
$$\bar{\Pi} = \frac{1}{2} \sum_e \{u\}^T \cdot [K] \cdot \{u\} - \{u\}^T \cdot \{F\}$$

FEM SOFTWARE AND SERVICES



FEM-Simulation in der Medizin

Christoph Müller, CADFEM GmbH

ANSYS[®]

ANSYS Competence Center FEM

CADFEM[®]

Agenda

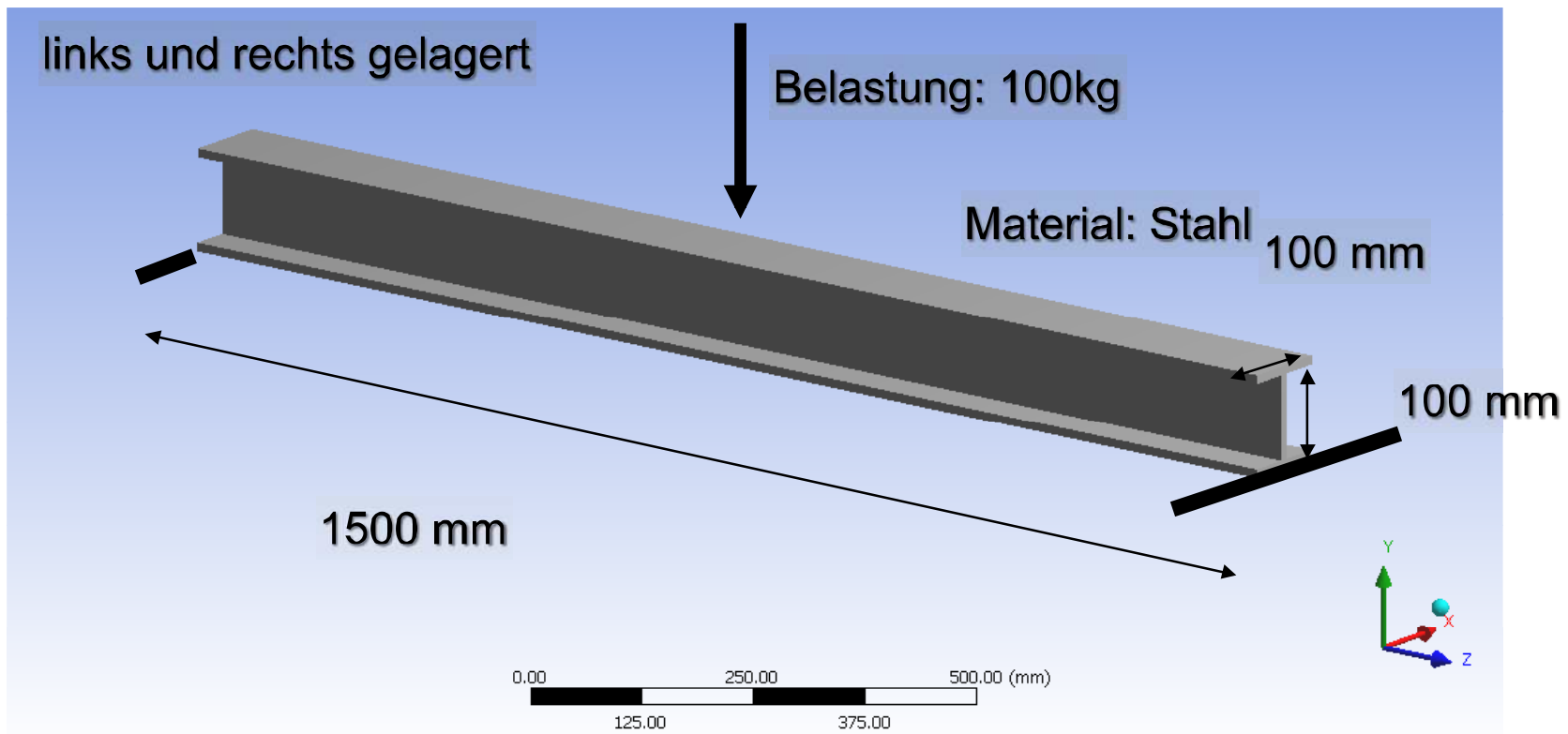
Session zur Simulation in Medizin und Biomechanik

- Mittwoch, 19. Oktober, Industriesession
 - FEM Simulation in der Medizin
 - CFD Simulation in der Medizin
 - Muskuloskelettale Simulation
 - Der Workflow: Von der anatomischen Struktur zum fertigen FEM-Modell
- Donnerstag, 20. Oktober, Anwendervorträge
 - Anwendervorträge auf der „caMe-Konferenz: Simulation Medizin und Biomechanik“
- Freitag, 21. Oktober, Kompaktseminar
 - Der Workflow: Von der anatomischen Struktur zum fertigen FEM-Modell
 - Ergebnisvorstellung des EU-Projektes: BIO-CT-EXPLOIT

Was ist FEM

Problembeschreibung

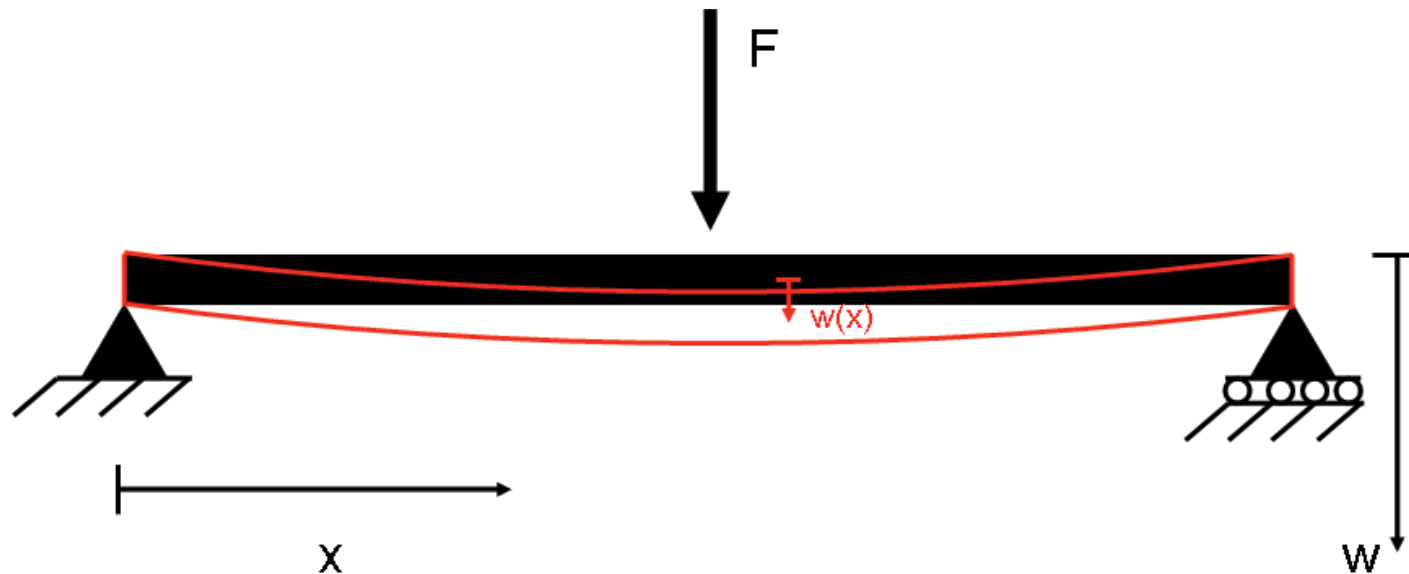
Wir möchten das physikalische Verhalten einer Struktur (z.B. Balken) unter Belastung bestimmen



Was ist FEM

Lösung:

Es wird eine mathematische Gleichung aufgestellt, mit der sich das gesuchte physikalische Verhalten beschreiben lässt



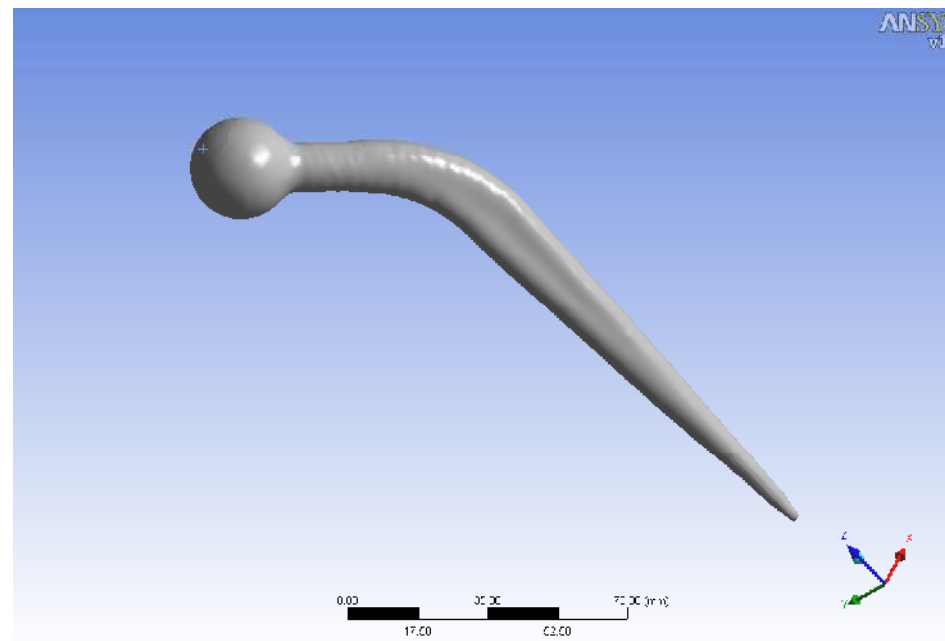
$$E \cdot I \cdot w''''(x) = q$$

$$w(x) = \frac{F}{12 \cdot E \cdot I} \left(\frac{\beta}{4} L^2 - x^2 \right) x$$

Was ist FEM

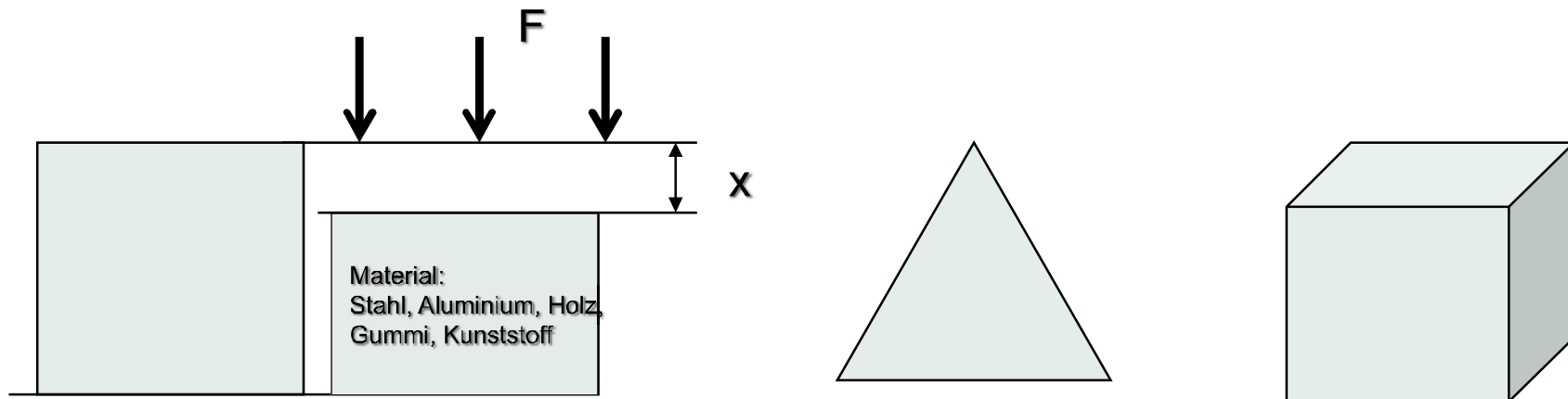
Problem:

Es existieren keine mathematischen Gleichungen um beliebige Geometrien physikalisch beschreiben zu können.



Was ist FEM

Aber ...

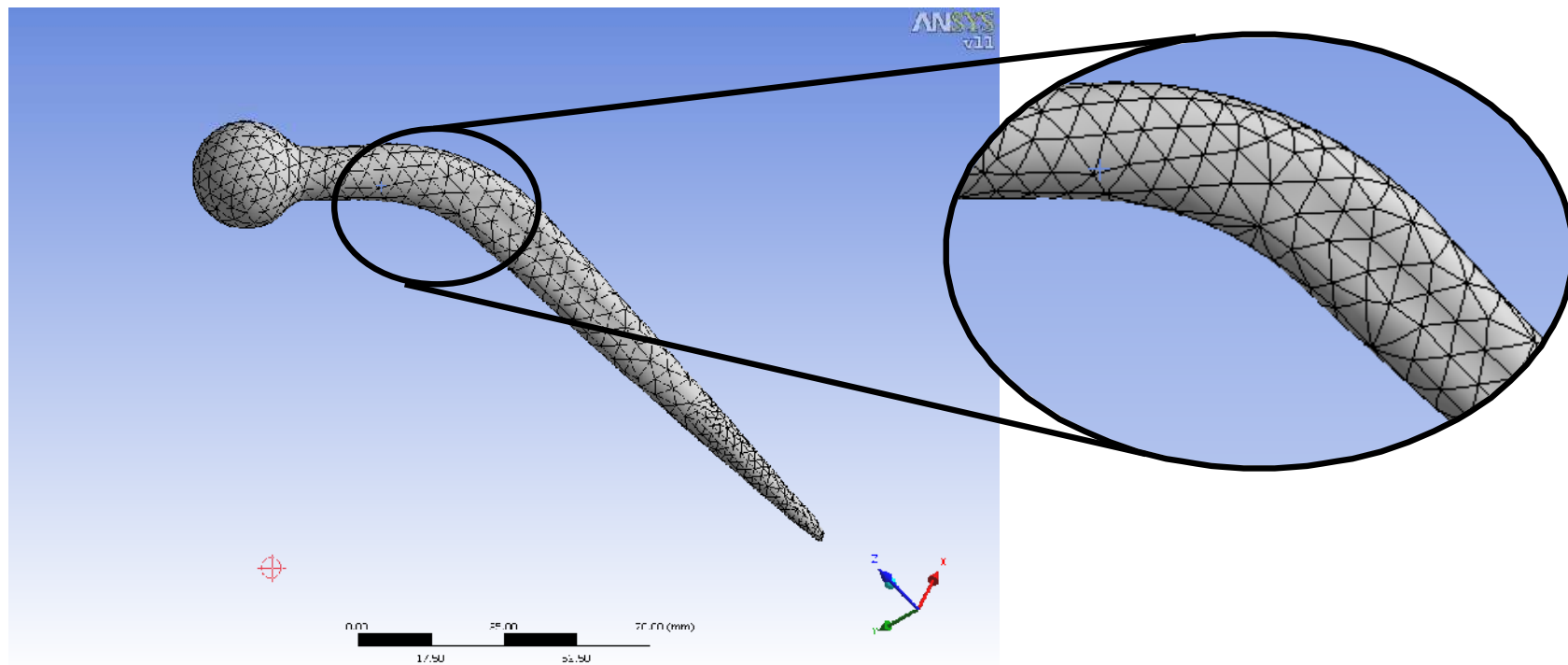


... das physikalische Verhalten einfacher Geometrien kann mathematisch beschrieben werden

Was ist FEM

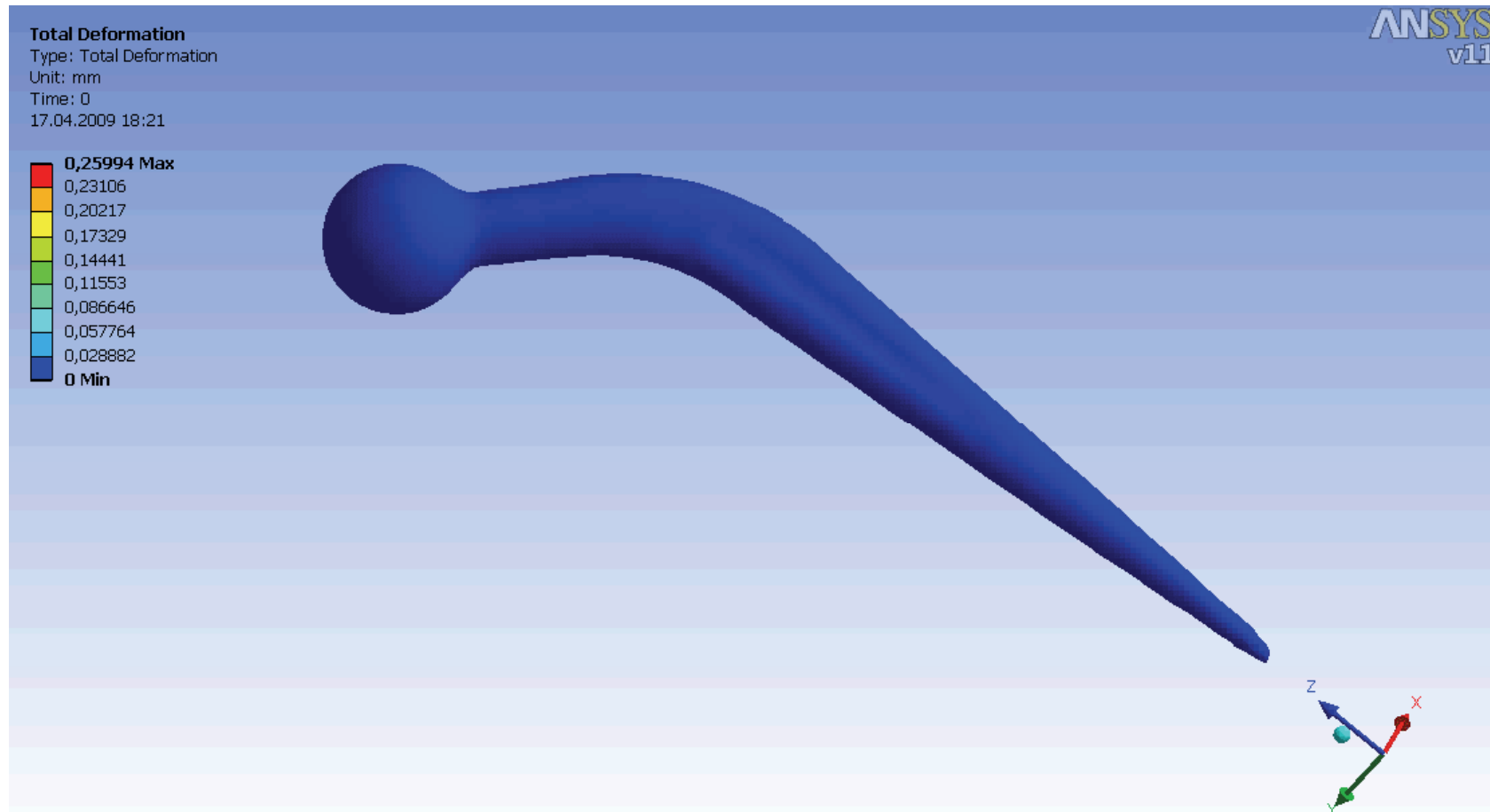
Lösung: Finite Element Methode

Unterteilung der Geometrie in kleine Grundkörper (Finite Elemente), die *lokal* das physikalische Verhalten beschreiben. Die Summe aller Elemente ergibt das physikalische Verhalten der *gesamten* Struktur.



Was ist FEM

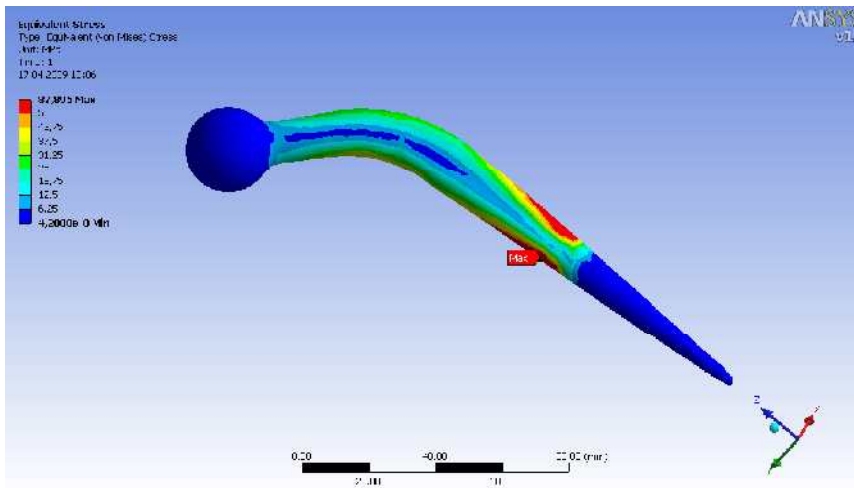
Ergebnisse



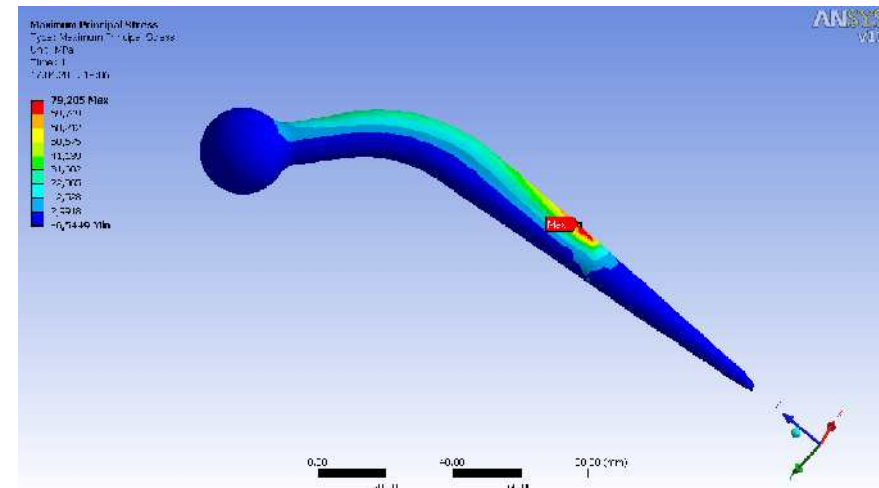
Was ist FEM

Vorteile

- Untersuchung von verschiedenen Belastungsszenarien
- Untersuchung von verschiedenen Geometrien
- Untersuchung von verschiedenen Materialien

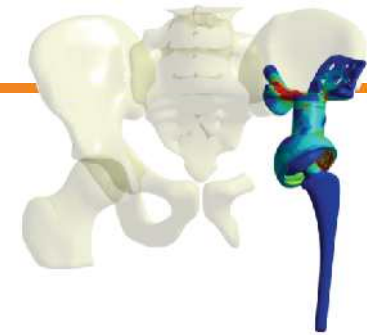
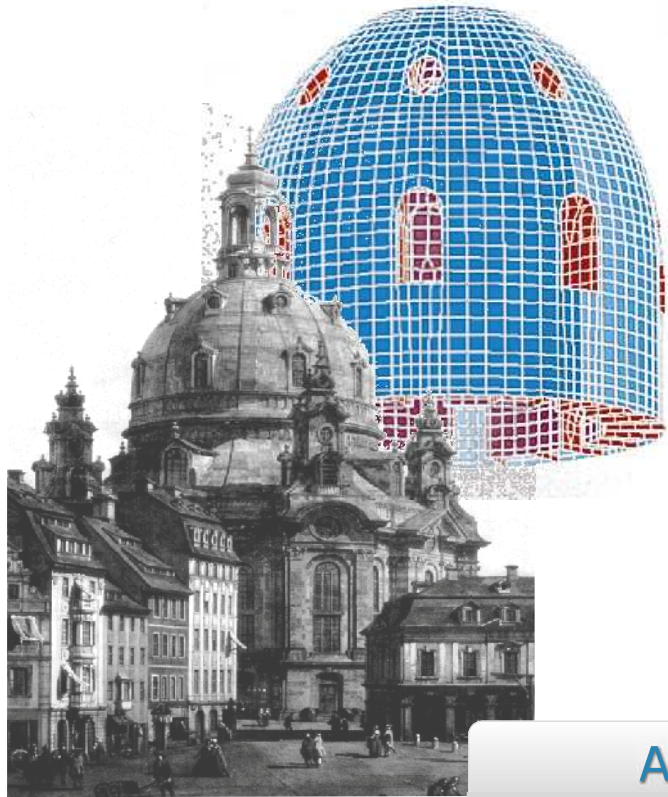


Kritische Stellen der Konstruktion bei Titan



Kritische Stellen der Konstruktion bei Keramik

Anwendungsgebiete der FEM



Medizin

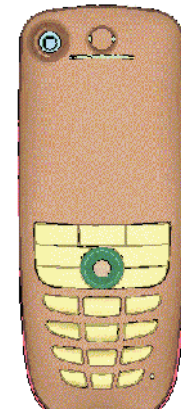
Elektronik

Konsumgüter

Maschinenbau

Automobil

Luft- und Raumfahrt, Bauwesen



1960

1970

1980

1990

2000

2010

CAD/FEM

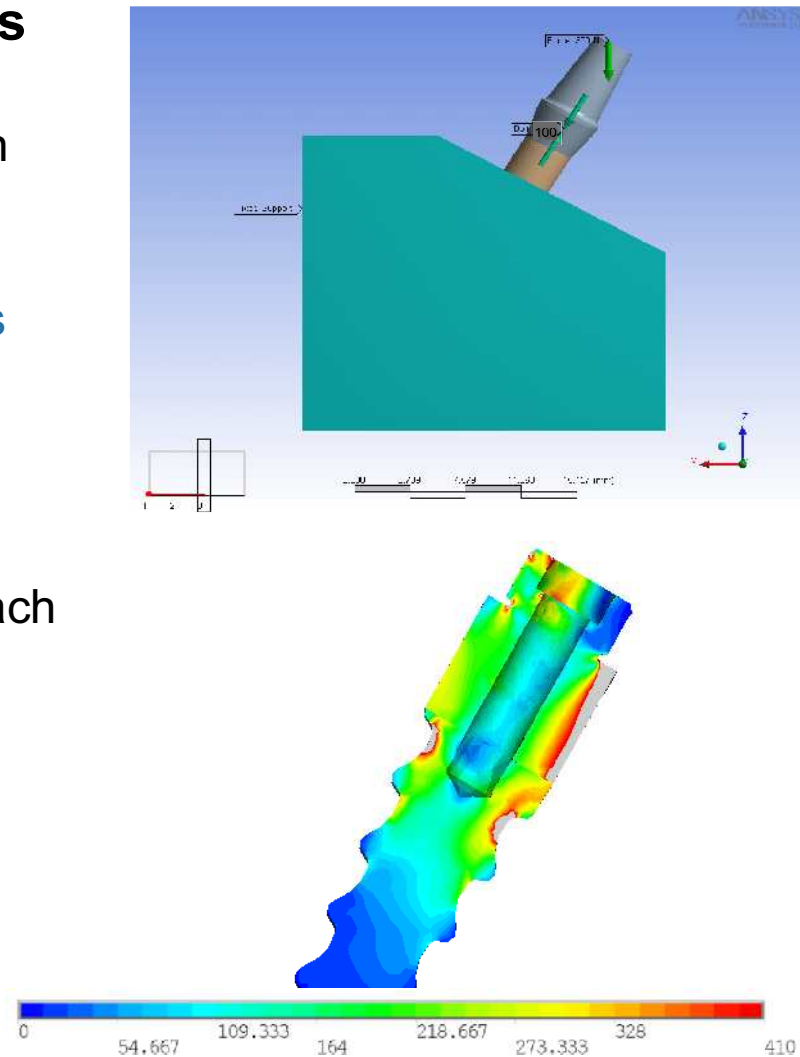
Product validation against a DIN norm

- Hip Implant:
 - Dynamic fatigue test, ISO 7206-4, 6, und 8
 - Torsion test, ISO 7206-9
 - Etc.
- Knee Implant
 - Stiffness test, ASTM F1223
 - Surface pressure, ASTM F2724
 - Dynamic fatigue tests, e.g. ISO 14879
- Spine Implant
 - Component test, ASTM F2193
- Shoulder Implant
 - Shear test, ASTM F1829
- Osteosynthesis
 - Plates (ASTM 384), screws (ASTM F543), fixtures (ASTM F1541)
- Stents
 - Dynamic fatigue test, Supporting force, spring back, etc. EN 14299

Anwendungsgebiete der FEM: Medizintechnik

Optimierung eines Dental Implantates

- DIN EN ISO 14801: 2 Millionen Lastzyklen
- Untersuchung verschiedener Designs
 - Verformungsverhalten des Implantates
 - Identifizierung von Spannungskonzentrationen
 - Einfluss von Konstruktionsänderungen
- Auf Antrieb erfolgreiche Dauerfestigkeit nach DIN EN ISO 14801

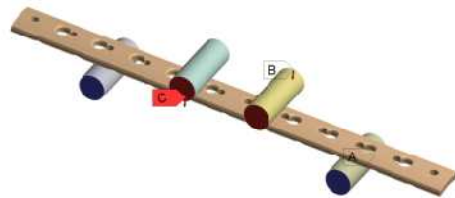


Anwendungsgebiete der FEM: Medizintechnik

Lebensdauersimulation nach ASTM-F382-99 bzw. ISO-7206

H: Static Structural (ANSYS)
Abbildung
07.05.2010 15:21

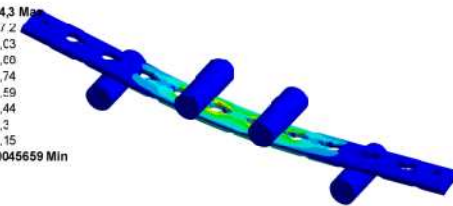
- A Fixierte Lagerung
- B Verschiebung
- C Verschiebung 2



0,00 25,00 50,00 (mm)
12,50 37,50

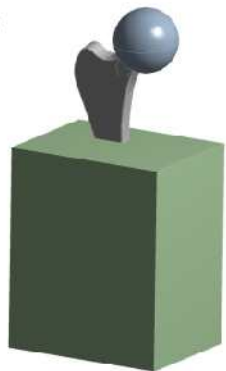
H: Static Structural (ANSYS)
Abbildung
Typ: Vergleichsspannung (von Mises)
Einheit: MPa
Zeit: 1
07.05.2010 15:21

1144,3 Max
1017,2
890,03
702,00
635,74
508,59
381,44
254,3
127,15
0,00045659 Min



0,00 25,00 50,00 (mm)
12,50 37,50

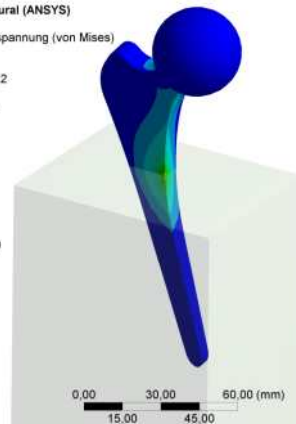
Abbildung 3
Betriebsfestigkeits-Tool
06.05.2010 12:11



0,00 40,00 80,00 (mm)
20,00 60,00

B: Static Structural (ANSYS)
Abbildung
Typ: Vergleichsspannung (von Mises)
Einheit: MPa
Zeit: 1
06.05.2010 12:12

539,57 Max
479,63
419,7
359,77
299,83
239,9
179,97
120,03
60,101
0,16744 Min



0,00 30,00 60,00 (mm)
15,00 45,00

Validierung von Einzelanfertigungen gegen eine Norm

- DIN EN ISO 22675 / DIN EN ISO 10328
- Überprüfung verschiedener Materialien
- Überprüfung verschiedener Geometrien

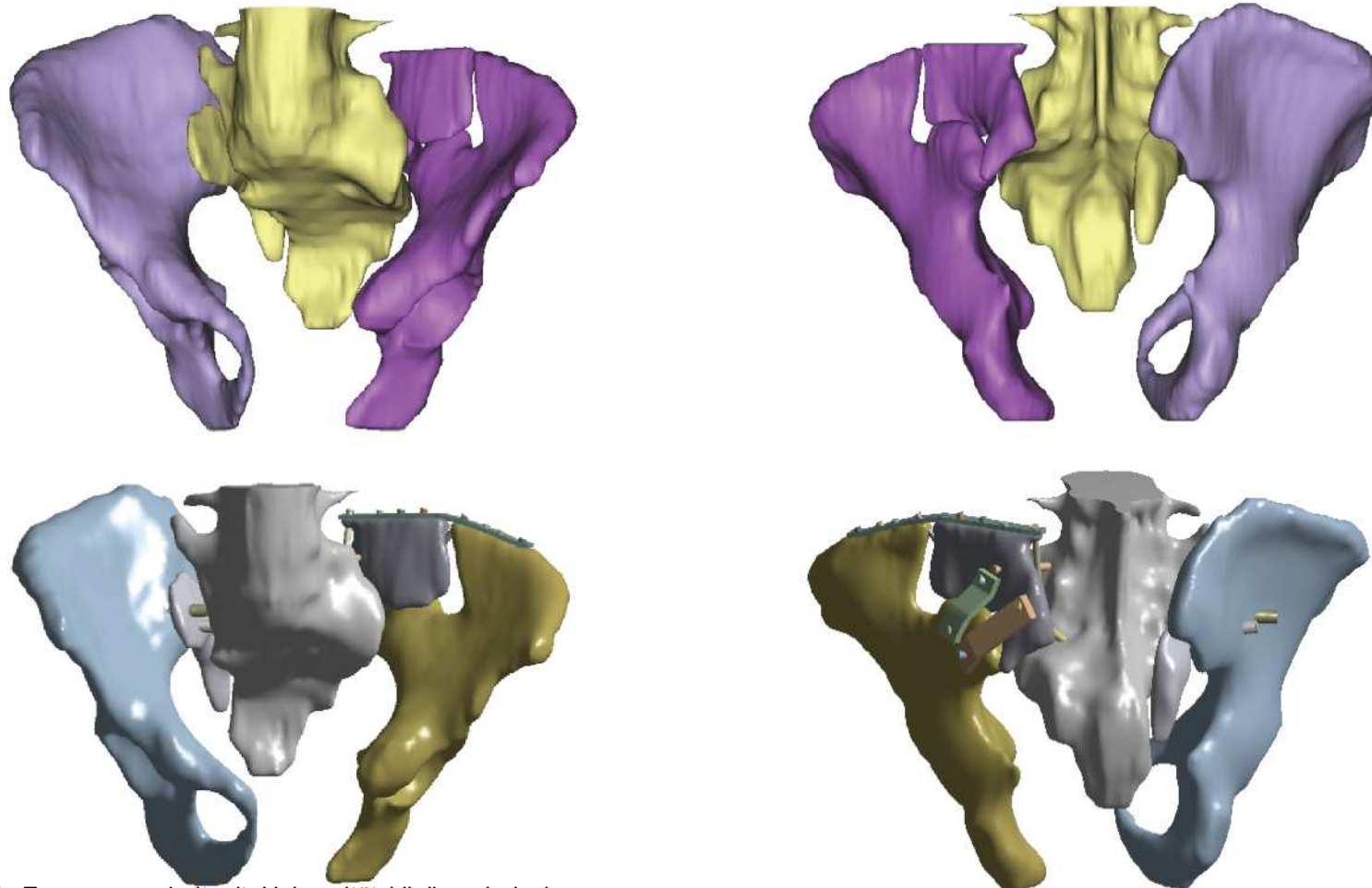


Quelle: Fraunhofer, Gottinger



Anwendungsgebiete der FEM: Medizin

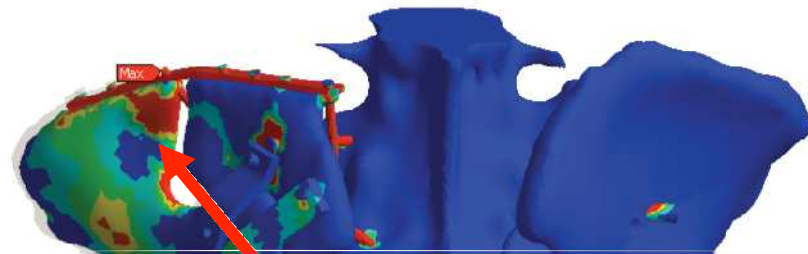
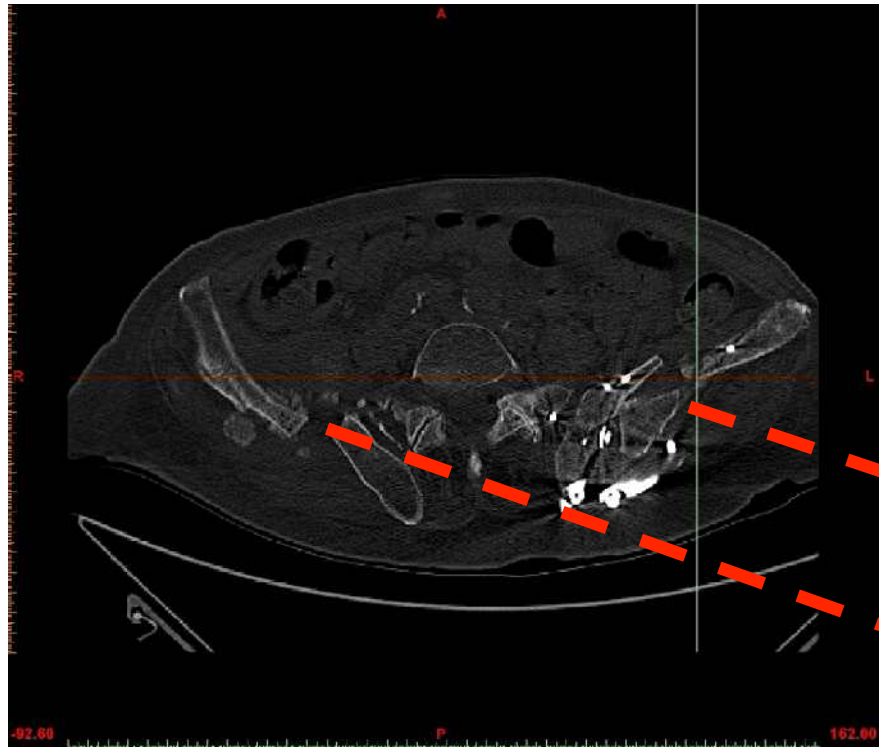
FEM Simulation einer Beckenringfraktur



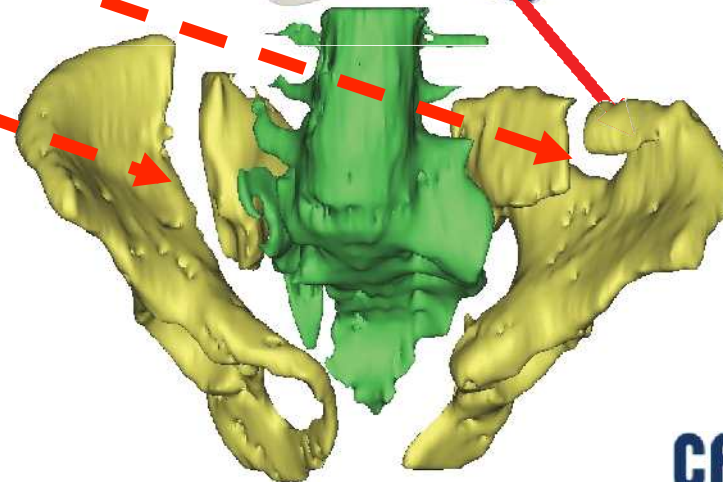
In Zusammenarbeit mit: Universitätsklinikum Leipzig

Anwendungsgebiete der FEM: Medizin

FEM Simulation einer Beckenringfraktur

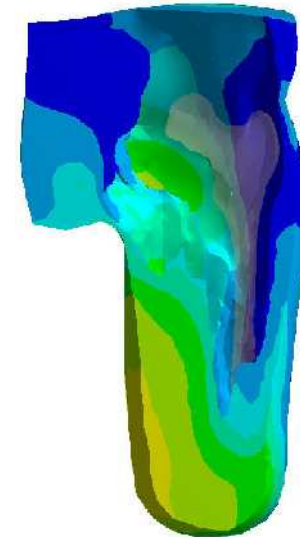
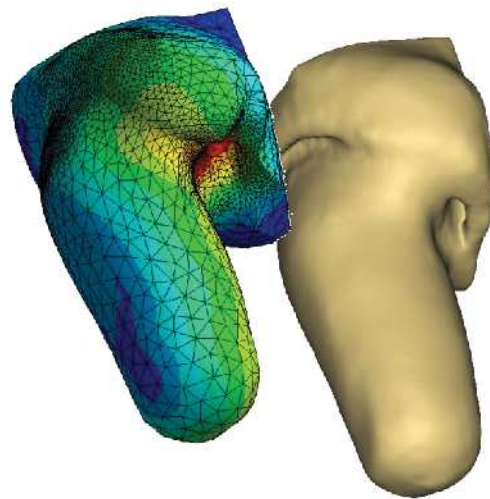
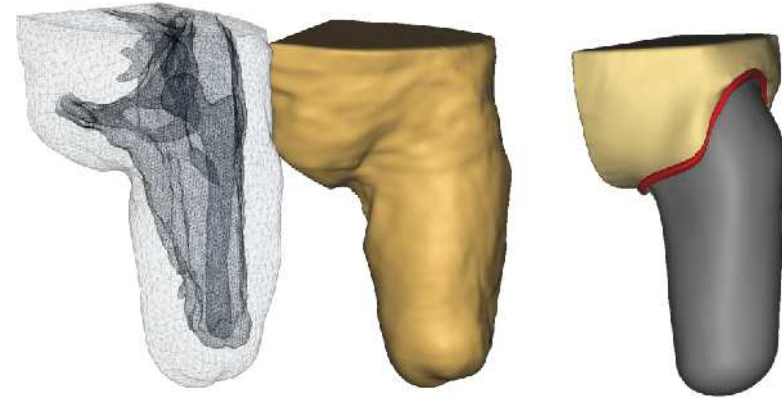
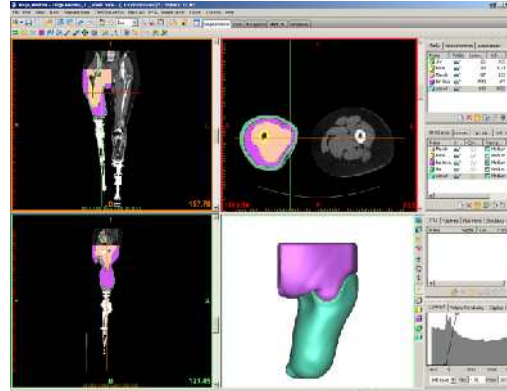


Session:
Donnerstag, 14:30 Uhr – 15:00 Uhr



Anwendungsgebiete der FEM: Medizin

Patienten-spezifische Simulation von Prothesenschäften

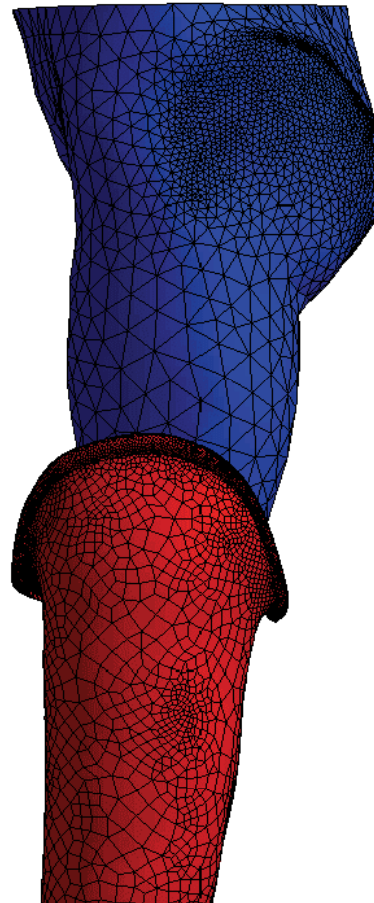
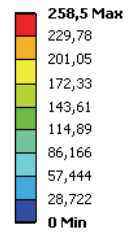


Gefördert von: BFS, AZ-809-08

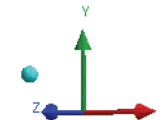


Anwendungsgebiete der FEM: Medizin

F: fat 0,00286 100%
Gesamtverformung
Typ: Gesamtverformung
Einheit: mm
Zeit: 6
27.09.2010 08:54



ANSYS
v12.1



Gefördert von: BFS, AZ-809-08



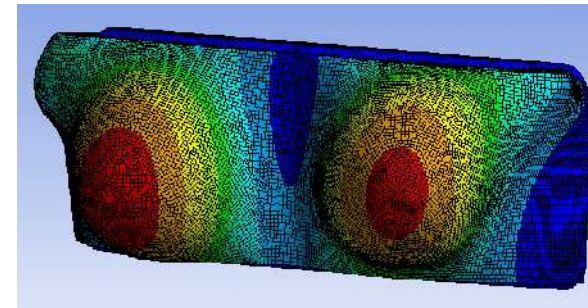
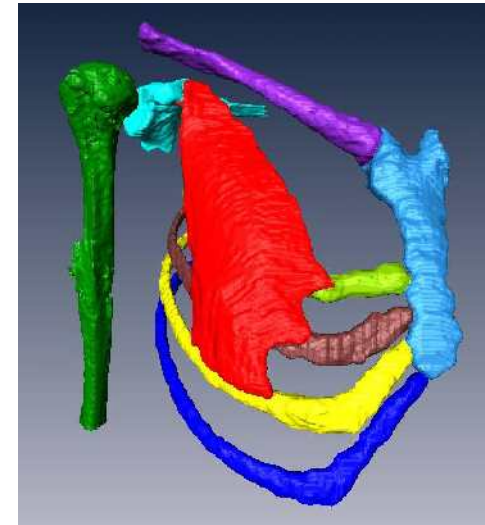
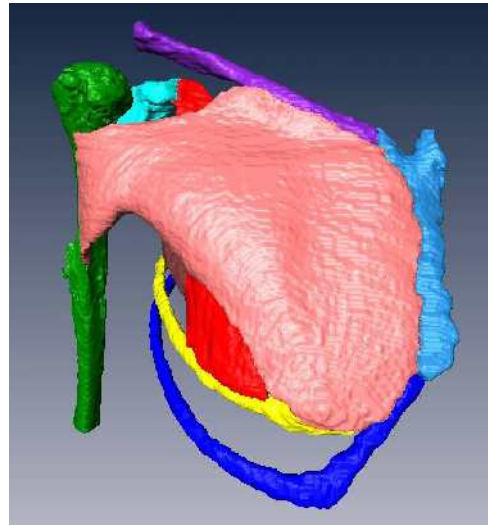
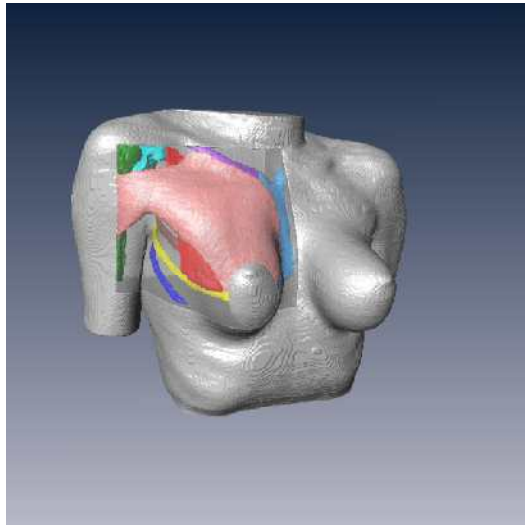
Materialise
Software

GOTTINGER

CADFEM

Anwendungsgebiete der FEM: Medizin

Patienten-spezifische Brustsimulation



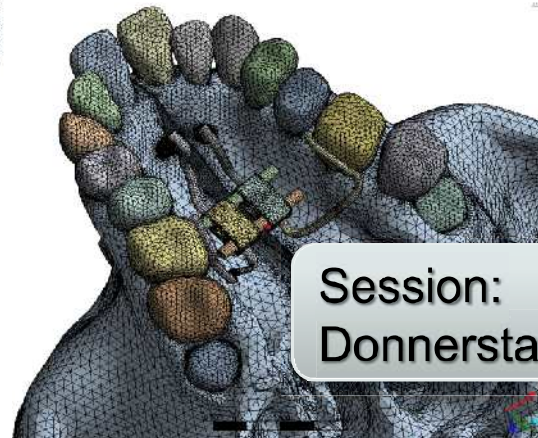
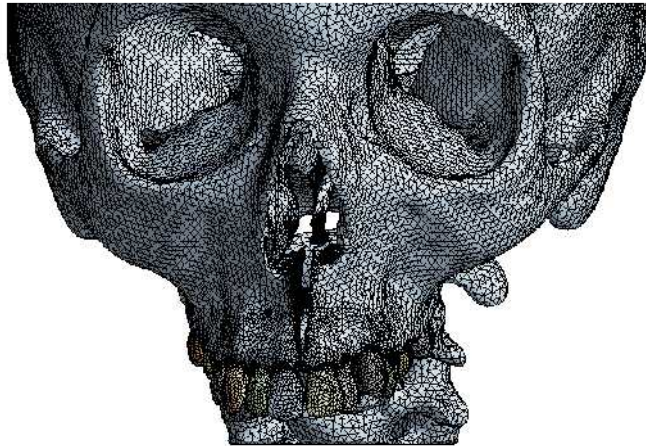
Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Gefördert von: BMWi, InnoNet

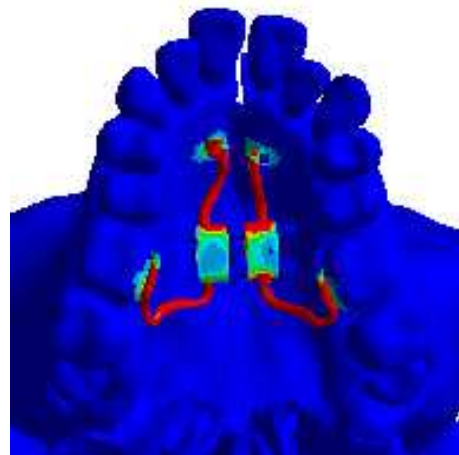
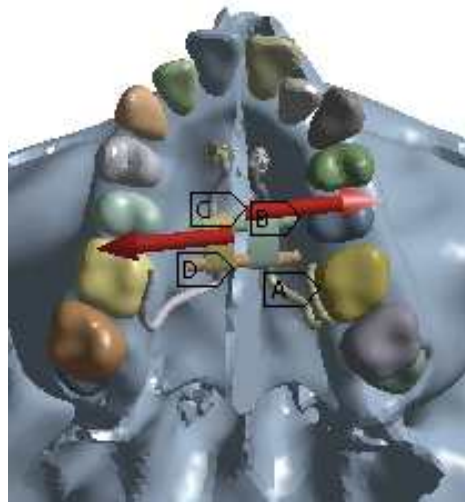


Anwendungsgebiete der FEM: Medizin

Patienten-spezifische Simulation einer Gaumennahterweiterung



Session:
Donnerstag, 09:30 Uhr – 10:00 Uhr



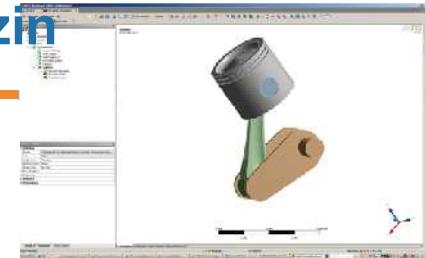
In Zusammenarbeit: Dr. Björn Ludwig, Kieferorthopädie Mosel

Herausforderungen der FEM in der Medizin

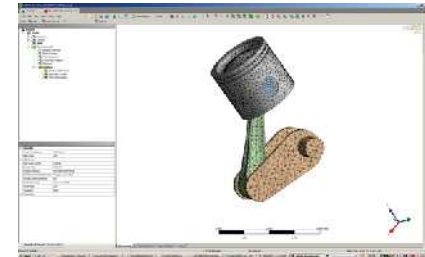
FEM Simulation in der Industrie

- FEM Simulation ist Bestandteil des Entwicklungsprozesses
 - Workflow vom Geometrieimport, der Vernetzung und der Simulation funktioniert
 - Randbedingungen sind in der Regel definiert, z.B.: Crahstest oder DIN-Norm
 - Häufig verwendete Materialien wie z.B. Metalle sind gut beschrieben
 - Die Ergebnisse stimmen → Hohe Akzeptanz bei den Ingenieuren

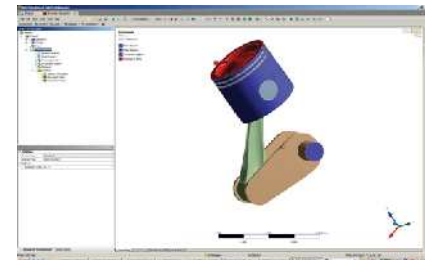
Geometrieerstellung



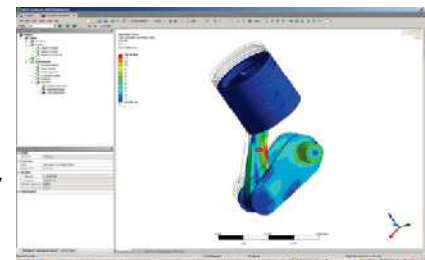
b) Vernetzung



c) Randbedingungen und Materialgesetze



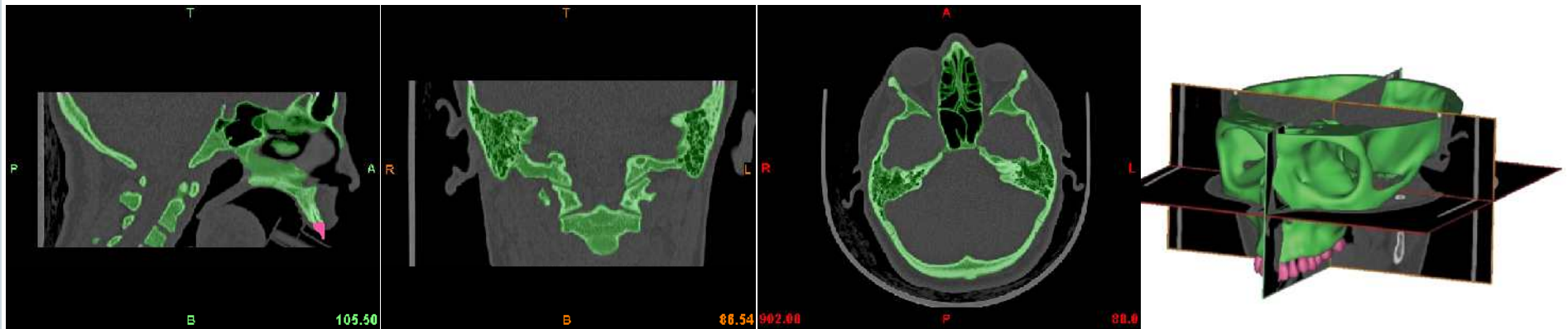
d) Auswertung der Ergebnisse



Herausforderungen der FEM in der Medizin

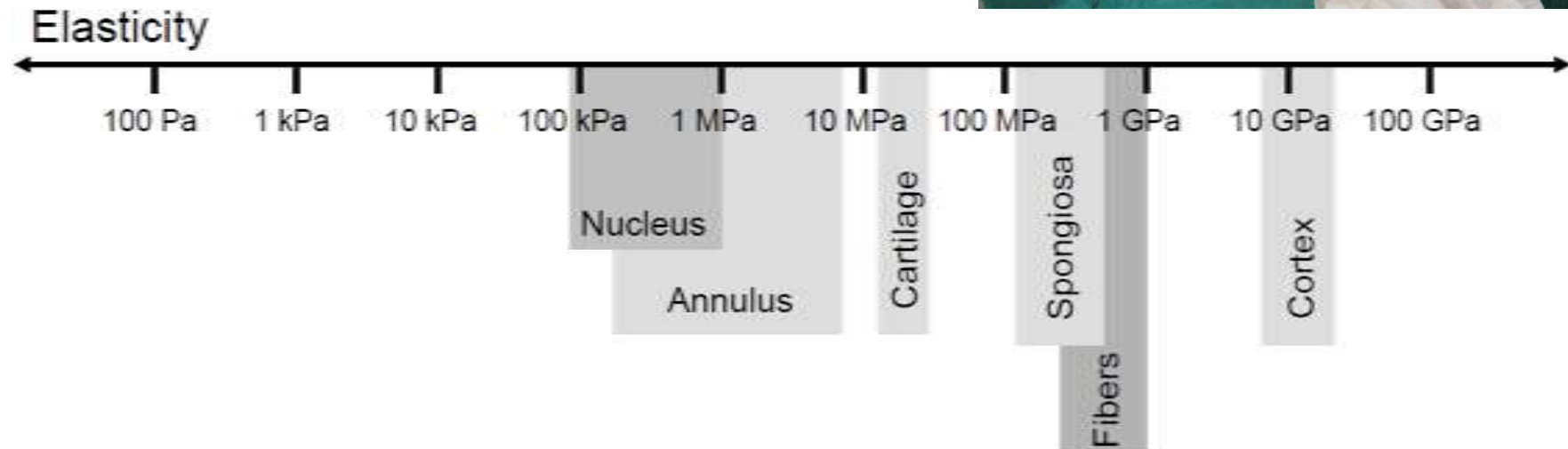
Geometrieerstellung/Vernetzung

- Die anatomischen Strukturen werden nicht „konstruiert“, sondern existieren bereits
- 3D-bildgebende Verfahren (CT/MRT) sind notwendig
- Segmentierungssoftware ist erforderlich um aus den Bilddaten 3D-Geometrien zu erzeugen
- „Besondere“ Vernetzungsverfahren sind erforderlich um aus den 3D-Geometrien FEM-Netze zu erzeugen



Herausforderungen der FEM in der Medizin

Materialeigenschaften

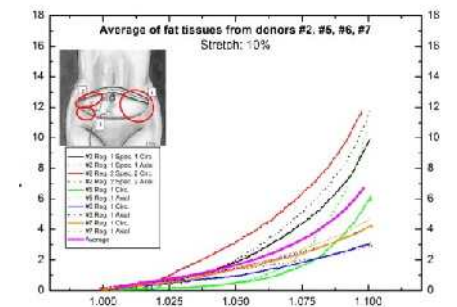
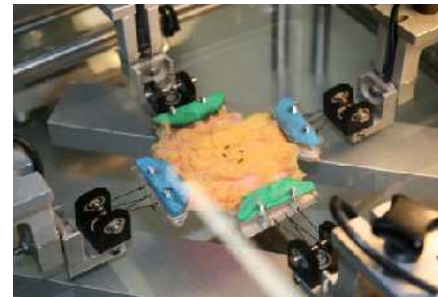


Quelle: Hendrik Schmidt, Institute of Orthopedic Research and Biomechanics, Center of Musculos-Skeletal Research, University of Ulm

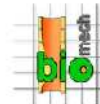
Herausforderungen der FEM in der Medizin

Bestimmung von Weichgewebe

- Materialproben sind beim Testen nicht frisch
- Material wie Fett ist sehr schwer zu handhaben
- Besondere Testverfahren sind notwendig
- Material ist hochgradig nicht-linear
- Material ist orthotrop/anisotrop(?)
- Materialeigenschaften variieren von Person oder anatomischer Lage



In Kooperation mit:

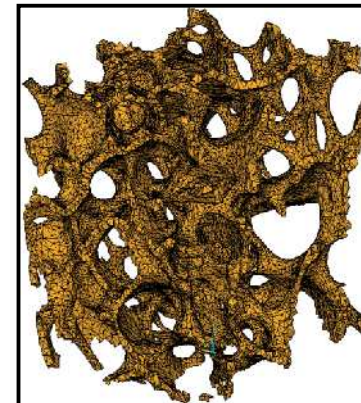
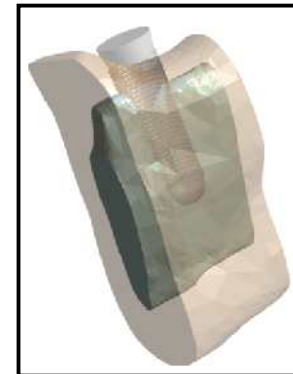
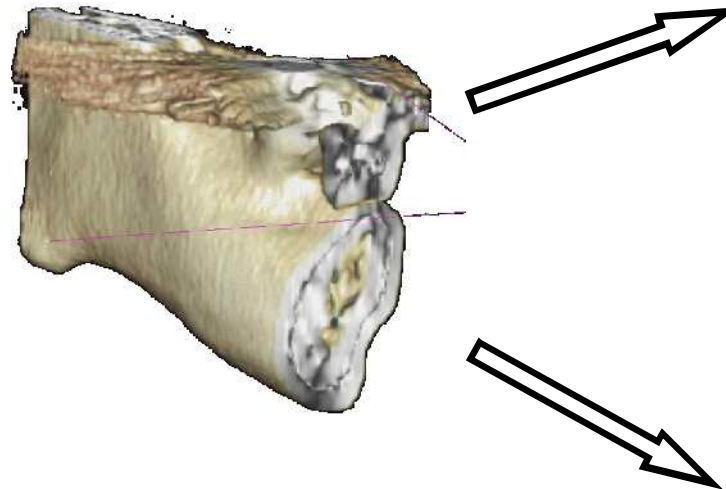
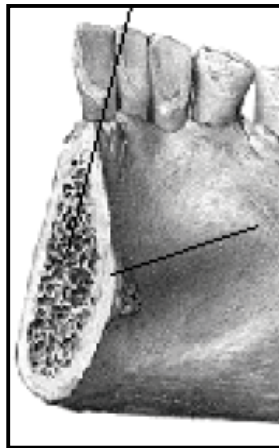


Institut für Biomechanik
Zentrum für Biomedizinische Technik
Vorstand: Universitätsprofessor
Dipl.-Ing. Dr.techn. Gerhard A. Holzapfel



Modellierung von Hartgewebe (Knochen)

- Knochen besteht aus zwei Teilen: Kompakta und Spongiosa
 - Kompakta ist ein dichtes, kompaktes Gewebe
 - Spongiosa ist ein „schaumartiges“ Gewebe



Herausforderungen der FEM in der Medizin

Modellierung von Hartgewebe (Knochen)

- Mapping der Hounsfield-Units (HU) als Steifigkeit auf die Elemente

Session:

Donnerstag, 15:00 Uhr – 15:30 Uhr



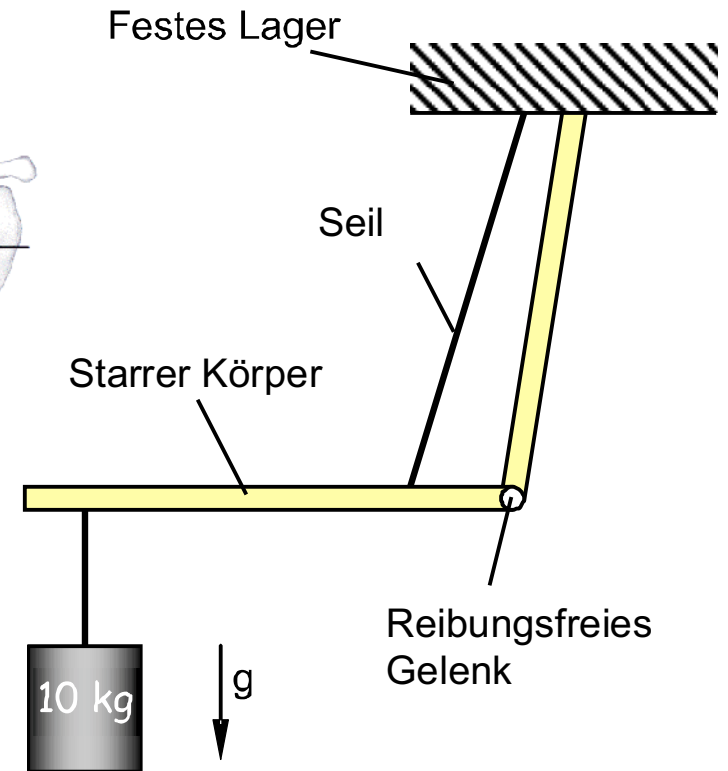
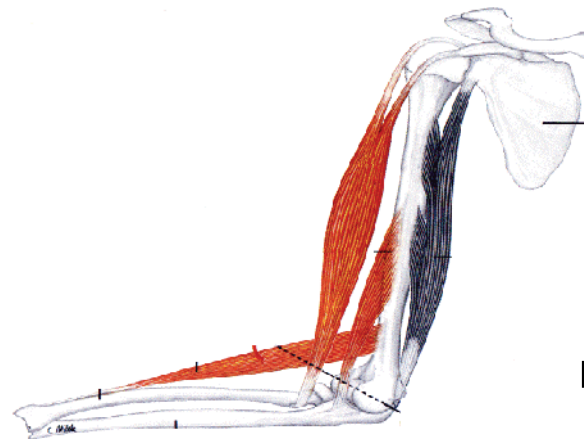
$$\rho = 1000 + 0,5455 \cdot HU^1 \left[\text{kg/m}^3 \right]$$

$$E = -23970 + 24 \cdot \rho^1 \left[\text{N/mm}^2 \right]$$



Herausforderungen der FEM in der Medizin

Randbedingungen

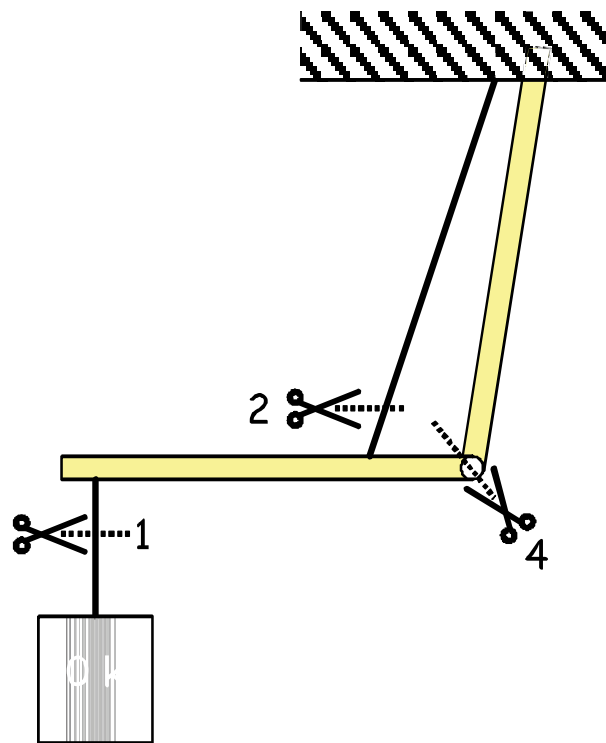


Quelle: Dr.-Ing. Ulrich Simon, Universität Ulm

Herausforderungen der FEM in der Medizin

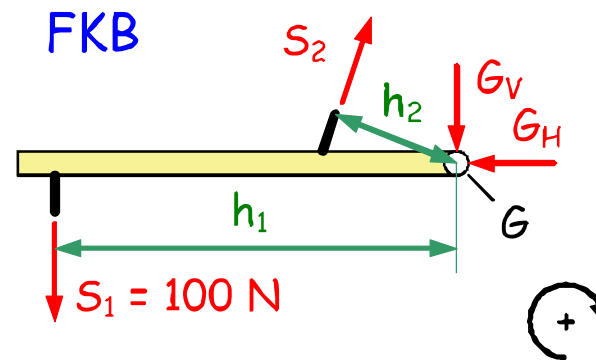
Randbedingungen

Freischneiden



Quelle: Dr.-Ing. Ulrich Simon, Universität Ulm

Gleichgewichtsbedingungen



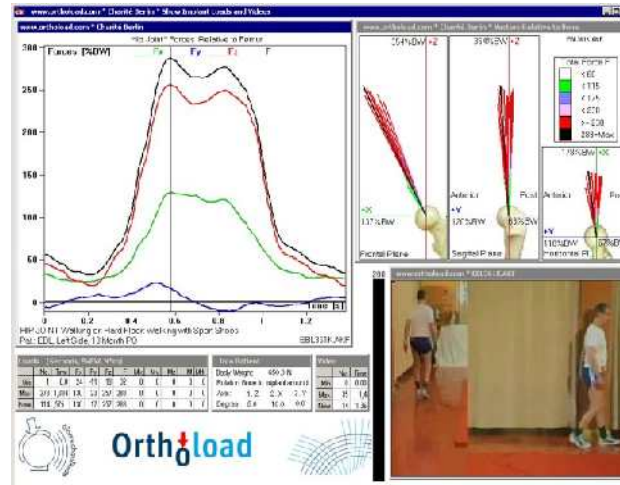
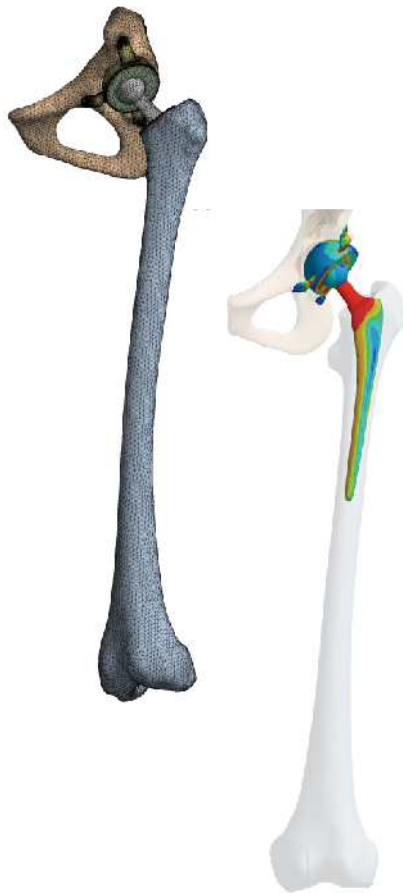
Summe aller Kräfte und Momente um den Punkt G =! 0.

$$\begin{aligned} -S_1 \cdot h_1 + S_2 \cdot h_2 &= 0 \\ -100 \text{ N} \cdot 35 \text{ cm} + S_2 \cdot 5 \text{ cm} &= 0 \\ \Rightarrow S_2 &= 100 \text{ N} \cdot \frac{35 \text{ cm}}{5 \text{ cm}} = \underline{\underline{700 \text{ N}}} \end{aligned}$$

Die 7-fache
Last wirkt

Herausforderungen der FEM in der Medizin

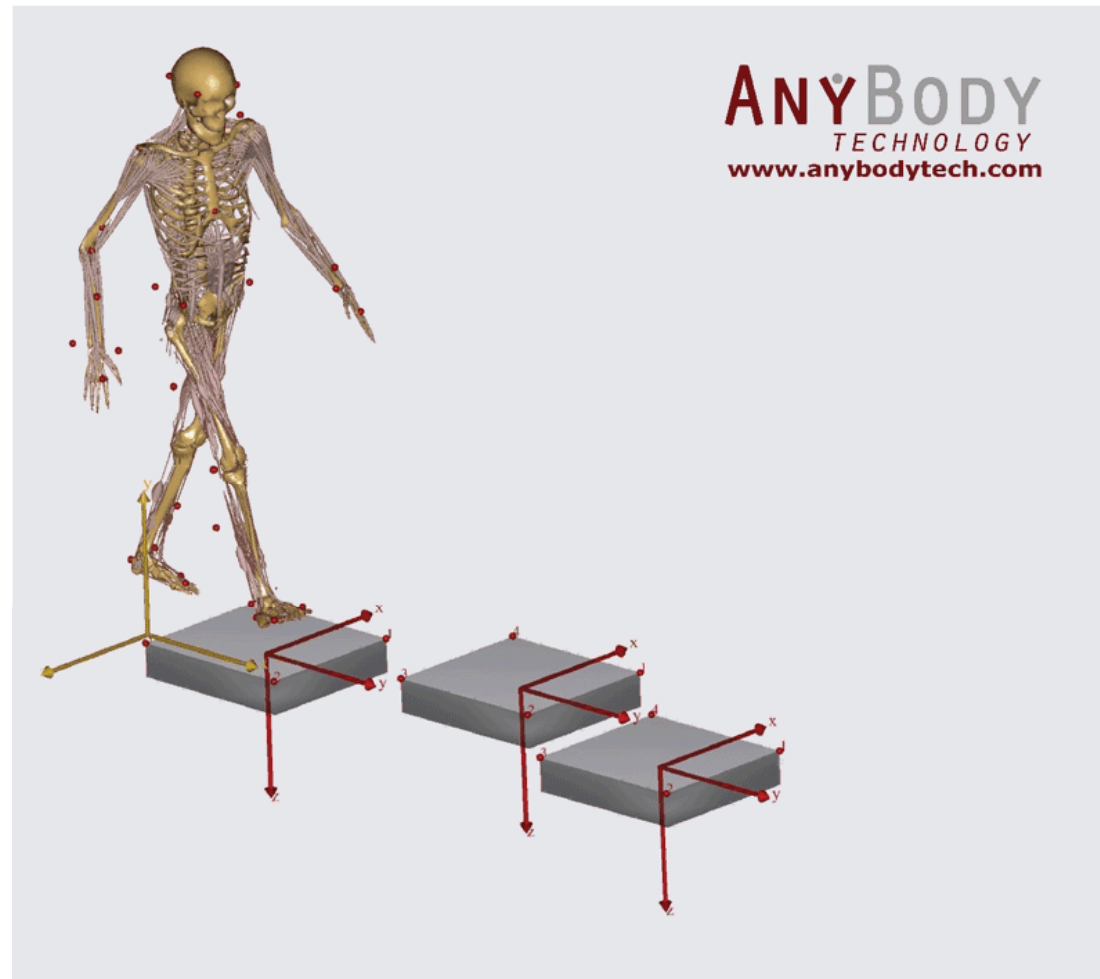
Randbedingungen



Teile aus: Entwicklung einer Hüftinterimsprothese (Spacer) mittels FE-Analyse unter Berücksichtigung der Muskel- und Gelenkkräfte aus AnyBody , Thomas Thielen, ANSYS Conference und 27. CADFEM Users' Meeting, 18.-20.11.2009, Leipzig

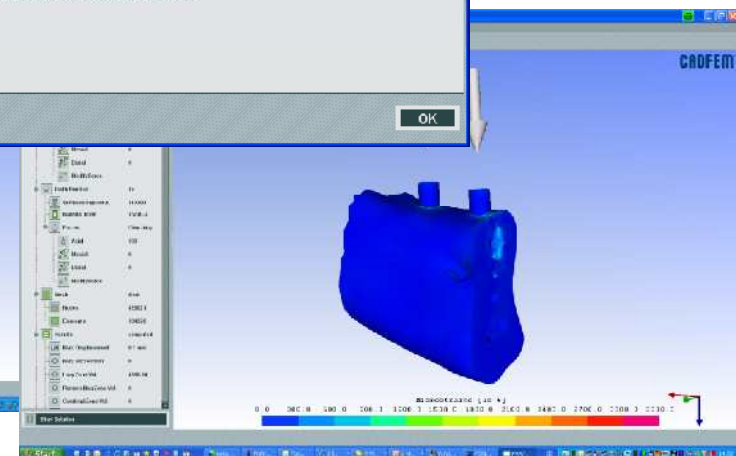
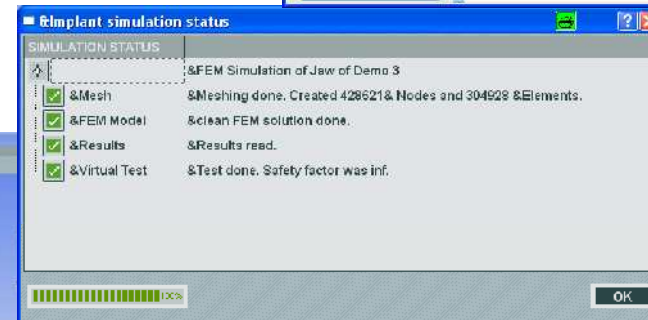
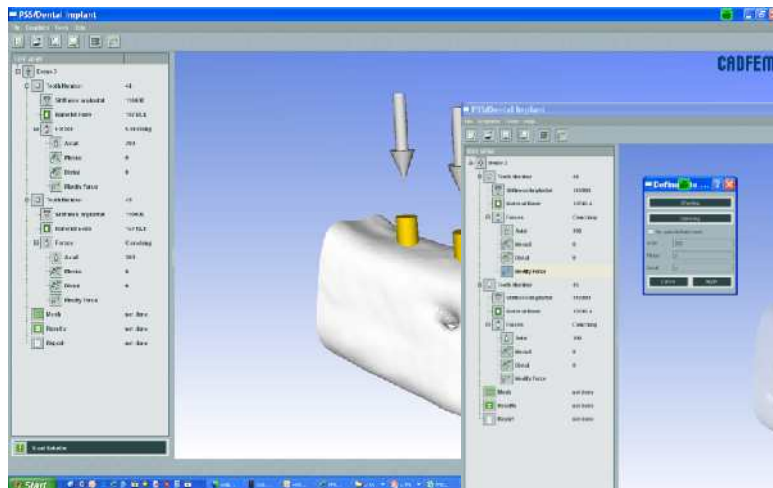
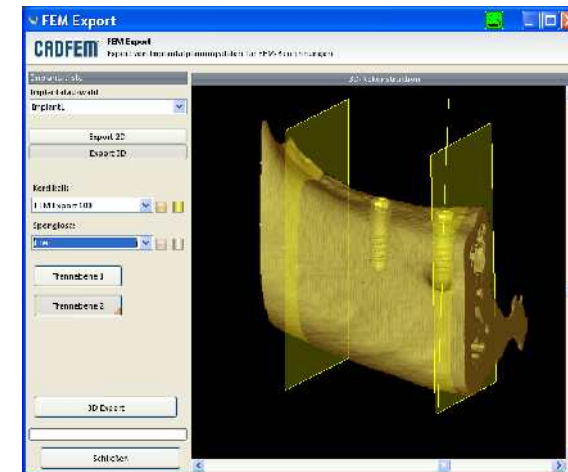
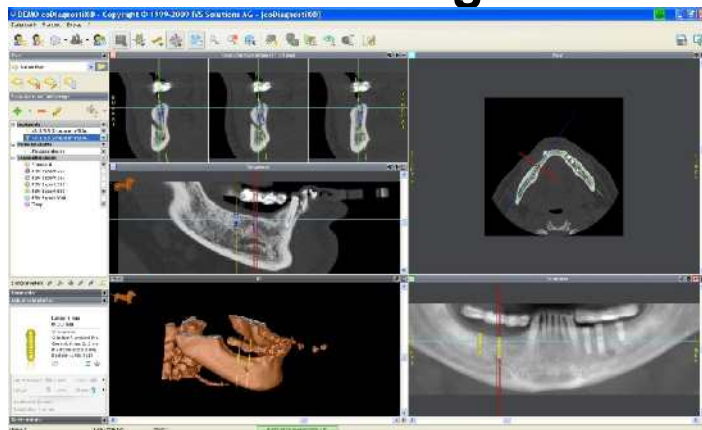
Herausforderungen der FEM in der Medizin

Randbedingungen



Herausforderungen der FEM in der Medizin

Automatisierung



Gefördert von: BMBF
Förderkennzeichen: FK 01FD0638

 **Fraunhofer**
IAO

serv:biz
• Hybride
• Wertschöpfung

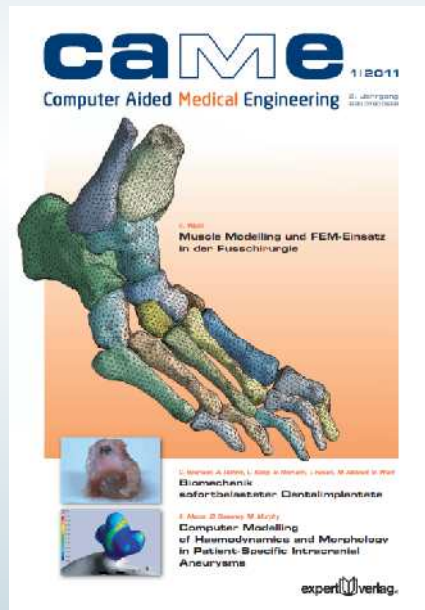
CADFEM

Herausforderungen der FEM in der Medizin

Akzeptanz

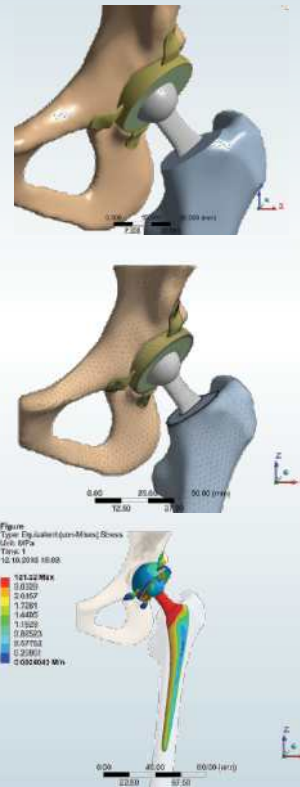
caMe-Magazine

- 4 x jährlich
- Praxisnah
- Brückenschlag zwischen Forschung und Praxis



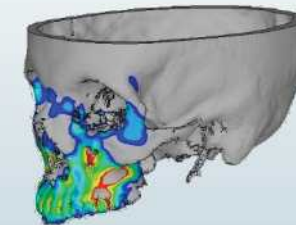
caMe-Seminars

- FEM für Mediziner



caMe-Conference

- 1 x jährlich
- Im Rahmen des CADFEM Users' Meetings
- Präsentationen zu
 - Mund,- Kiefer und Gesichtschirurgie
 - Orthopädie/Prothetik
 - Unfallchirurgie
 - Plastische Chirurgie
 - Gefäßchirurgie



Einführung in die Session

Danke an die Konferenz-Sponsoren

