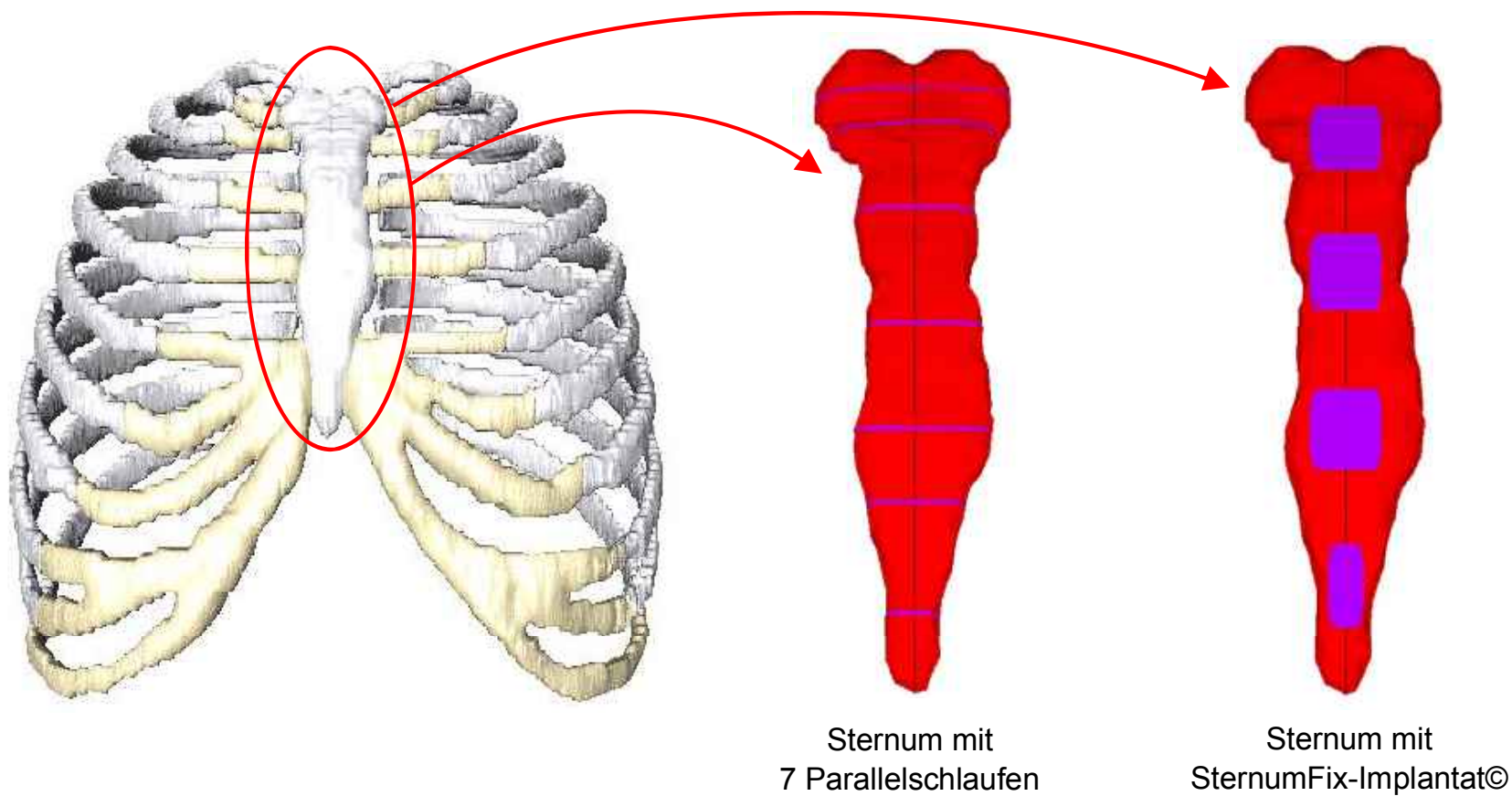
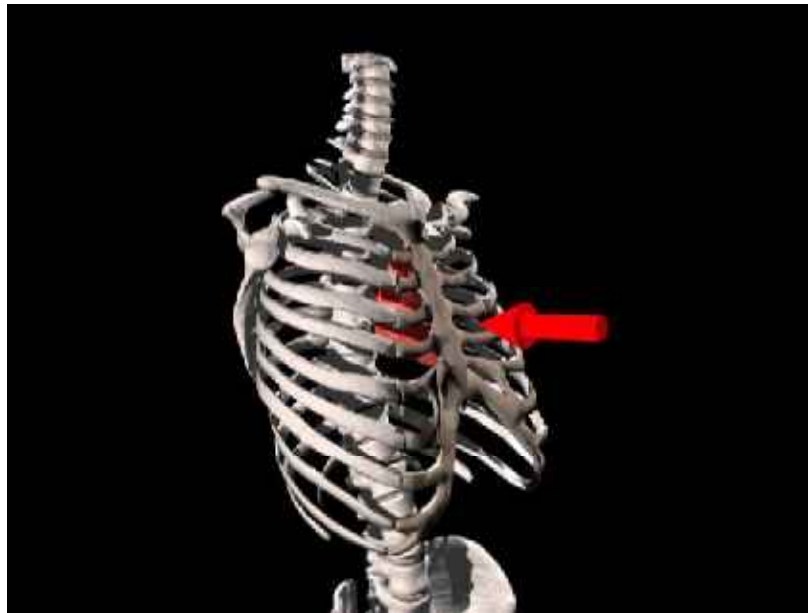


Carsten Könke, Dagmar Hintze, Andrea Keßler, Nina Müthing
Institut für Strukturmechanik, Bauhaus-Universität Weimar

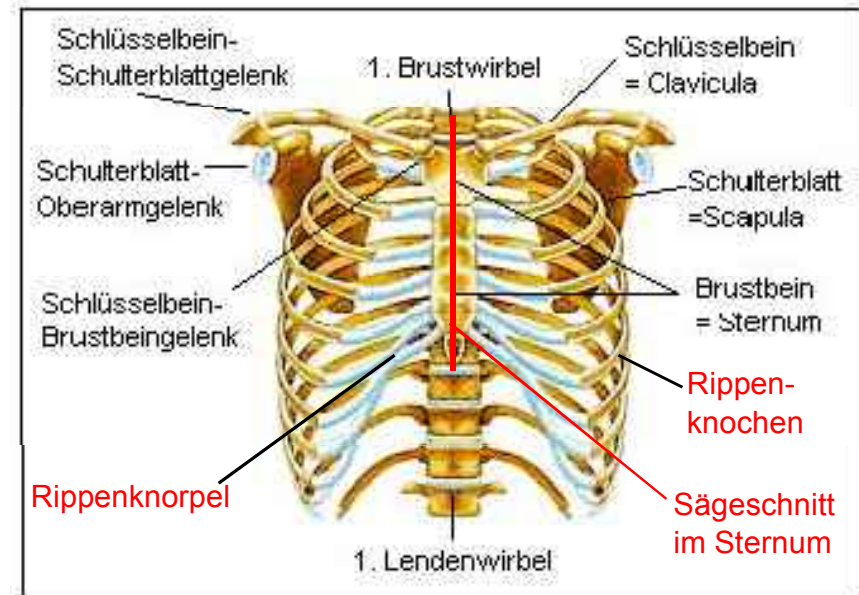
in Zusammenarbeit mit
Herz-Thorax-Gefäßchirurgie, Friedrich Schiller Universität Jena
BBraun - Aesculap Tuttlingen



- Öffnung des Brustkorbs durch mittige Durchtrennung des Brustbeins



www.andreasroedig.de/galerie/brustkorb.html



www.medizinfo.com/ruecken/images/brustkorb.jpg

- Nach Operation müssen Sternumteile so miteinander fixiert werden, dass der Knochen an der Kontaktstelle zusammenwachsen kann
- Unterschiedliche Fixierungstechniken im Einsatz:
 - Drahtschlaufen - einfache Parallelschlaufe oder 8er Schlaufe
 - Bandfixierung (Sterna-Band) oder Implantate
- Bisher überwiegend klinische Studien bzw. experimentelle Untersuchungen der Wirksamkeit verschiedener Fixierungstechniken

Komplikationen bei ungenügender Fixierung des Brustbeins

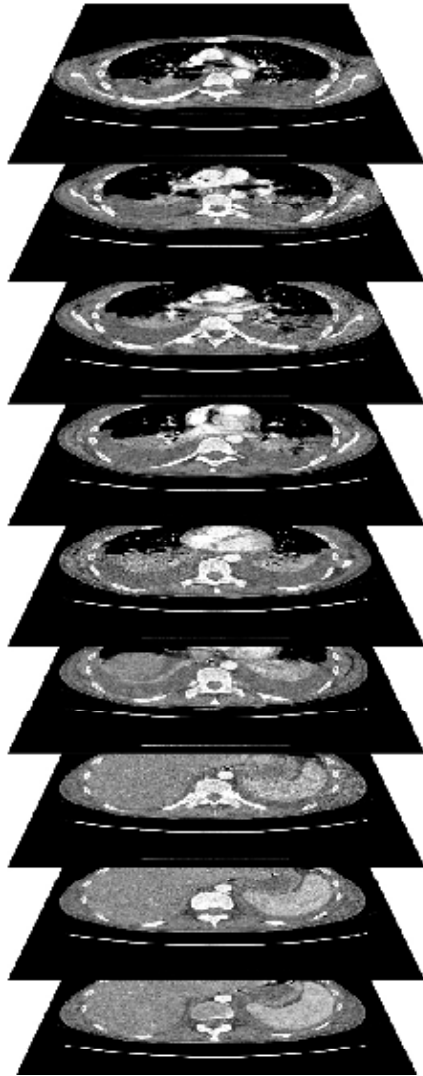
- Sterno-Mediastinitis (Entzündung des lockeren Bindegewebes im Brustkorbraum)

Komplikation tritt bei ca 0,75 bis 1,4 % der operierten Patienten auf

[Ref: Robicsek, F., Postoperative sterno-mediastinitis, American Surgeon, Vol. 66, 2000, pp.184-191]

- Dehiszenz des Sternums
Spaltbildung und damit zusammenhängende Bildung eines Pseudogelenks
- Sprödebrüchigkeit der Knochen älterer Patienten infolge Osteoporose
Eindringen des Drahtes in den Brustbeinknochen im Bereich hoher Kontaktspannungen, Schädigung (Bruch) des Knochens
- geschätzte jährliche Sterblichkeit weltweit \approx 4500 Patienten

CT-Datensatz im DICOM 3.0 Format / 12 bit Farbtiefe
2,5 mm Schichtdicke

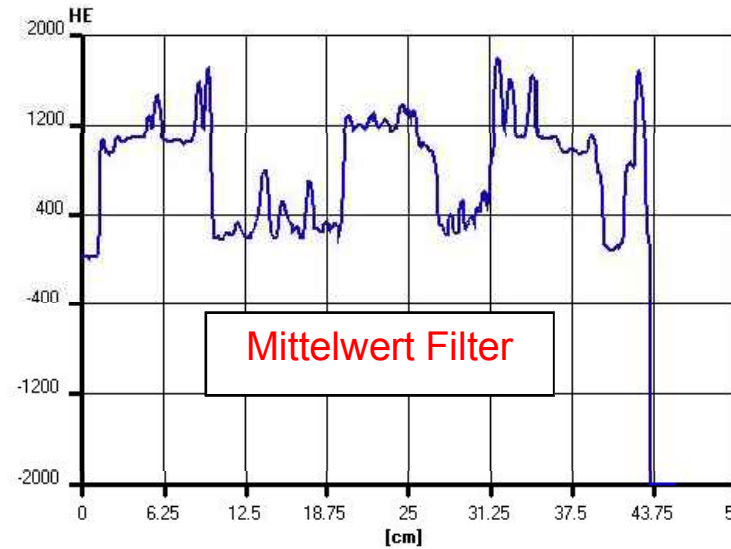
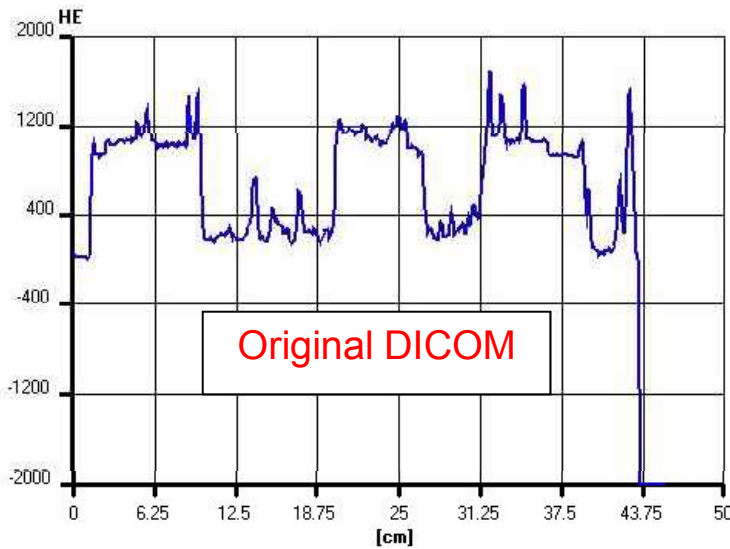
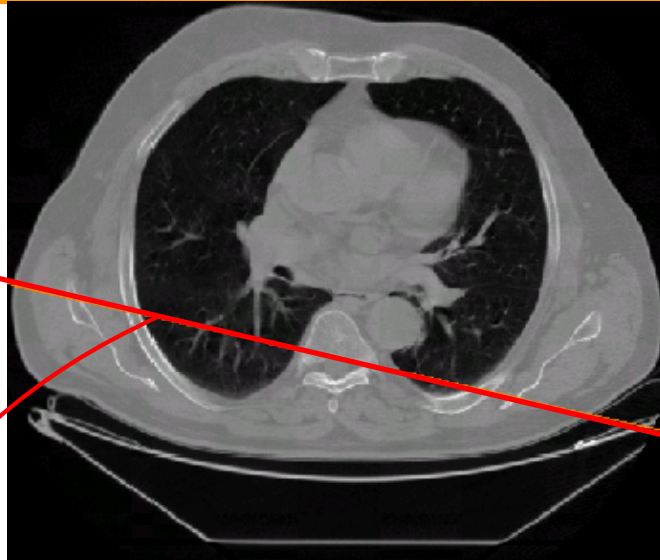


Bildverarbeitung mit dem
Programm AMIRA

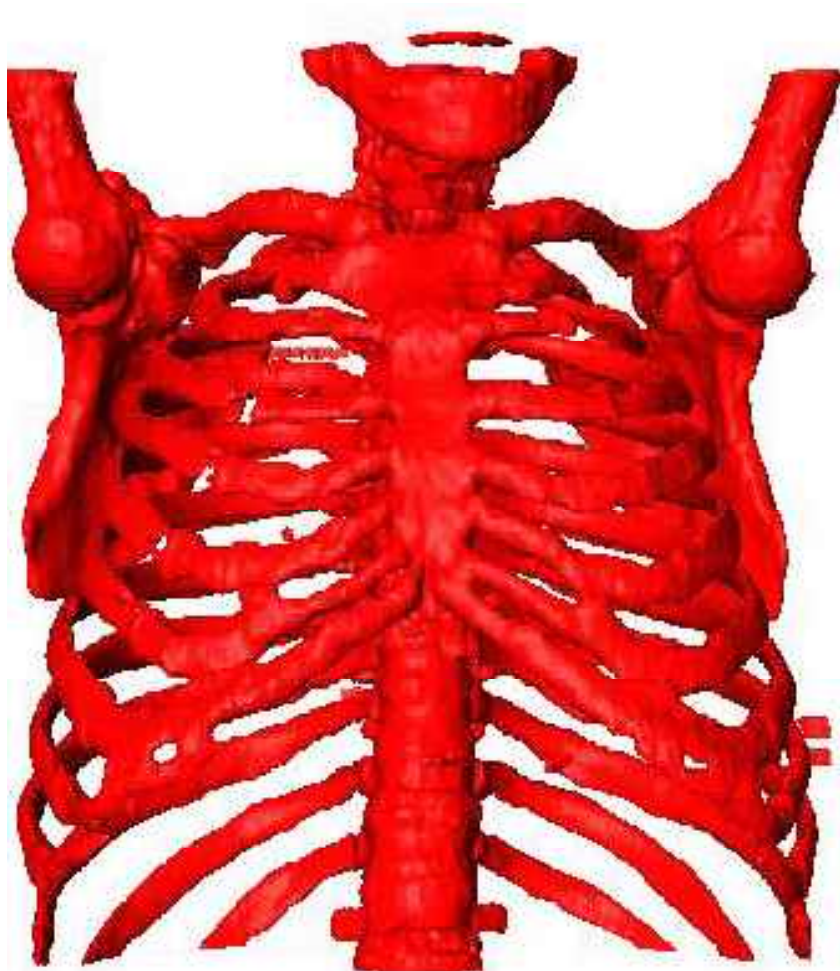
HE = Hounsfield Einheiten zur Bestimmung
der Materialdichte

weiß = hoher positiver HE-Wert (starke
Schwächung der Röntgenstrahlung)

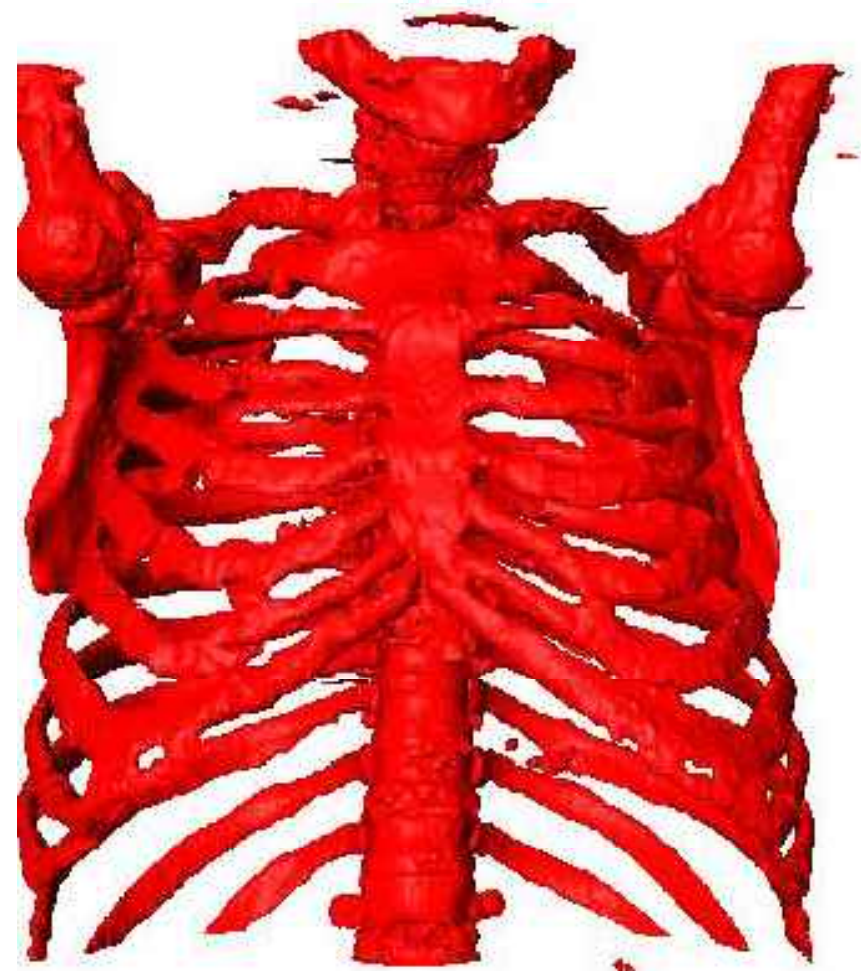
schwarz = hoher negativer HE-Wert (keine
Schwächung der Röntgenstrahlung)



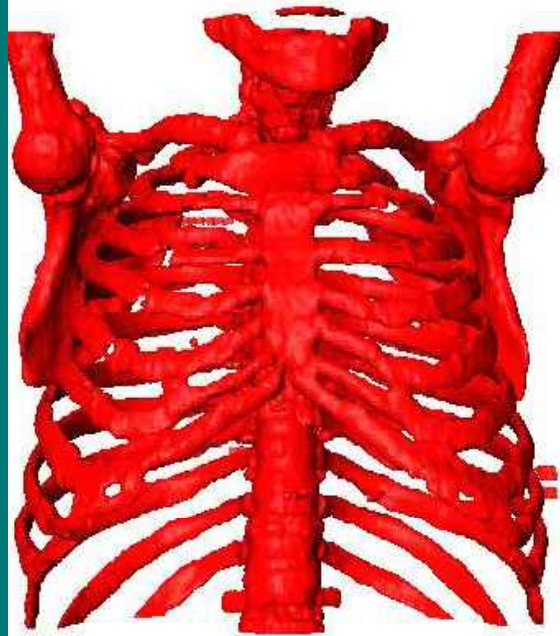
Kanten zwischen den Gebieten verwischen
Bild wird unschärfer



3D Voxelmodell nach Gauss- und Lanzcos-Filterung

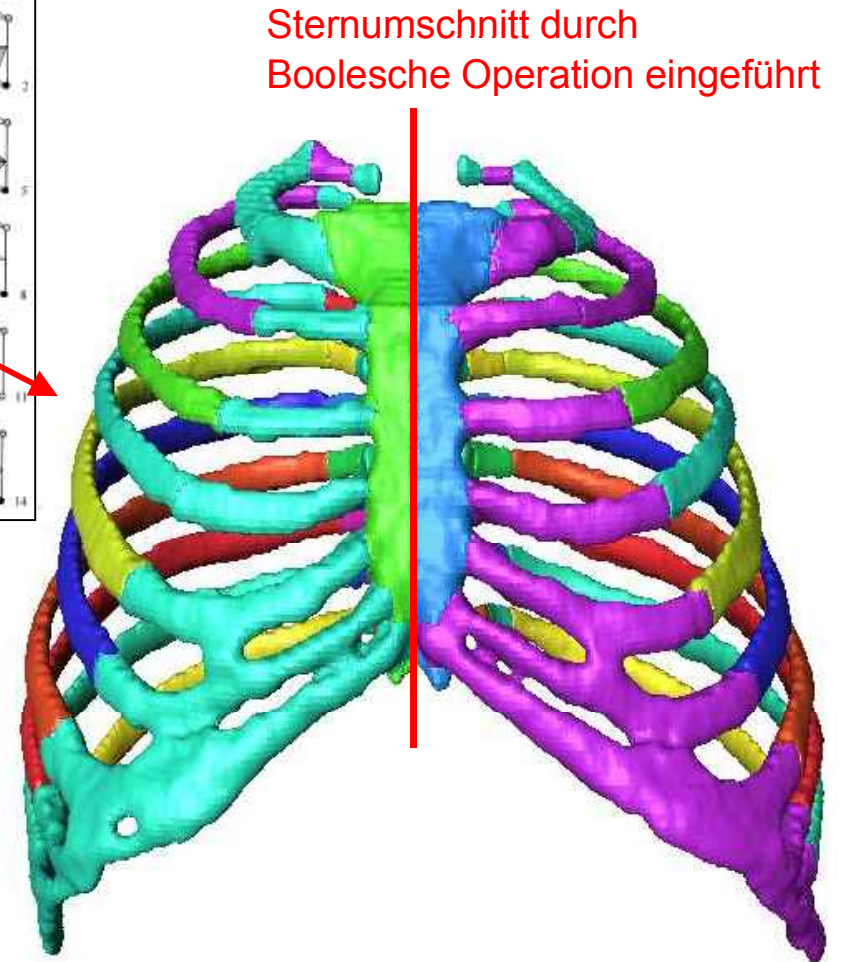
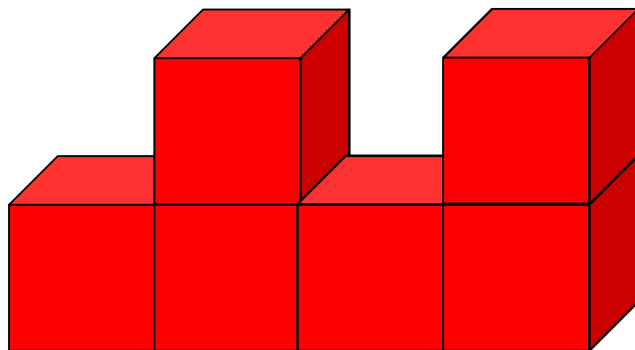
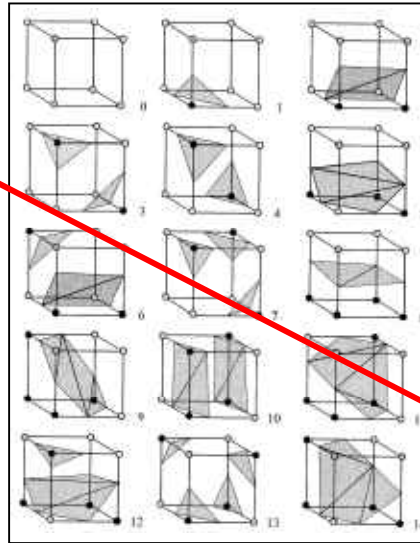


3D Voxelmodell nach Median- und Lanzcos-Filterung

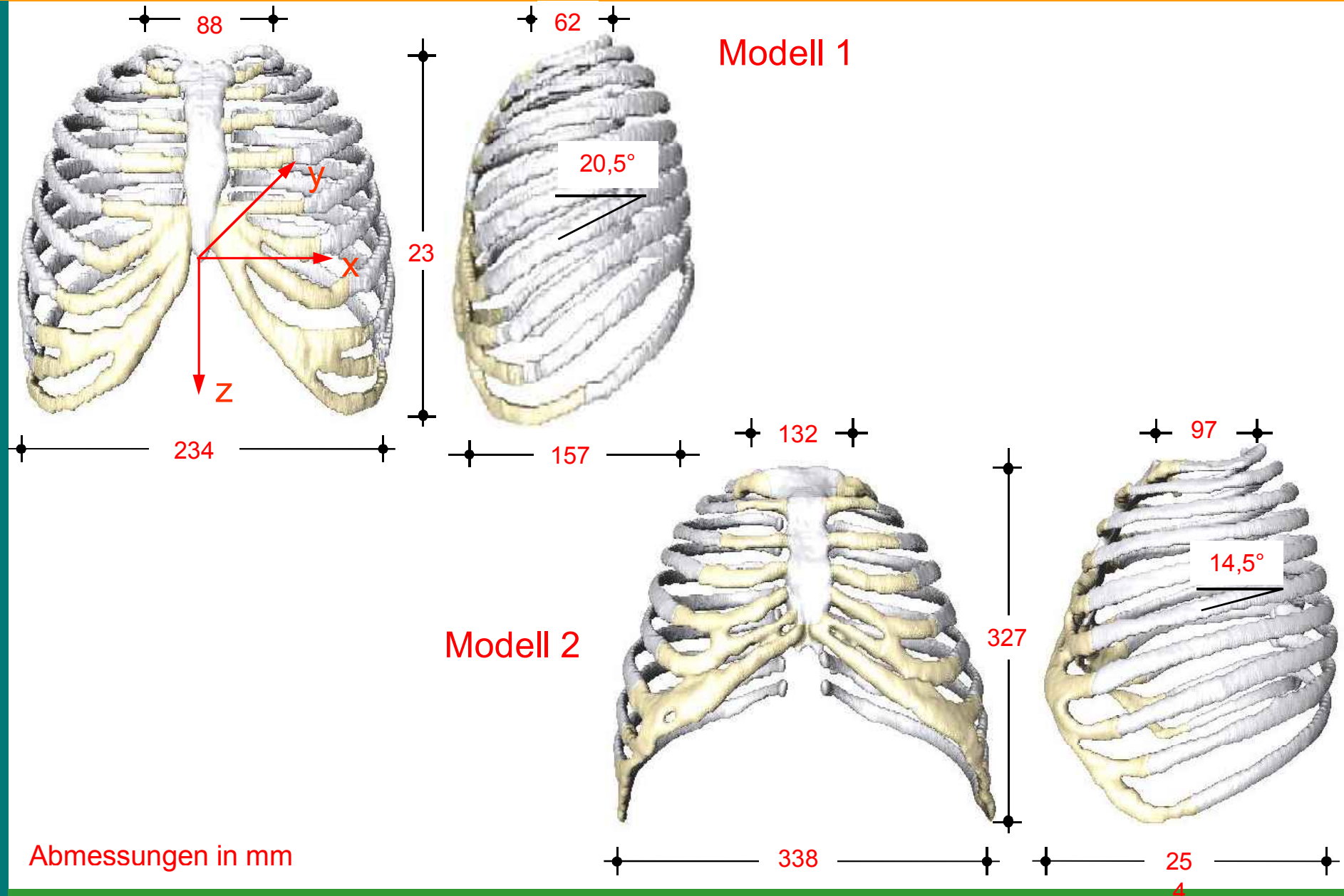


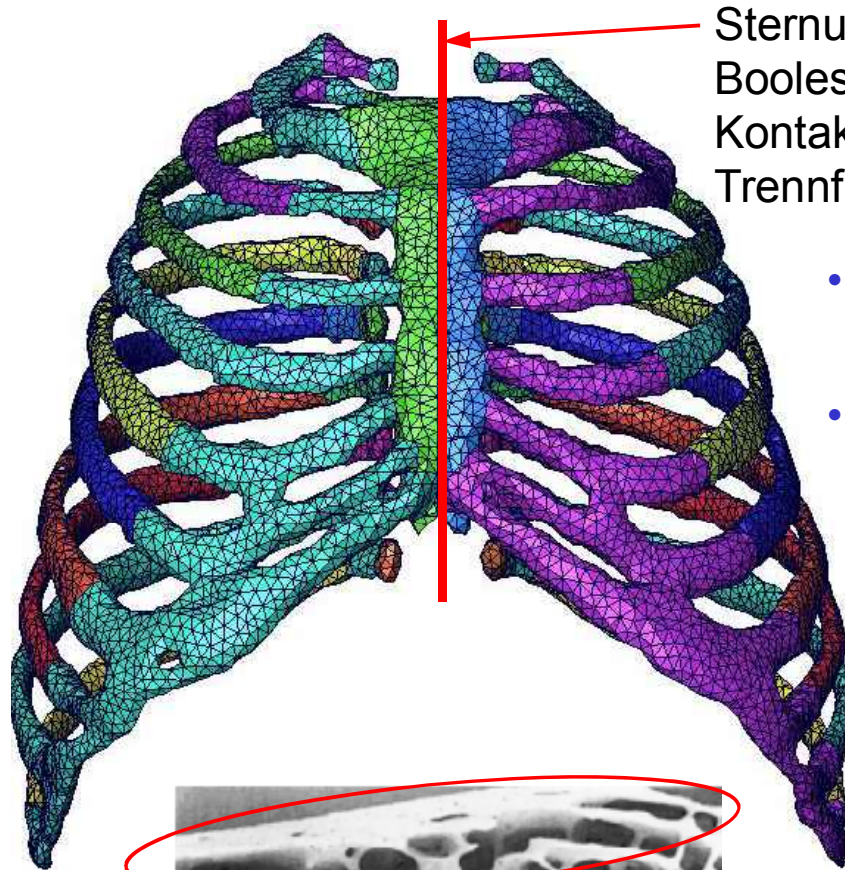
3D Voxelmodell

Generalized Marching Cubes Algorithm zur Glättung der Oberflächen



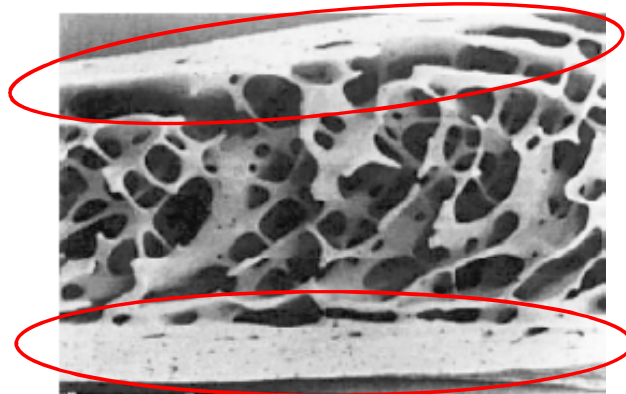
CAD-Oberflächenmodell
260.000 Knoten und 520.000 Dreiecke





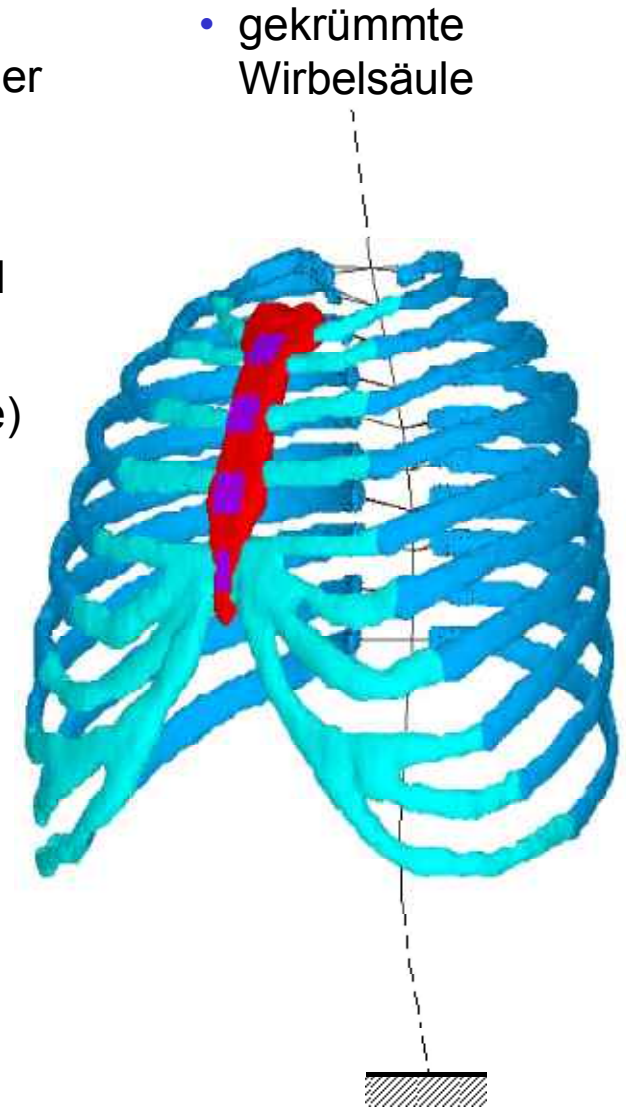
Sternumschnitt durch
Boolesche Operation
Kontaktformulierung an der
Trennfläche

- linear-elastisches isotropes Material
- Schalenmodell (30.000 Elemente)

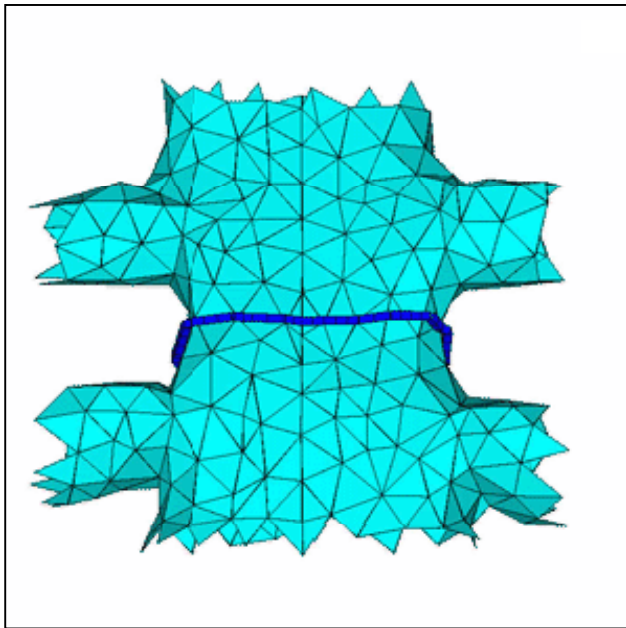


- kompakter Knochen

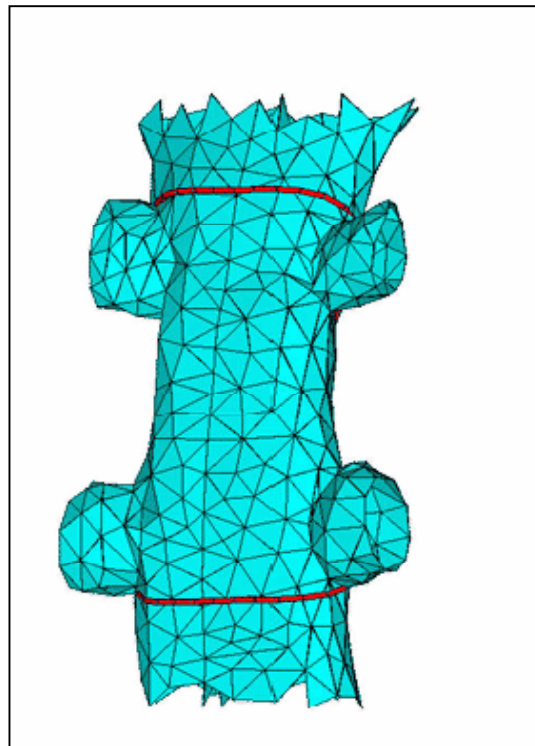
Bilder: Drücker, Stein, ISM



- gekrümmte Wirbelsäule

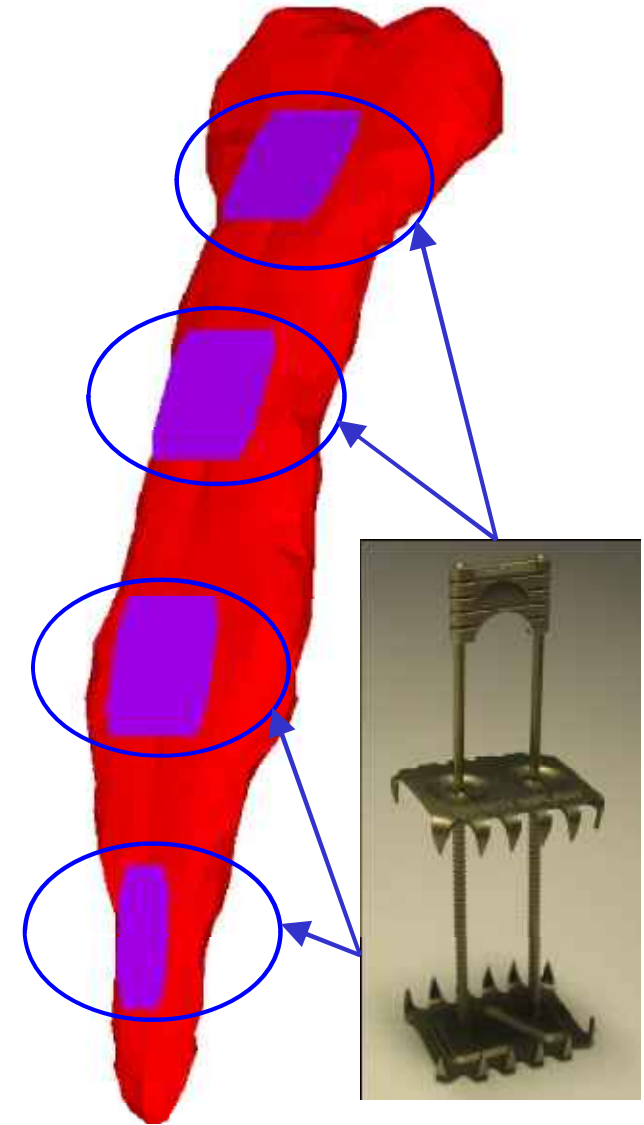


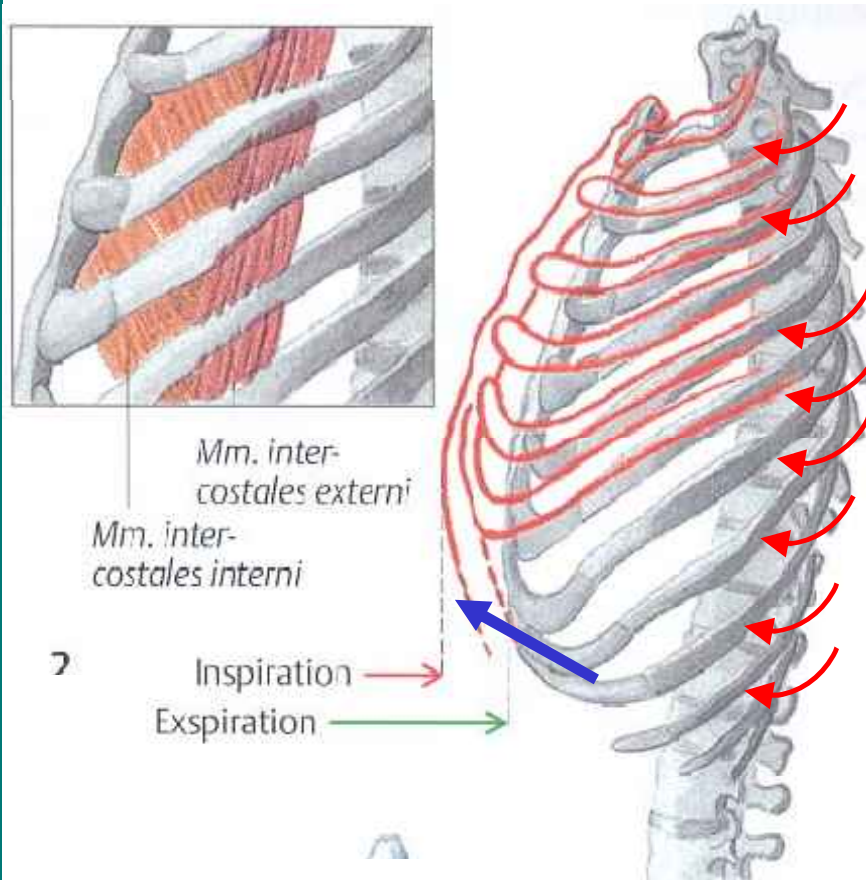
Parallelschlaufe



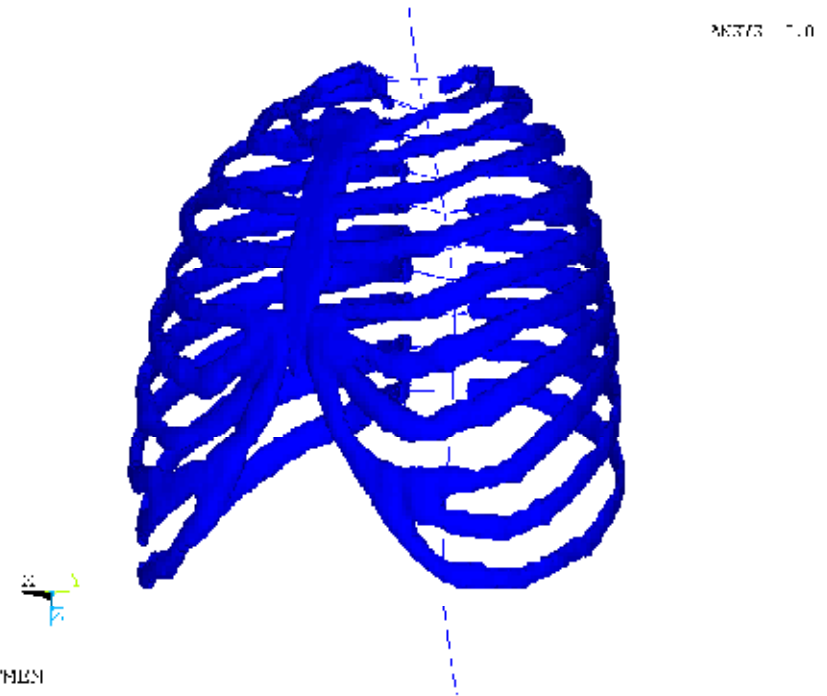
Achterschlaufe

4 SternumFix Implantate

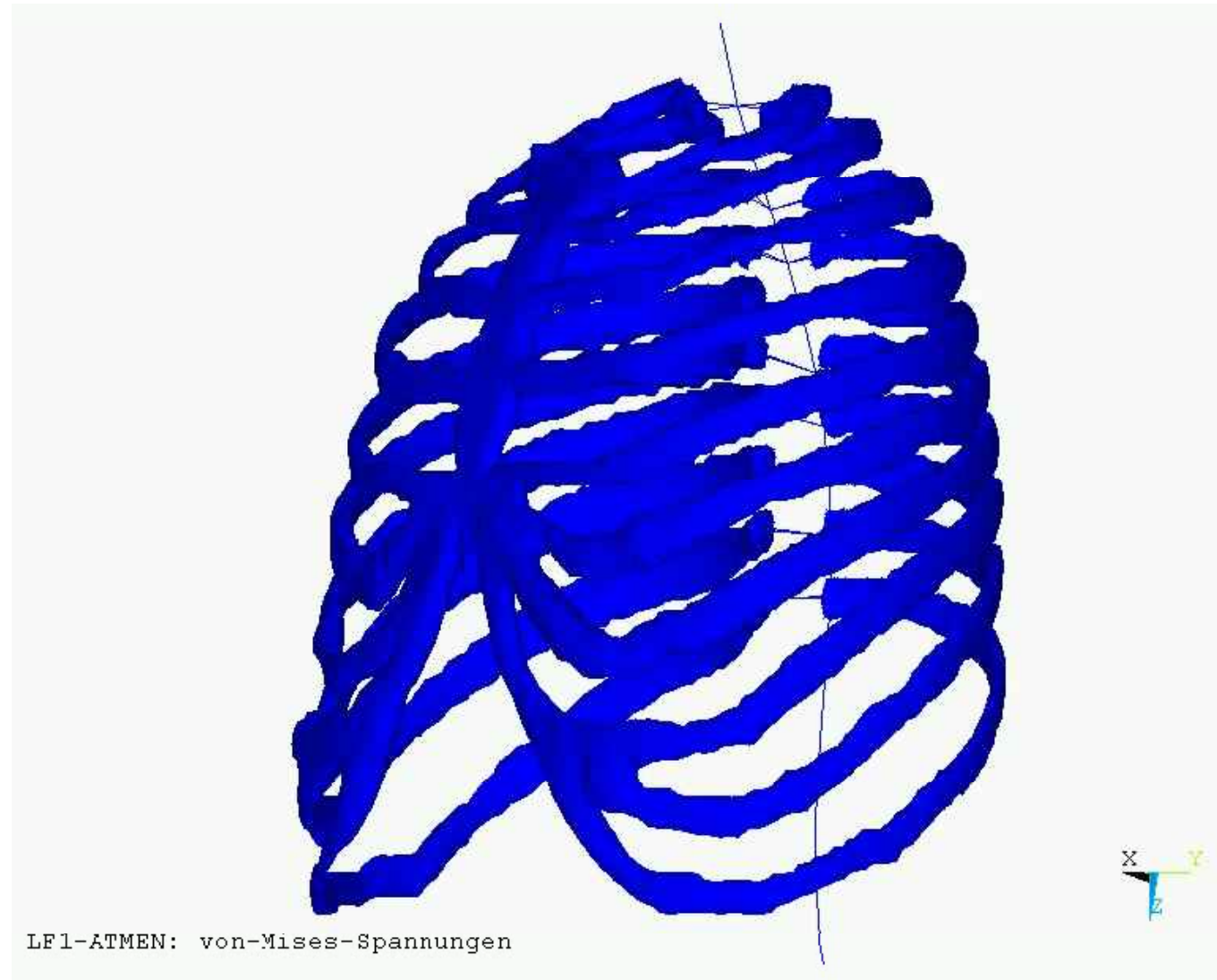




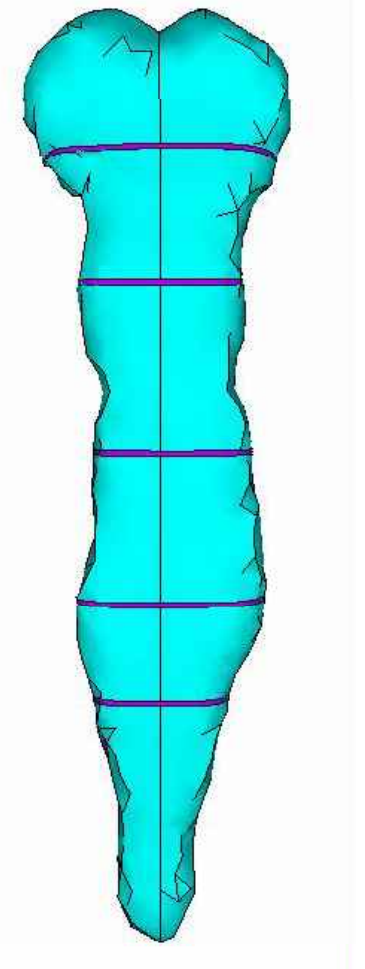
Randbedingungen:
Auflagerverdrehungen an den Verbindungen
zwischen Rippenbögen und Wirbelsäule



Bilder: Silbernagl/Despopoulos: Taschenatlas der Physiologie
und Schäffler/Schmidt: Mensch, Körper, Krankheit

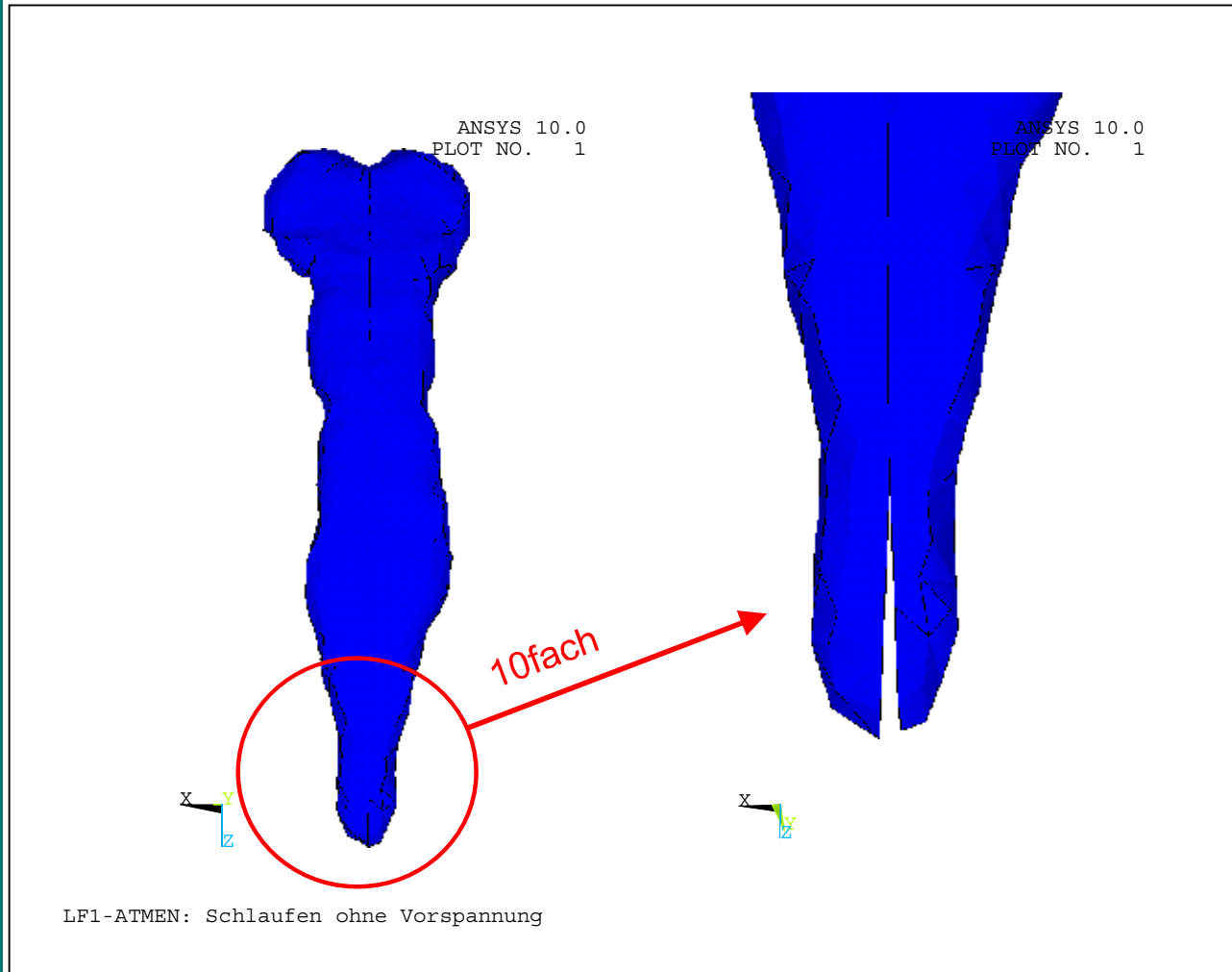


5 Parallelschlaufen

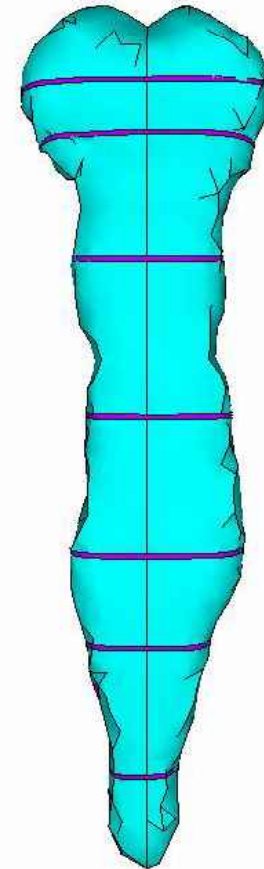


Vergleichsspannung

maximale Spaltöffnung u_x am unteren Sternumrand : 0,85 mm



7 Parallelschlaufen



maximale Spaltöffnung u_x am unteren Sternumrand :

0,19 mm

maximale Relativverschiebung u_{sum} am unteren Sternumrand :

0,21 mm

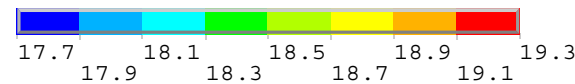
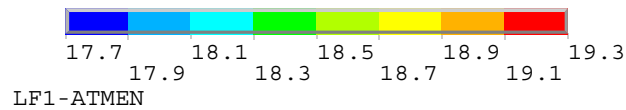
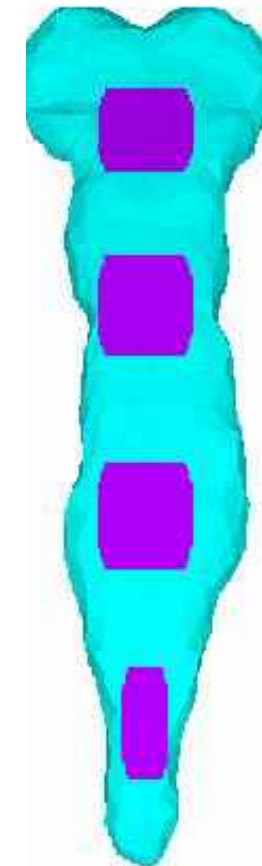
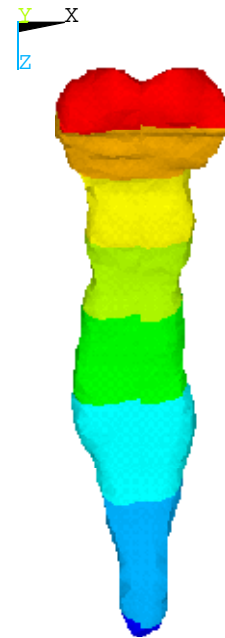
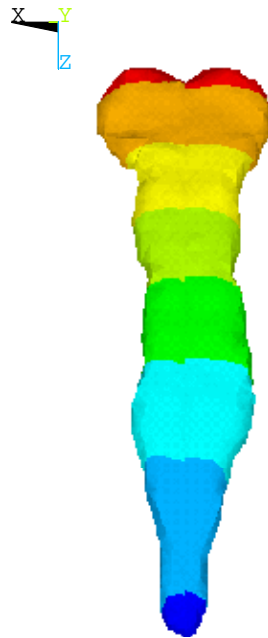
Gesamtverschiebungen im Brustbein

Blick in den Brustkorb

Blick aus dem Brustkorb

DA1
1

4 Implantate



maximale Spaltöffnung u_x am unteren Sternumrand :

0,00 mm

maximale Relativverschiebung u_{sum} am unteren Sternumrand :

0,03 mm

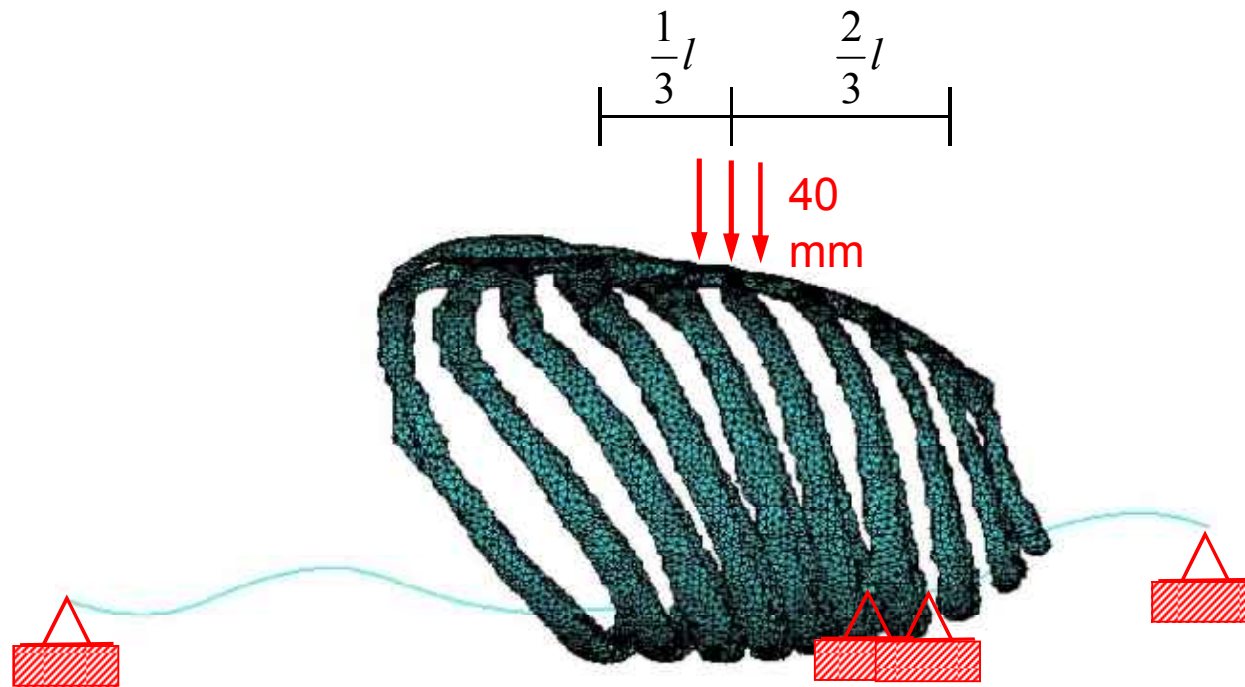
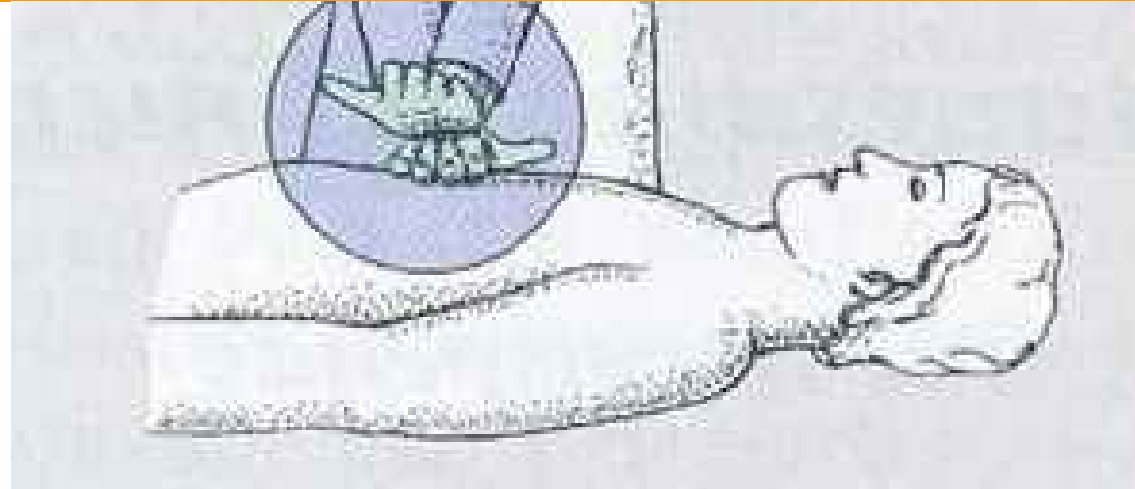
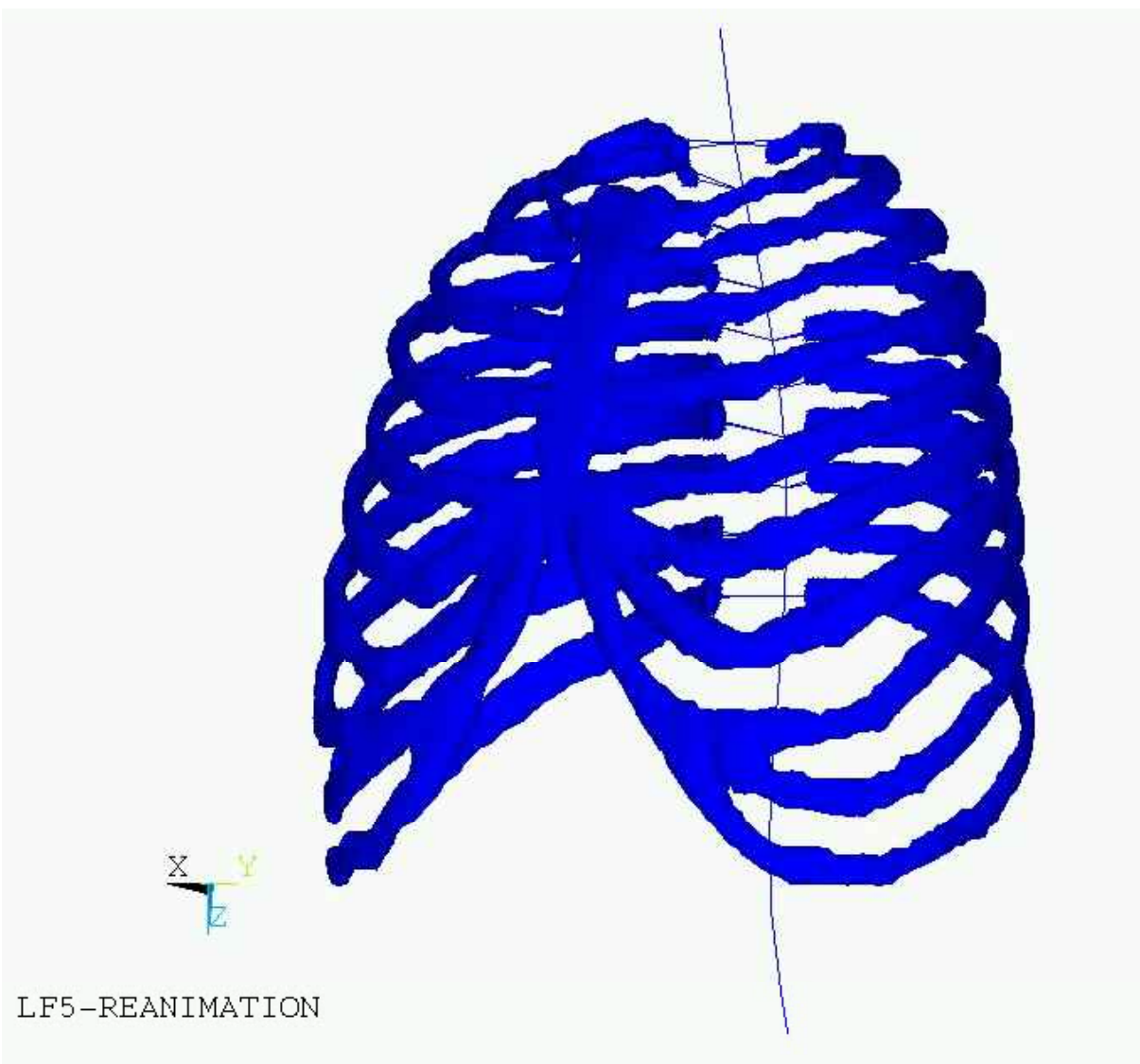
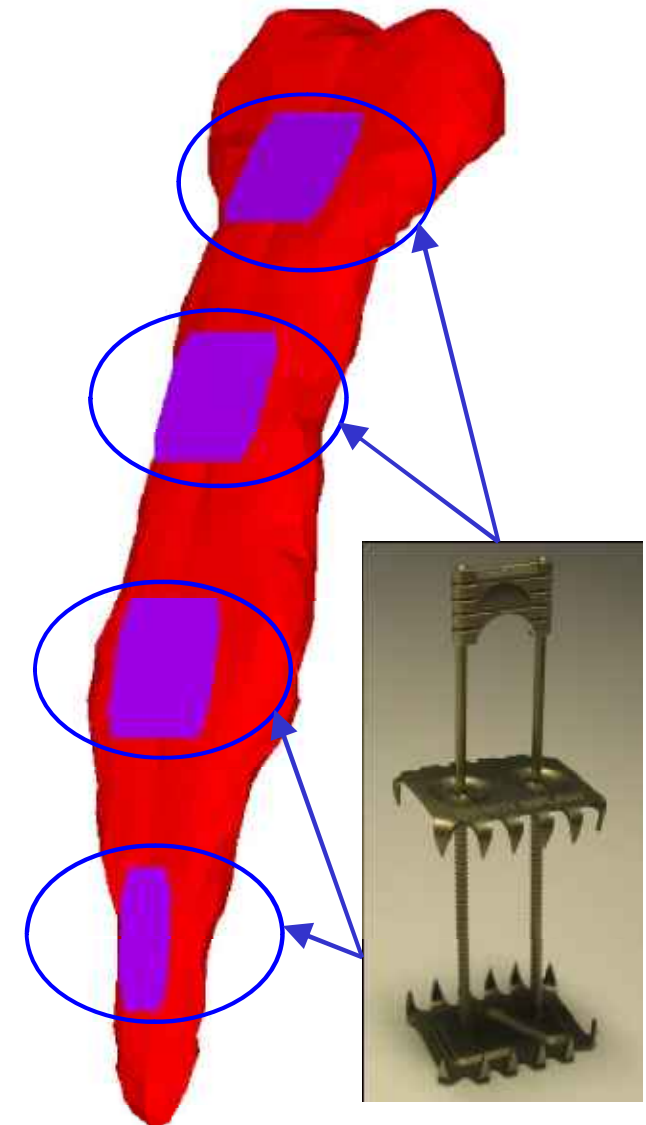


Bild: Schäffler/Schmidt: Mensch, Körper, Krankheit



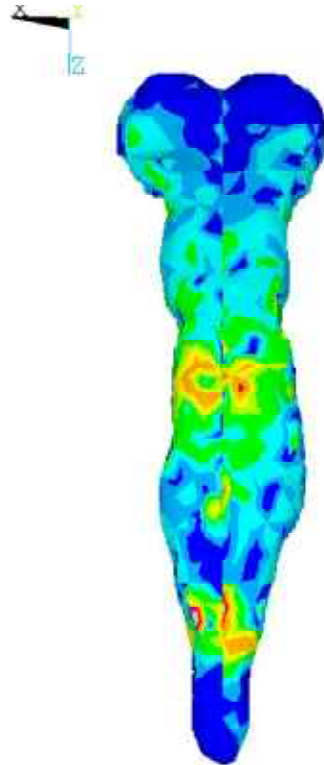
von-Mises Spannungen

4 SternumFix Implantate



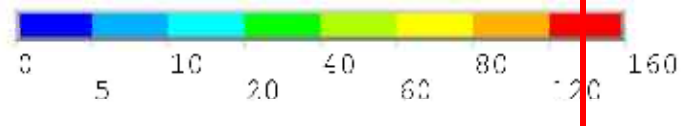
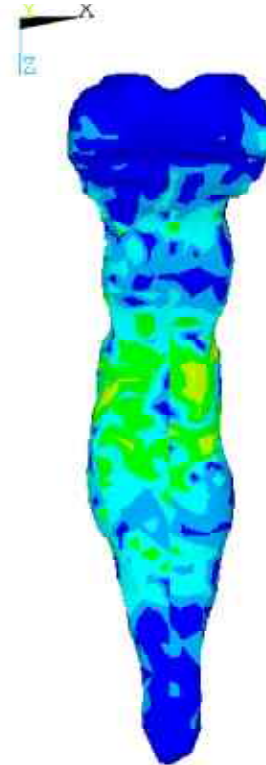
Vergleichsspannungen im Brustbein

Blick in den Brustkorb



Knochenfestigkeit

Blick aus dem Brustkorb



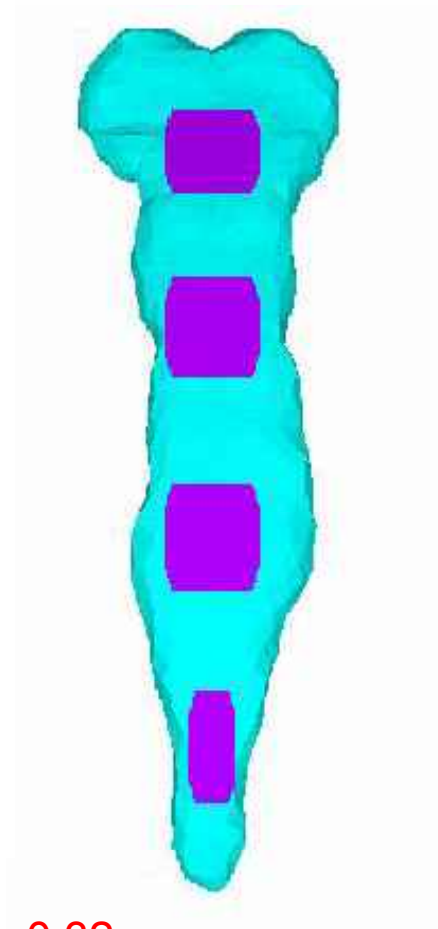
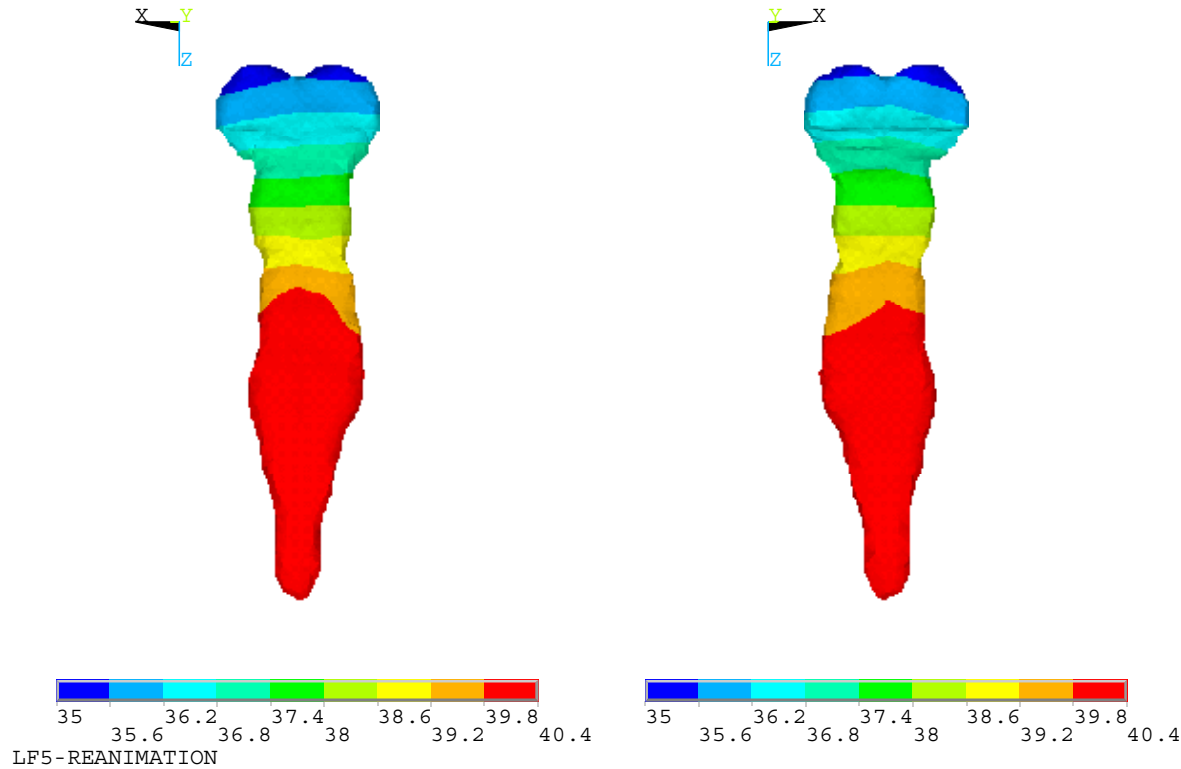
Knochenfestigkeit

Horizontalverschiebungen im Brustbein

Blick in den Brustkorb

Blick aus dem Brustkorb

4 Implantate

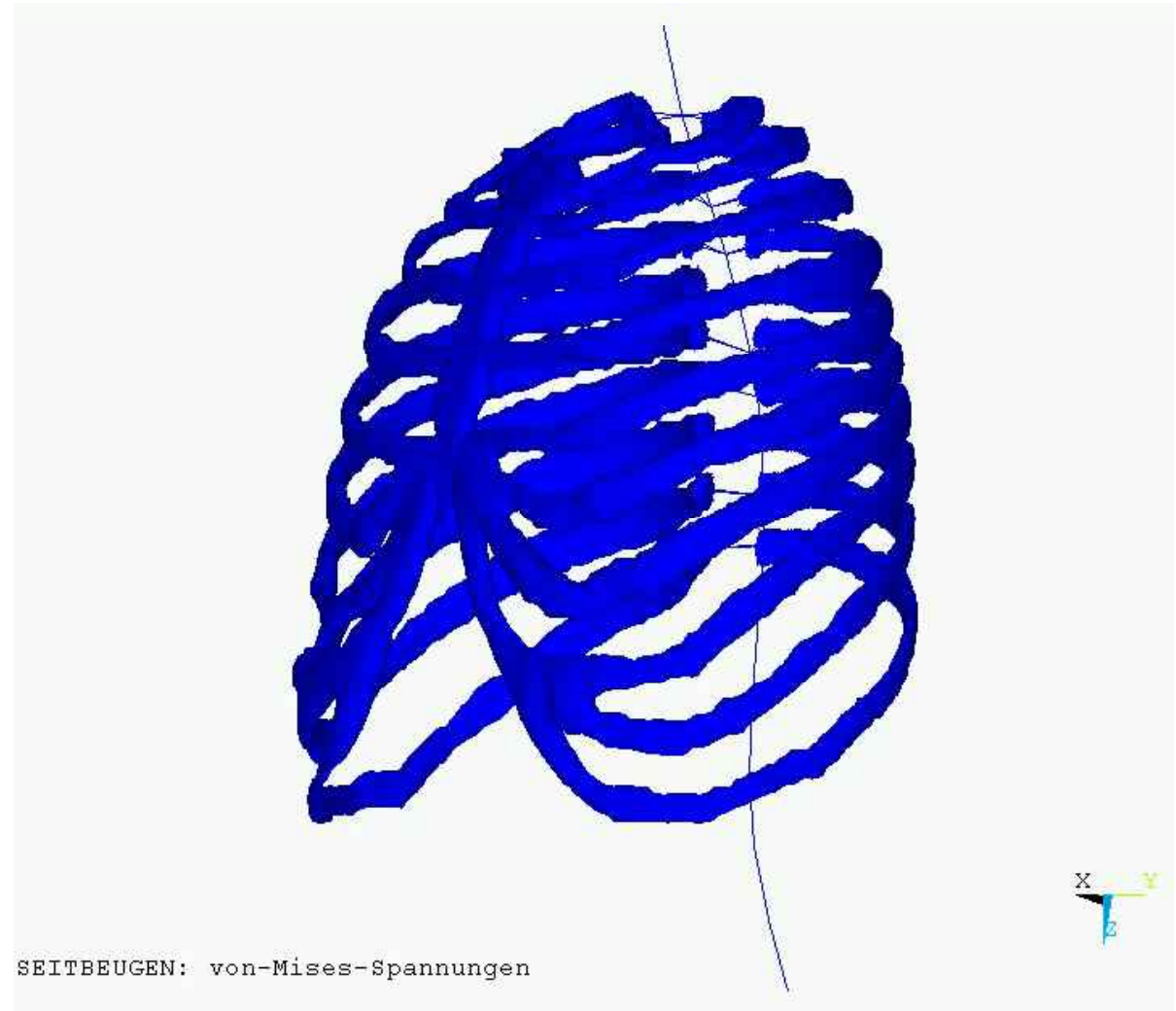
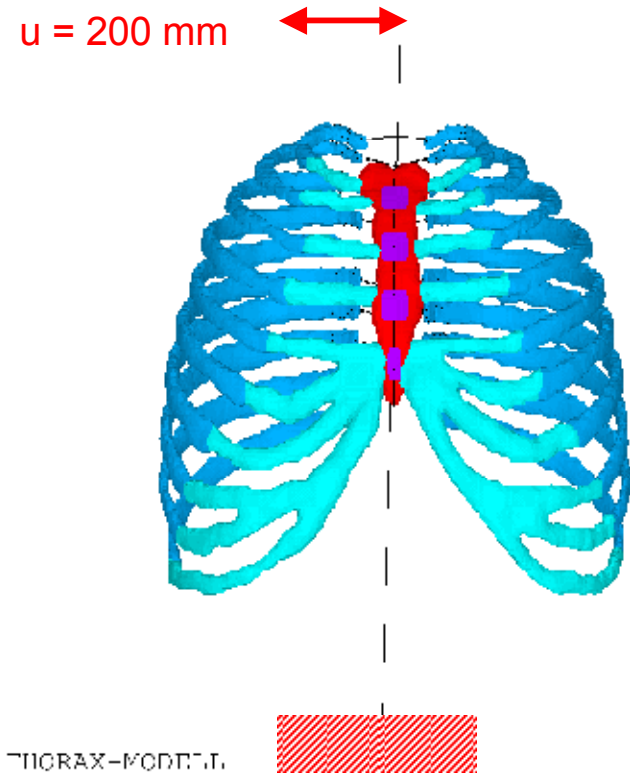


maximale Spaltöffnung u_x am oberen Sternumrand :

0,32 mm

maximale Relativverschiebung u_{sum} am oberen Sternumrand :

0,32 mm



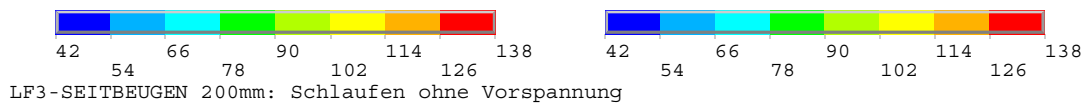
Der Lastfall soll die Beanspruchung des Brustkorbs durch ein unsymmetrisches Aufstützen des Patienten (Aufstützen auf einen Arm) simulieren
 (Belastung wird ähnlich wie im Fall Atmen indirekt an den Rippenenden aufgebracht)

Gesamtverschiebungen im Brustbein

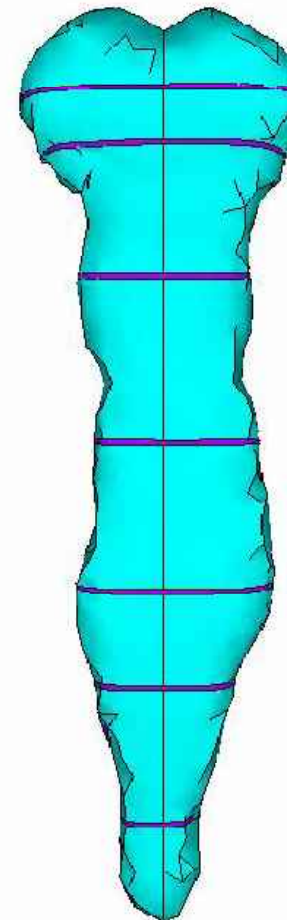
Blick in den Brustkorb



Blick aus dem Brustkorb



7 Parallelschlaufen



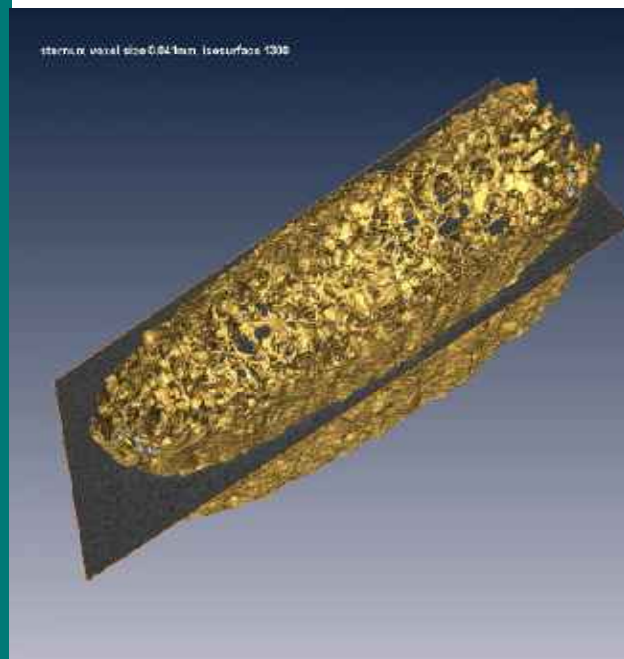
maximale Spaltöffnung u_x am unteren Sternumrand : 0,00 mm
 maximale Relativverschiebung u_{sum} am unteren Sternumrand : 0,95 mm

Mikrostrukturelle Analyse des Sternums in Zusammenarbeit mit:

- Friedrich Schiller Universität Jena, Herz-Thorax-Gefäßchirurgie
- Universitätsklinikum in Berlin, Zentrum für Muskel- und Knochenforschung

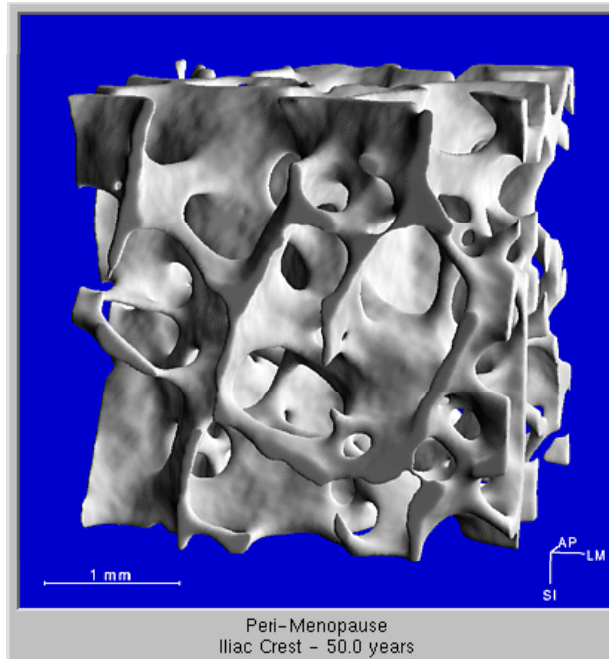
Ziele:

- Analyse von Bilddaten aus XtremeCT-Scans (41 bis 82 μ m Auflösung);
Entwicklung eines 3D- μ FE-Modells des Sternums aus dem Voxelmodell
- Simulation des Schädigungsverhaltens im menschlichen Knochen



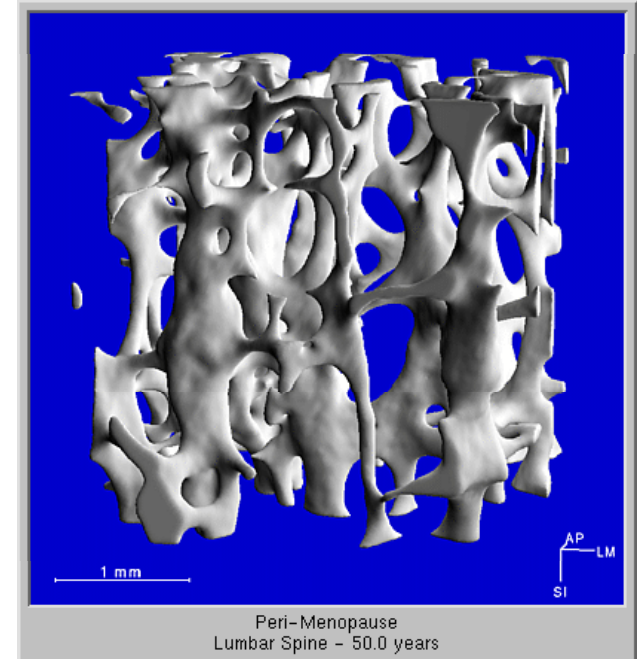
CT-Scan Sternumabschnitt – 41 μ m

Bilder: Charite Berlin, ETH Zürich



Peri-Menopause
Iliac Crest - 50.0 years

altersbedingte Änderung der Knochenstruktur
Beckenkamm



Peri-Menopause
Lumbar Spine - 50.0 years

Lendenwirbelsäule

Finite Zellenmodelle

