



High-Performance  
Computing Center  
Stuttgart

# Berechnung des scheinbaren Elastizitätsmoduls von trabekulärem Knochen mittels Finite-Elemente Simulation

Simulierte Welten

**Grundlagen**

**Arbeitsauftrag**



# Grundlagen

## *Substantia spongiosa*

## Substantia spongiosa

H L R I S

- Spongiosa ist ein im Innenraum des Knochens schwammartig aufgebautes System
- Besteht aus feinen Knochenbälkchen (Trabekeln)

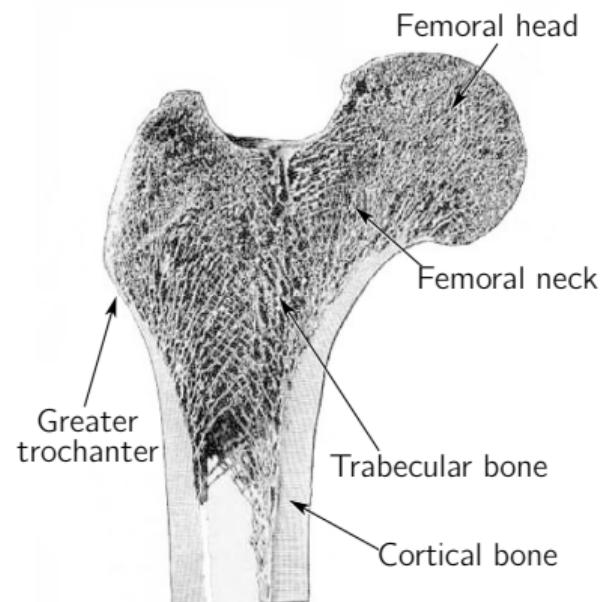


Abbildung: Anatomie des menschlichen Oberschenkels



- Scheinbares Elastizitätsmodul: Beschreibt das elastische Verhalten der makroskopischen Struktur des trabukulären Knochens
- Das scheinbare Elastizitätsmodul wird zum Beispiel über den Druckversuch bestimmt
- Das scheinbare Elastizitätsmodul berechnet sich mittels Gleichung (1)

$$E_{\text{App}} = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (1)$$

Die Dehnung  $\varepsilon$  berechnet sich mittels Gleichung (2), wobei  $\Delta l$  die Längenänderung und  $l_0$  die ursprüngliche Länge ist.

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (2)$$

Die Spannung  $\sigma$  berechnet sich mittels Gleichung (3), wobei  $F_{\text{tot}}$  die Reaktionskraft und  $A$  die Schnittfläche ist.

$$\sigma = \frac{F_{\text{tot}}}{A} \quad (3)$$



Abbildung: FE Pipeline

# Grundlagen

## Computertomographie

# Funktionsweise Computertomographie

H L R I S



Abbildung: Computertomograph

[2]

# Funktionsweise Mikrocomputertomographie

H L R I S

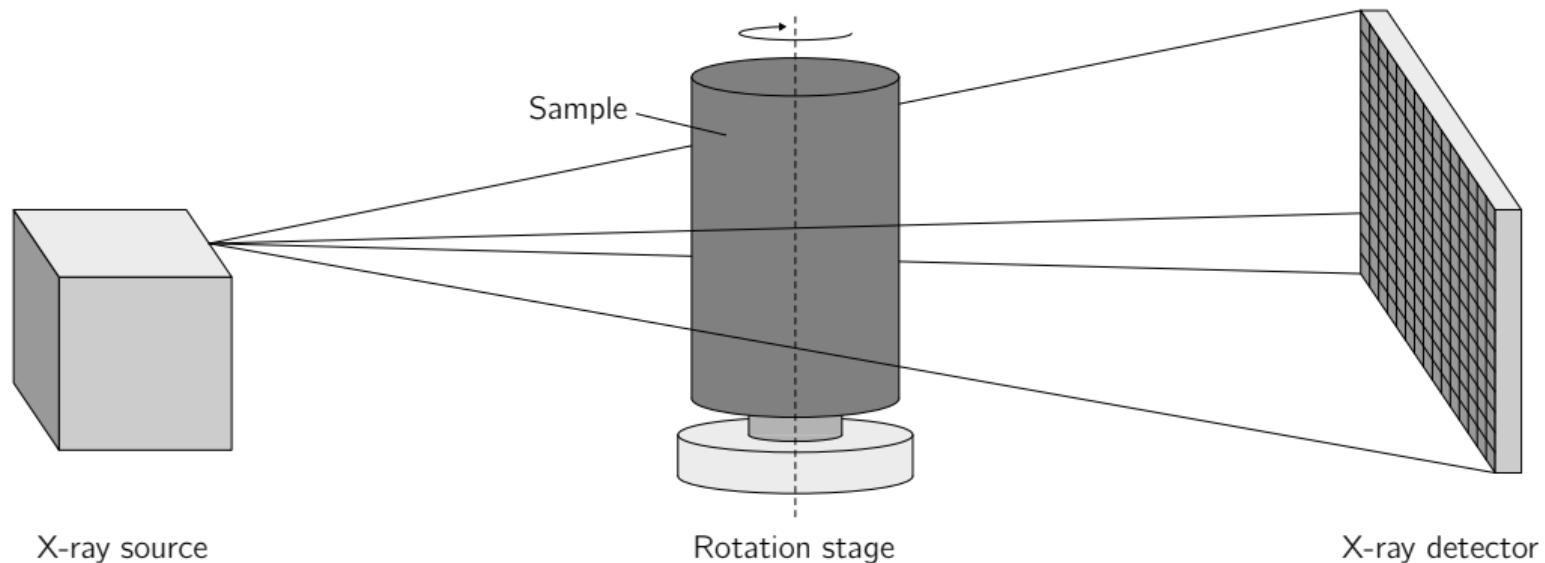


Abbildung: Schematische Darstellung eines Mikro CT-Systems

[3]

# Datensatz

H L R I S

---

Lab	LTM@IOR Bologna
Sample	Human trabecular bone
Voxel size	19,5 µm
Number of voxels per edge	200
Edge length	4 mm

---

Tabelle: Scan-Parameter des Datensatzes

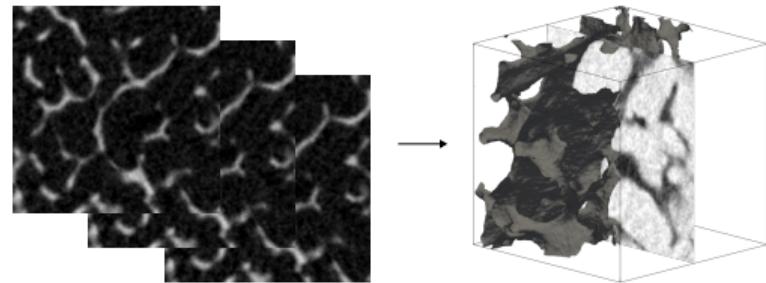


Abbildung: 3D-Rekonstruktion aus mehreren Bildern



- Installation von Visual Studio Code (Entwicklungsumgebung)  
<https://code.visualstudio.com/docs/setup/windows>
- Installation von PrePoMax (FEM-Softwarepaket)  
<https://prepomax.fs.um.si/>
- Installation von ParaView (Wissenschaftliche Visualisierungen)  
<https://www.paraview.org/download/>
- Installation von Python und Anaconda (Programmiersprache)  
<https://www.elab2go.de/demo-py1/installation-python-anaconda.php>
- Conda Umgebung erstellen (siehe Abschnitt 6 in der Installationsanleitung)  
`conda create --name py3818 python==3.8.18`
- Conda Umgebung aktivieren  
`conda activate py3818`

Installation der notwendigen Module und Pakete:

- Installation von NumPy (array processing for numbers, strings, records, and objects)  
`conda install -c conda-forge numpy`
- Installation von SciPy (scientific library for Python)  
`conda install -c conda-forge scipy`
- Installation von scikit-image (image processing in Python)  
`conda install -c conda-forge scikit-image`
- Installation von PyPNG (Python PNG image encoder and decoder)  
`conda install -c conda-forge pypng`
- Installation von tqdm (progress meter)  
`conda install -c conda-forge tqdm`
- Installation von Matplotlib (publication quality figures in Python)  
`conda install -c conda-forge matplotlib`
- Installation von tifffile (read and write image data from and to TIFF files.)  
`conda install -c conda-forge tifffile`

- Installation von tifffile (multidimensional image analysis)  
`conda install -c conda-forge itk`
- Installation von vtk (process images and create 3D computer graphics)  
`conda install -c conda-forge vtk`
- Installation von ccx2paraview (CalculiX to Paraview converter)  
`conda install -c conda-forge ccx2paraview`
- Installation von meshio (I/O for various mesh formats)  
`conda install -c conda-forge meshio==5.0.0`
- Installation von PyMCubes (marching cubes for Python)  
`pip install PyMCubes`
- Installation von pygalmesh (Python frontend to CGAL's 3D mesh generators)  
`conda install -c conda-forge pygalmesh`
- Installation von DXchange (data I/O for tomography)  
`conda install -c conda-forge dxchange`
- Installation von ciclope (computed tomography to finite elements)  
`pip install ciclope[all]`

- Bourne und Meulen: „Finite element models predict cancellous apparent modulus when tissue modulus is scaled from specimen CT-attenuation“
- Cox, Smith, Meulen und Cole: „Heterogeneous Tissue Modulus Improved Prediction of Mechanical Behavior in Osteoporotic Vertebral Cancellous Bone“

# Aufgaben

H L R I S

1. Einlesen des Datensatzes (*read tif image stack, numpy*)
2. Filtern des Datensatzes (*Gauß-Glättung, skimage, gaussian*)
3. Binarisieren des Datensatzes  
(*Schwellenwertverfahren, skimage, thresholding, threshold\_otsu*)
4. Plotten des Histogramms des Datensatzes  
(*matplotlib*)

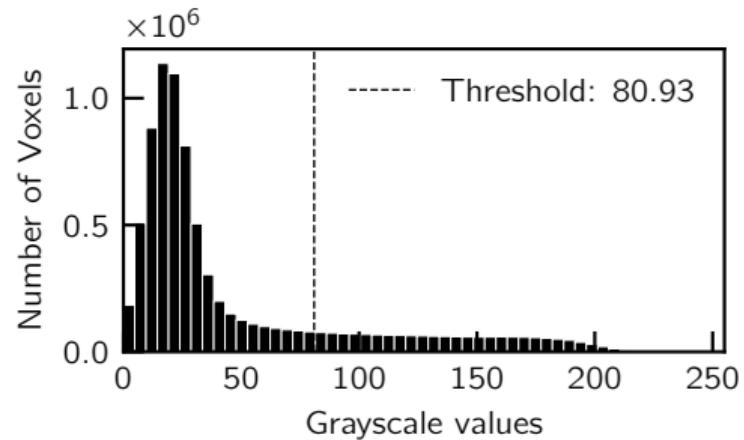


Abbildung: Histogramm als Ziel



Benjamin Schnabel, M.Sc.  
High-Performance Computing Center Stuttgart (HLRS)

-  Mail benjamin.schnabel@hlrs.de
-  Phone +49 711 685-87288
-  GitHub <https://github.com/bennyschnabel>
-  ORCID 0000-0002-9882-0263



- [1] L Voo, M Armand und M Kleinberger. „Stress Fracture Risk Analysis of the Human Femur Based on Computational Biomechanics“. In: *Johns Hopkins APL Technical Digest* 25.3 (2004), S. 223–230. URL: <https://secwww.jhuapl.edu/techdigest/content/techdigest/pdf/V25-N03/25-03-Voo.pdf> (besucht am 04.11.2024).
- [2] T Vendiš. *CT-Scanner Siemens Naeotom Alpha*. 2022. URL: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CT\\_Naeotom\\_Alpha\\_Pilsen\\_2022\\_\(cropped\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CT_Naeotom_Alpha_Pilsen_2022_(cropped).jpg) (besucht am 05.11.2024).
- [3] SC Lee, HK Kim, IK Chun, MH Cho, SY Lee und MH Cho. „A flat-panel detector based micro-CT system: performance evaluation for small-animal imaging“. In: *Physics in Medicine and Biology* 48.24 (Dez. 2003), S. 4173–4185. DOI: 10.1088/0031-9155/48/24/014.
- [4] F Milena. *Medical Technology Laboratory*. Istituto Ortopedico Rizzoli. 24. Nov. 2022. URL: <https://www.ior.it/en/laboratori/lab-di-tecnolog-medica/medical-technology-laboratory> (besucht am 11.11.2024).
- [5] BC Bourne und MCH van der Meulen. „Finite element models predict cancellous apparent modulus when tissue modulus is scaled from specimen CT-attenuation“. In: *Journal of Biomechanics* 37.5 (Mai 2004), S. 613–621. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2003.10.002.

- [6] JM Cox, JD Smith, MCH van der Meulen und JH Cole. „Heterogeneous Tissue Modulus Improved Prediction of Mechanical Behavior in Osteoporotic Vertebral Cancellous Bone“. In: (Dez. 2021). DOI: 10.1101/2021.11.30.470675.