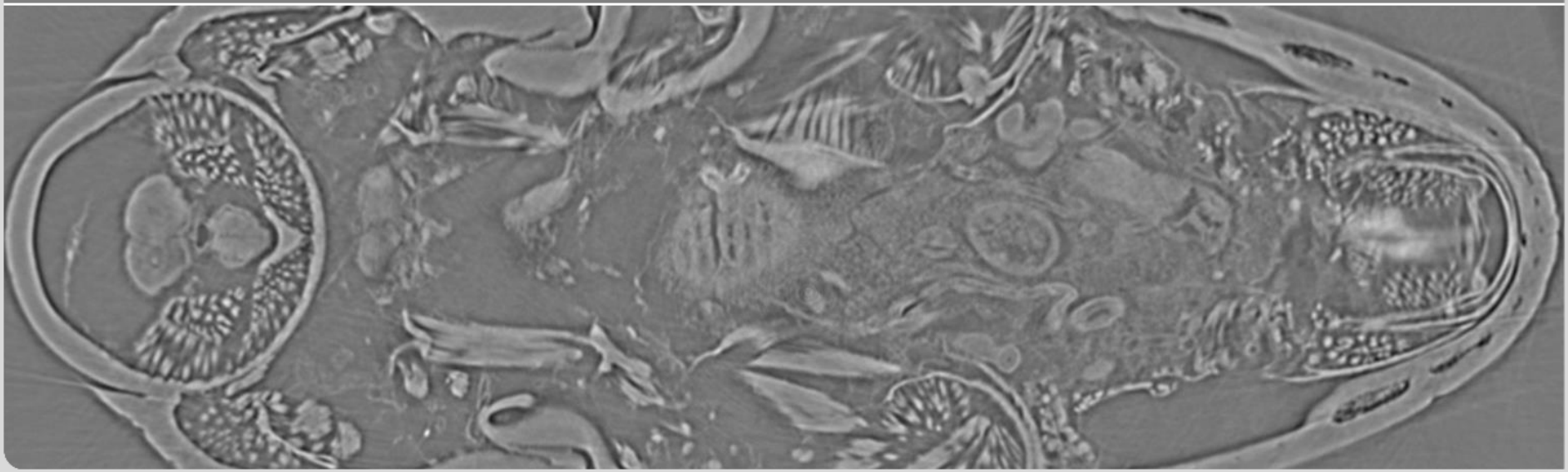
Karlsruhe Institute of Technology

Röntgenbildgebung in den Lebenswissenschaften: Herausforderungen an die Datenanalyse

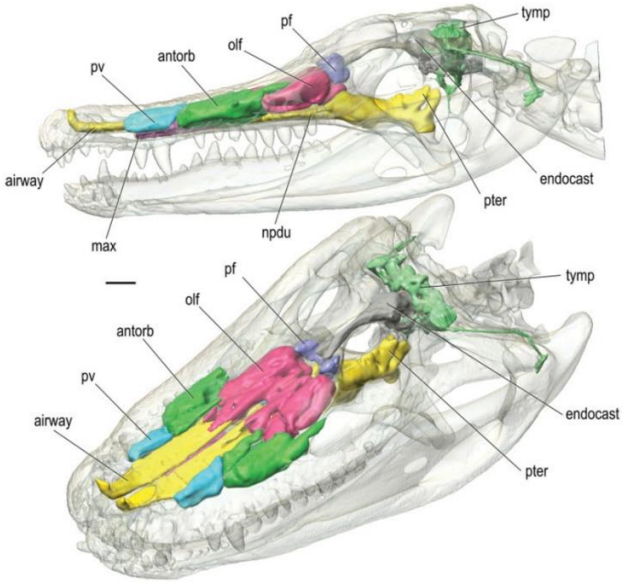
Thomas van de Kamp, Tomy dos Santos Rolo, Alexey Ershov & Tilo Baumbach

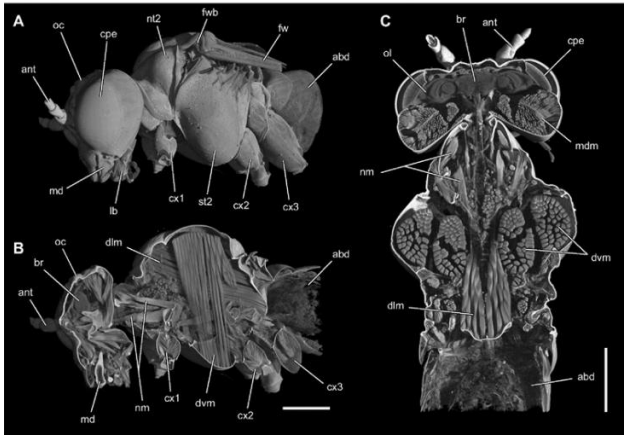
INSTITUTE FOR PHOTON SCIENCE AND SYNCHROTRON RADIATION



Röntgenbildgebung in den Lebenswissenschaften

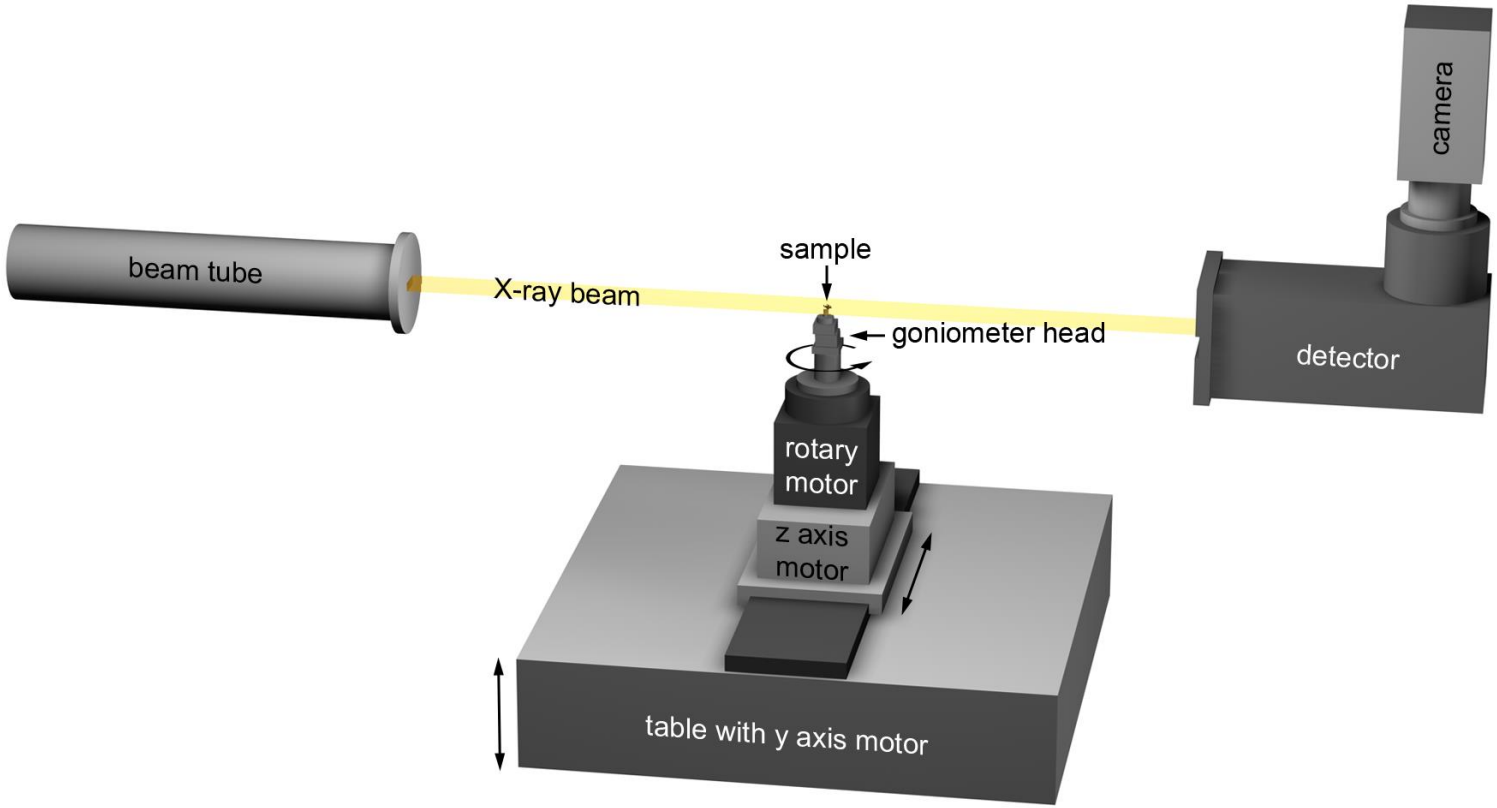
- Vorteile
  - innere Strukturen werden sichtbar
  - (non-invasiv)
- Methoden
  - Radiographie: 2D-Projektionen
  - Tomographie: Rekonstruktion von 3D-Volumen basierend auf einer Reihe von Projektionen
- Laborgeräte
  - limitiert in der Auflösung, wenig Photonen
- Synchrotron
  - Hohe Auflösung, geringe Belichtungszeiten, Phasenkontrast





Witmer & Ridgely 2008; Friedrich et al. 2008

Synchrotron-basierte Röntgen-Mikrocomputertomographie (SR-µCT)



van de Kamp et al.

3D-Visualisierungen

- Schnelle Visualisierung anhand der Graustufen
  - Volumenrendering
  - Oberflächenrendering

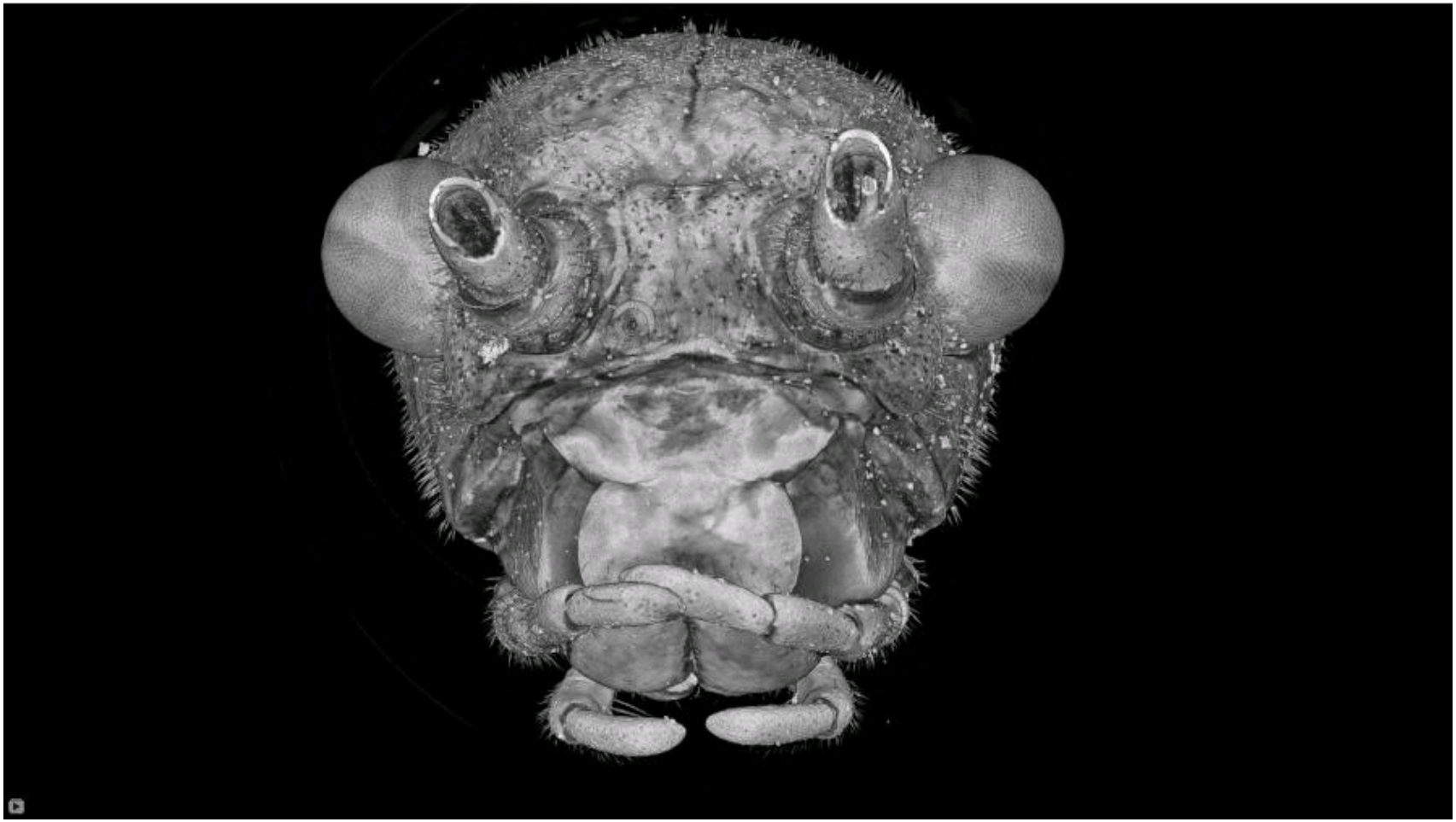
- Manuelle Segmentierung und anschließende Berechnung von Oberflächenmodellen

  → für die Erschaffung interaktiver 3D-Modelle für funktionsmorphologische Analysen

Volumenrendering

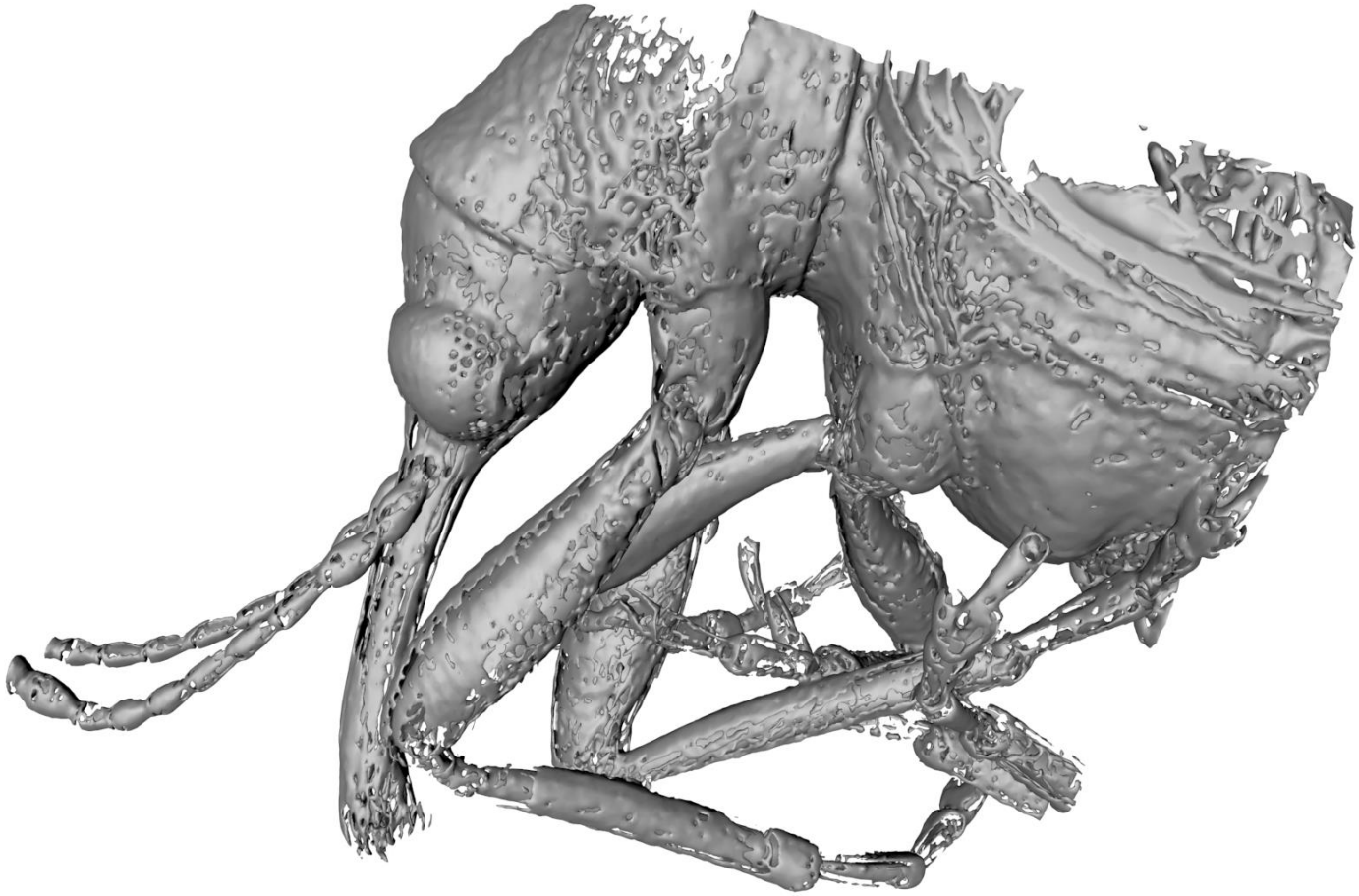
van de Kamp et al.

Volumenrendering



van de Kamp et al.

Oberflächenrendering



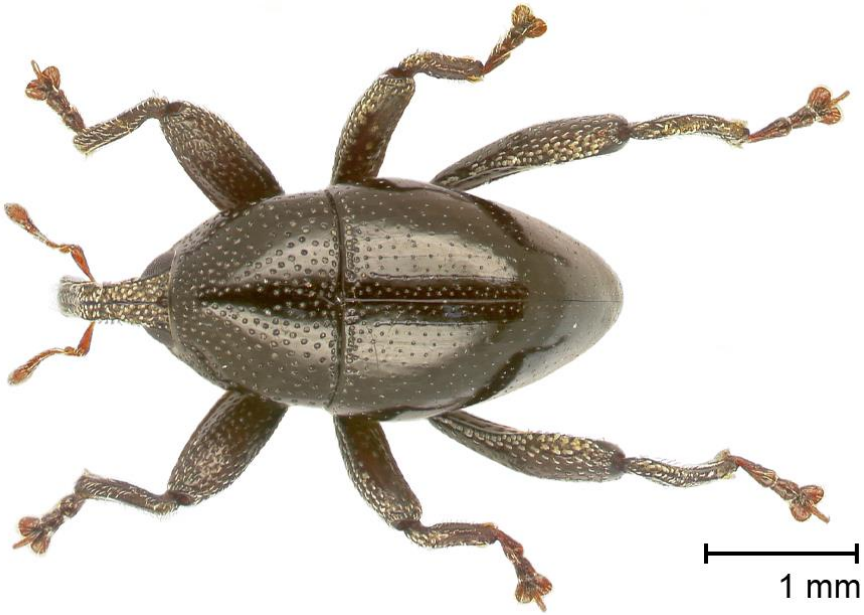
Einschluss eines 44 Millionen Jahre alten Rüsselkäfers in baltischem Bernstein

van de Kamp et al.

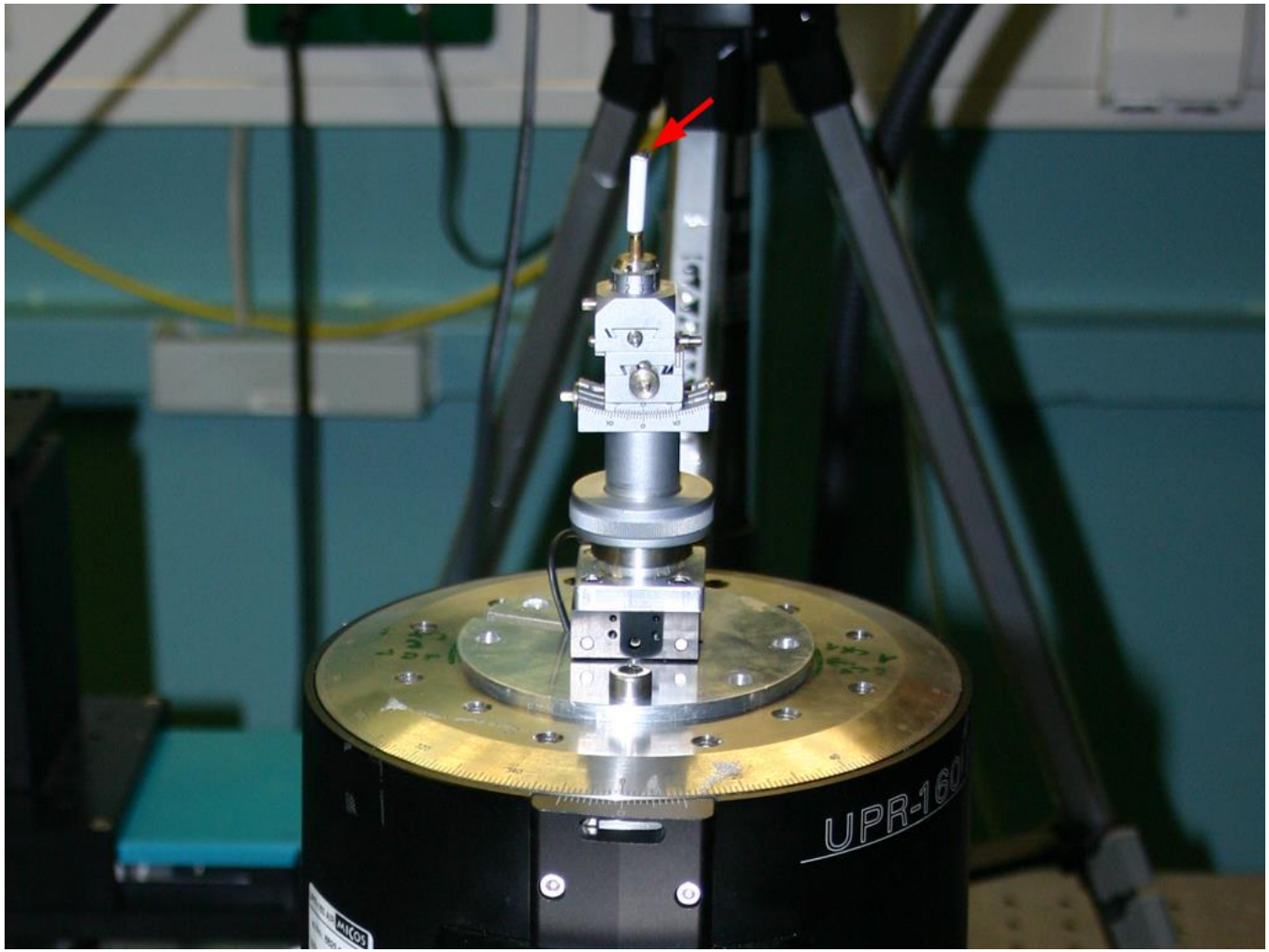
Interaktive 3D-Modelle

- Erschaffung interaktiver 3D-Rekonstruktionen
  - Segmentierung der SR-µCT-Daten
  - Zusammensetzen der Einzelteile zu "kompletten" Modellen
  - Untersuchung der Morphologie anhand der digitalen Modelle
  - Animation von Gelenken
- Einbettung der Daten in PDF-Dokumente

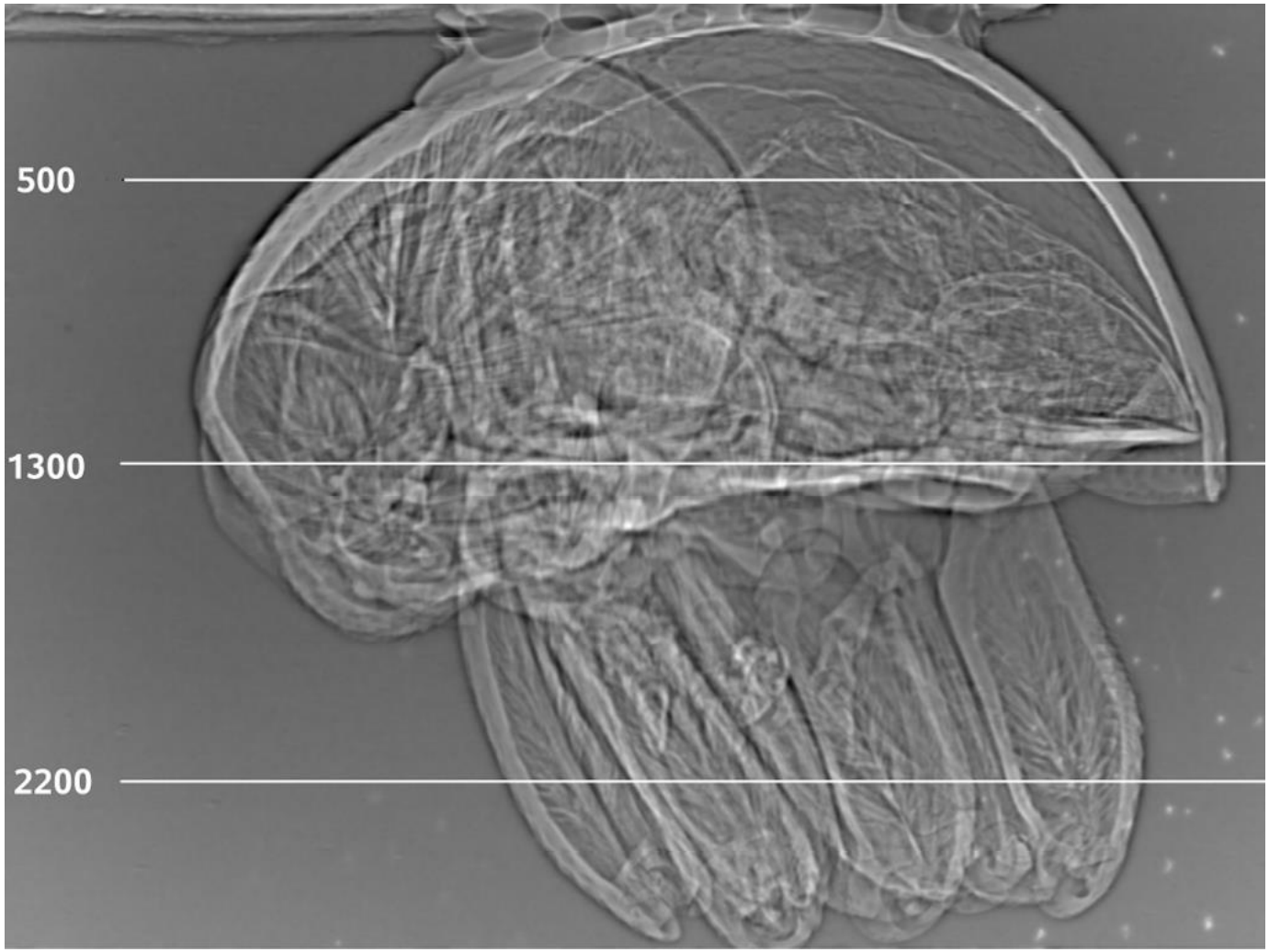
Trigonopterus-Rüsselkäfer



Tomographie an der TopoTomo-Beamline

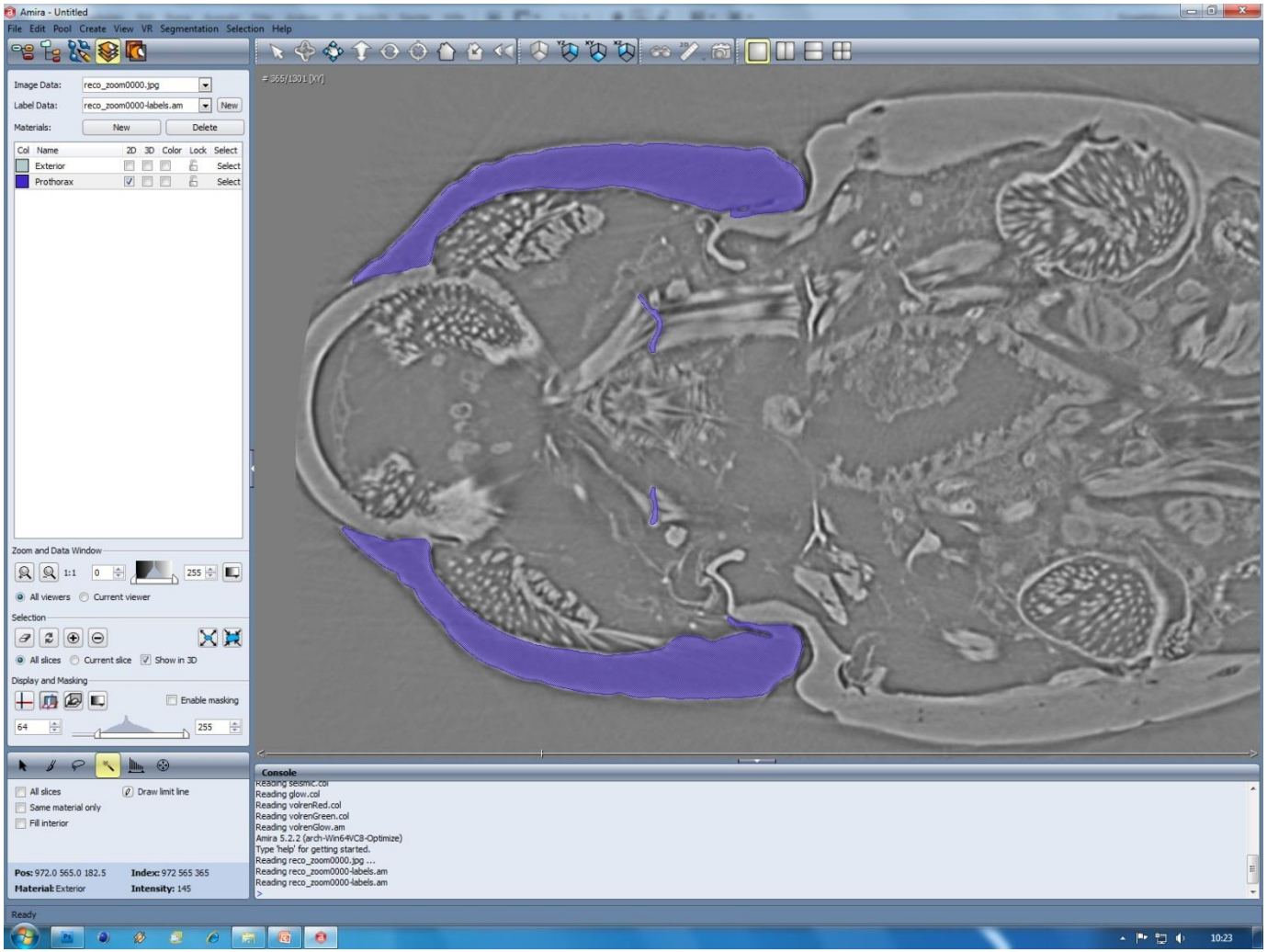


Tomographie an der TopoTomo-Beamline



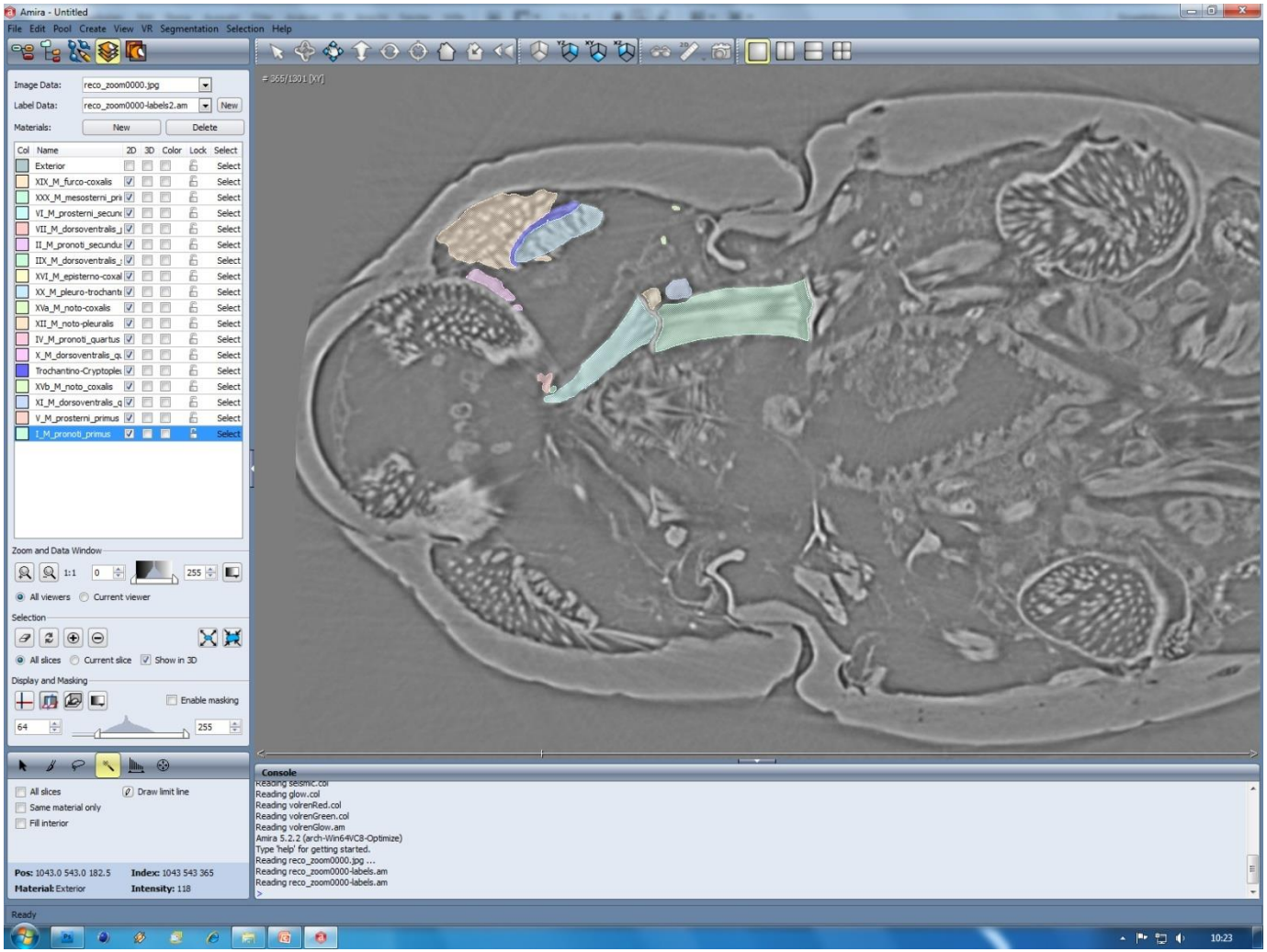
van de Kamp et al.

Manuelle Segmentierung der Einzelteile



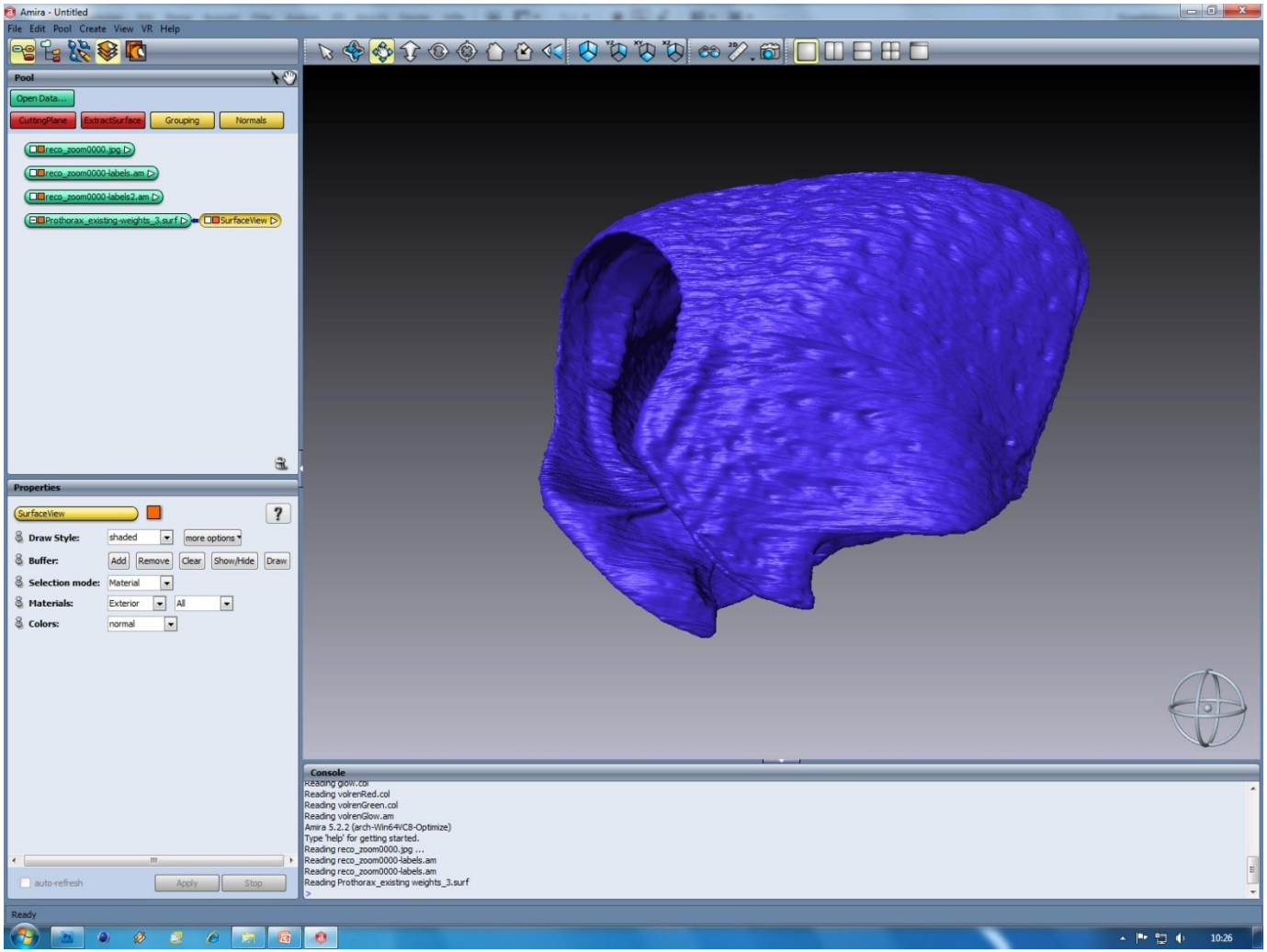
van de Kamp et al.

Manuelle Segmentierung der Einzelteile



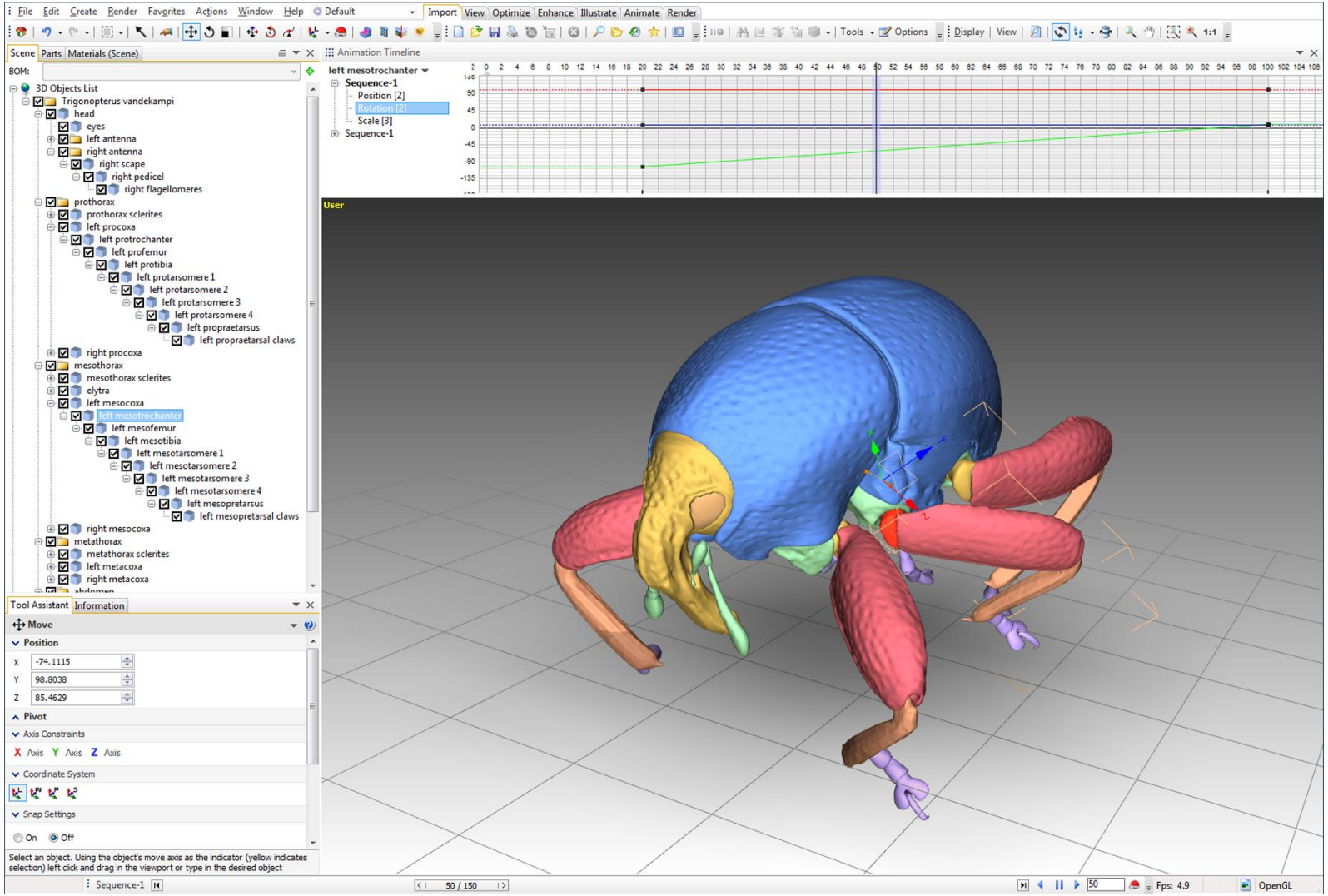
van de Kamp et al.

Berechnung von Polygonenobjekten

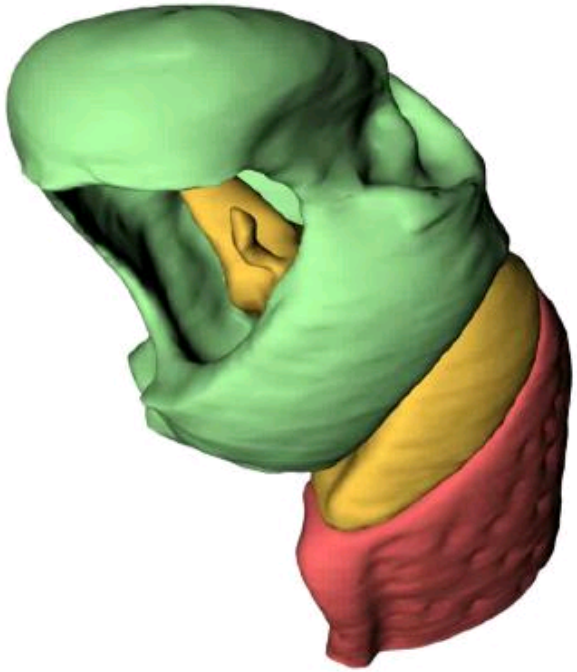


Zusammensetzen der Einzelteile

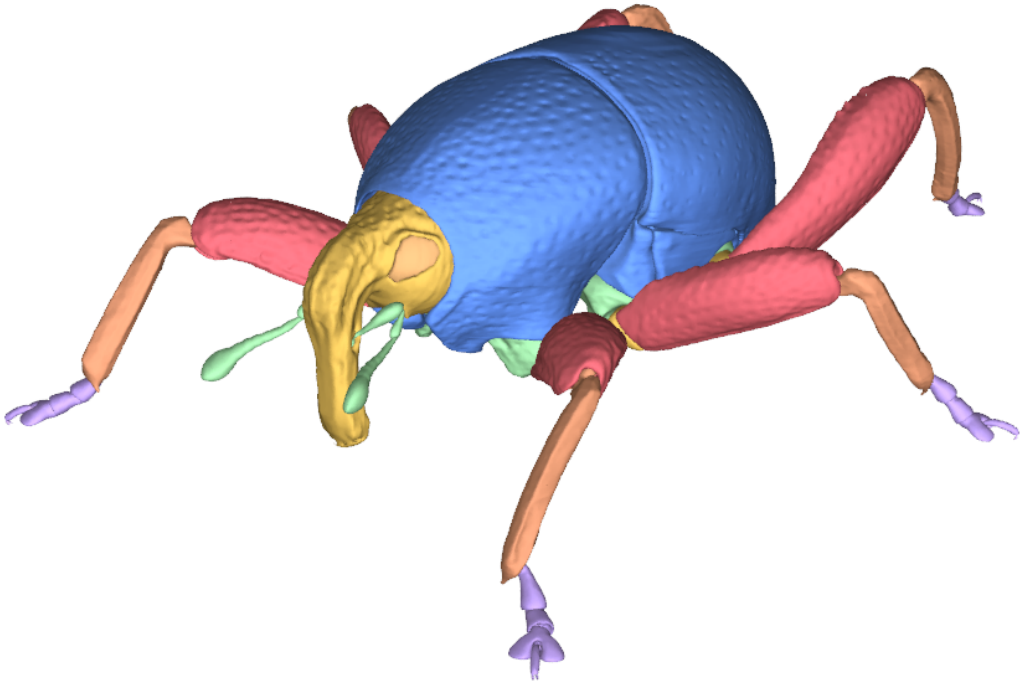
Animation


File Edit Create Render Favorites Actions Window Help Default
Import View Optimize Enhance Illustrate Animate Render
Tools Options Display View
Scene Parts Materials (Scene)
BOM:
3D Objects List
Trigonopterus vandekampi
head
eyes
left antenna
right antenna
right scape
right pedicel
right flagellomeres
prothorax
prothorax sclerites
left procoxa
left protrochanter
left profemur
left protibia
left protarsomere 1
left protarsomere 2
left protarsomere 3
left protarsomere 4
left propraetarsus
left propraetarsal claws
right procoxa
mesothorax
mesothorax sclerites
elytra
left mesocoxa
left mesotrochanter
left mesofemur
left mesotibia
left mesotarsomere 1
left mesotarsomere 2
left mesotarsomere 3
left mesotarsomere 4
left mesopretarsus
left mesopretarsal claws
right mesocoxa
metathorax
metathorax sclerites
left metacoxa
right metacoxa
Animation Timeline
left mesotrochanter
Sequence-1
Position [2]
Rotation [2]
Scale [3]
Sequence-1
User
Tool Assistant Information
Move
Position
X -74.1115
Y 98.8038
Z 85.4629
Pivot
Axis Constraints
X Axis Y Axis Z Axis
Coordinate System
Snap Settings
On Off
Select an object. Using the object's move axis as the indicator (yellow indicates selection) left click and drag in the viewport or type in the desired object
Sequence-1
50 / 150
Fps: 4.9
OpenGL

Animation



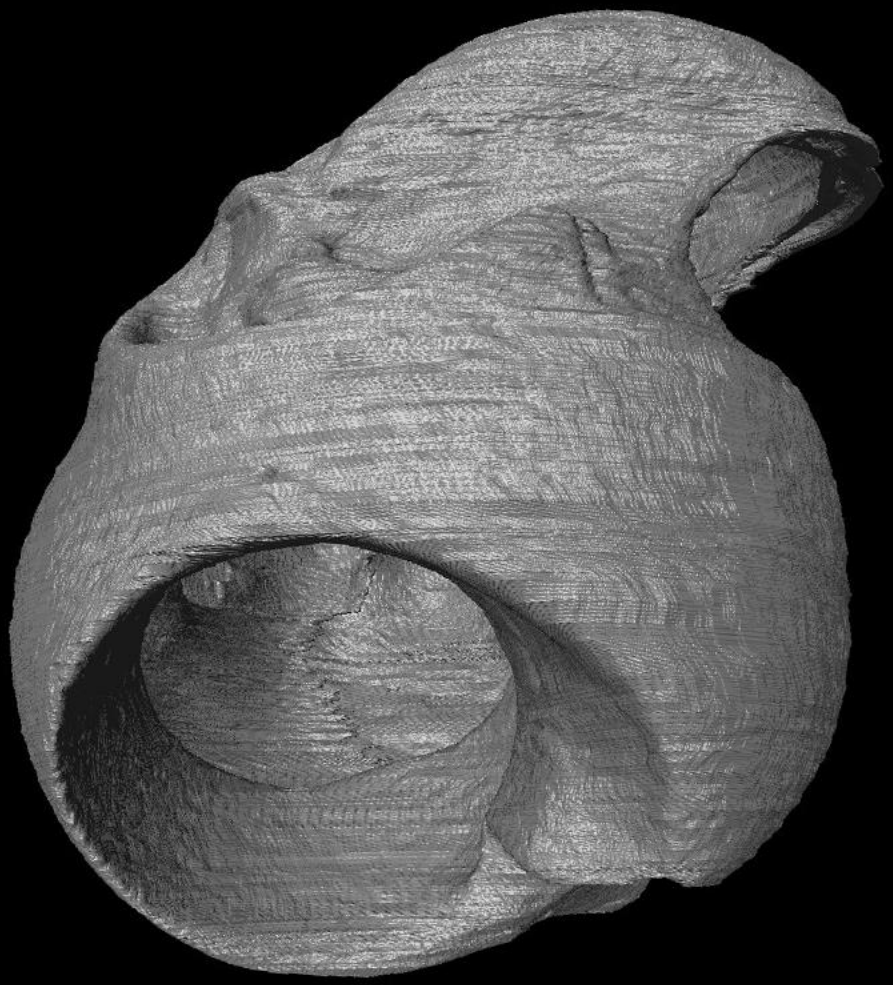
Interaktive 3D-Modelle



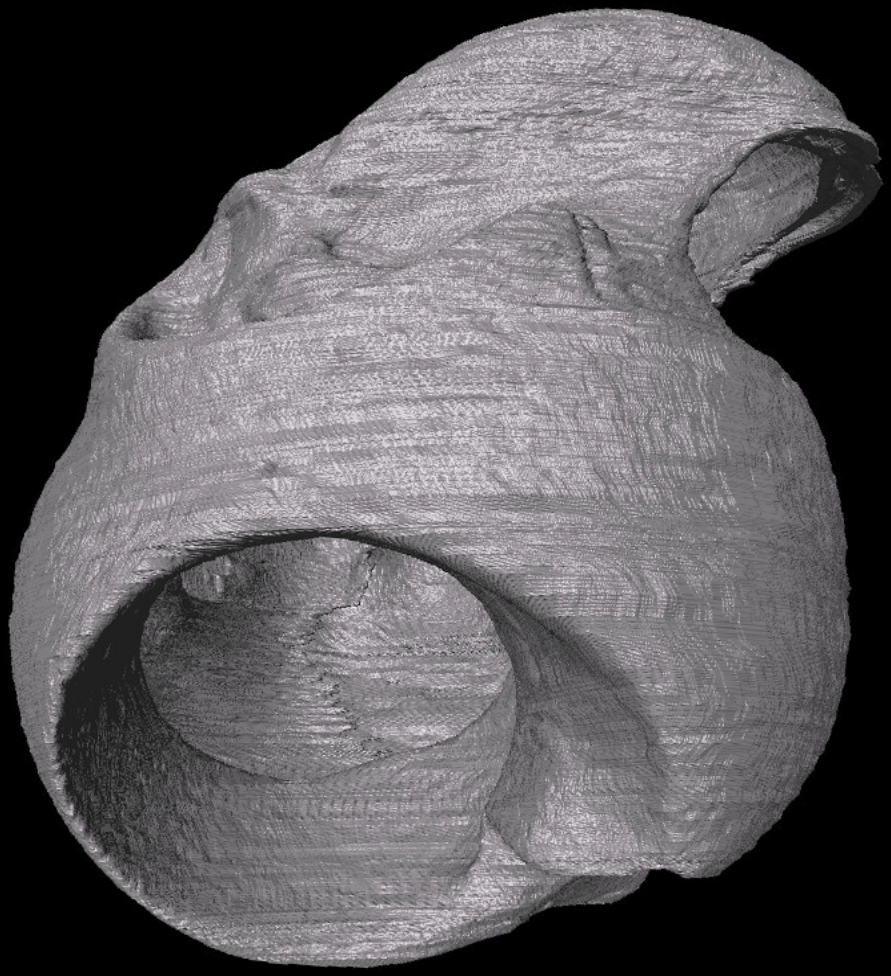
Optimierung

- Probleme:
  - Artefakte durch Segmentierung
  - sehr große und unhandliche Daten; völlig ungeeignet für PDF-Export

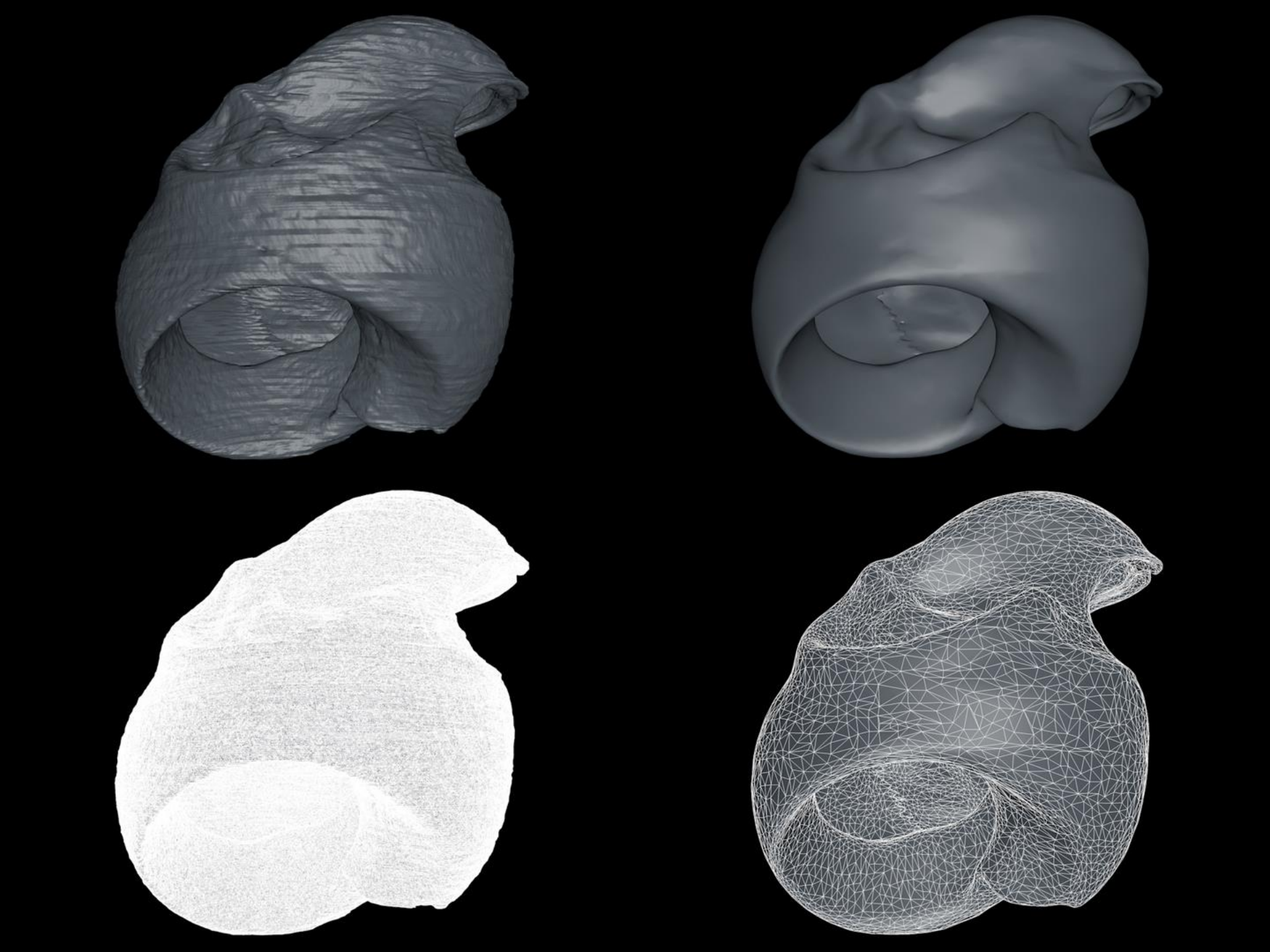
→ Glätten der Oberfläche und Reduktion der Polygone



Polygone: 37.431.296



Polygone: 37.431.296

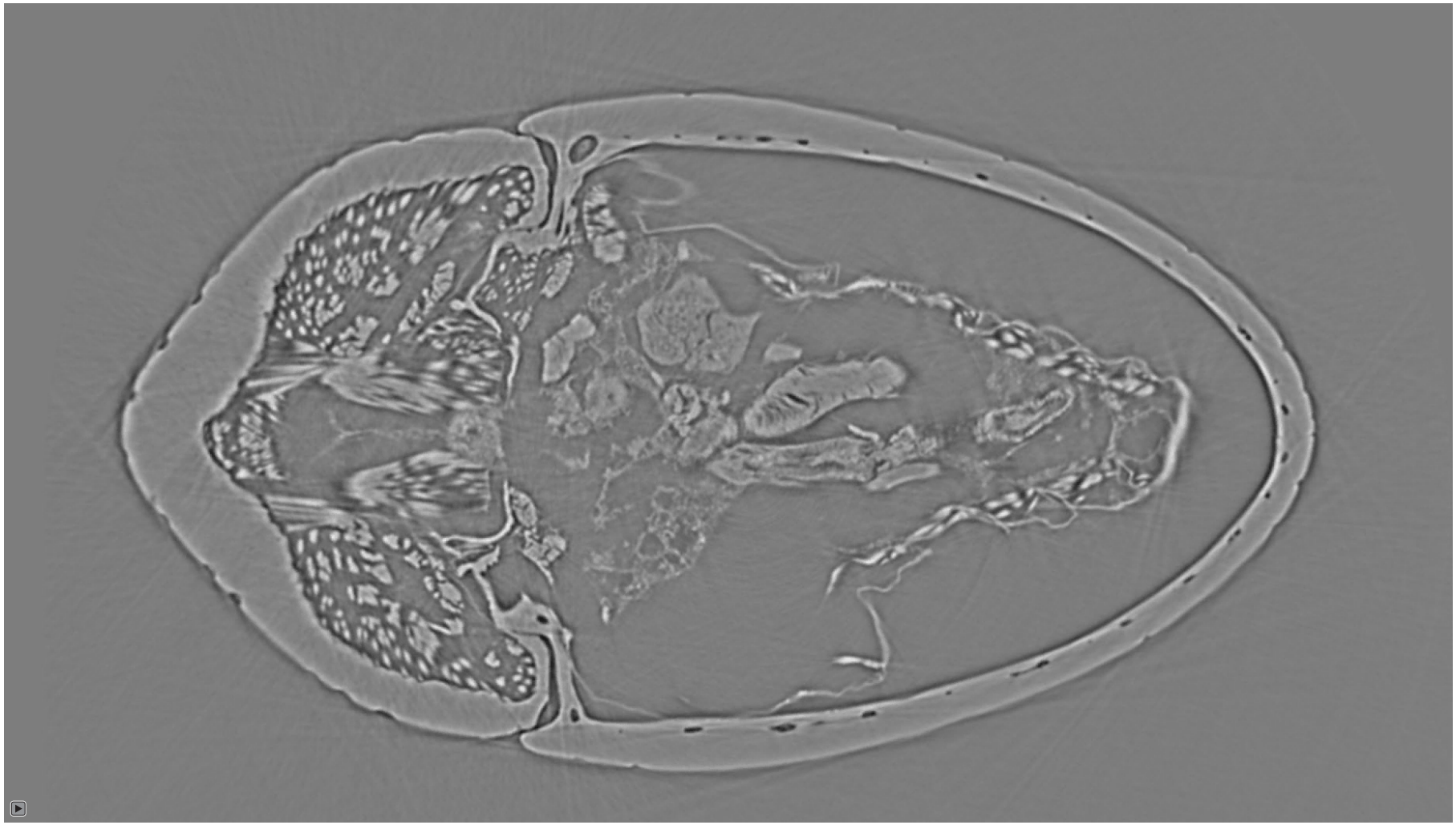


Problem 1: viele manuelle Schritte notwendig

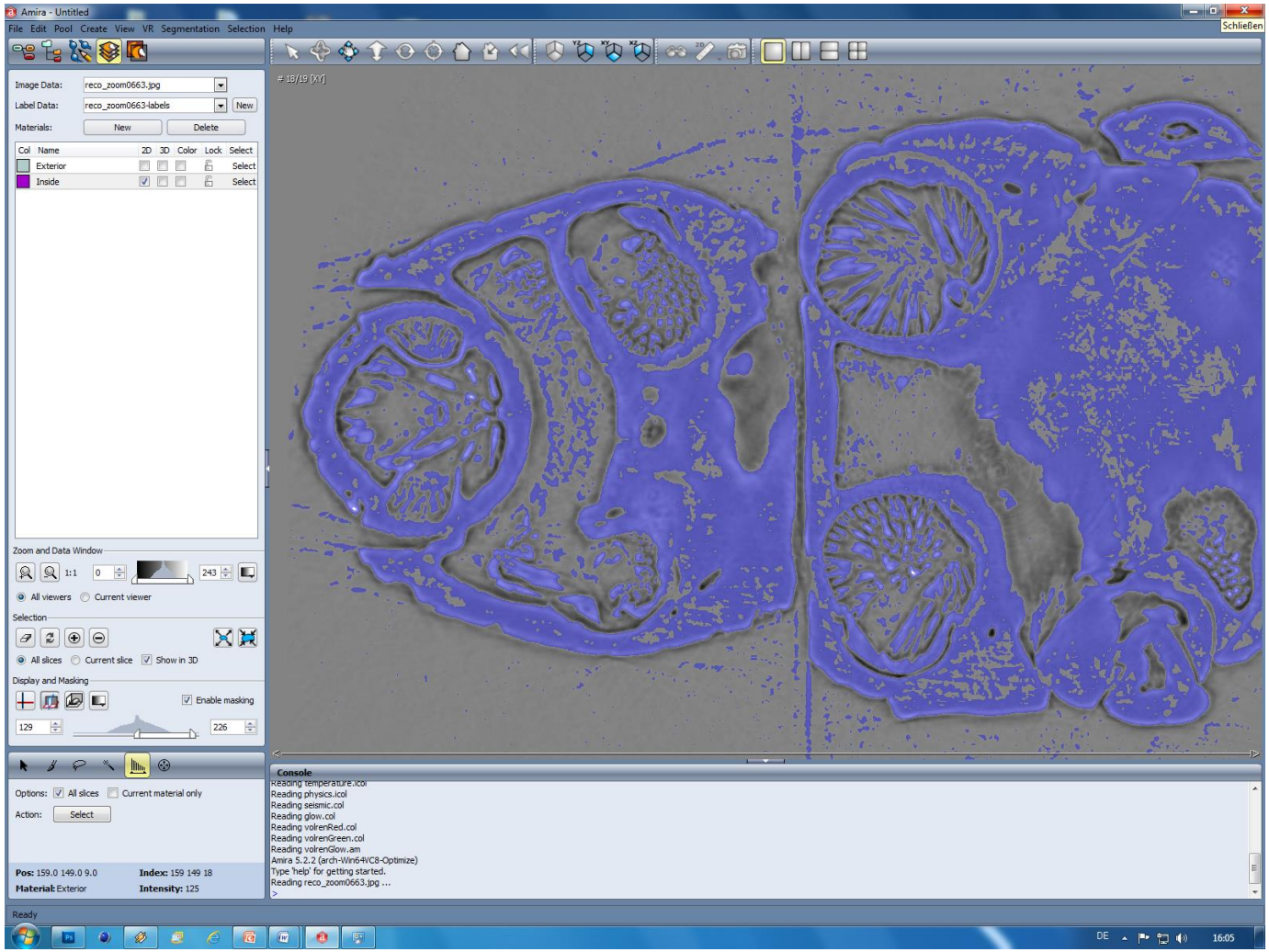
- Datenanalyse
  - Rekonstruktion, inkl. manueller Einstellung der Rotationsachse
  - Phase retrieval
  - Segmentierung
  - Entfernen von Artefakten
  - Erstellung von Oberflächenmodellen
- Datenmanagement
  - Optimierung
  - Archivierung

→ Automatisierung der Prozesse

Rekonstruierter Datensatz



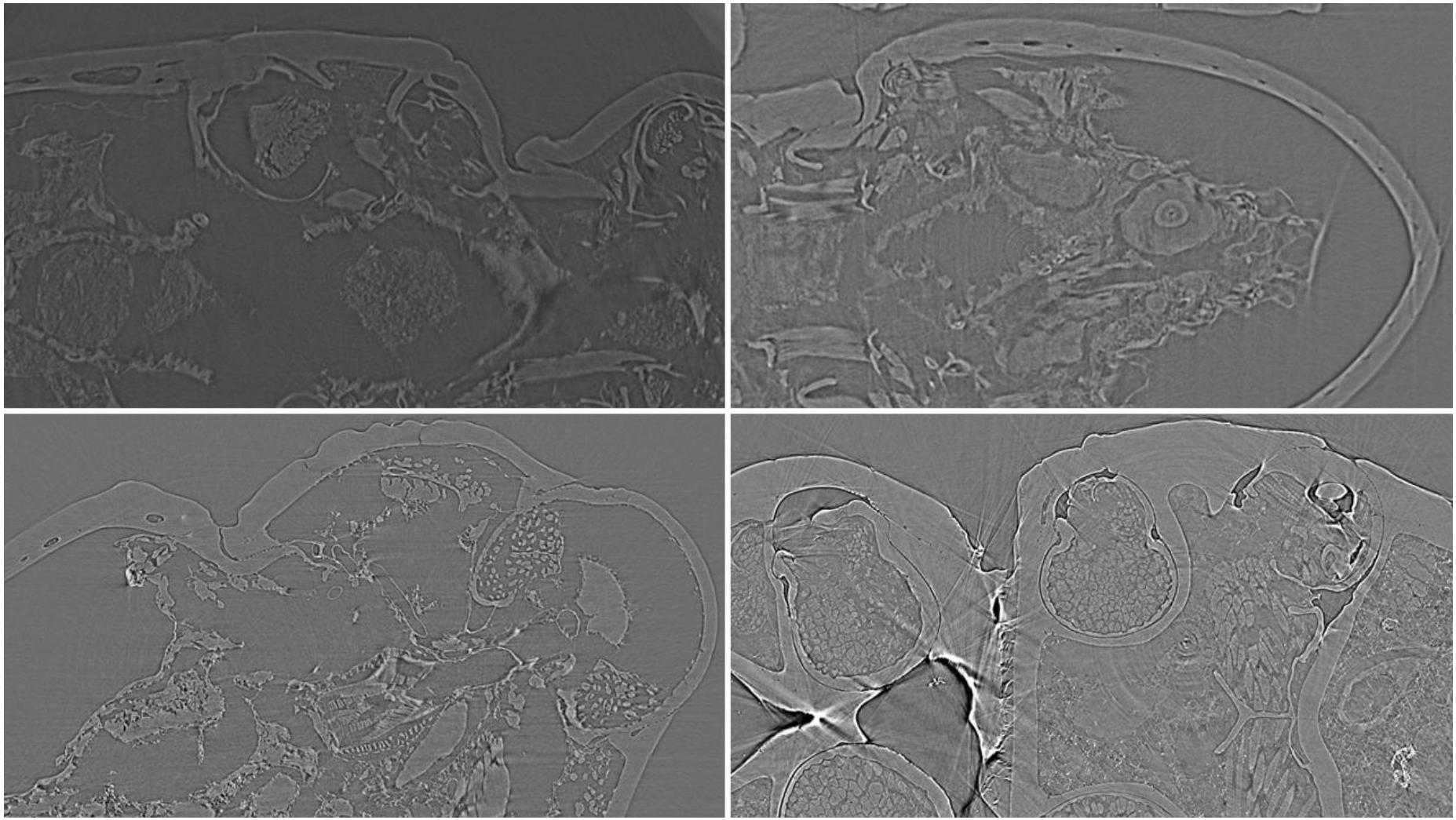
Segmentierung anhand der Grauwerte



Jeder Datensatz ist anders!

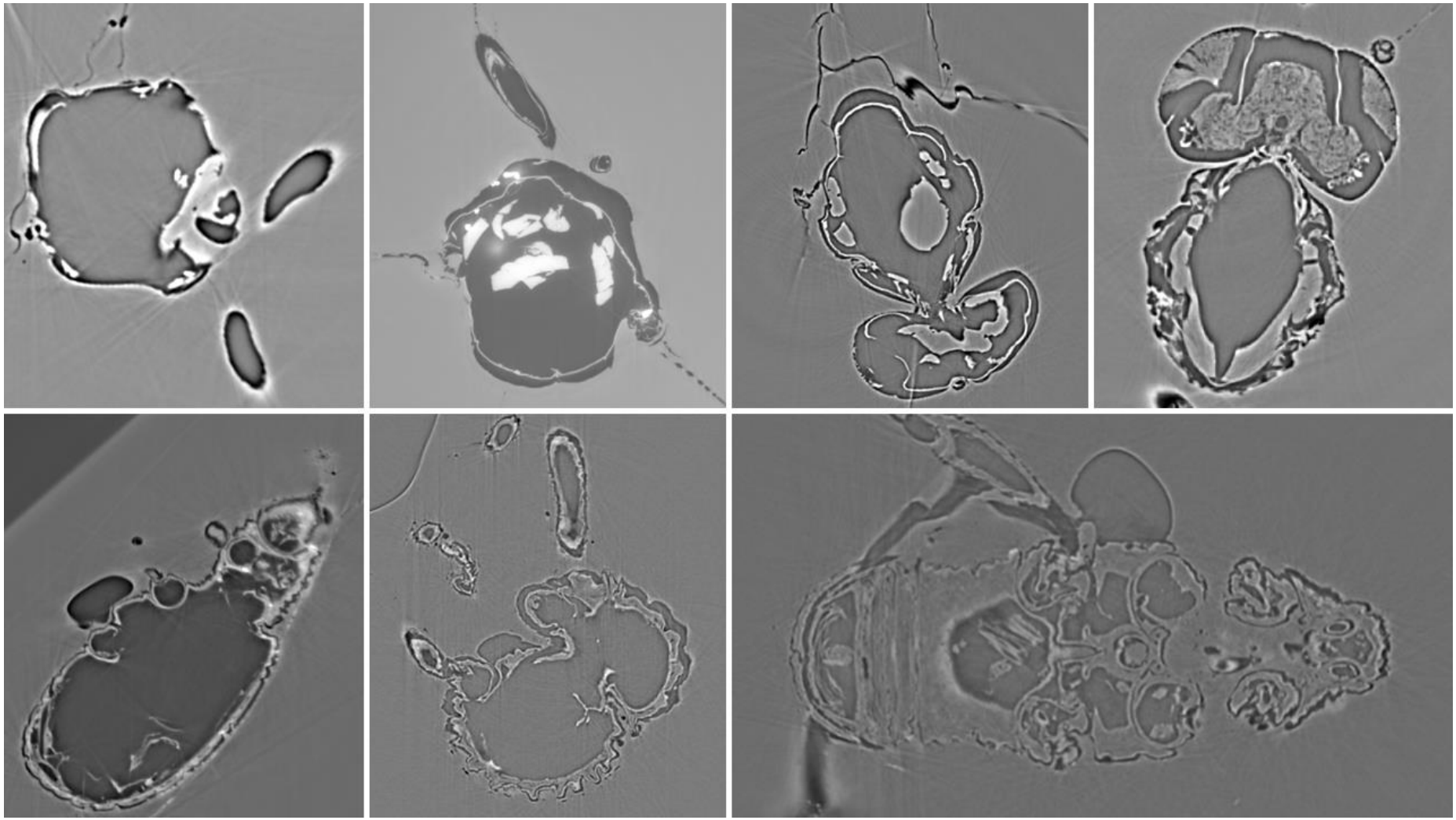
- Probe
  - Art
  - Erhaltungszustand
  - Präparationsmethode
  - Orientierung
- Scanparameter
  - Kamera
  - Scintillator
  - Abstand Probe zu Detektor
  - Anzahl Projektionen pro Tomogramm
- Rekonstruktion
  - Verwendeter Algorithmus
  - Phase retrieval ja/nein

Jeder Datensatz ist anders!



van de Kamp et al.

Jeder Datensatz ist anders!



van de Kamp et al.

Problem 2: Große Datenmengen

Beispiel: Hochauflösendes Tomogramm (4008 x 4008 x 2672 Voxel)

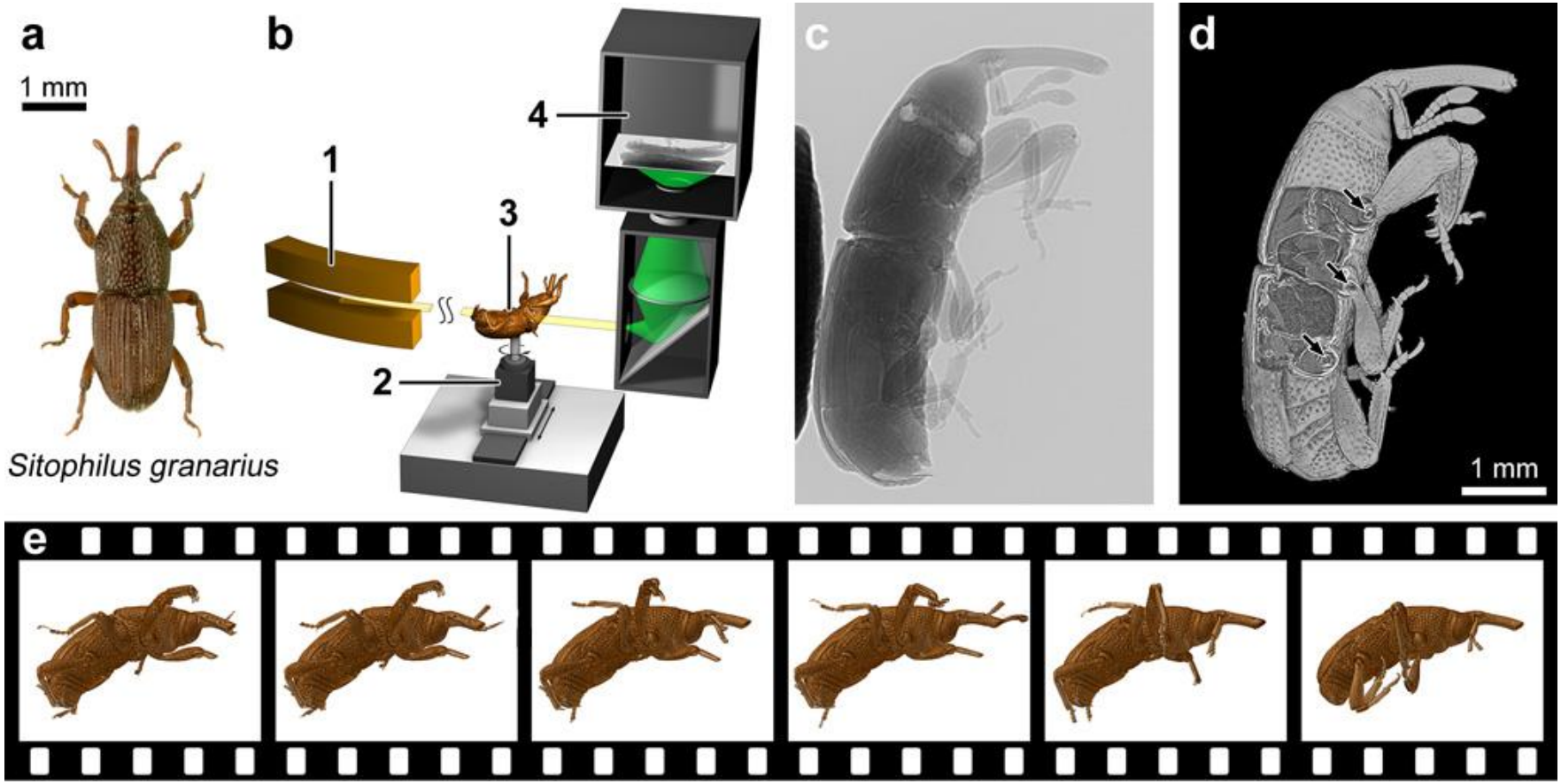
- Scandauer: ca. 2 h
- Rohdaten nach Scan: ~ 170 GB (32 bit)
- Bildstapel nach Phase retrieval: ~ 85 GB (16 bit)
- Labels nach Segmentierung & 3D-Modelle: einige GB

Problem 2: Große Datenmengen

Beispiel: Hochgeschwindigkeitstomographie (2016 x 2016 x 2016 Voxel)

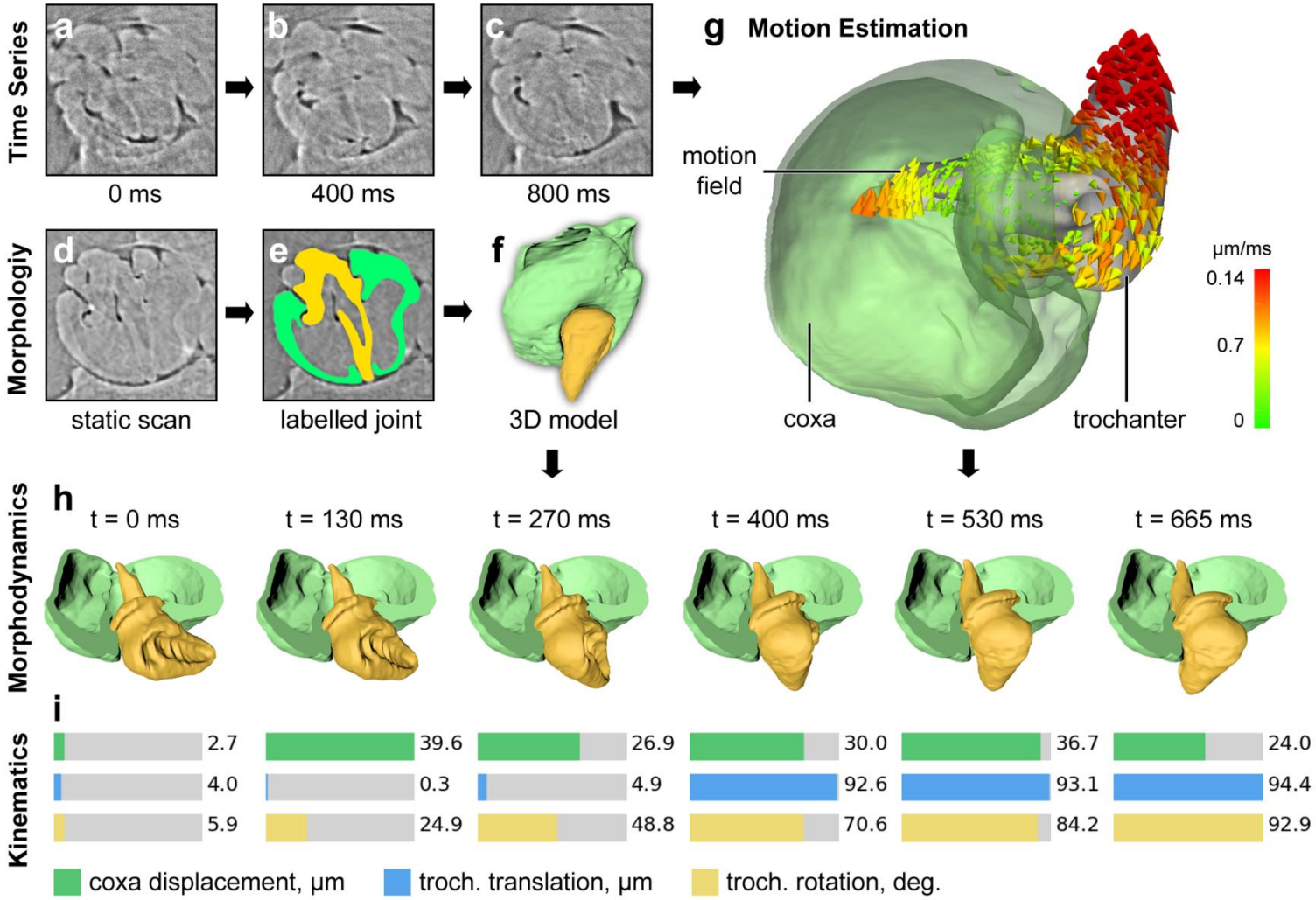
- Scandauer: ca. 20 s
- Rohdaten nach Scan: ~ 23 GB (16 bit)
- Überspielen der Daten von Kamera ca. 5 min (limitierender Faktor!)

In vivo X-ray 4D Cine-tomography



van de Kamp et al.

In vivo X-ray 4D Cine-tomography



van de Kamp et al.

Fazit

- Rasante Weiterentwicklungen der SR-µCT machen automatisiertes Datenmanagement und (teil-)automatisierte Datenanalyse dringend erforderlich!

- Datenauswertung ist der bottle-neck!

Fazit

Wünschenswert:

- automatische Rekonstruktion (wird derzeit implementiert)
- automatische Weiterverarbeitung der Volumen
  - Reduktion der Datenmenge etc.
- Einspeisung in eine Datenbank inkl. Metadaten
- ggf. automatische Segmentierung

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!