Inventor & FEM

Roger Stahel, CAD-FEM AG

roger.stahel@cadfem.ch

Agenda

1. CAD-FEM AG
2. FEM - Wie funktioniert's?
3. Randbedingungen und Netzgenauigkeit
4. Ausblick auf ANSYS/DesignSpace für Baugruppen
5. FEM in Berufsschulen

Das Unternehmen: Wer sind wir?

CADFEM

CAE Dienstleistungen

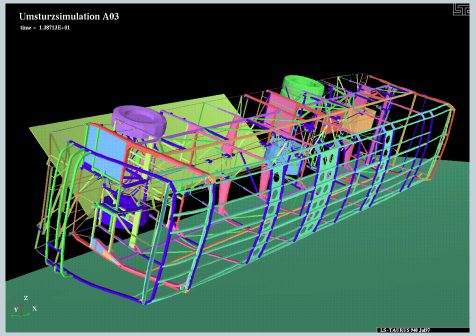
Berechnung im Auftrag	Software	Schulung	Programm-Entwicklung

- Tätigkeitsgebiete
  - Deutschland
  - Schweiz
  - Österreich
- ca. 100 Mitarbeiter
- international: Technology Network Alliance AG

Beispiele

- Unser Spektrum
  - Statik/Dynamik
  - Wärmeleitung
  - Elektromagnetische Felder
  - Hochfrequenz
  - Piezoeffekte
  - Strömungen
  - Akustik
  - Nichtlinearitäten (Material, Geometrie, Kontakt)
  - Implizite/Explizite Zeitintegration (LS-DYNA)





mit freundlicher Genehmigung der Fa. MAN

Drying of Pasta

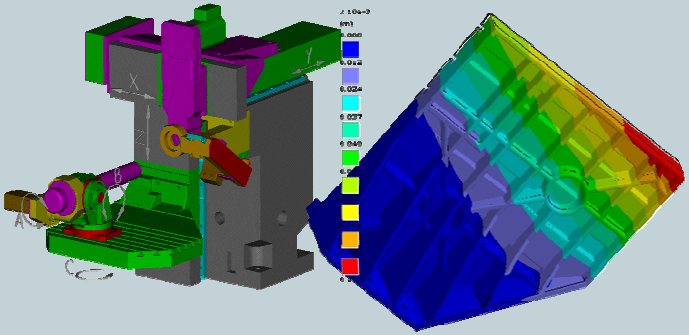


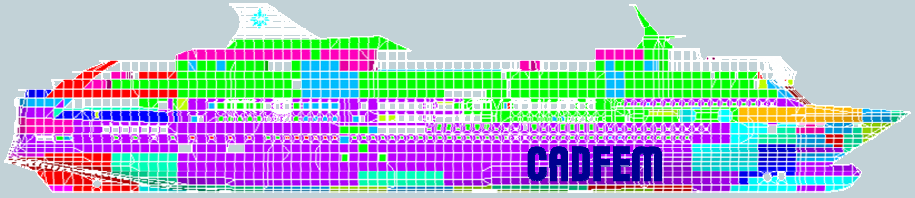
$$\frac{\partial T}{\partial t} = a_{11}\nabla^2 T + a_{12}\nabla^2 U + a_{13}\nabla^2 P + a_{14}Q$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} = a_{21}\nabla^2 T + a_{22}\nabla^2 U + a_{23}\nabla^2 P$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} = a_{31}\nabla^2 T + a_{32}\nabla^2 U + a_{33}\nabla^2 P$$

P Druck
T Temperatur
U Feuchtigkeit





CAD-FEM AG

- **Autodesk Inventor Professional**

  Mit Inventor Version 10 → Professional Modul

  - Kabelbaum-Design
  - Rohrleitungen und Schläuche
  - Bauteilberechnung mit FEM

CADFEM: Ihr Partner für ANSYS

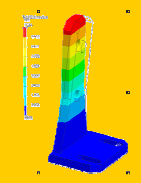
Konstruktionsbegl. FEM

Einzelteile

Spannungen
Verformungen
Eigenfrequenzen

Web-Bericht

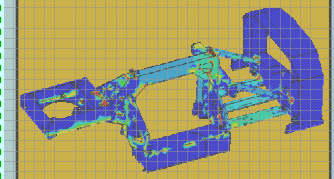
AIP-9 FEM



Baugruppen

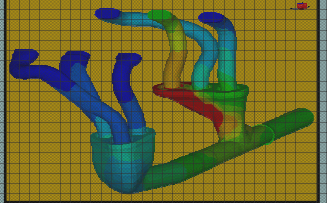
Baugruppen Analyse
Kontakt Typen
Verbund-Kontakt
Gleit-Kontakt
Reibungfreier Kontakt
Rauer Kontakt

DesignSpace



High-End

Multiphysics



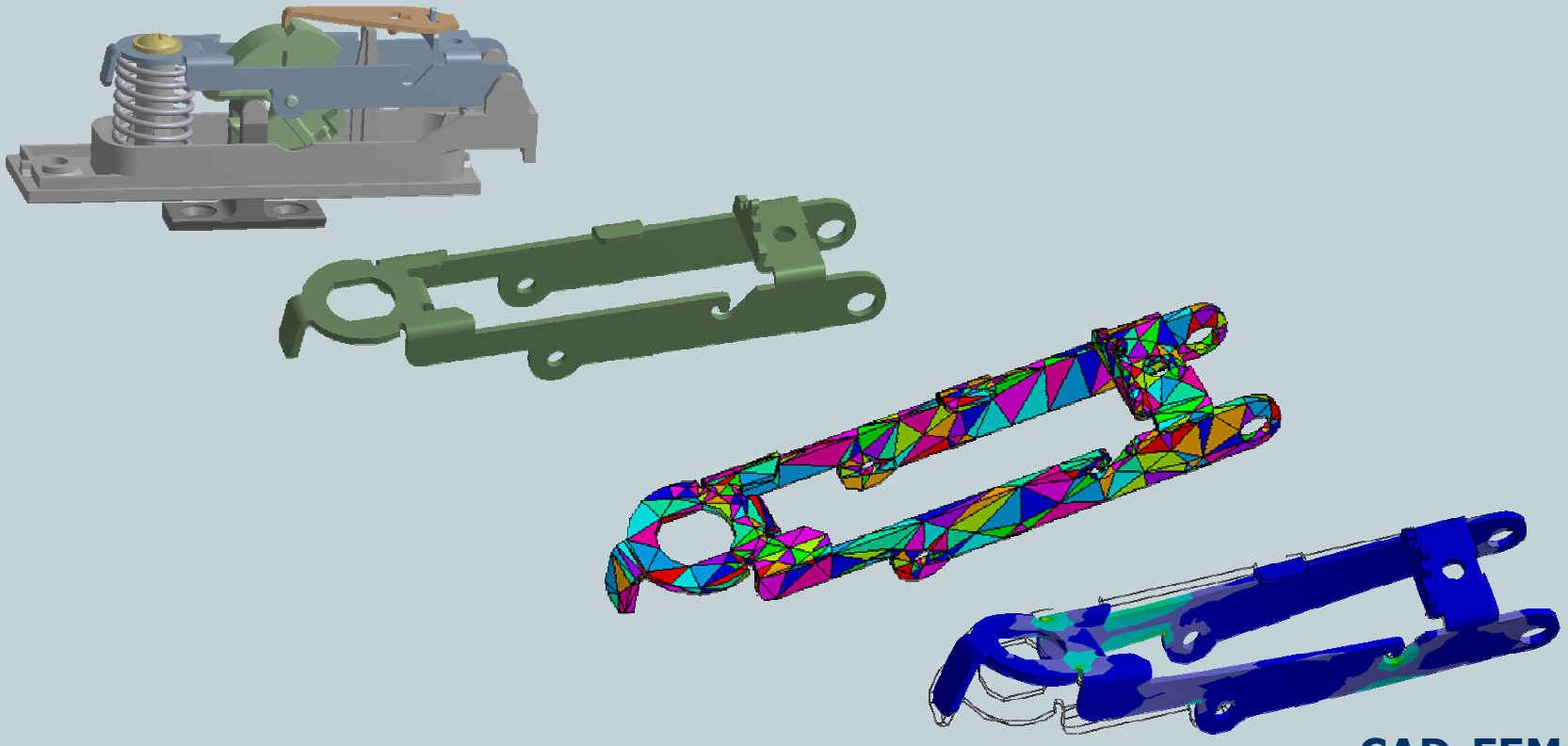
Mechanik
Temperaturfeld
Strömung
Elektr.+ Magnetfeld
Nichtlinearitäten
Dynamik

CAD-FEM AG

FEM wie funktioniert‘s

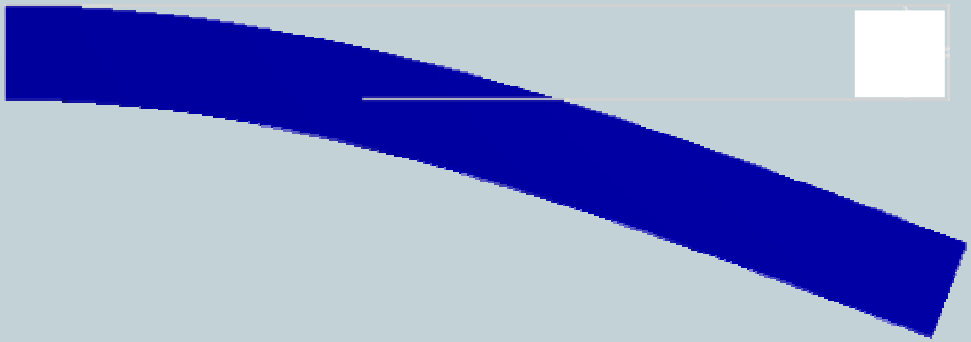
Numerische Methode

- Finite-Elemente-Methode FEM
- Finite-Element-Analysis FEA



Idee der Finite-Elemente-Methode (FEM)

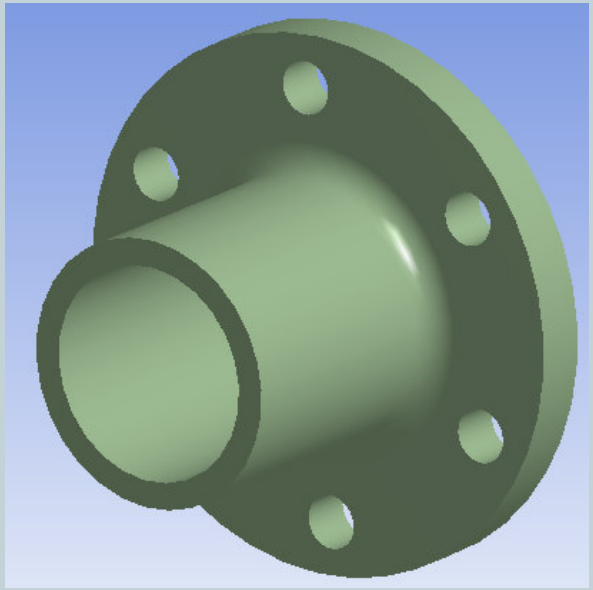
Einfache Geometrie = Einfache Gleichung



Deflection $u=F*l^3/3EI$

Idee der Finite-Elemente-Methode (FEM)

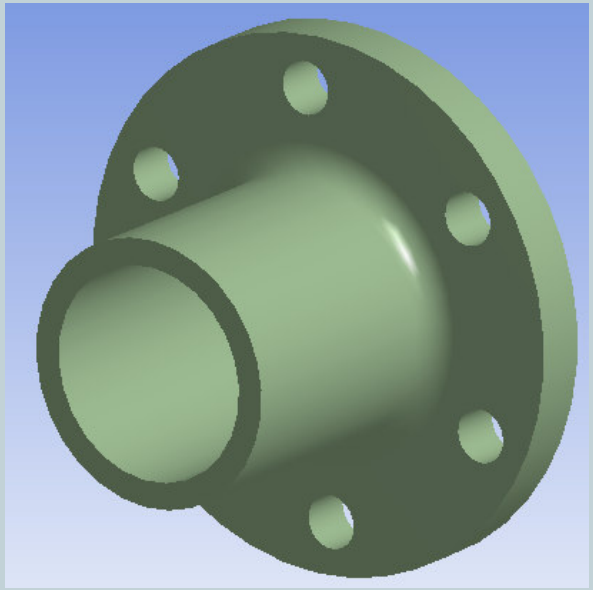
komplexe Geometrie = Gleichung ???



Unterteilung in einfache Bereiche

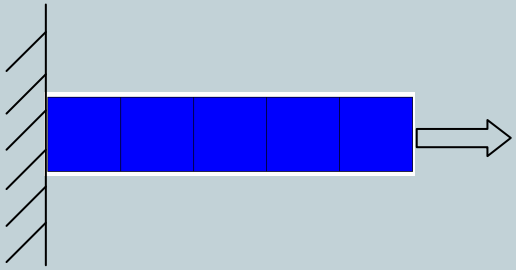
Idee der Finite-Elemente-Methode (FEM)

komplexe Geometrie = Gleichung ???



Unterteilung in eine endliche Zahl von Elemente

Idee der Finite-Elemente-Methode (FEM)



Summe der Einzellösungen



=

Lösung für das ganze System



Finite-Elemente-Methode (FEM)

Welche Informationen sind verfügbar?

- Steifigkeit (basierend auf Geometrie und Material)

- Kräfte

Wir berechnen die Verfomung analog der Federgleichung F= Kxu

Nicht nur eine „Feder“, sondern viele „Federn“

→ Matrix

$$\begin{bmatrix} . & . & . & . \\ . & . & . & . \\ . & . & . & . \\ . & . & . & . \\ . & . & . & . \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} u_{y_1} \\ \phi_{z_1} \\ . \\ u_{y_i} \\ \phi_{z_i} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} . \\ . \\ . \\ . \\ . \end{Bmatrix}$$

$$[K] \cdot \{u\} = \{F\}$$

Finite-Elemente-Methode (FEM)

Wir lösen das Gleichungsystem

$$[K] \cdot \{u\} = \{F\}$$

Als erstes Ergebnis erhalten wir die Verformung u

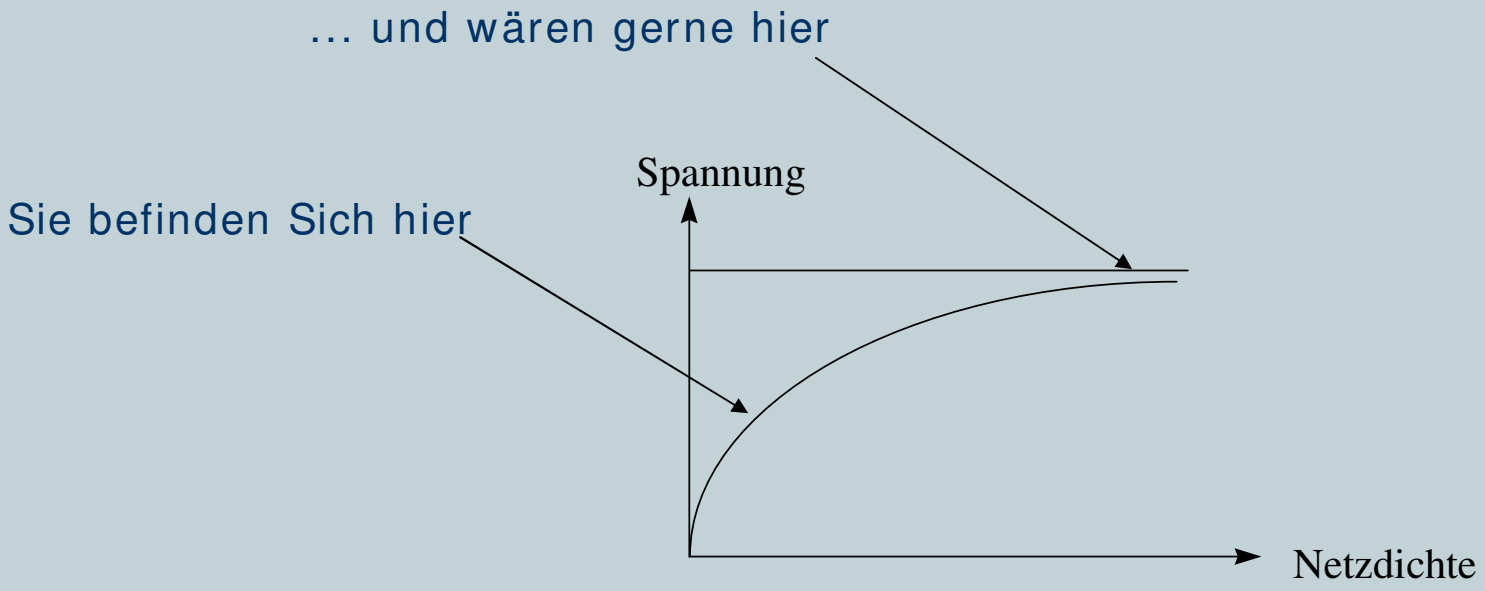
Spannungen werden berechnet nach dem Materialgesetz (Hook)

$$\sigma = \varepsilon * E \qquad \text{mit} \qquad \varepsilon = \Delta l / l$$

D. h. Spannungen sind abgeleitet von der Verformung

Problembereiche

Ergebnis schwankt stark mit der Netzeinstellung



→Keine genaue Aussage möglich
→Evtl. Tendenzaussagen machbar, wenn Ungenauigkeit gering genug

Abhängigkeit der Ergebnisse von der Vernetzung

$\omega = \sqrt{k / m}$ F=k*u $\sigma = \varepsilon * E$ Life = (load)$^{-k}$

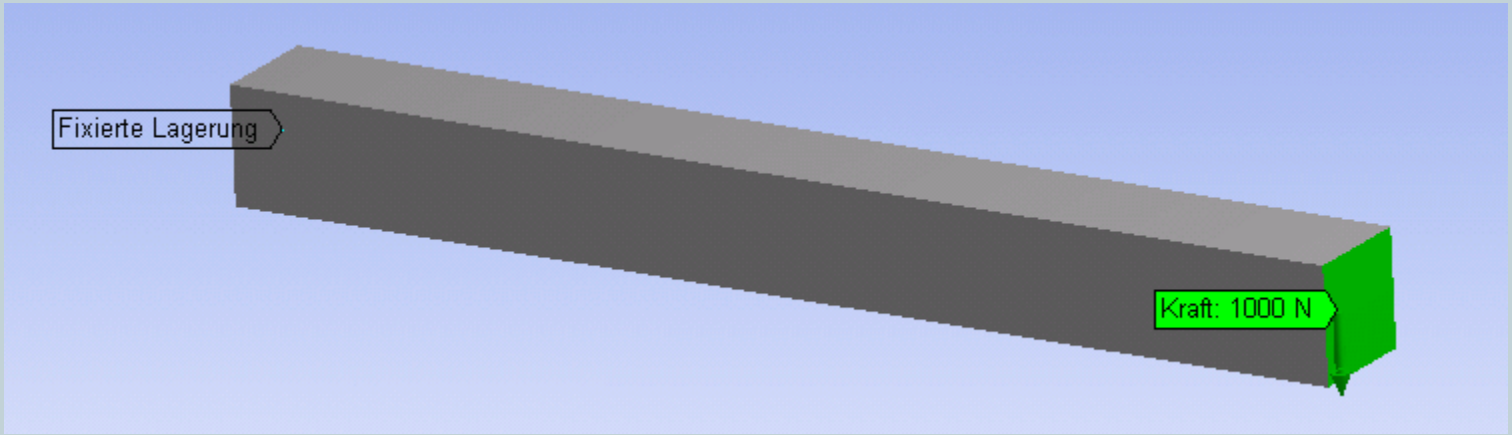
$\varepsilon = \Delta l / l$

ω u σ Lebensdauer

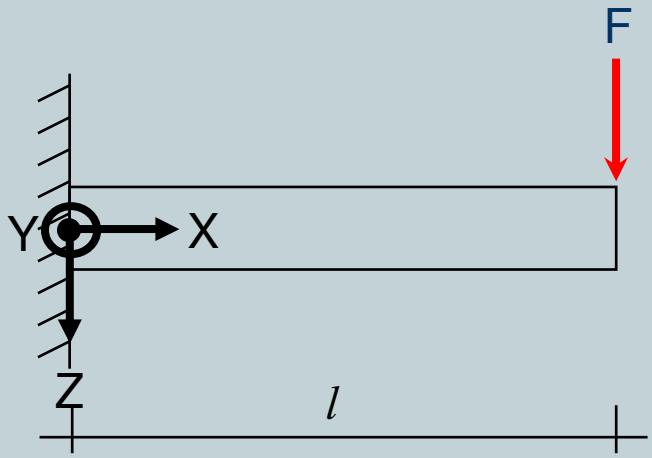


Beispiel Biegebalken

Berechnung eines Biegebalken



Beispiel: Biegebalken



Bezeichnung:	Biegebalken
Länge:	**l = 100 mm**
Querschnitt	**A= 10*10 mm²**
Werkstoff:	**E = 200‘000N/mm²** (Stahl)
Last:	**F = 1000 N** am freien Ende
Einspannung:	eine **Stirnseite fixiert**
Gesucht:	Verschiebung $\mathbf{u_z}$(X=l)
	Biegespannung σ_x (X=0)

Verschiebung:

$$u_z(X=l)=\frac{F*l^3}{3*E*I_y} \qquad I_y=\frac{10^4}{12}\,mm^4$$

$$u_z(X=l)=\frac{1'000*100^3}{3*200'000*833}\approx 2mm$$

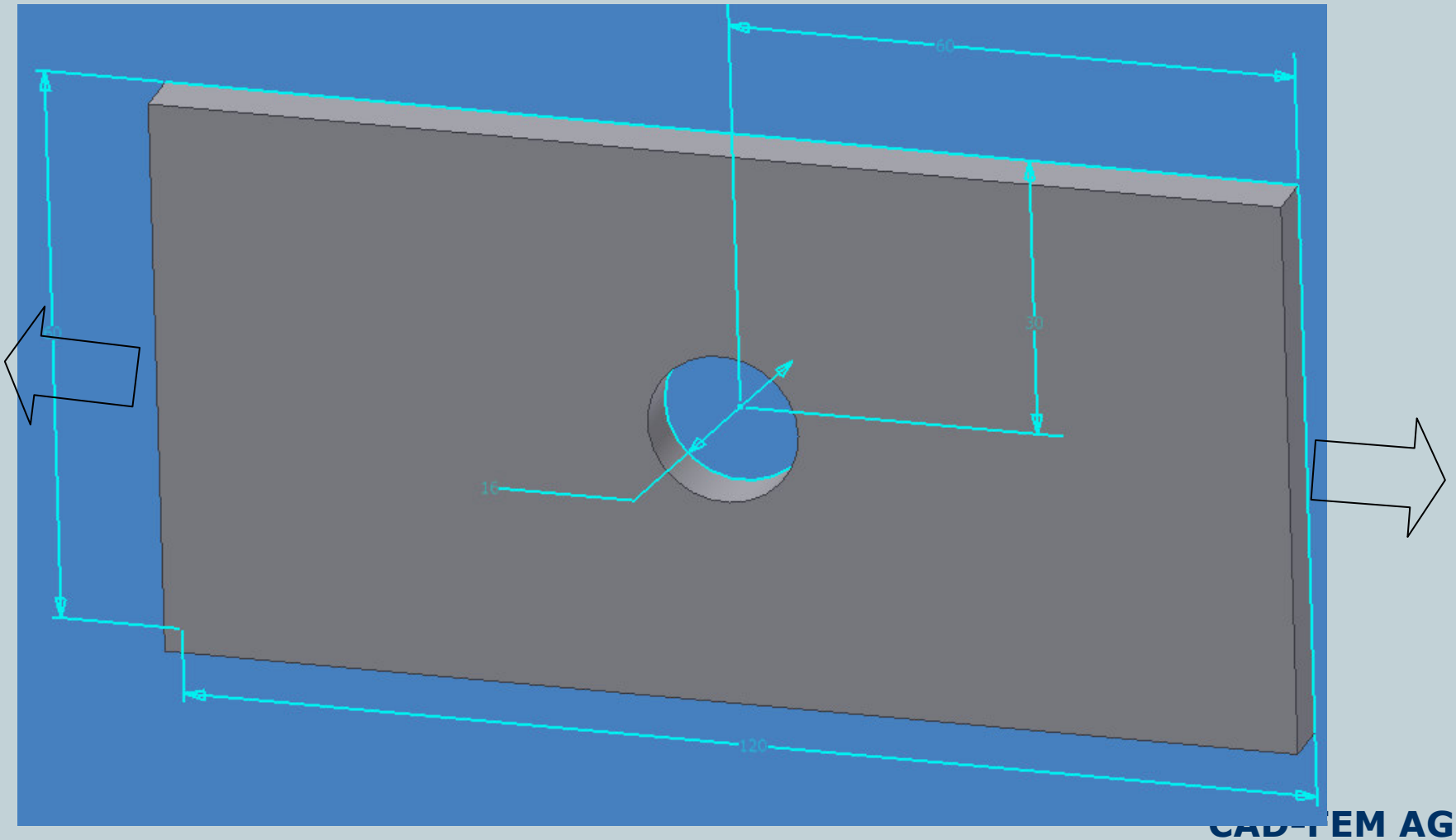
Spannung:

$$\sigma_x(X=0)=\frac{M_y}{W_y} \qquad M_y=F*l \qquad W_y=\frac{833}{5}\,mm^3$$

$$\sigma_x(X=0)=\frac{100*1'000}{166}=602\,MPa$$

Beispiel Halter

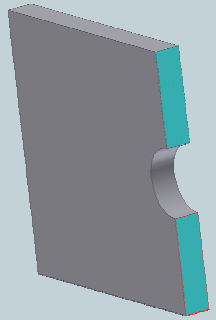
Berechnung von Spannungen an einem gelochten Flachstab



Beispiel Halter

Berechnung von Spannungen an einem gelochten Flachstab

Theoretische Lösung



Kraft: 18.000 N
Dicke: 6 mm
Querschnitt: 60 mm Breite - 16 mm Bohrung

Nennspannung $\sigma_N = F/A = 18.000N/[(60-16)*6] = 68.2$ MPa
Kerbfaktor K = 2.4 (nach Roark)

Kerbspannung = K* σ_N = 2.4* 68.2 Mpa = <u>163.7 MPa</u>

Beispiel Halter

Berechnung von Spannungen an einem gelochten Flachstab

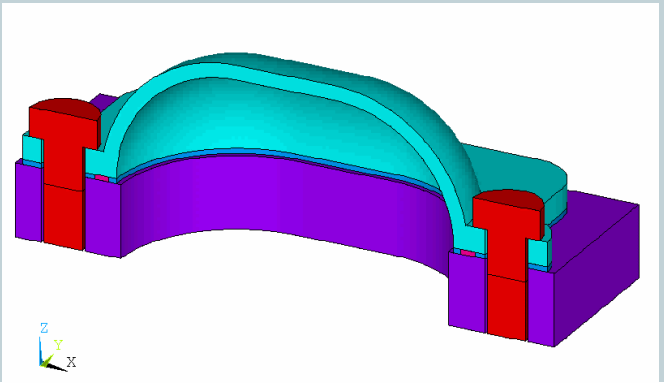
Lösung mit AIP FEM

1. Definition der Aufgabe (liegt vor)
2. Aufbau des Geometrie-Modells (liegt vor, verwendbar?)
3. Aufbringen von Lasten und Randbedingungen (2 Kräfte?)
4. Berechnung durchführen
5. Interpretation der Ergebnisse
6. Feintuning (zw. 2-5 evtl. sogar 1-5)

Abstraktionen

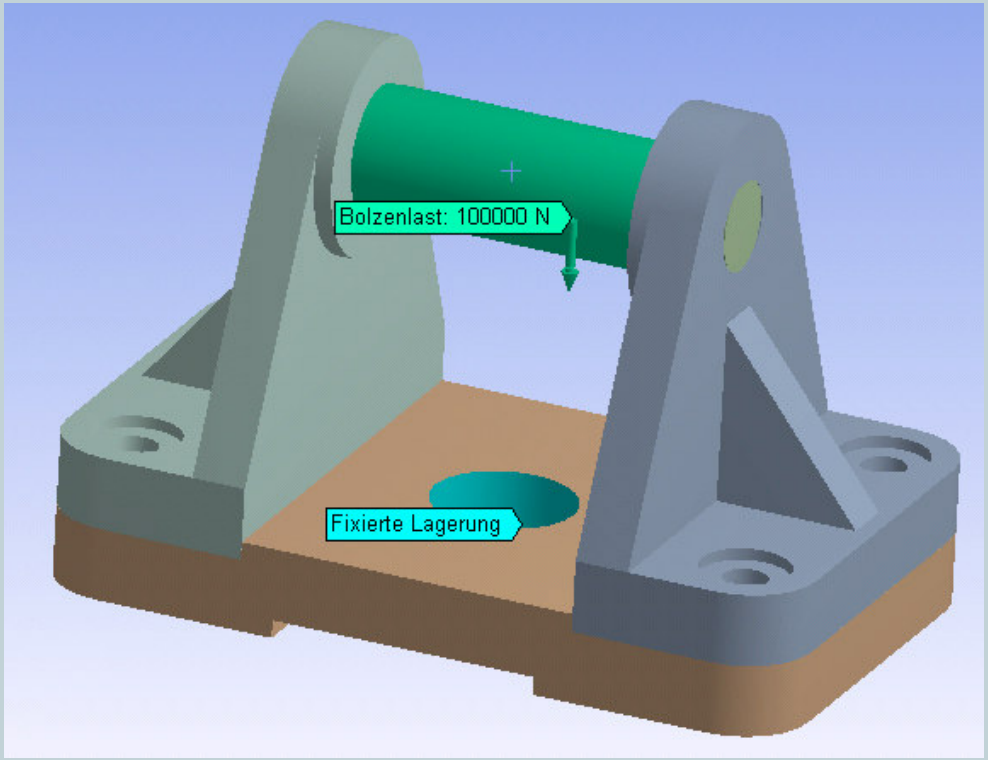
Ein Simulationsmodell ist nie „die Realität“.

- wir vernachlässigen unwichtige Details (Fasen, Bohrungen)
- wir definieren eine physikalische Disziplin (lineare Statik heißt, dynamische Effekte werden nicht berücksichtigt)
- wir wählen ein mathemat. Modell (Materialgesetz, Elementform, Vernetzung etc.)
- wir schätzen unbekannte Größen (Reibung, Dämpfung, Lasten!!)
- wir definieren Randbedingungen (Kräfte, Lagerungen)
- was werten wir aus?



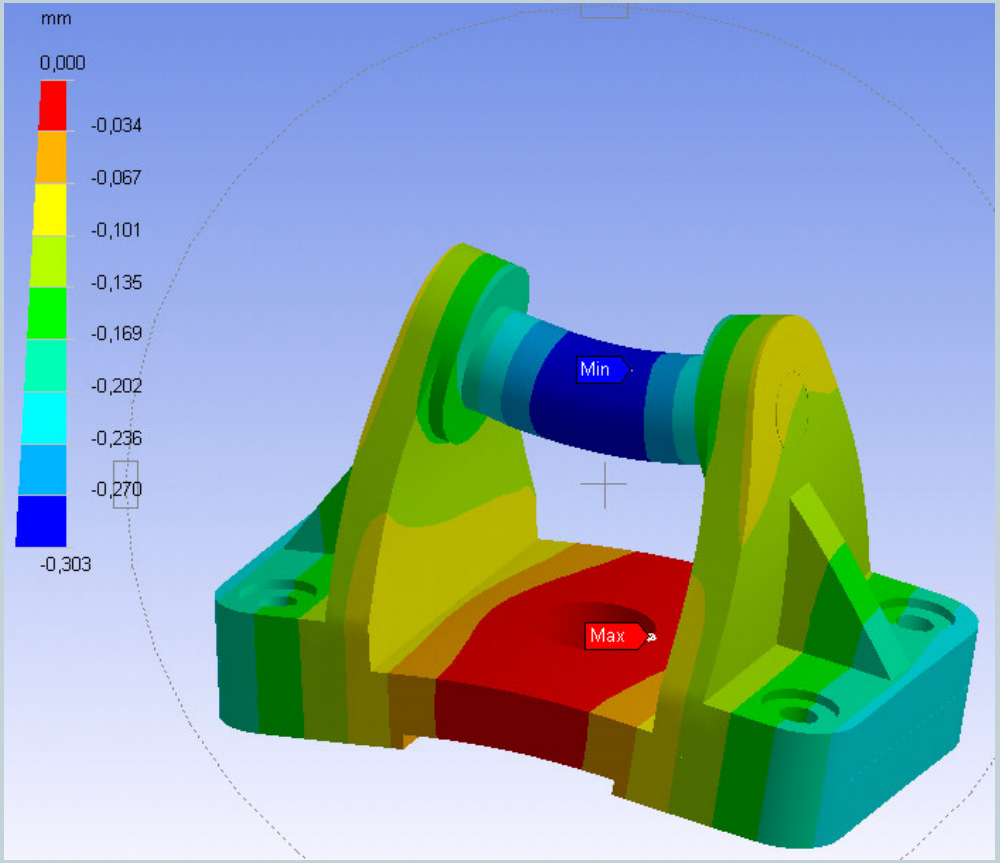
Problem: Ergebnisse bewerten

Wie stark biegt sich die Achse?

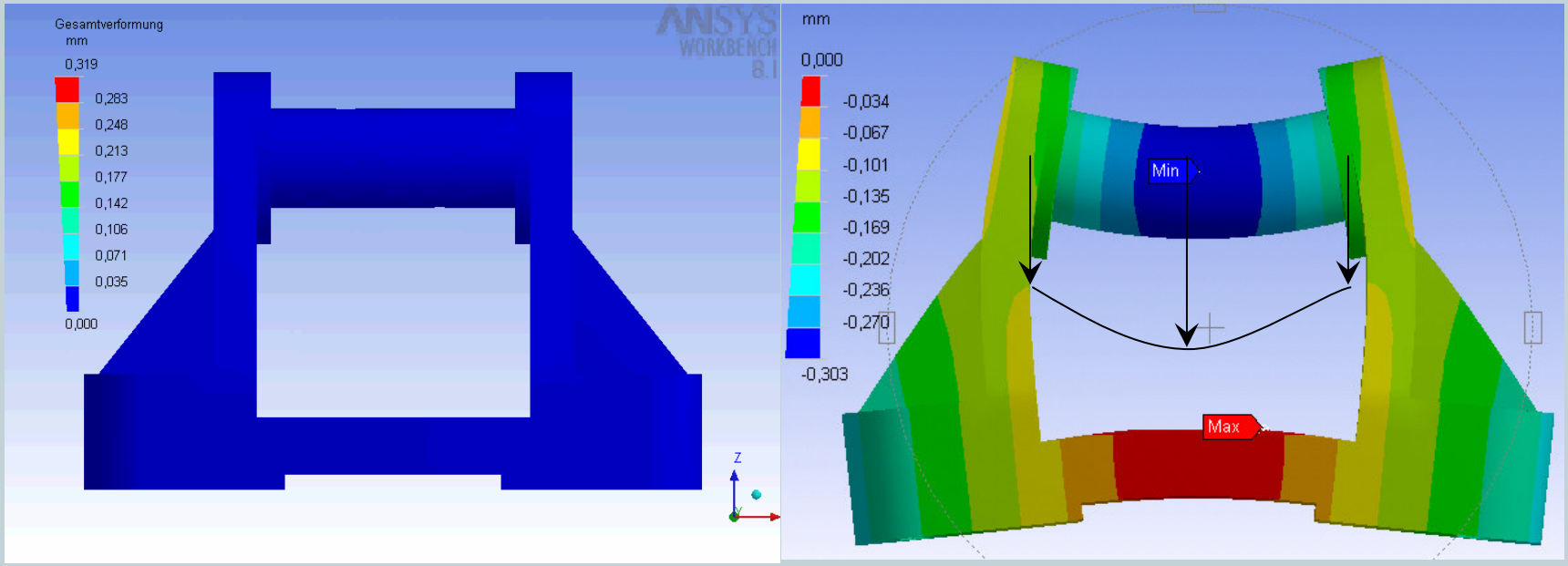


Problem: Ergebnisse bewerten

Wie stark biegt sich die Achse?



→ Überlagerung mehrere Effekte



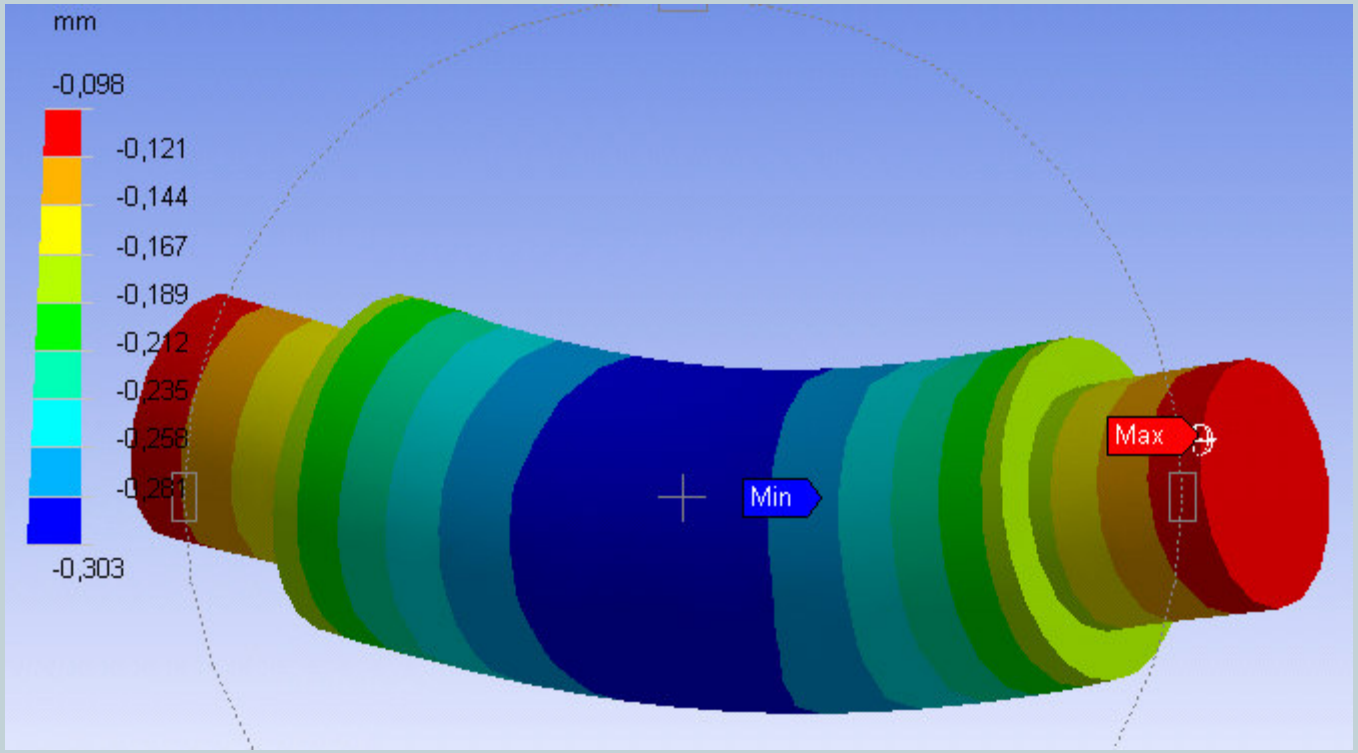
Trennen mehrerer Effekte durch den Anwender!

→ Übertriebene Darstellung der Verformung

Problem: Ergebnisse bewerten

Wie stark biegt sich die Achse?

→ 0.303-0.098 mm = 0.205

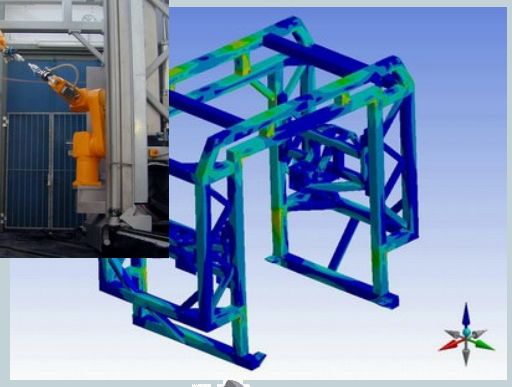


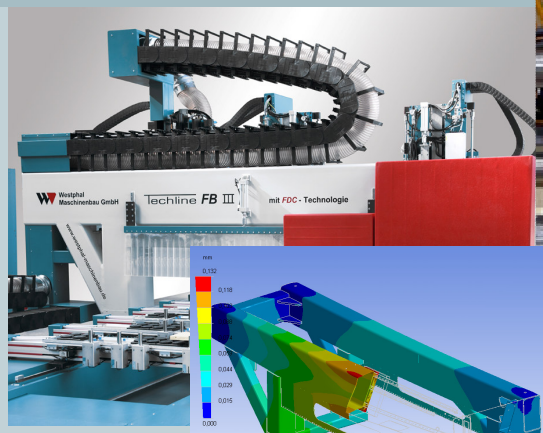
Tipps zur Ergebniskontrolle

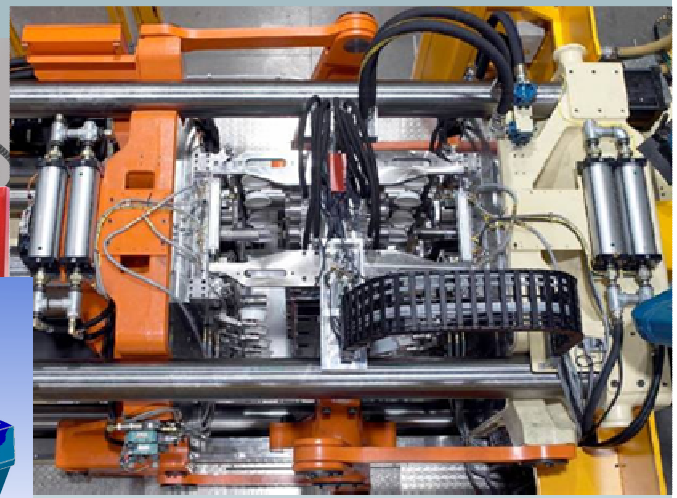
- Prüfen Sie die Reaktionskräfte.
- Prüfen Sie die Deformation. Ist sie plausibel? →RB ändern
- Werten Sie nicht aus, an Stellen starker Vereinfachung

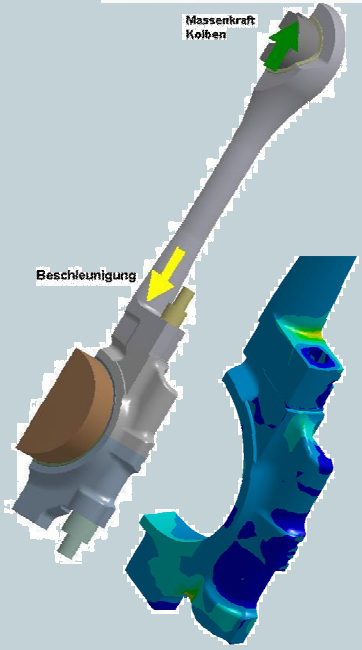
DesignSpace für Baugruppen

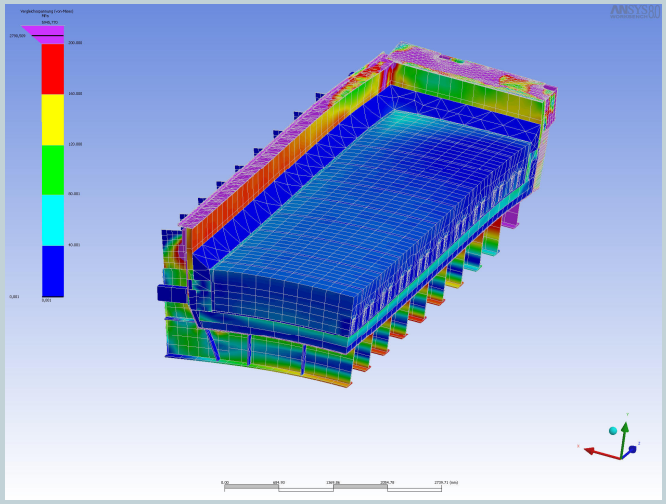


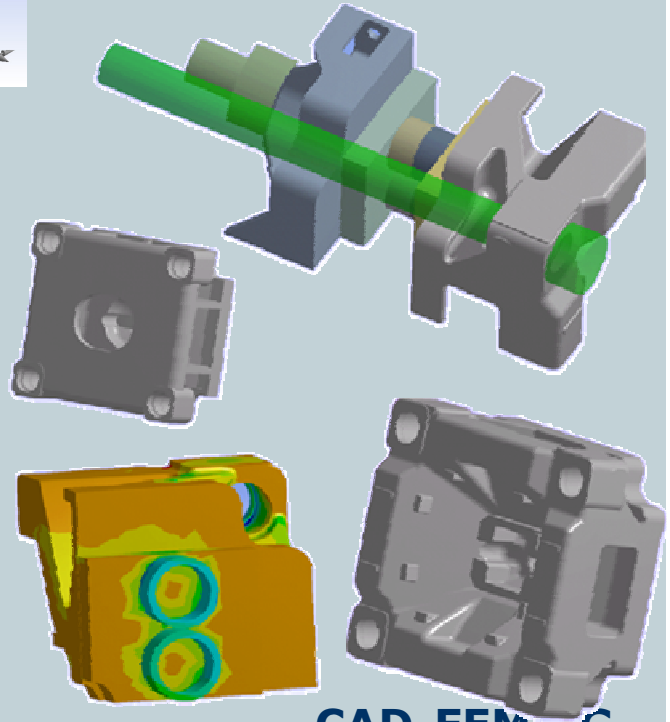












CAD-FEM AG

Wie geht’s weiter?

Schulungen

- FE-Berechnungen im Inventor Professional
  - 27.01.2006 in Aadorf
  - 29.05.2006 in Aadorf
  - 06.10.2006 in Aadorf

  Kosten: CHF 660 (50% Rabatt für Schulen)

Weitere Termine finden Sie unter www.cadfem.ch

Schulungen

- ANSYS DesignSpace Schnupperkurs
  - 12.01.2006 in Aadorf
  - 13.02.2006 in Aadorf
  - 13.03.2006 in Aadorf

  Kosten: CHF 300 (kein Rabatt)

Weitere Termine finden Sie unter www.cadfem.ch

Software

- ANSYS ED 9.0 (Education Version)
  - Reduziert in der Anzahl Knoten (10‘000), Elemente (1‘000)

Spezialpreis: CHF 100.-

Das Angebot ist bis zum 31.12.2005 gültig und gilt solange Vorrat. Die Kosten für die ANSYS ED 10.0 belaufen sich auf CHF 250 (ab 2006 erhältlich).

Software

- ANSYS DesignSpace für Berufsschulen (1 Jahr Miete ikl. Wartung)
  - 1 Zugriffe: CHF 500.-
  - 25 Zugriffe: CHF 1‘000.-

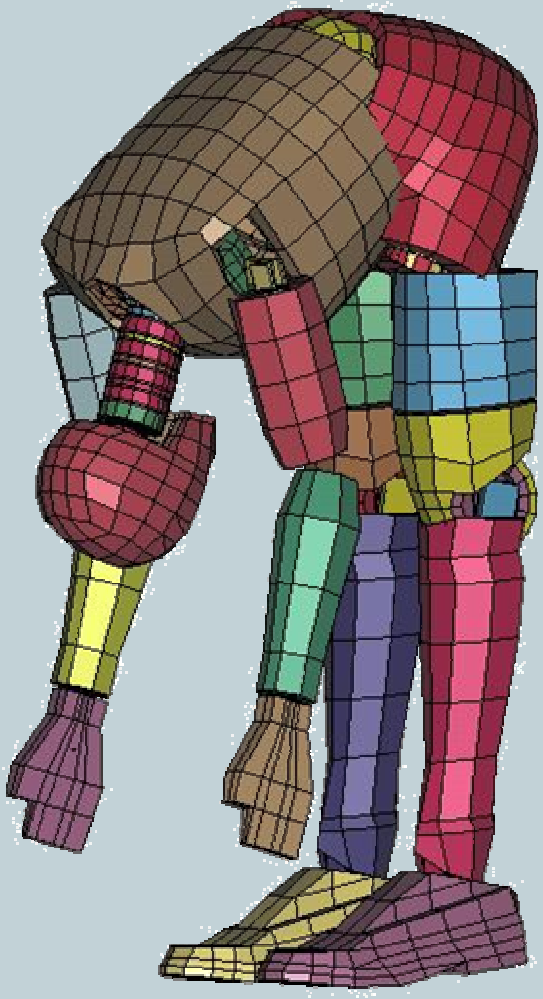
  (Davon max 3 verschiedene netzwerke, dh 1 hauptnetzwerk + max 2 lehrerlizenzen. je zusätzliches netzwerk 150 fr / jahr)

Die Bedingungen für diese Angebot sind auf der nächsten Seite aufgeführt.

Software

Bedingung: ANSYS DesignSpace für Berufsschulen:

- die bestellung der netzwerke muss zusammen mit der hauptbestellung erfolgen. ansonsten werden sie wie zusätzliche netzwerke behandelt, dh 150 fr zusatzkostzen je netzwerk.
- erwähnung von designspace , ansys und cadfem auf der homepage der schule, mit logo und link
- erstellen eines ausführlich dokumentierten bsp nach vorgabe von cadfem. (tutorial).
- die jahremiete läuft von 1.9.2005-30.8.2006
- die unterjährige miete entspricht immer 12 monatsmieten
- überjährige miete kann zb vom 1.12.2005-30.8.2007 bestellt werden, dh die miete wird für 21 monate berechnet.



CAD-FEM AG