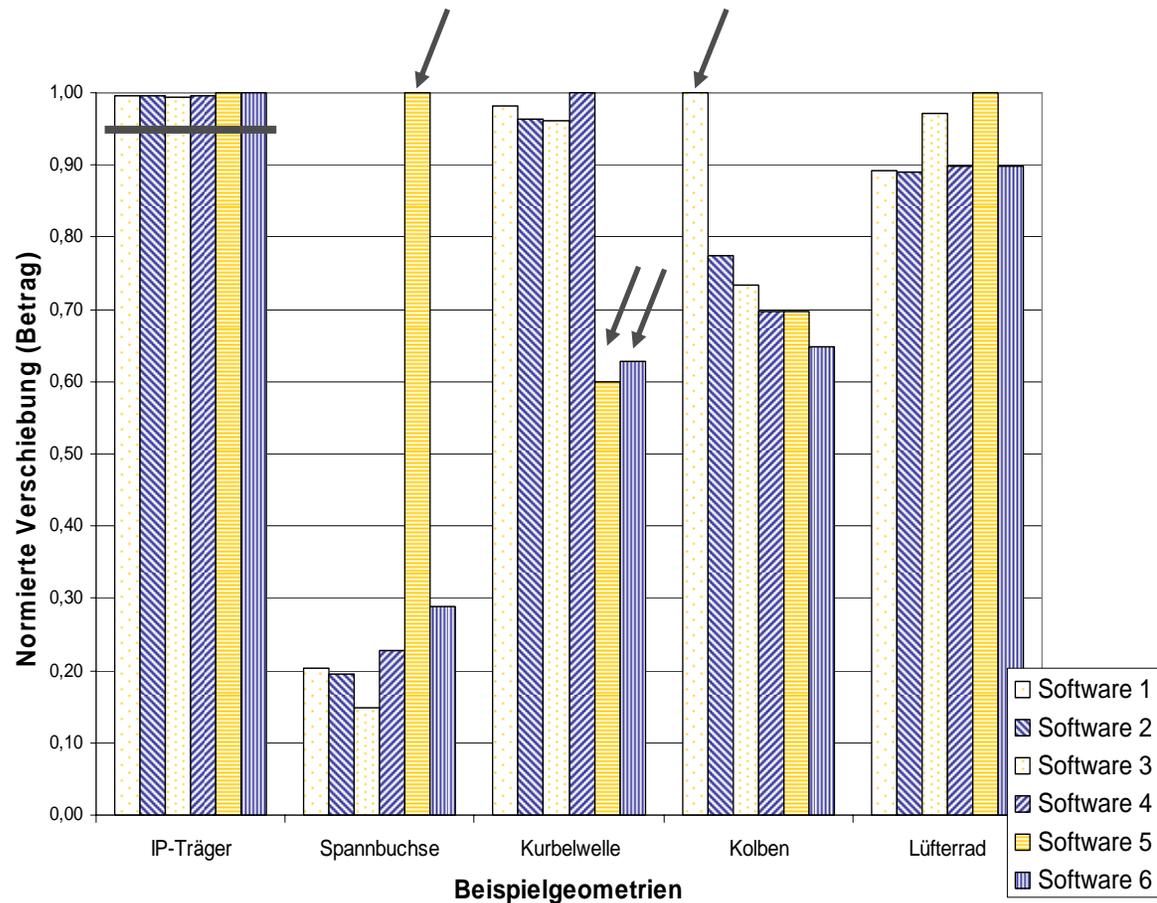




# Resultate für quadratische Tetraeder - Verschiebungen

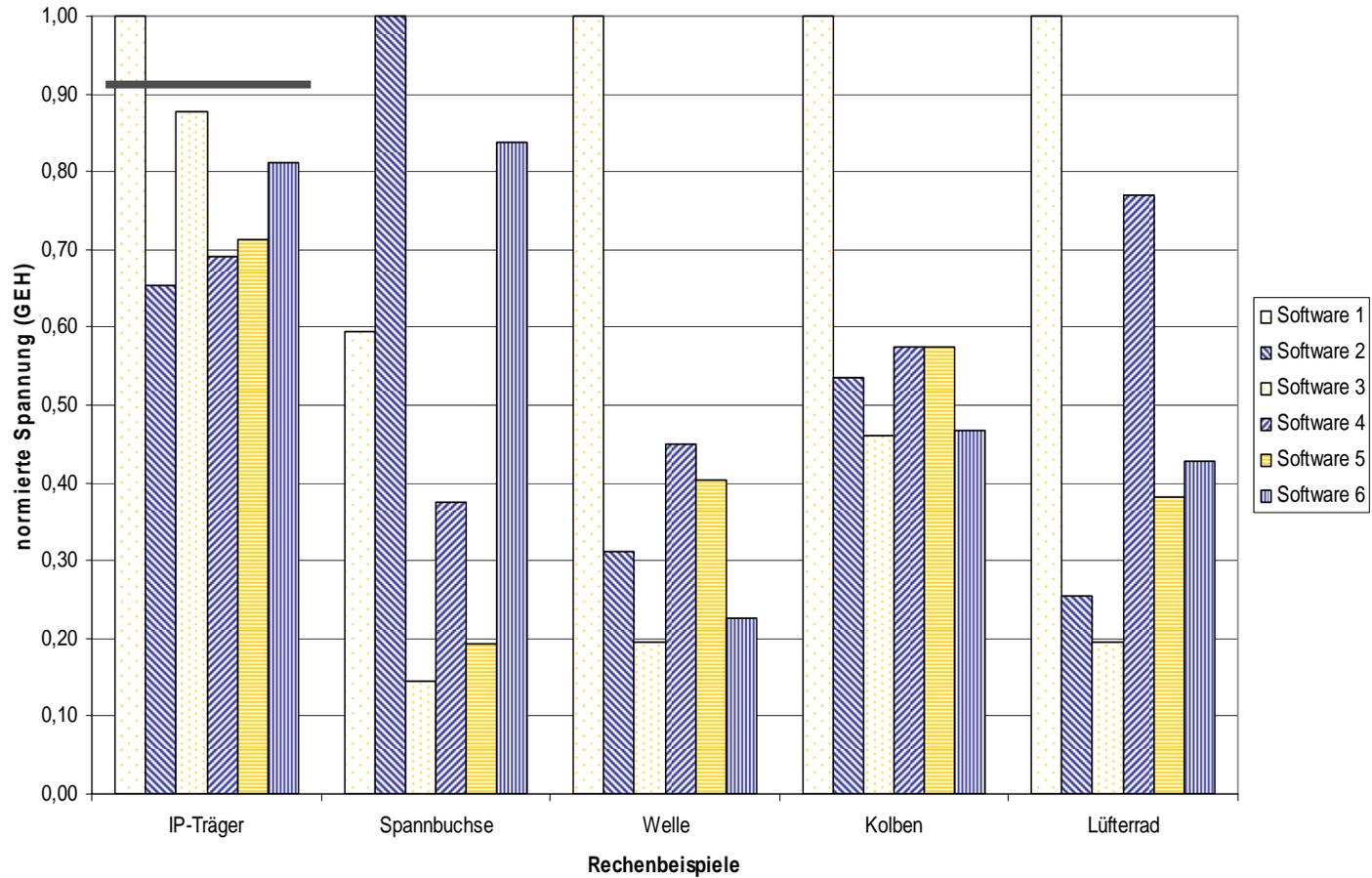


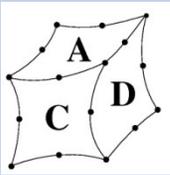
- **IP-Träger:** analytisches Ergebnis 0,95.
- **Spannbuchse:** bei Software 5 Lasten und Randbedingungen in polarem Koordinatensystem.
- **Kurbelwelle:** bei Software 5 und 6 Modellierung der Flächenkraft über Druck.
- **Kolben:** Vernetzungsschwierigkeiten mit Software 1
- **Lüfter:** gute Ergebnisse bei komplexer Geometrie





# Resultate für lineare Tetraeder - Spannungen

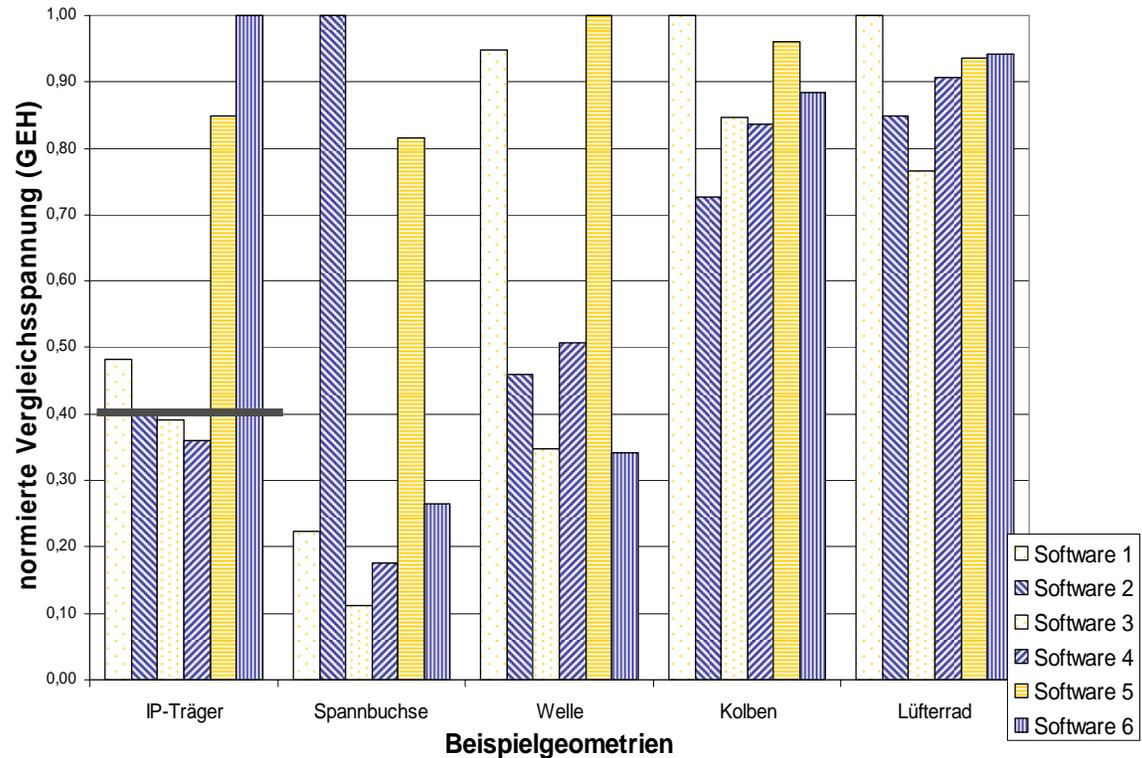


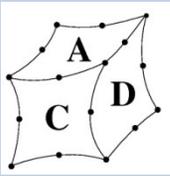


# Resultate für quadratische Tetraeder - Spannungen



- **IP-Träger:**  
analytisches  
Ergebnis 0,40.
- **IP-Träger:**  
vergleichbare  
Verschiebungen  
liefern stark  
unterschiedliche  
Spannungen.



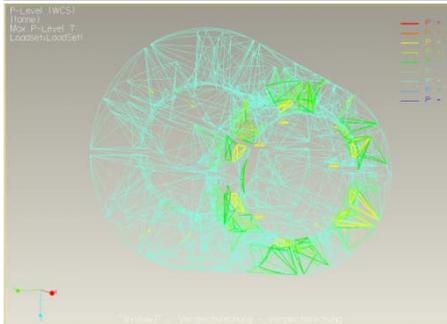


# Beispiel Einfluss der Vernetzung

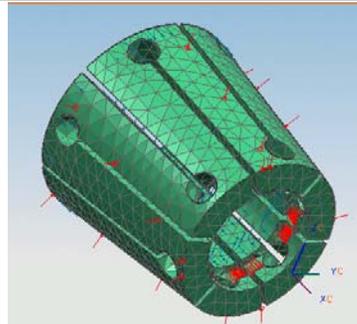


## Vernetzung

| Software     | Vernetzungsmethodik | Elementtyp   | Elementanzahl |
|--------------|---------------------|--------------|---------------|
| Pro/ENGINEER | p-Methode           | max p-Grad 7 | 1448          |
| NX 4.0.25    | h-Methode           | TET10        | 5403          |
| Catia V5     | h-Methode           | TET10        | 28978         |
| Z88          | h-Methode           | TET10        | 21217         |
| Nastran      | h-Methode           | TET10        | 19863         |
| Patran       | h-Methode           | TET10        | 22419         |



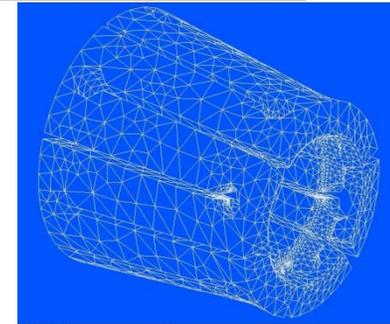
Pro/ENGINEER



NX 4.0



Catia V5



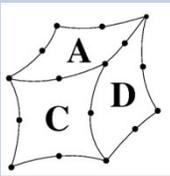
Z88



## Ergebnisse



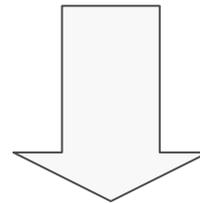
- Die Resultate vergleichender FE Rechnungen können gravierend voneinander abweichen.
- Bei übereinstimmenden Werten für die Verschiebung sind z.B. Abweichungen der Vergleichsspannung von über 50% möglich.
- Die Abweichungen korrelieren nicht mit der Geometriekomplexität.
- Die Ergebnisunterschiede sind i.d.R. erklärbar und durch geeignete Maßnahmen abminderbar.
- Eine Ergebnisbewertung ohne genaue Kenntnis der Lasten, Randbedingungen und Vernetzung kann unreflektiert kritisch sein.
- „Teure“ Programme liefern nicht zwangsläufig gute Ergebnisse; „garbage in - garbage out“ gilt in der FEA in besonderem Maße.



# Schlussfolgerungen



- Vermittlung von Hintergrundwissen ist zwingend notwendig zur situationsspezifischen Anpassung der Simulation.
- Eine kritische Beurteilung der Ergebnisse ist notwendig.
- Vergleichsrechnungen mit mehreren Programmen sind angebracht.
- Auf eine Absicherung durch Versuche mit Prototypen sollte nicht verzichtet werden.



## **Im Industriellen Umfeld:**

- Schulung der Konstrukteure im FE-Bereich
- Bereitstellung von Handlungsabläufen und Empfehlungen

## **Im Rahmen der universitären Ausbildung:**

- Vermittlung sowohl der Theorie der FEA als auch der Anwendung, nicht nur der Bedienung der entsprechenden Software