



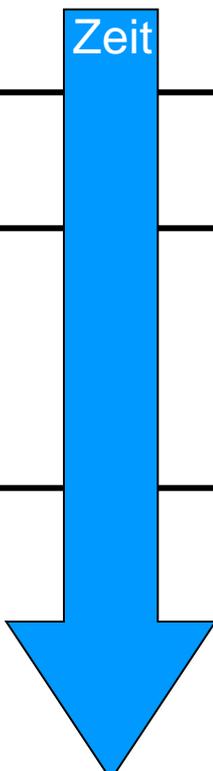
Mathematische Optimierung im Maschinenbau

→ Bauteilentwicklung mit computerunterstützten Methoden

Career Nights 2015

Andreas Wüst

Inhalt

- Zur Person
 - Motivation
 - Was macht ein Maschinenbau-Ingenieur überhaupt?
 - **Schule** _____ Gegenwart
 - Neigung/Eignung/Interessen?
 - **Studium Allgemeiner Maschinenbau** _____ Weg
 - Inhalte
 - Studiengänge / -orte
 - Informationsquellen
 - **Beruf** _____ Ziel
 - Einsatzmöglichkeiten, BASF
 - **Computer Aided Engineering**
 - **Beispiele**
 - Diskussion
- 

Zur Person

- Andreas Wüst, geb. 1965
- AKG Bensheim ABI 1984
- Leistungskurse Mathe + Physik (Joachim Kohl)
- Maschinenbaustudium an der TH Darmstadt bis 1991
- Auslandsaufenthalt in USA (Praktikum)
- 1991 BASF: Anwendungstechnik Thermoplaste
- Ältester Sohn Felix am AKG, Abitur 2014

Motivation:

Was macht ein Maschinenbau-Ingenieur überhaupt?

Leichtbau

Höhere Mechanik, Technologie der
Fertigungsverfahren, Materialwissenschaften

Flugmechanik

Aerodynamik, Regelungstechnik
Experimentalphysik, Chemie



Numerische Simulationsmethoden – Höhere Mathematik

Triebwerksentwicklung

Thermodynamik, Werkstoffkunde, Strömungsmechanik

Motivation:

Was macht ein Maschinenbau-Ingenieur überhaupt?

Leichtbau

Höhere Mechanik, Technologie der
Fertigungsverfahren, Materialwissenschaften

Fahrmechanik

Aerodynamik, Regelungstechnik
Experimentalphysik, Chemie

Numerische Simulationenmethoden
Höhere Mathematik

Triebwerksentwicklung

Thermodynamik, Werkstoffkunde, Strömungsmechanik



Bensheim

Motivation:

Was macht ein Maschinenbau-Ingenieur überhaupt?

Numerische Simulationsmethoden
Höhere Mathematik

Anlagenbau

Höhere Mechanik, Technologie der
Fertigungsverfahren, Materialwissenschaften, Chemie

Verfahrenstechnik

Thermodynamik, Werkstoffkunde, Strömungsmechanik



Motivation:

Was macht ein Maschinenbau-Ingenieur überhaupt?

Leichtbau

Höhere Mechanik, Technologie der
Fertigungsverfahren, Materialwissenschaften



Numerische Simulationsmethoden
Höhere Mathematik

Thermodynamik, Werkstoffkunde, Strömungsmechanik

Motivation:

Was macht ein Maschinenbau-Ingenieur überhaupt?



Fazit:



In der Entwicklung jeder „Maschine“ steckt eine Vielzahl hochinteressanter Fragestellungen für einen Maschinenbau-Ingenieur



Eignung – Neigung?

Was sollte ich für das Studium mitbringen?

Weichenstellungen?



Die Tätigkeiten eines Maschinenbau-Ingenieurs sind *im Studium* meist dominiert von **naturwissenschaftlich-technischen** Fragestellungen

- Mathematik
- Physik
- Informatik
- Chemie
- Englisch

▶ Hohes Interesse ist Voraussetzung!

Leistungskurse!!!

Studium

Allgemeiner Maschinenbau

Fachhochschule

- Darmstadt
- Friedberg
- Frankfurt
- ...

Universität

- Darmstadt
- Stuttgart
- Kaiserslautern
- Karlsruhe
- ...

- | | |
|--|----------|
| 1. Studienabschnitt: | Bachelor |
| 2. Studienabschnitt: | Master |
| ▶ Internationalisierung
früher (Vordiplom – Diplom) | |

Studiendauer:

FH: 6-8 Semester, Uni: 6-12 Semester

Schwerpunkte sind je nach Hochschule verschieden:
Bremen: Schiffbau, Wolfsburg: Fahrzeugtechnik

Ranking im Bereich Maschinenbau

Top-FHs Maschinenbau



Rang/ Fachhochschule	Nennungen
1. München	38,4 %
2. Karlsruhe	36,1 %
3. Darmstadt	35,9 %
4. Aachen	23,8 %
5. Esslingen	17,0 %
6. Mannheim	13,6 %
7. Furtwangen	10,2 %
7. Nürnberg	10,2 %
9. Offenburg	7,7 %
9. Stralsund	7,7 %
11. Aalen	7,1 %
12. Hamburg, HAW	6,6 %
12. Ulm	6,6 %
12. Wiesbaden	6,6 %
12. Würzburg-Schweinfurt	6,6 %

Top-Unis Maschinenbau



Rang/ Universität	Nennungen
1. Aachen, RWTH	60,0 %
2. Karlsruhe	44,0 %
3. München, TU	41,3 %
4. Darmstadt	36,0 %
5. Dresden	21,3 %
6. Stuttgart	17,3 %
7. Braunschweig	10,7 %
8. Hamburg, TU	8,0 %
9. Berlin, TU	5,9 %
10. Kaiserslautern	5,3 %
11. Clausthal	4,3 %
12. Erlangen-Nürnberg	4,0 %
13. Freiberg, Bergakademie	3,0 %
14. Ilmenau	2,7 %
15. Hannover	2,5 %

<http://www.karriere.de/sonstige/3-teil-maschinenbau-ingenieurwesen-informatik-7131/>

Studium

Allgemeiner Maschinenbau

Studieninhalte **Bachelor**
(Beispiel TU Darmstadt)

Maschinenbau - Mechanical and Process Engineering

Das Bachelorstudium „Maschinenbau - Mechanical and Process Engineering“ umfasst 6 Semester. Als Abschluss wird der Bachelor of Science verliehen. Das Studienprogramm wird durch die nachstehende Grafik illustriert.

1. Semester	4 CP Grundlagen der Datenverarbeitung	0 CP Einführung in den Maschinenbau	6 CP Technologie der Fertigungsverfahren	4 CP Physikalische Stoffkunde	6 CP Technische Mechanik I	8 CP Mathematik I für Maschinenbau	2 CP Arbeits-techniken	
2. Semester	4 CP Einführung in das rechnergestützte Konstruieren	5 CP Werkstoffkunde und -prüfung	8 CP Elektrotechnik		4 CP Technische Mechanik II	8 CP Mathematik II für Maschinenbauer	4 CP Grundzüge der Chemie	
3. Semester	8 CP Maschinenelemente und Mechatronik I		4 CP Werkstoff und Bauteilfestigkeit	6 CP Thermodynamik I	6 CP Technische Mechanik III		4 CP Mathematik III für Maschinenbauer	4 CP Physik
4. Semester	8 CP Maschinenelemente und Mechatronik II		4 CP Product Design Project	3 CP Physikalisches Praktikum	2 CP Thermodynamik II	4 CP Numerische Mathematik	4 CP LV anderer Fachbereiche	
5. Semester	6 CP Maschinendynamik		6 CP Strömungslehre		4 CP Wärme- und Stoffübertragung	12 CP Wahlpflichtbereich A		
6. Semester	6 CP Regelungstechnik		4 CP Numerische Berechnungsverfahren	8 CP Wahlpflichtbereich A		4 CP LV anderer Fachbereiche	12 CP Bachelor-Thesis	

Studium

Allgemeiner Maschinenbau

Studieninhalte Master
(Beispiel TU Darmstadt)

Der Master of Science in dem Studiengang Maschinenbau - Mechanical and Process Engineering kann nach weiteren 4 Semestern erworben werden.

1. Semester	8 CP Wahlpflichtbereich A	12 CP Wahlpflichtbereich C	2 CP Projektmanagement	4 CP Maschinenbau-tutorium oder Elektrotechnik-praktikum
2. Semester	14 CP Wahlpflichtbereich B	10 CP Wahlpflichtbereich D	4 CP LV anderer Fach-bereiche	CP = Credit Point LV = Lehrveranstaltung
3. Semester	4 - 6 CP Advanced Design Project	10 CP Wahlpflichtbereich D	4 CP LV anderer Fach-bereiche	10 CP WPB
4. Semester	34 CP Master-Thesis			

Links und Infos



TU-Darmstadt

- <http://www.maschinenbau.tu-darmstadt.de/> → allgemeine Infos
- <http://www.machenwasgeht.de/> → Infos für Studieninteressierte
- **MechCenter** an der TU Darmstadt (Beratung für Studieninteressierte):
- <http://www.maschinenbau.tu-darmstadt.de/einrichtungen/mechcenter/mechcenter.php>
- Monatliche Veranstaltung: *Beratung für Studieninteressierte*, 2.5 h Dauer, Anmeldung!

h_da FH-Darmstadt

- <http://www.fbm.h-da.de/index.shtml>

Allgemein:

- <http://www.maschinenbau-fh.de>
- <http://www.fachhochschule.de/FH/Fachhochschule/Deutschland/Technik/Maschinenbau.htm>
- <http://www.das-ranking.de/che7/CHE?module=WasIst&do=show&esb=10>

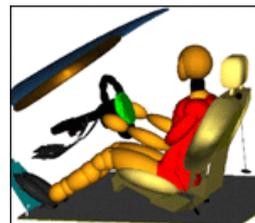


Einsatzmöglichkeiten

You name it ...

nach Branche

- Maschinenbauindustrie
- Luftfahrtindustrie
- Automobilindustrie
 - Automobilhersteller
 - Zulieferer
- Bauindustrie
- Werkzeugmaschinen
- Stahlindustrie
- Chemische Industrie
- Elektroindustrie
-



Einsatzmöglichkeiten

You name it ...

nach betrieblicher
Tätigkeit

- Berechnung und Konstruktion → Entwicklung
 - Werkzeugbau
 - Prüfung (z.B. Bauteilerprobung)
 - Produktion
 - Marketing
 - Vertrieb
 - Consulting (Beratung)
 - ...
- } Wirtschaftsingenieur (WI)

Segmentstruktur der BASF



Chemicals

- Inorganics
- Petrochemicals
- Intermediates



Plastics

- Performance Polymers
- Polyurethanes



Performance Products

- Dispersions & Pigments
- Care Chemicals
- Nutrition & Health
- Paper Chemicals
- Performance Chemicals



Functional Solutions

- Catalysts
- Construction Chemicals
- Coatings



Agricultural Solutions

- Crop Protection



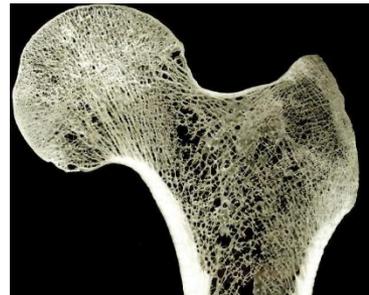
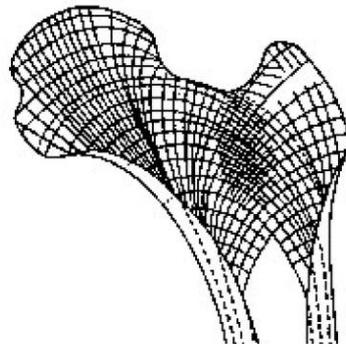
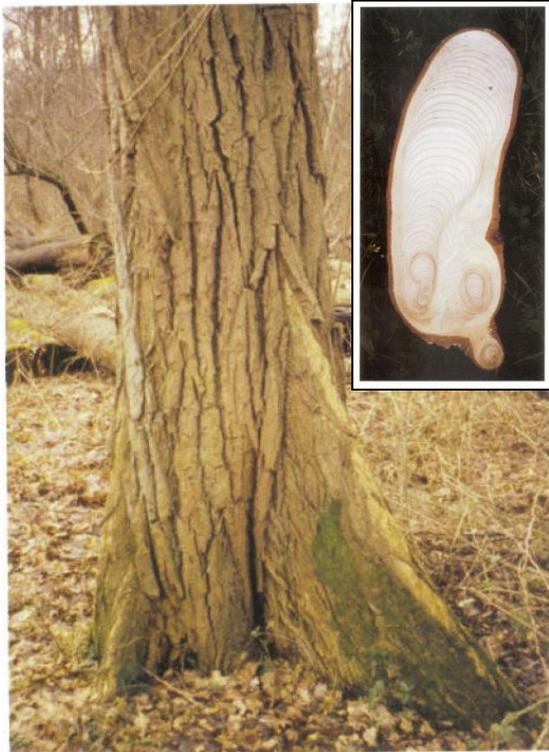
Oil & Gas

- Exploration & Production
- Natural Gas Trading

Einstiegsfrage ...

Einstiegsfrage ...

**Was hat das Wachstum von Bäumen und Knochen mit dem besseren Schutz von Fußgängern bei Autounfällen zu tun?
... und was mit Maschinenbau?**



Konkrete Vorstellung von Tätigkeiten aus dem Berufsalltag

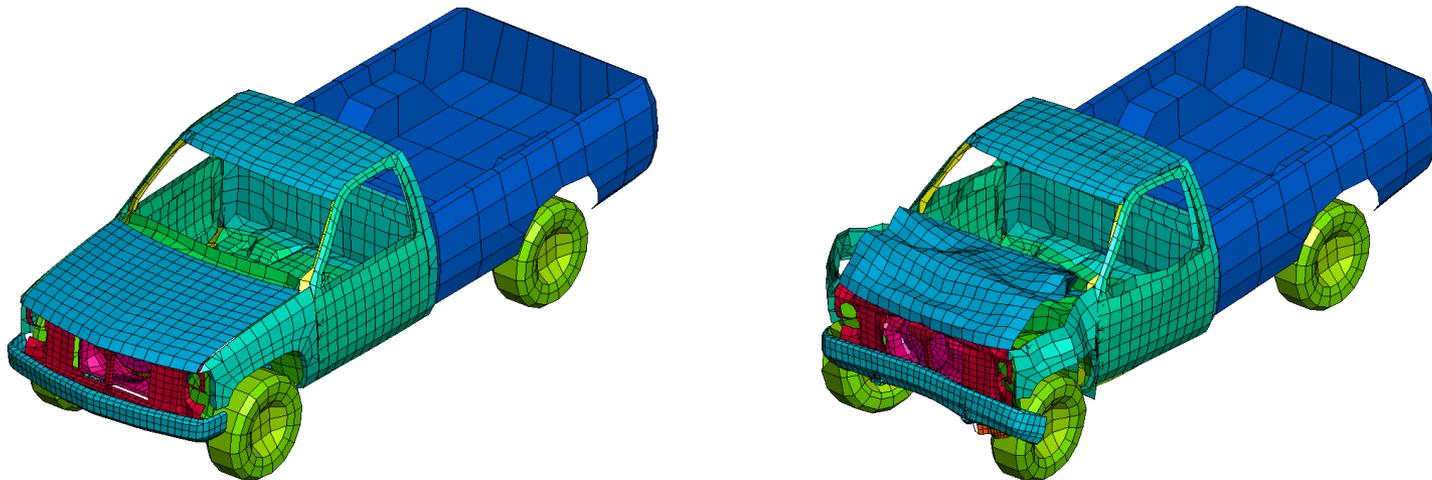
Bauteilentwicklung mit CAE

CAE = Computer Aided Engineering

Numerische Simulation von physikalischen Vorgängen basierend auf mathematischen Modellen und Methoden

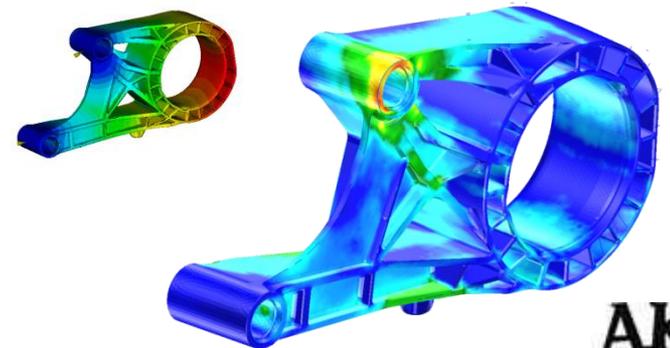
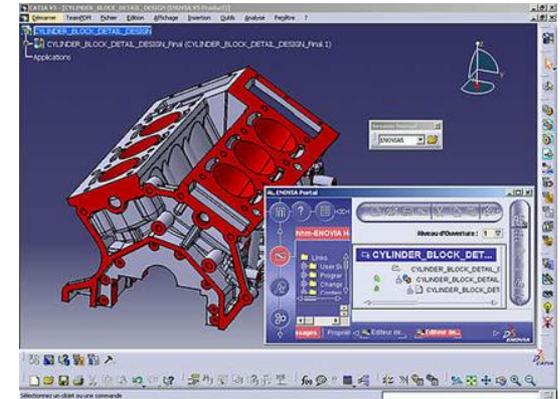
Wichtigste Simulationsmethode:

Methode der Finiten Elemente (FE-Methode)

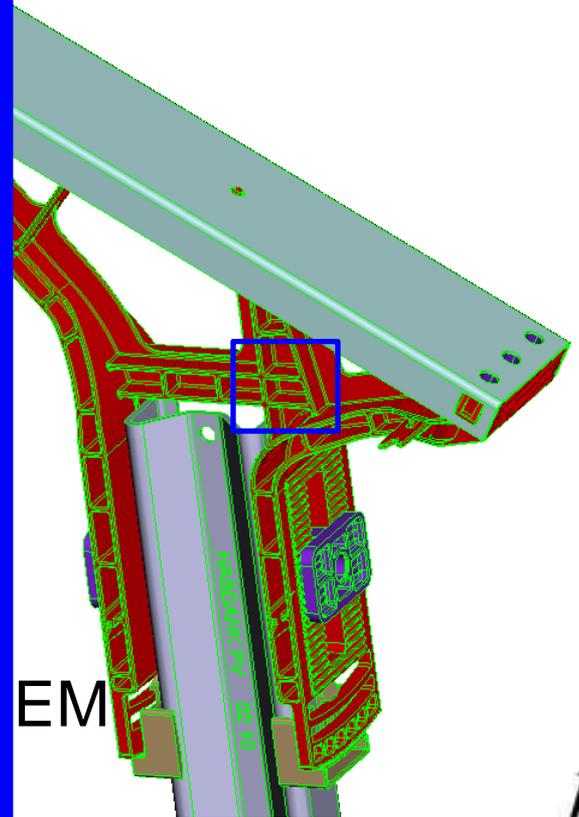
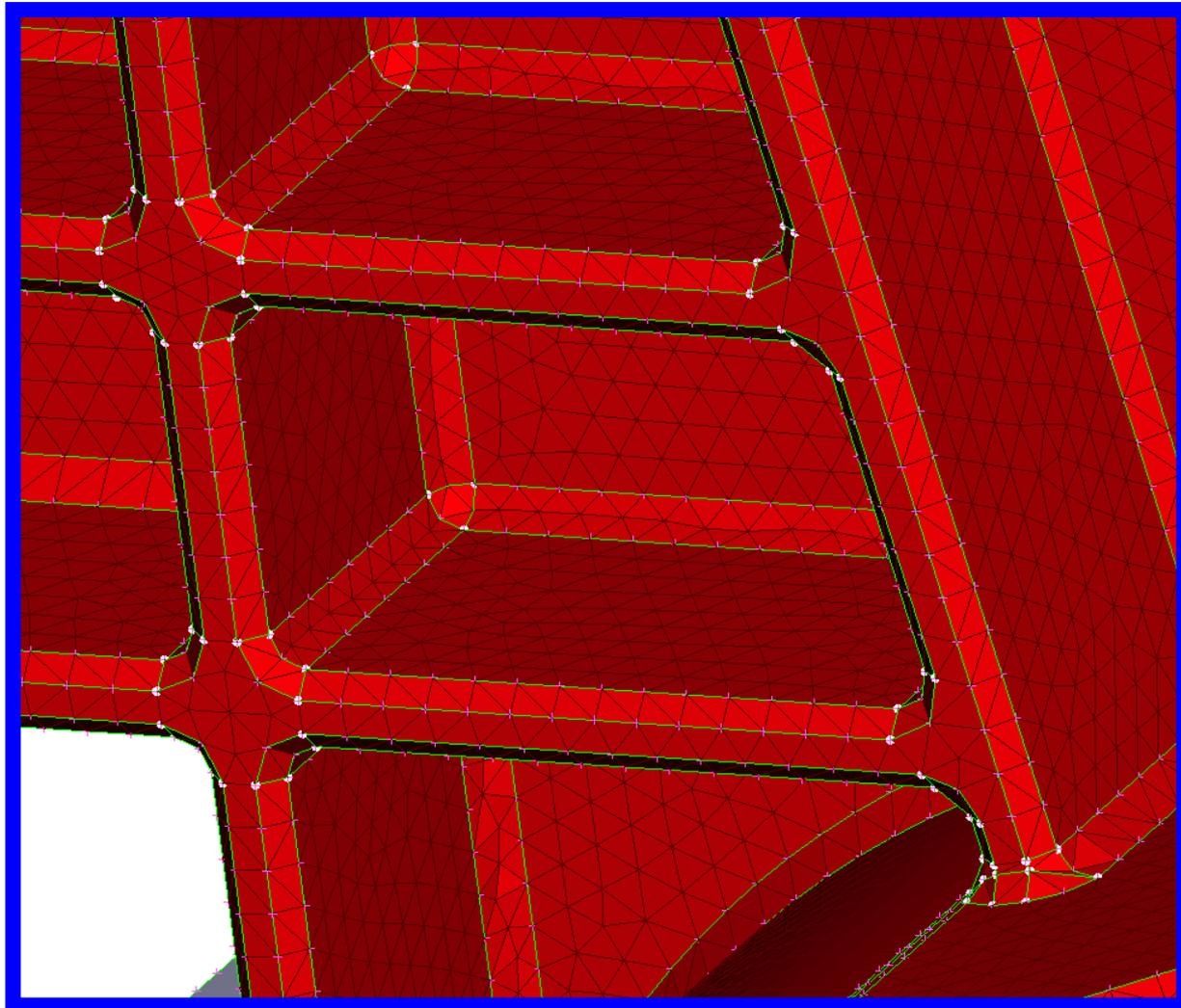


CAD - CAE - FEM

- **C**omputer **A**ided **D**esign
 - Virtuelles 3D-Zeichenbrett – Geometrieerzeugung
 - Werkzeug-Ableitung
 - CNC Fräsprogramme
 - Geometrie für CAE
- **C**omputer **A**ided **E**ngineering
 - Berechnung eines physikalischen Vorgangs mit einem Computermodell
 - Füllsimulation, Mechanische Belastung, ...
- **F**inite **E**lemente **M**ethode
 - Mathematisches Verfahren für CAE



CAD – CAE - FEM



Mathematische Modellabbildung

Beispiele – Fußgängerschutzcrash (seit 2005 = EU Richtlinie)

Reale Struktur

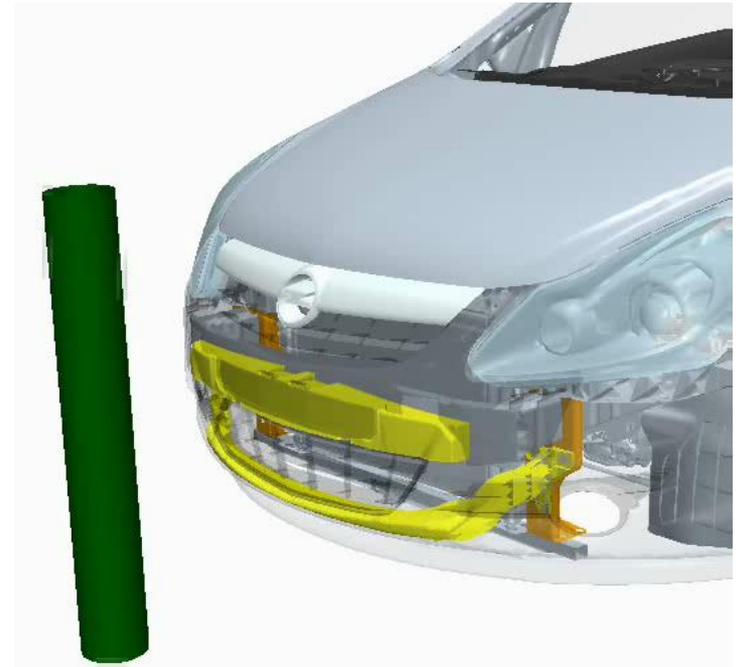


Modellabbildung



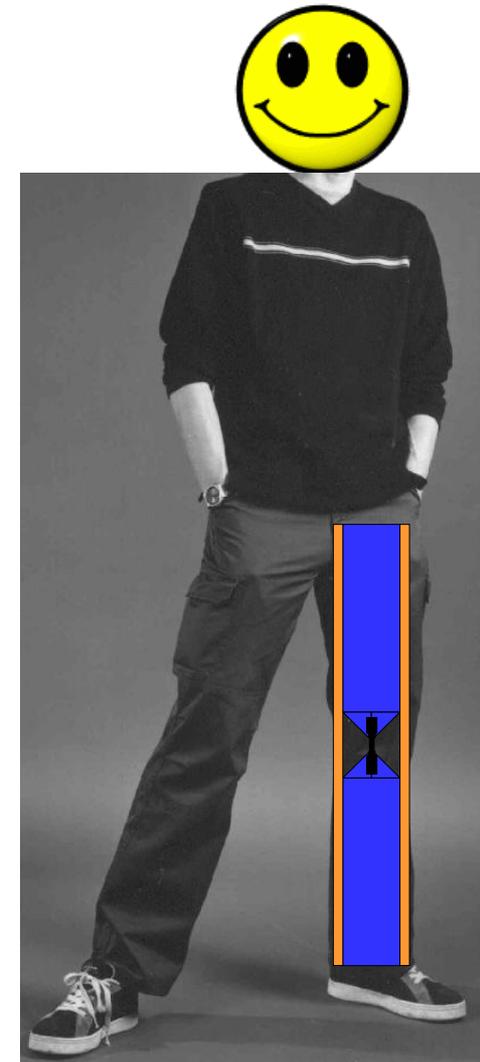
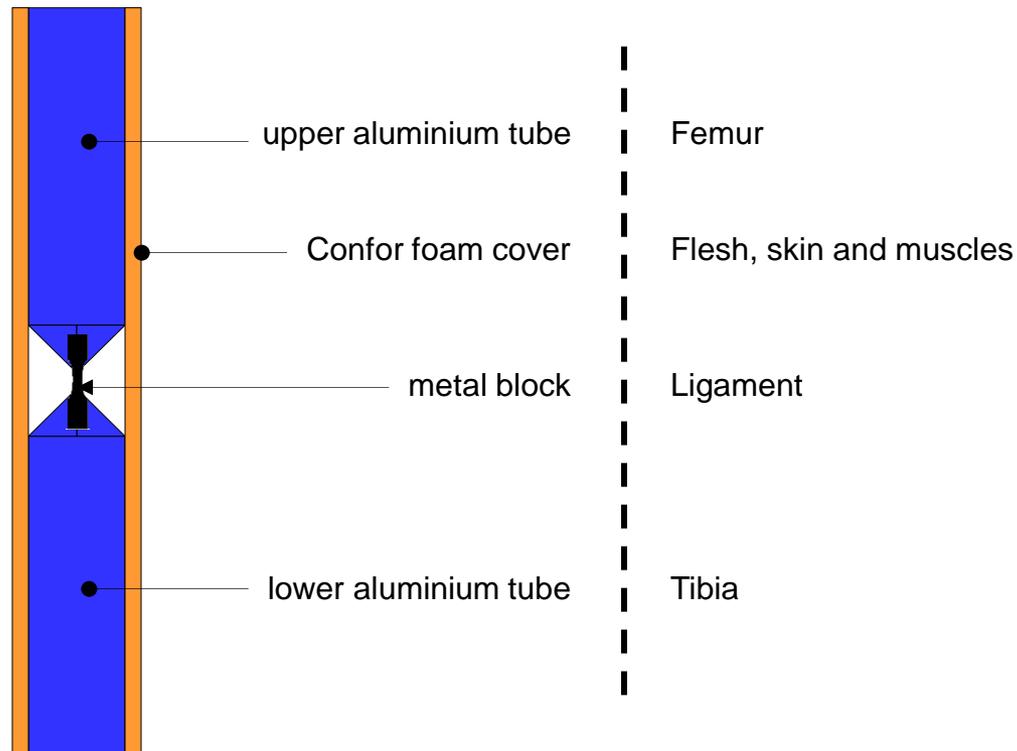
Mathematisches Modell

Fußgängerschutzcrash

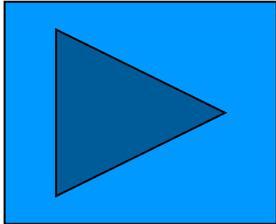
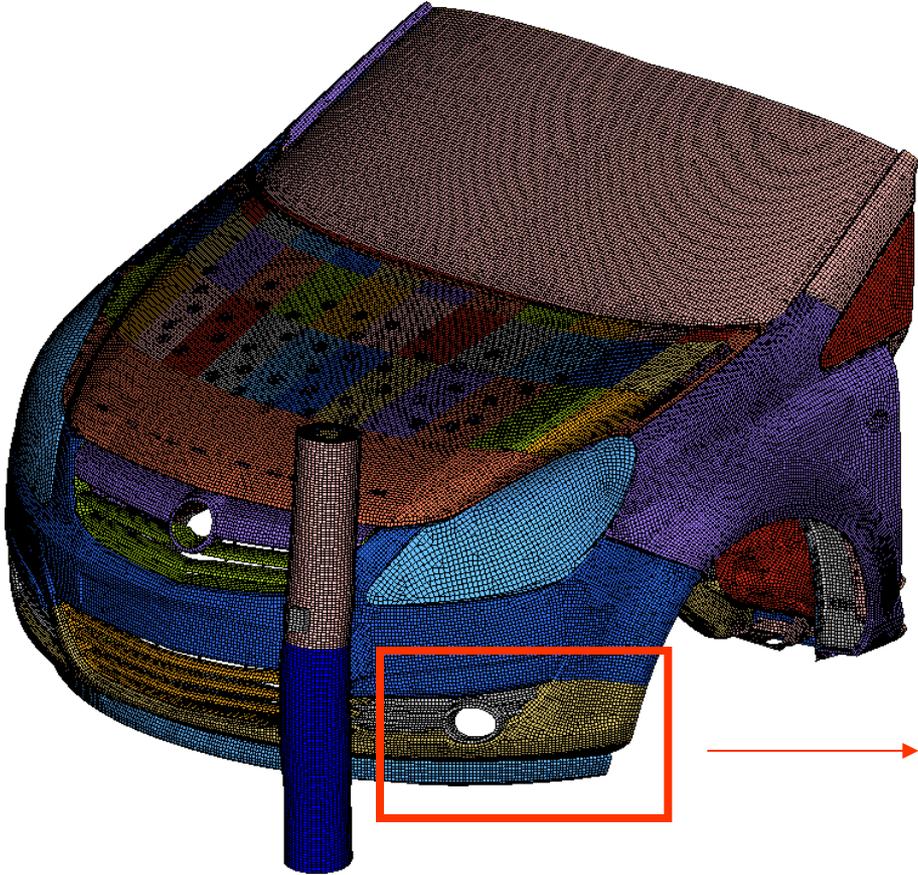


Lower Leg Impactor

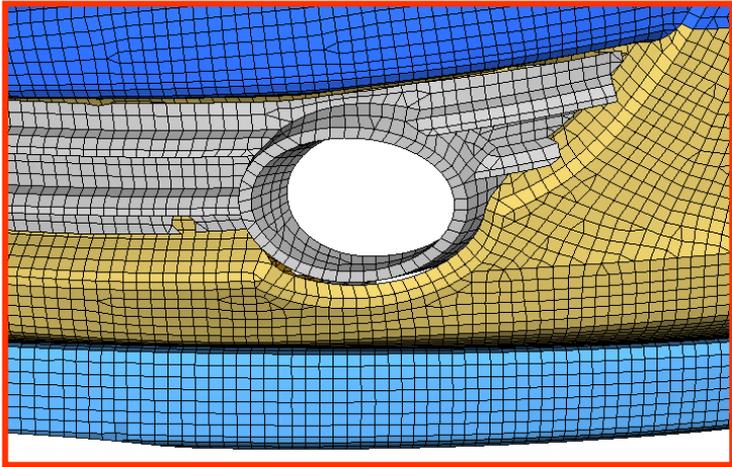
Representation of Human Leg



3D FE-Modell

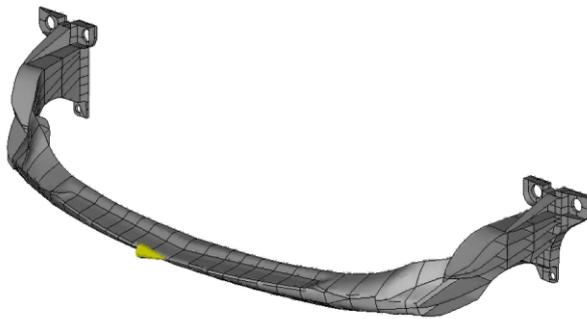


H3D-Modell OPEL Corsa

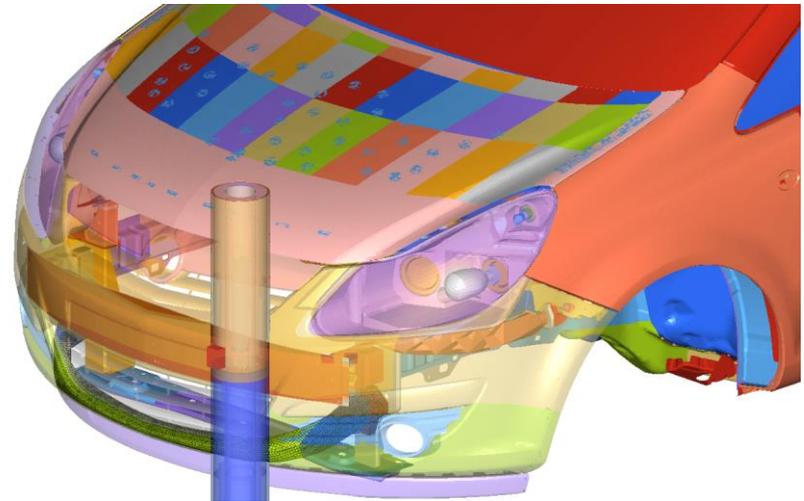


CAE - Simulation

Beispiel - Fußgängerschutzcrash

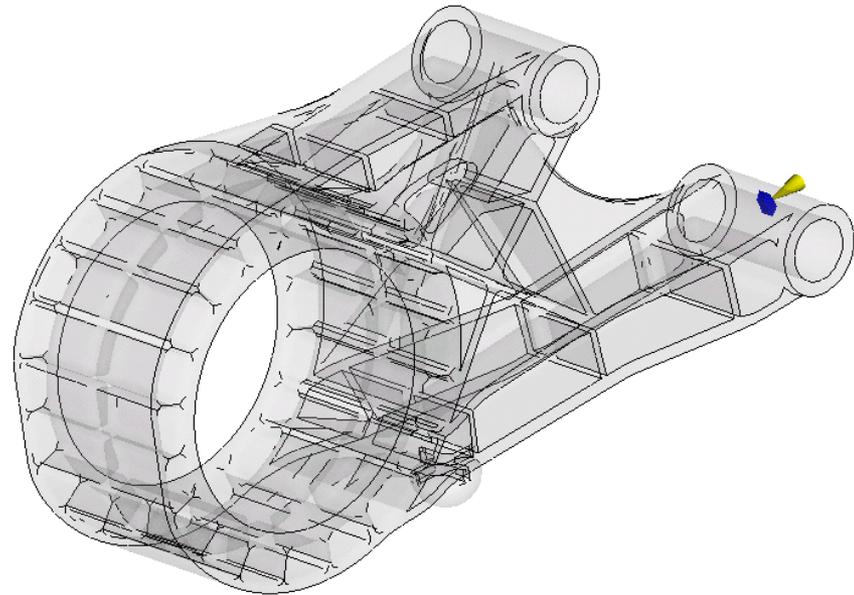
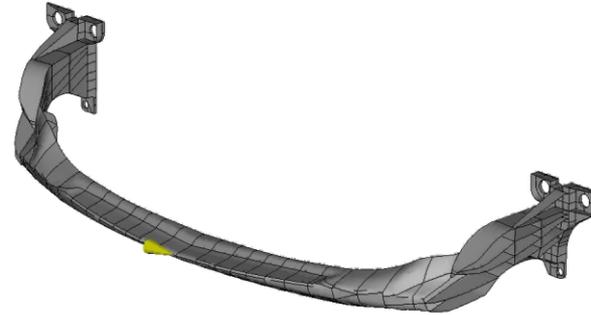
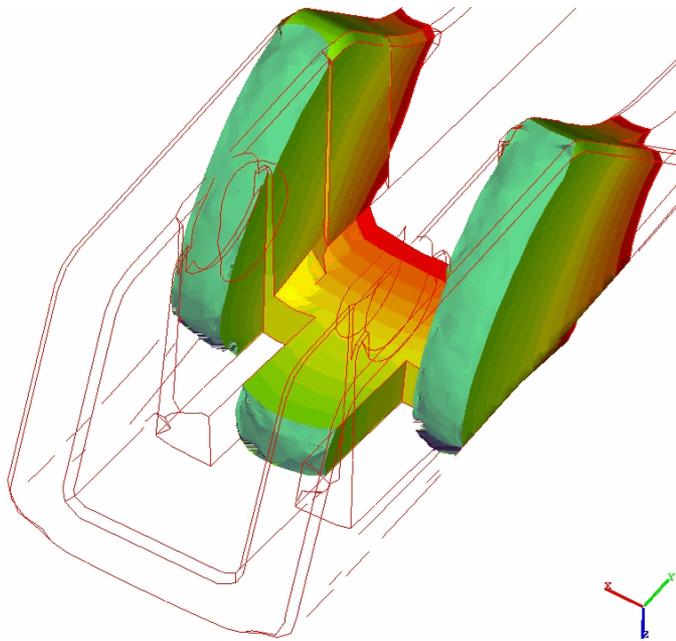


Füllsimulation

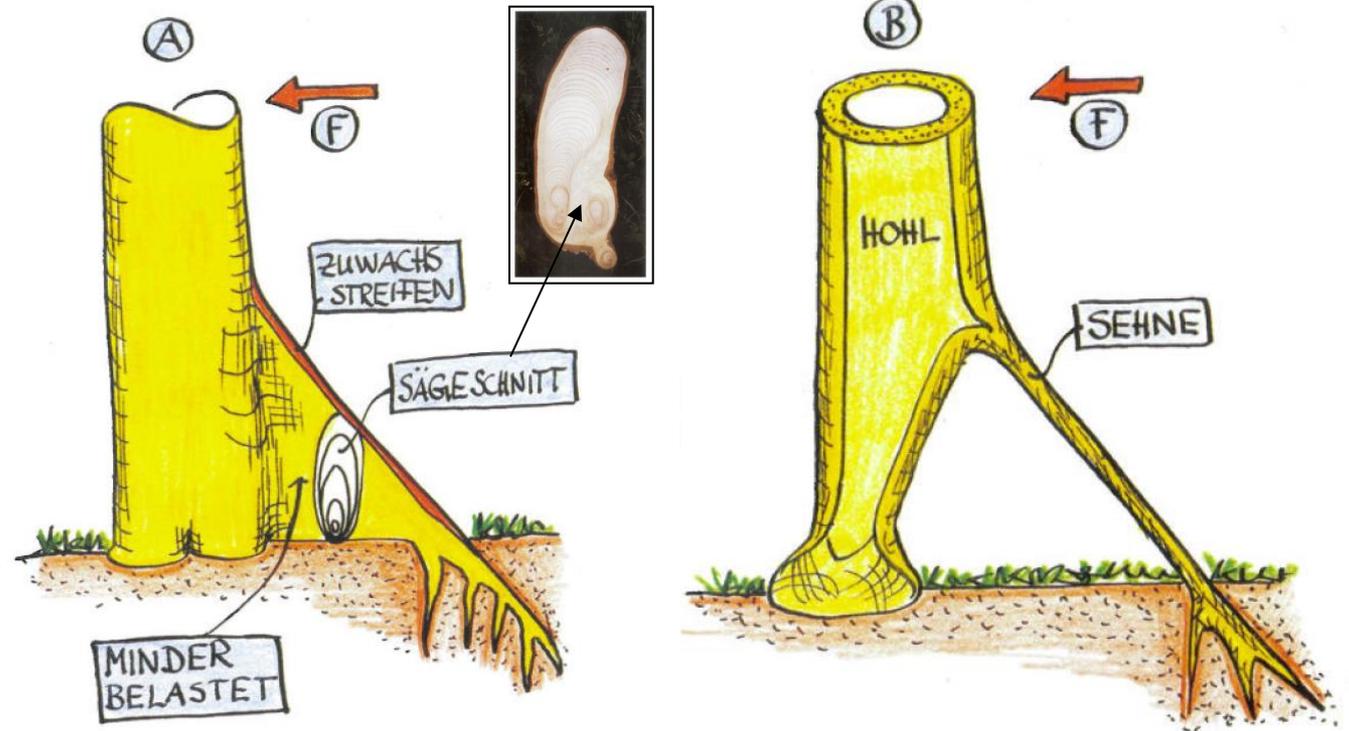


CAE – Simulation

Beispiel – Simulation der Herstellung: Spritzguss



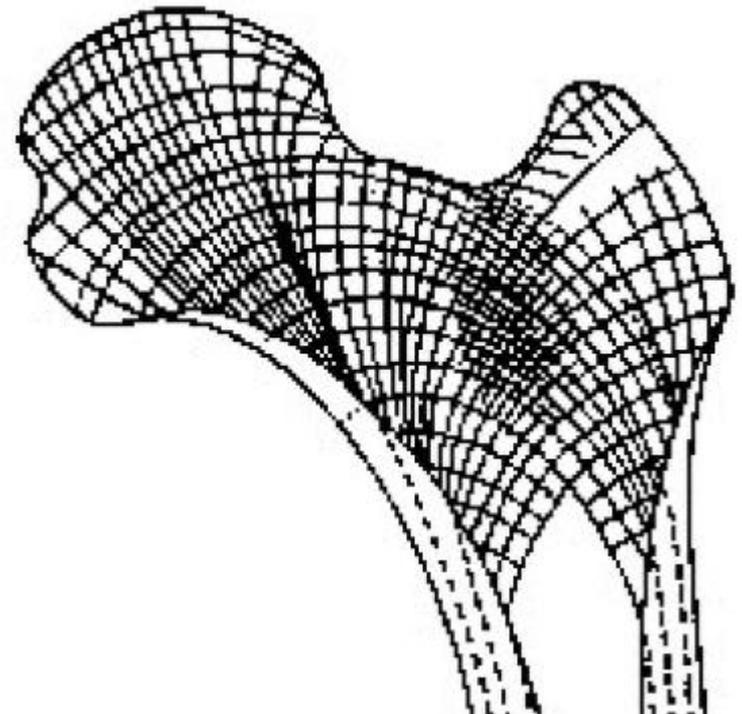
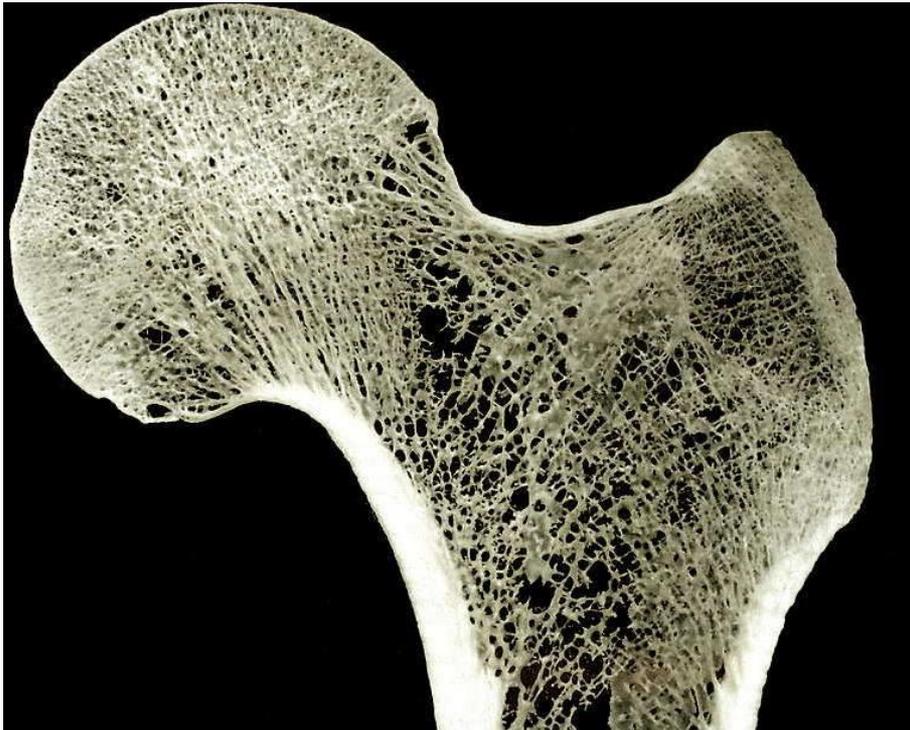
Wachstum von Bäumen und Knochen



Der Baum kann keine gewachsenen unbelasteten Bereiche abbauen! Ein Knochen schon!
Fresszellen: Osteoclasten

Mattheck: „Alles was viel herumrennt muss leicht sein. Bäume rennen nicht herum!“

Beispiel Knochen



Hauptspannungstrajektorien

Wachstum von Bäumen und Knochen

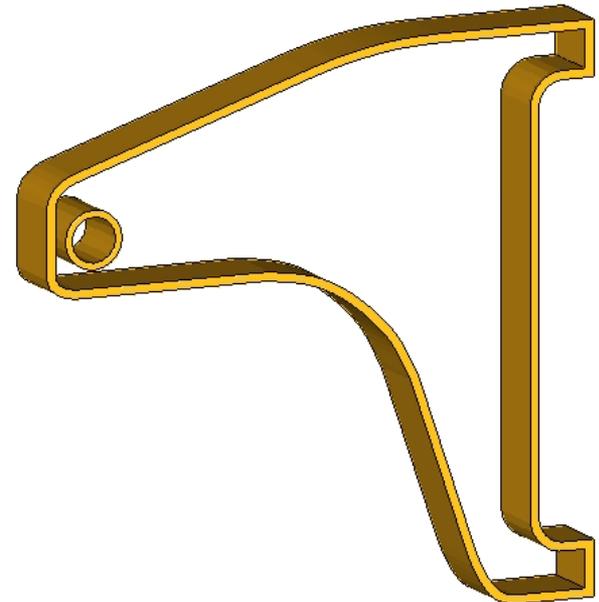
→ Topologieoptimierung führt auf Optimale Formen für Bauteile

Natürliche Vorbilder aus der Biologie:

Ein Baum wächst da, wo hohe Belastungen auftreten!

Ein Knochen wird da abgebaut, wo nur geringe Belastungen auftreten!

Computer
Algorithmus



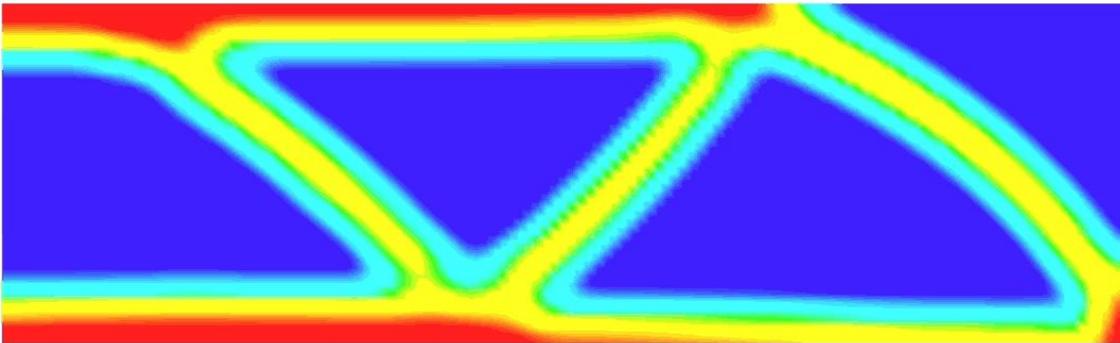
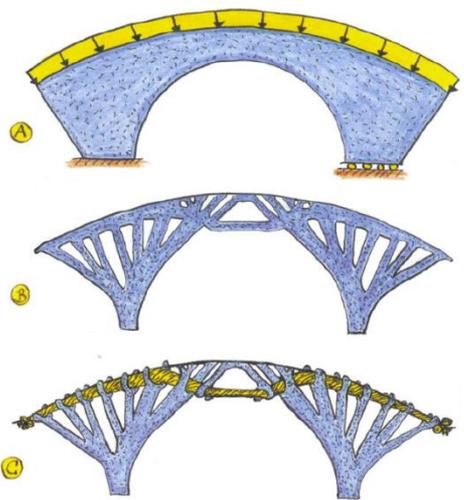
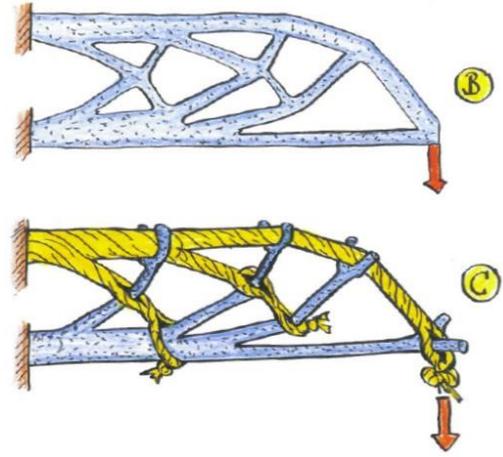
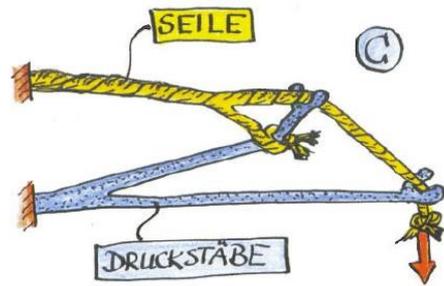
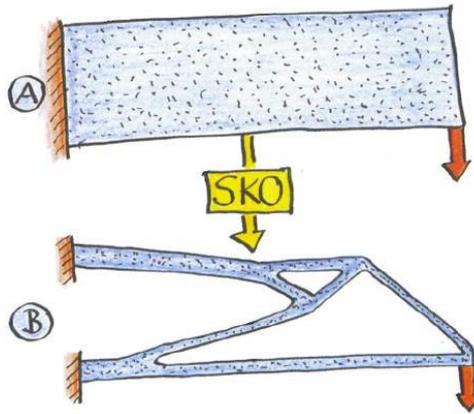
 **BASF**
The Chemical Company

**AK
G**

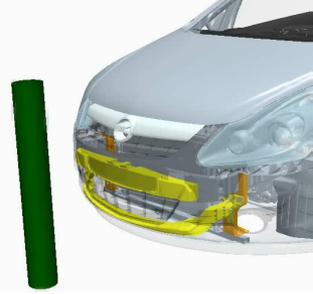
Bensheim

Topologieoptimierung

Weitere Beispiele

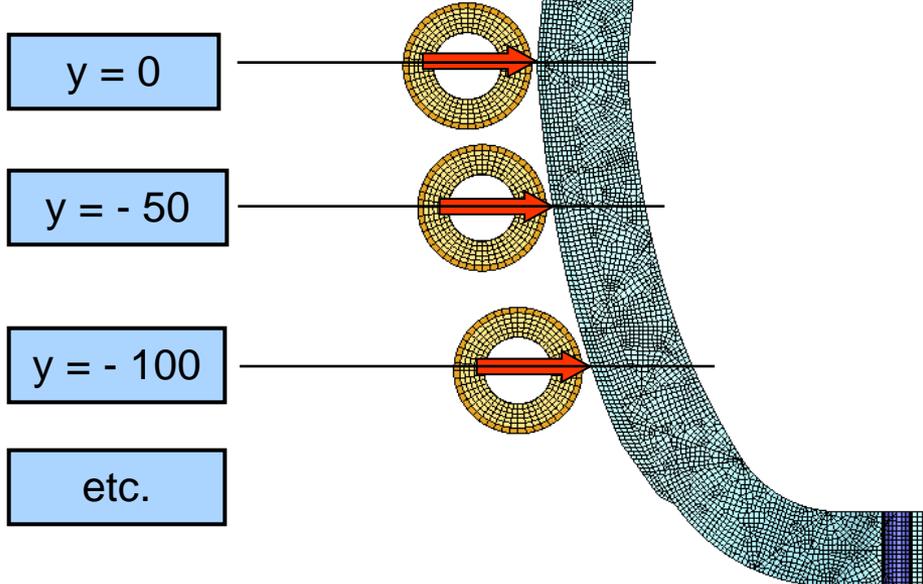


Bauteilentwicklung



Real World

Different impact positions in Lower Leg Test lead to different loadcases



Linear World

Static forces applied at different positions

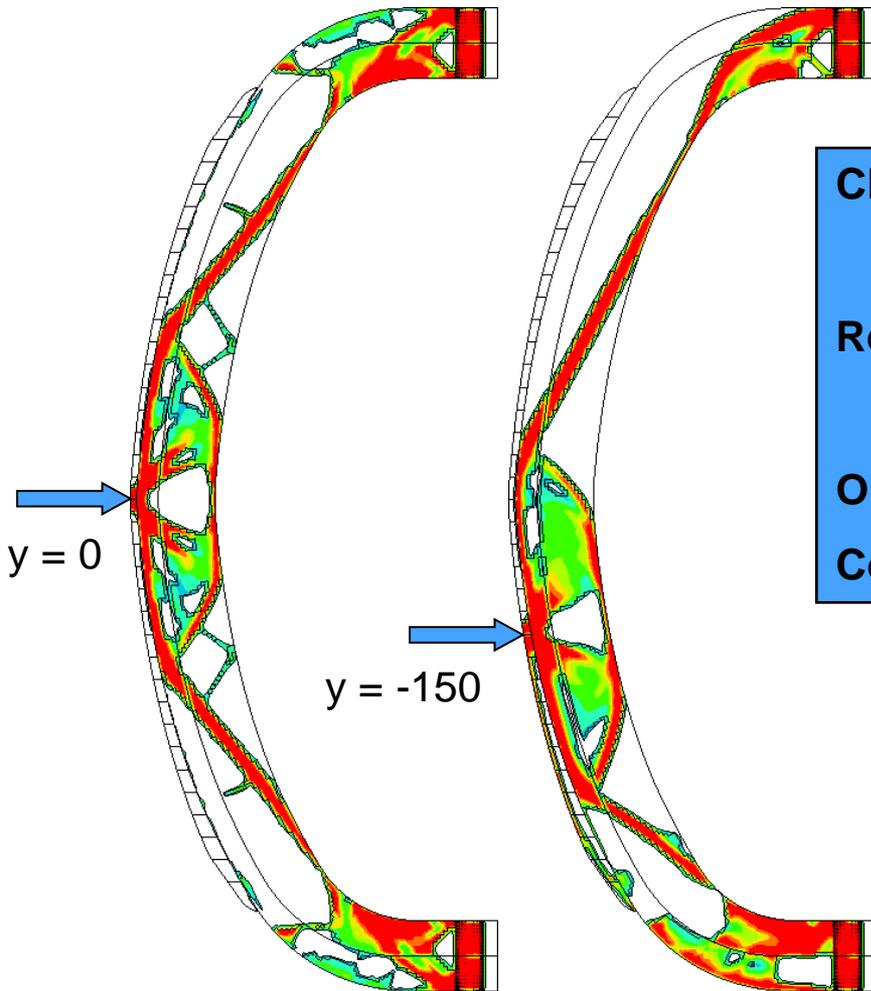
Loadcase 1: $y = 0$
Loadcase 2: $y = -50$

... ..

+ Perturbation Loadcases
(mostly based on experience)

- to account for buckling tendencies
- to improve robustness

Bauteilentwicklung



Classical Topology Optimization Problem Setup

Responses:

1. Compliance WCOMP

2. Volume Fraction VFRAC

Objective:

Minimize weighted compliance

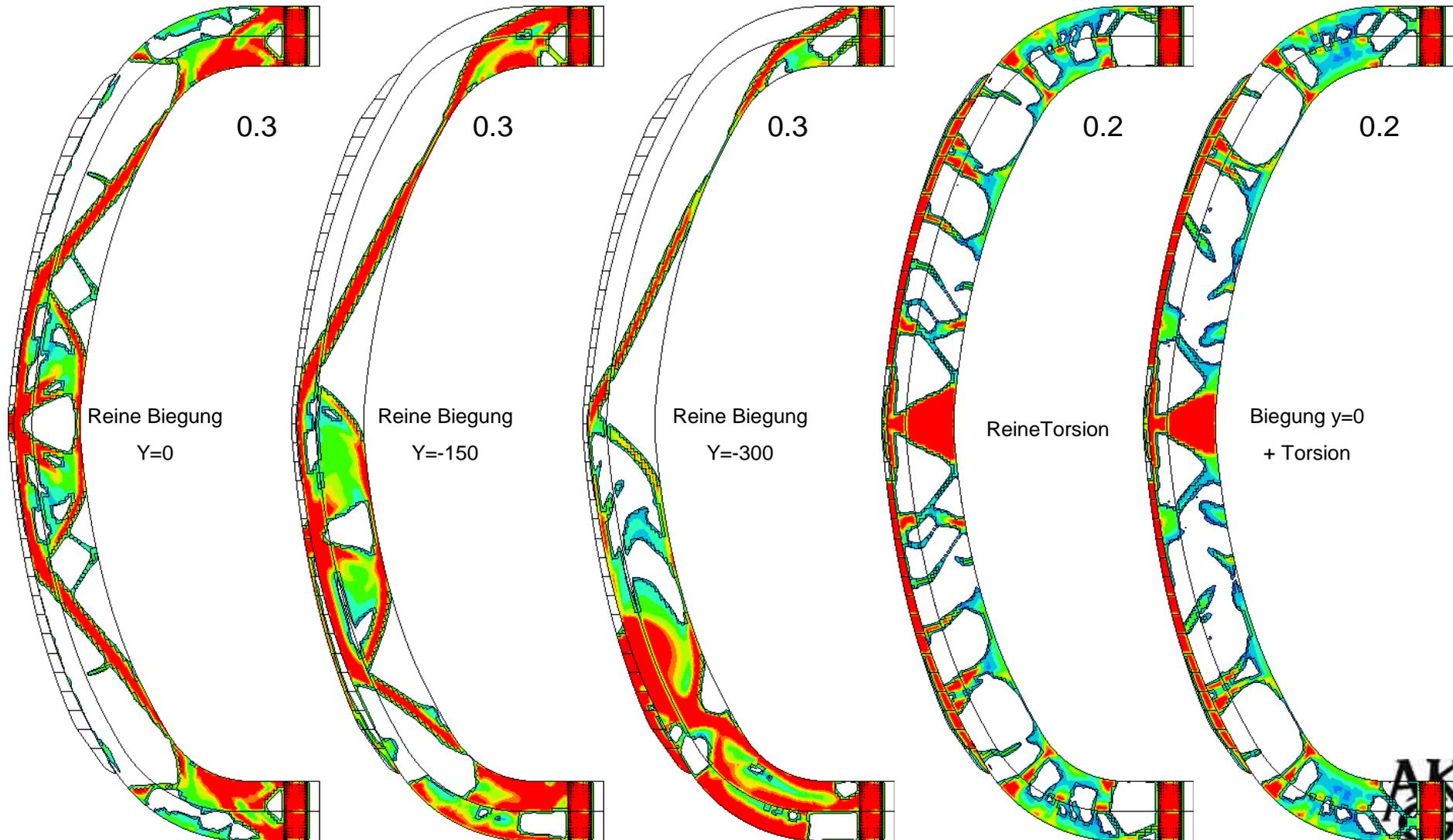
Constraint:

VFRAC < 0.3

OptiStruct gives clear hints for the rib pattern!

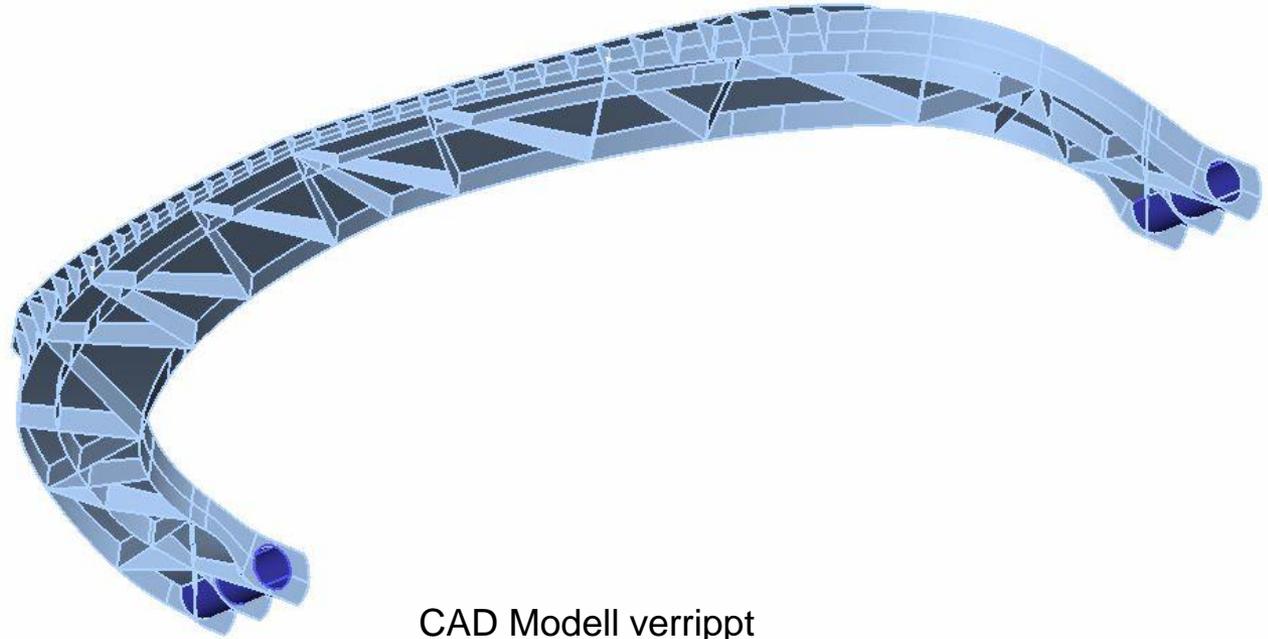
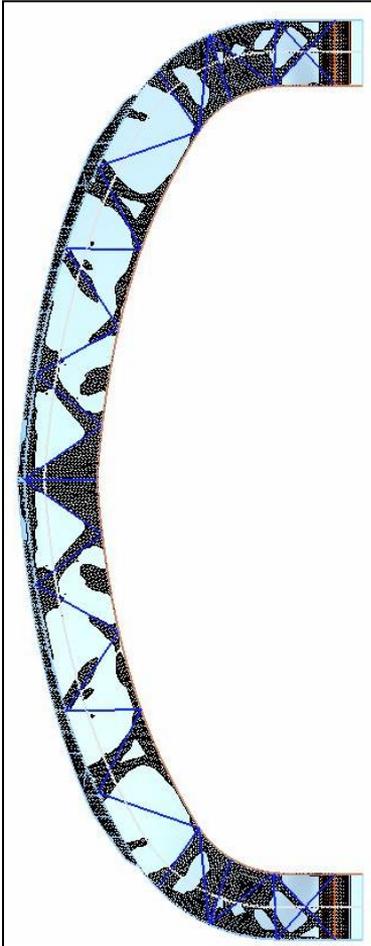
Vergleich der Ergebnisse

LBS-Epsilon II – Topologieoptimierung



Abgeleitete Struktur (CAD Modell)

Optimierung + CAD

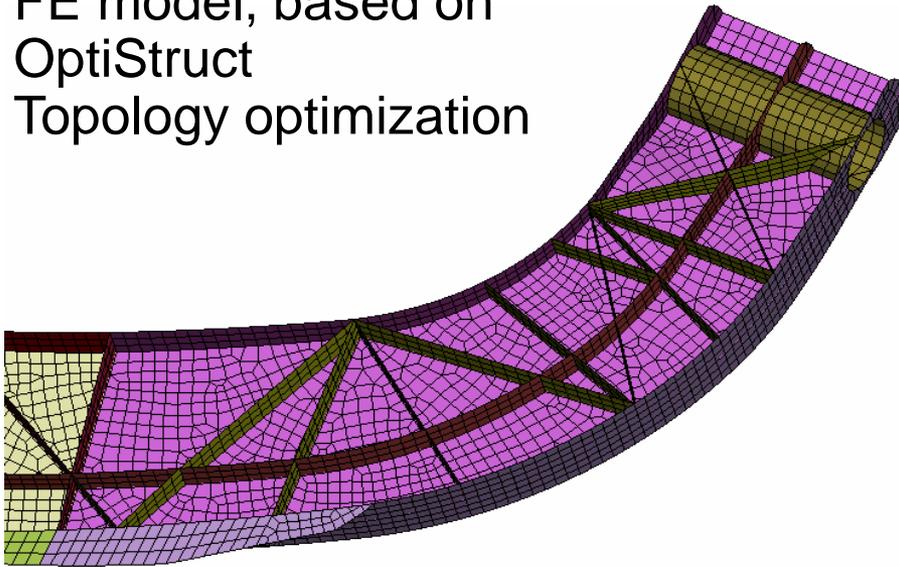


CAD Modell verrippt

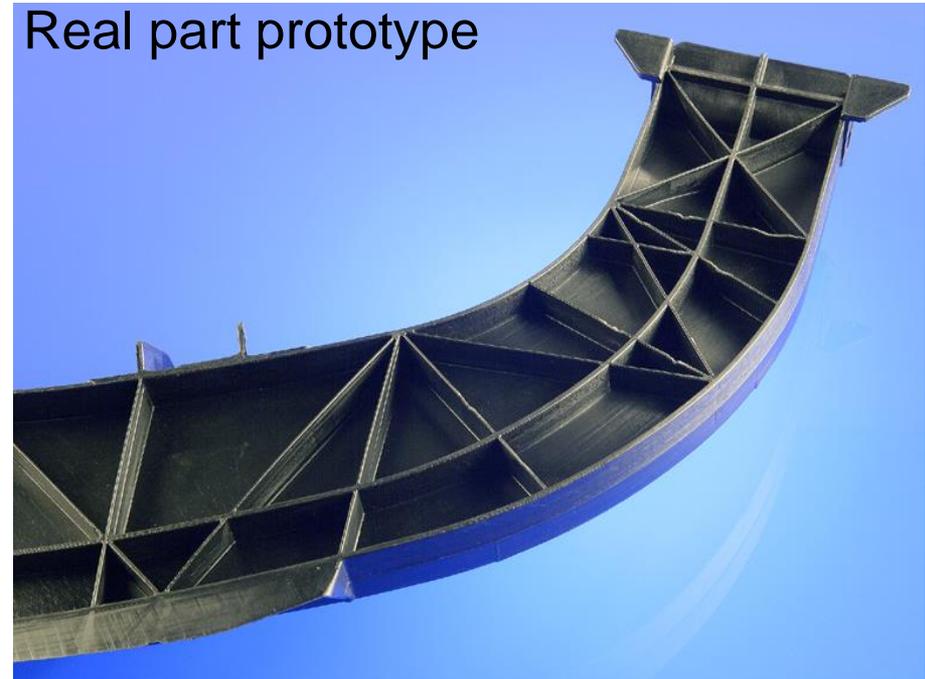
Bauteilentwicklung

Ausgeführtes Bauteil

FE model, based on
OptiStruct
Topology optimization

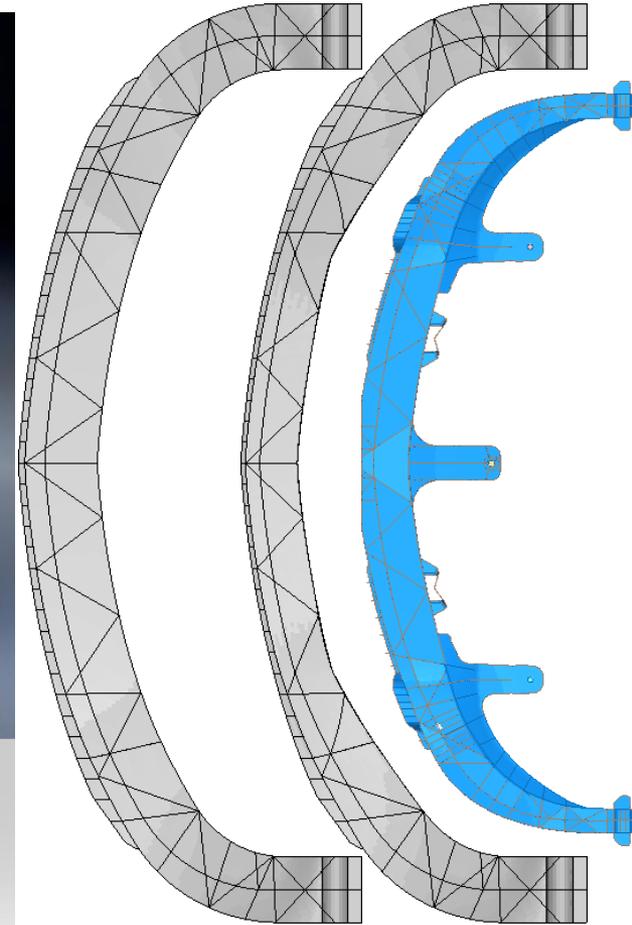


Real part prototype

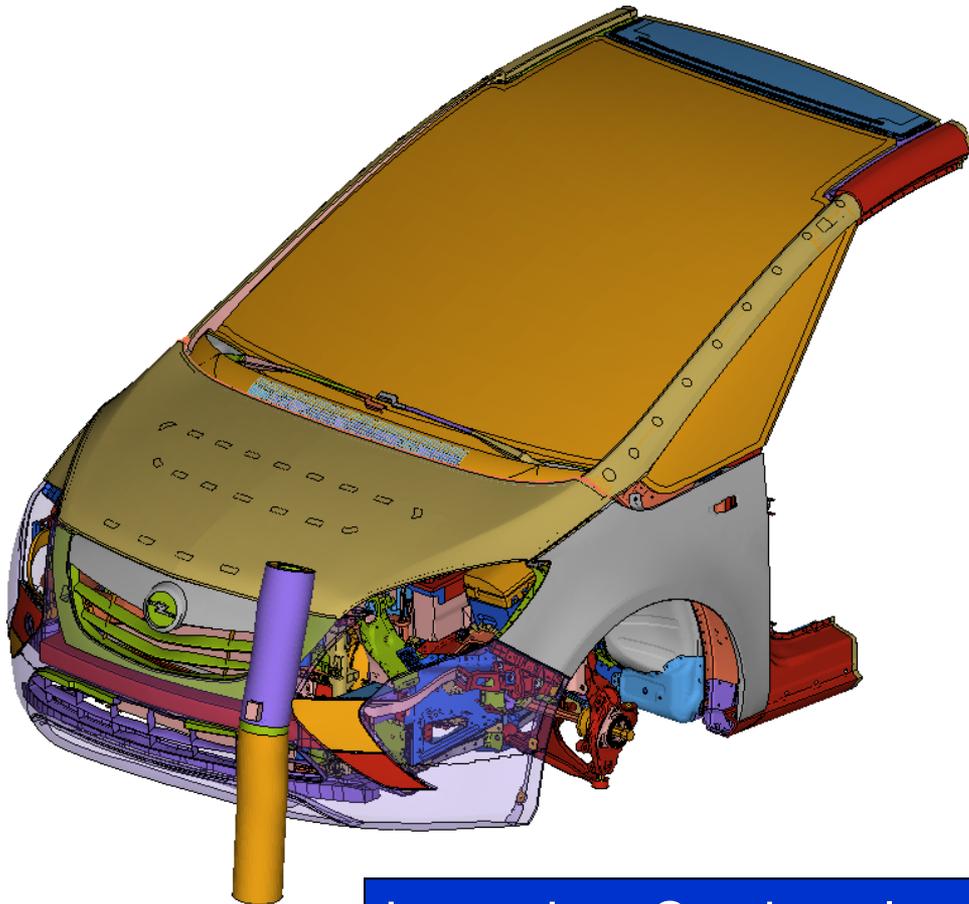


Part showed very good behavior in pedestrian protection test

Insignia LBS – Ultramid® B3WG6CR



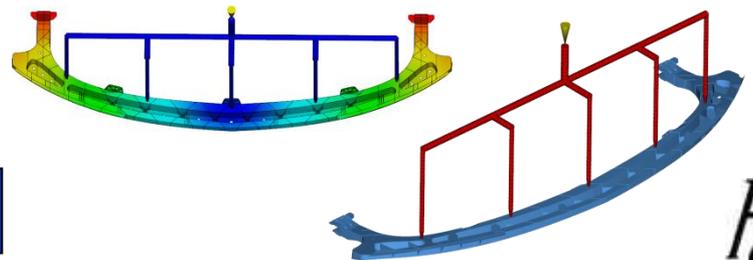
Zafira 2012 LBS



Lower Leg Crashanalyses



MOLDFLOW-Analyses



Summary

Was hat das Wachstum von Bäumen und Knochen mit dem besseren Schutz von Fußgängern bei Autounfällen zu tun?
... und was mit Maschinenbau?



Maschinenbauingenieur

Bauteil-entwicklung
• konstruktiv
• herstellung

Computeralgorithmen
• Simulation

Zum Schluss...

- Studium und Beruf des Maschinenbauingenieurs ist durch die Bearbeitung technischer Fragestellungen dominiert
- Interesse an Technik ist Voraussetzung
- Studium erfordert hohen Einsatz
- Spezialwissen veraltet schnell
- Tätigkeitsfelder des MB-Ingenieurs sind extrem vielfältig
- Berufsaussichten gerade in Deutschland sehr gut
- Gehaltsaussichten überdurchschnittlich

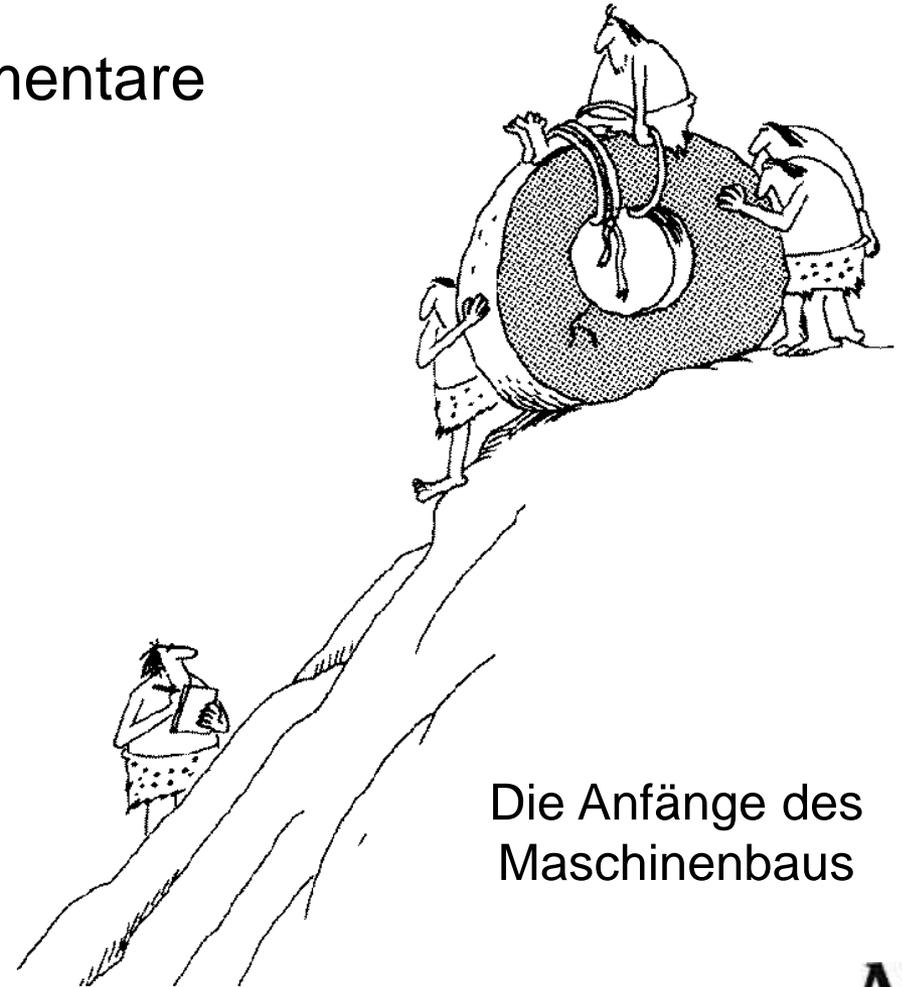
Mein Fazit: Ich habe es nicht bereut...

Diskussion

Fragen, Anmerkungen, Kommentare

?

!



Die Anfänge des
Maschinenbaus

