

# NanoXCT: Entwicklung eines Nano-Computertomographie-Gerätes für den Laboreinsatz

Markus FIRSCHING<sup>1</sup>, Frank NACHTRAB<sup>1</sup>, Norman UHLMANN<sup>1</sup>, Per TAKMAN<sup>2</sup>,  
Christoph HEINZL<sup>3</sup>, Anders HOLMBERG<sup>4</sup>, Michael KRUMM<sup>5</sup>,  
Christoph SAUERWEIN<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Fraunhofer-Entwicklungszentrum Röntgentechnik EZRT, Fürth

<sup>2</sup> Excillum AB, Kista, Schweden

<sup>3</sup> FH OÖ Forschungs & Entwicklungs GmbH, Wels, Österreich

<sup>4</sup> KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Schweden

<sup>5</sup> RayScan Technologies GmbH, Meersburg

## Kurzfassung

Das im Rahmen des FP7 Programmes der EU geförderte Projekt beinhaltet die Entwicklung eines kompakten, d.h. für den Laboreinsatz gedachten Nano-CT-Systems für die ZfP auf Mikro- und Nanometer Skala, das einen vergleichsweise großen Objektdurchmesser erlaubt. Das angestrebte Field-of-View beträgt 175  $\mu\text{m}$  bei 50 nm Voxelgröße und 1 mm bei 285 nm Voxelgröße. Innerhalb des Projekts wurden eine entsprechende Röntgenquelle, eine Objektmanipulationseinheit und ein Detektorsystem entwickelt. Neben einer Mehrenergie CT, enthält das System auch eine K-Kanten-Analyse um elementspezifische Information zu erhalten.

Um die sowohl die Flexibilität von aktuellen Mikro-CT-Anlagen als auch ein Field-of-View in der Größenordnung von 1 mm zu erhalten, verzichtet das Gesamtkonzept bewusst auf den Einsatz von Röntgenoptiken. Die angestrebte Auflösung wird allein durch geometrische Vergrößerung erreicht, was durch die speziell entwickelte Nano-Fokus Röntgenröhre mit hohem Fluss und kleinstem Brennfleck erreicht wird.

Als Basis für das Detektorsystem wurden Timepix-Hexa-Module gewählt, da das photonenzählende Konzept von größtem Vorteil bei den vergleichsweise langen Belichtungszeiten ist, die bei den extrem kleinen Brennfleckgrößen unvermeidbar sind. Weitere Vorteile der Timepix-Module sind die kleine Pixelgröße von 55  $\mu\text{m}$  und die Möglichkeit durch eine einstellbare Energieschwelle spektrale Information zu gewinnen.

In diesem Beitrag werden sowohl die Komponenten als auch das Gesamtsystem sowie die Entwicklungsziele und erste Ergebnisse vorgestellt.

---

# NANOXCT: ENTWICKLUNG EINES NANO-COMPUTERTOMOGRAPHIE-GERÄTES FÜR DEN LABOREINSATZ

---

M. Firsching, F. Nachtrab, N. Uhlmann, P. Takman, C. Heinzl, A. Holmberg, M. Krumm, C. Sauerwein



© Fraunhofer

---

# NANOXCT: ENTWICKLUNG EINES NANO-COMPUTERTOMOGRAPHIE-GERÄTES FÜR DEN LABOREINSATZ

---

## Übersicht

- Spezifikation
- Komponenten
  - Röntgenröhre
  - Detektor
  - Manipulator
- Auswertung/Visualisierung
  - K-edge
  - Plattform zur Datenanalyse und -quantifizierung

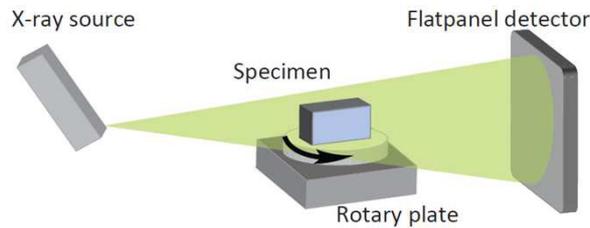
2

© Fraunhofer

DACH, Salzburg, 12.05.2015



## NanoXCT Systemspezifikation



### Anvisierte NanoXCT Systemspezifikation:

Scan Dauer:	~ 10 Stunden
Field of view:	1 mm
Probengröße:	$\leq 1 \text{ mm}^3$
Voxelgröße:	50 nm
Geplanter Marktpreis:	750 k€
Analyse:	3D Struktur- und chemische Analyse

3

## NanoXCT Röntgenröhre Partner: Excillum

excillum

### Spezifikation:

Brennfleckgröße	Bis zu 100 nm
Beschleunigungsspannung	20-60 kV, optimiert für 50 kV
Leistungsdichte Target	0.5-1 W/ $\mu\text{m}$
Fokus -Objekt Abstand	unter 300 $\mu\text{m}$

### Herausforderung:

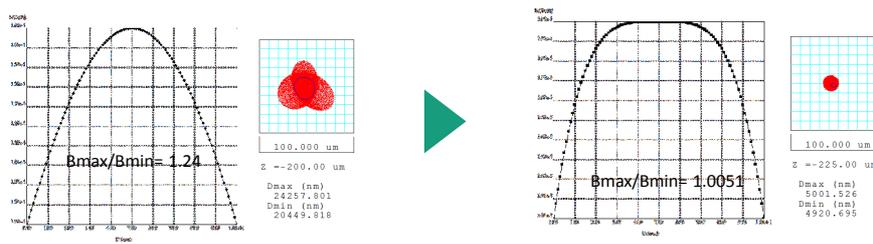
- Erzeugung Elektronenstrahl mit 100 nm Durchmesser
- hohe Leistung sowohl bei Nano- als auch bei Mikro-Fokus
- möglichst geringer Fokus – Objekt Abstand

4

## NanoXCT Röntgenröhre Elektronenstrahldesign

excillum

- Korrekturoptiken mit geringer Aberration
- Hohe Feldhomogenität ohne Verbreiterung des Brennflecks auch bei starker Ablenkung



5

© Fraunhofer

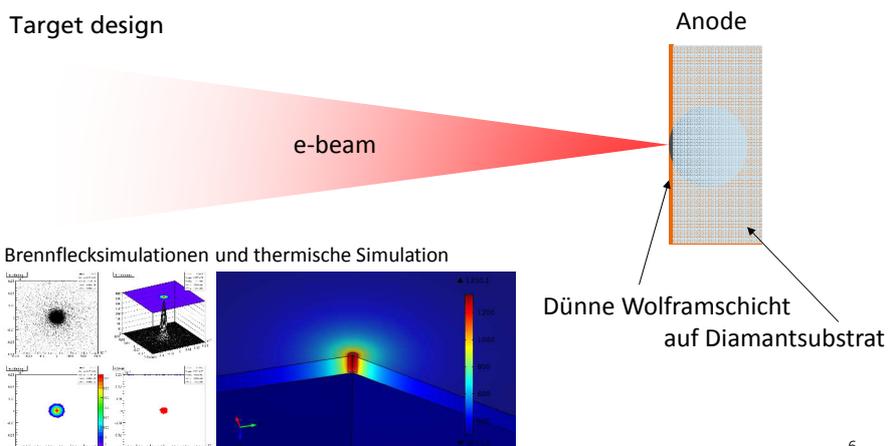
DACH, Salzburg, 12.05.2015

NanoXCT Fraunhofer  
EZRT

## NanoXCT Röntgenröhre Targetdesign

excillum

Target design



6

© Fraunhofer

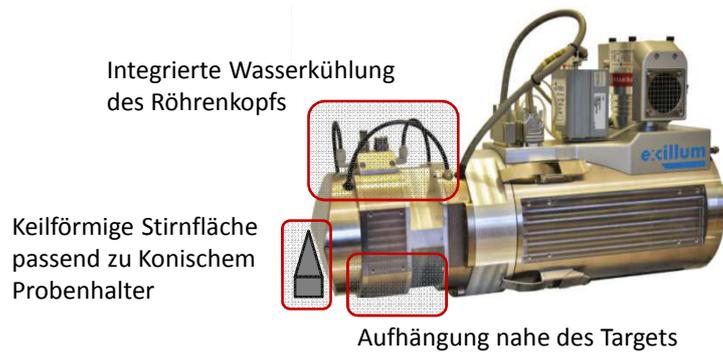
DACH, Salzburg, 12.05.2015

NanoXCT Fraunhofer  
EZRT

## NanoXCT Röntgenröhre Eckdaten

excillum

- Anfängliche Brennfleckgröße 400 nm (200 nm half pitch Auflösung)
- Zweiter Prototyp mit 150 nm Brennfleckgröße



© Fraunhofer

DACH, Salzburg, 12.05.2015

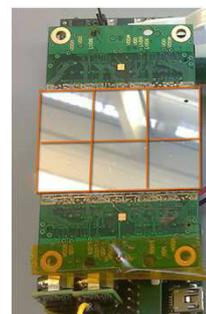
NanoXCT Fraunhofer  
EZRT

## NanoXCT Detektor Partner Fraunhofer EZRT

Fraunhofer  
EZRT

### Spezifikation

- Photonenzählend: für gute Dynamik bei geringen Intensitäten bei kleinstem Brennfleck
- Direktkonvertierend: für beste Auflösung bei gegebener Pixelgröße
- Möglichkeit zur spektralen Messung: Analyse der Materialzusammensetzung
- Mindestens 3000 Pixel breit: großes FOV bei höchster Auflösung



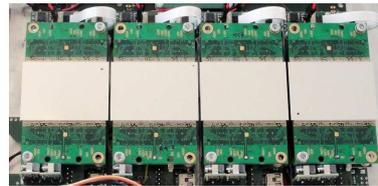
© Fraunhofer

DACH, Salzburg, 12.05.2015

NanoXCT Fraunhofer  
EZRT

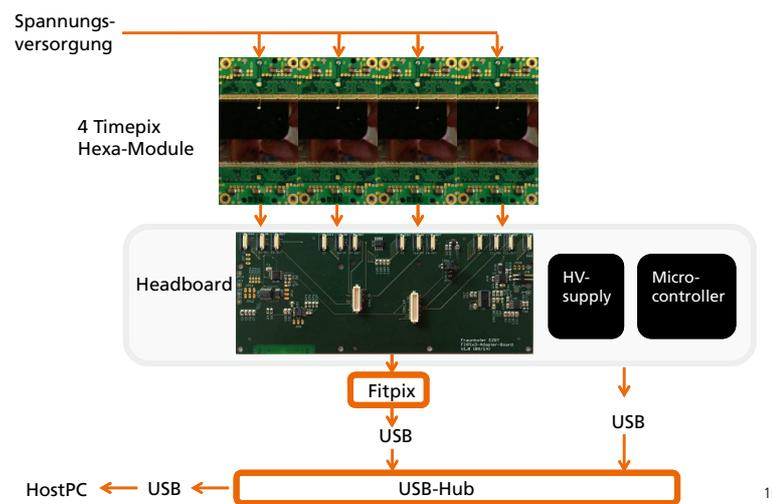
## NanoXCT Detektor Spezifikation

Medipix/Timepix	
Detektor Typ	Direktkonvertierend
Basiskachel (Chip)	Timepix
Energieschwellen	1
Chipgröße	256 x 256 Pixels
Modulgröße („Hexa“)	3 x 2 chips
Zahl der Chips (4 Hexa-Module)	12 breit, 2 hoch insgesamt 24
Pixelzahl	3072 x 512 Pixel
Pixel Size	55 µm



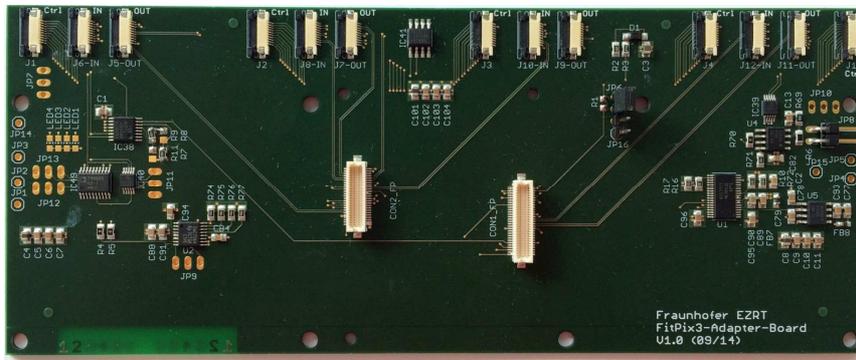
9

## NanoXCT Detektor Elektronischer Aufbau



10

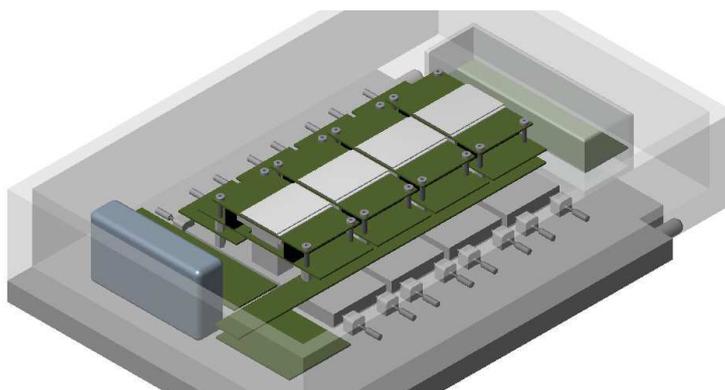
## NanoXCT Detektor Adapter Board



- Anschluss von vier Hexa-Modulen an ein Readout („Fitpix“)
- Steuerung und Datenauslese aller Module über eine einzige USB Verbindung
- $\mu$ C zur Steuerung der HV und Fernwartbarkeit

11

## NanoXCT Detektor Mechanischer Aufbau

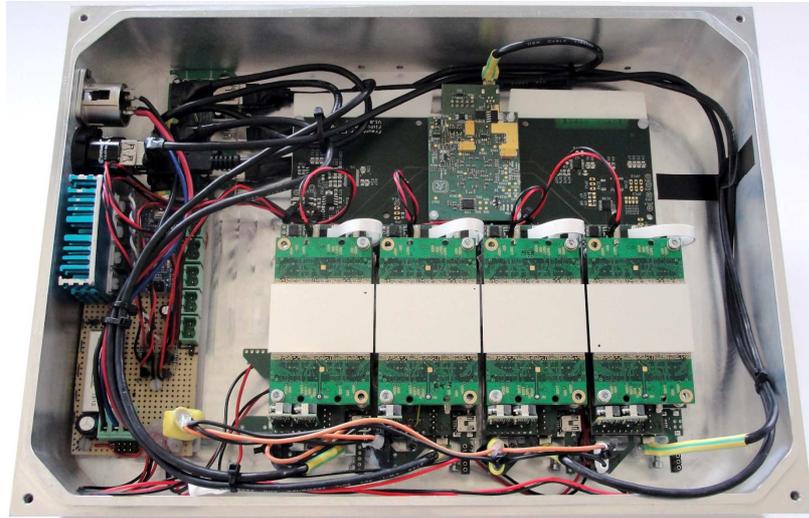


- Thermische Stabilisierung durch Wasserkühlung
- Mechanische Ausrichtung der Module

12

## NanoXCT Detektor

 **Fraunhofer**  
EZRT



13

© Fraunhofer

DACH, Salzburg, 12.05.2015

**NanoXCT**  **Fraunhofer**  
EZRT

## NanoXCT Detektor

 **Fraunhofer**  
EZRT



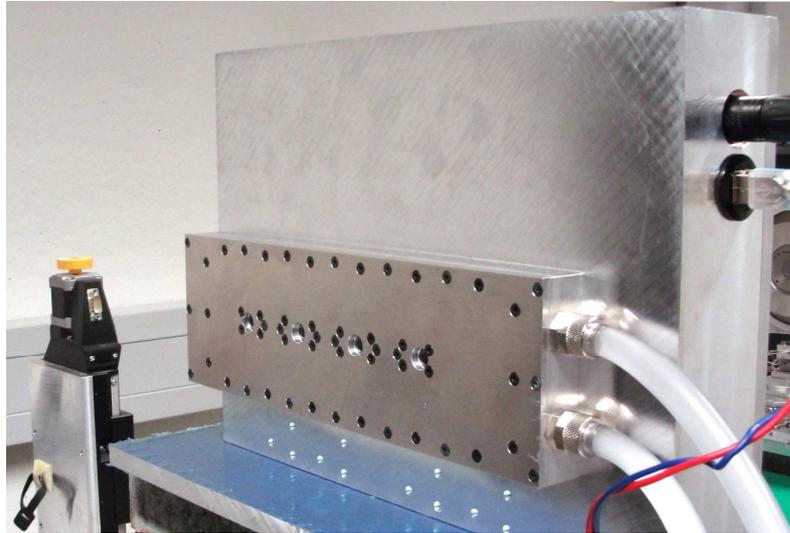
14

© Fraunhofer

DACH, Salzburg, 12.05.2015

**NanoXCT**  **Fraunhofer**  
EZRT

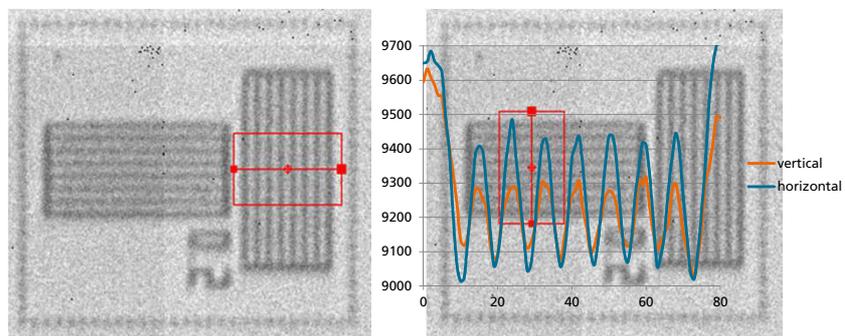
## NanoXCT Detektor



15

## NanoXCT Detektor

Erster Auflösungstest von Röhre und Detektor (Prototypen)



JIMA RT RC-04 Testmuster, 200 nm Linienbreite  
40 kV, 20 min Aufnahme, Profile gemittelt über 50 Pixel

16

## Manipulator und Gesamtsystem Verschiedene Scan-Szenarien



Verschiedene Scan-Szenarien					
	$D_{FA}$ [ $\mu\text{m}$ ]	$D_{FD}$ [mm]	M	$D_V$ [nm]	$D_{FOV,0}$ [ $\mu\text{m}$ ]
Höchste Intensität	455	250	549	100	314
Höchste Vergrößerung	455	500	1100	50	165
Größtes Field of View	50000	500	10	5500	18089

17

## Manipulator und Gesamtsystem Design des Manipulatorsystems



Positionierung durch aufeinander gestapelte nano-Positionierer

- Hohe mechanische Stabilität und geringe Wärmeempfindlichkeit
- Automatische Bewegung mit höchster Präzision
- O.L.X: 50 mm Fahrweg
- O.L.Y: 5 mm Fahrweg
- O.L.Z: 5 mm Fahrweg
- O.R.Z: 360° endlos

Detektormanipulator: aufeinander gestapelte Micro-Achsen

- D.L.X: 300 mm Fahrweg
- D.L.Y: 100 mm Fahrweg

18

## Manipulator und Gesamtsystem Design des Probenhalters



### ■ Anforderungen

- Geringe thermische Ausdehnung
- Hohe mechanische Festigkeit
- Geringe Röntgenstreuung
- Geringe Röntgenabschwächung
- günstig

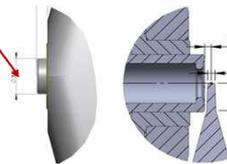
**Material**

- Leicht zu bearbeiten
- Höchste mechanische Stabilität
- Herausnehmbar

**Design**

- Sichere und leichte Handhabung
- Leichte Platzierung der Probe
- Anwendbar für verschiedenen Proben

**Handling**



19

© Fraunhofer

DACH, Salzburg, 12.05.2015

NanoXCT Fraunhofer  
EZRT

## Manipulator und Gesamtsystem Probenhalterung und -Positionierung



### ■ Anforderung an die Probenpositionierung

- Platzierung und Befestigung kleiner Proben auf dem Halter
- Einfache Handhabung



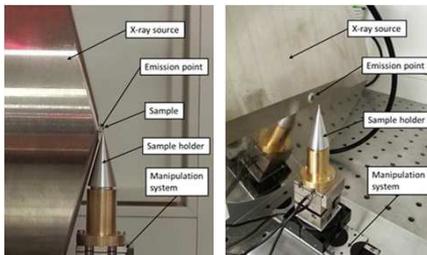
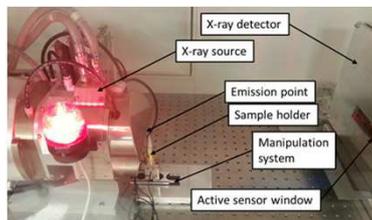
20

© Fraunhofer

DACH, Salzburg, 12.05.2015

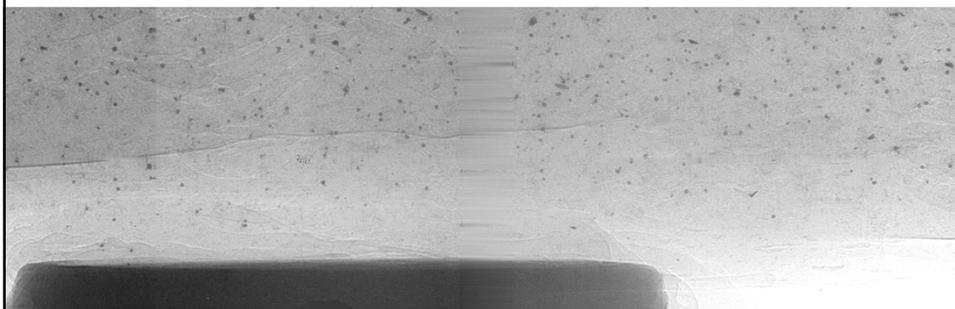
NanoXCT Fraunhofer  
EZRT

## Manipulator und Gesamtsystem Prototyp



21

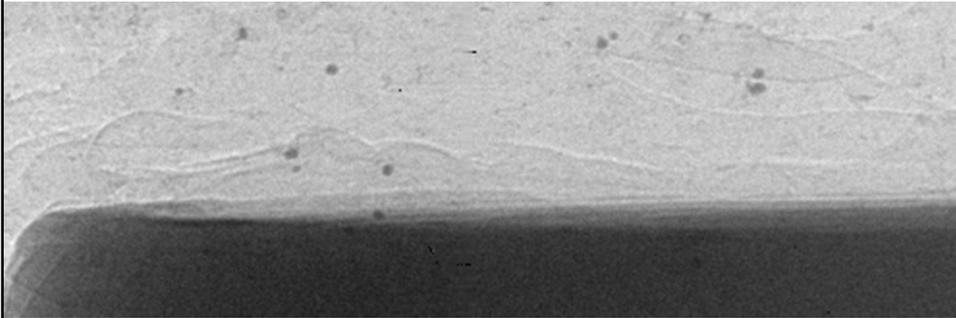
## Manipulator und Gesamtsystem Erste Test (prototyp)



Erster CT-Test mit allen NanoXCT Komponenten: NanoTube, Detektor und Manipulator  
Halbe Detektorgröße (zwei Hexa-Modules anstelle von vier)  
Bild: Goldpartikel in Ton

22

## Manipulator und Gesamtsystem Erste Test (prototyp)



Erster CT-Test mit allen NanoXCT Komponenten: NanoTube, -Detektor und Manipulator  
Halbe Detektorgröße (zwei Hexa-Modules anstelle von vier)

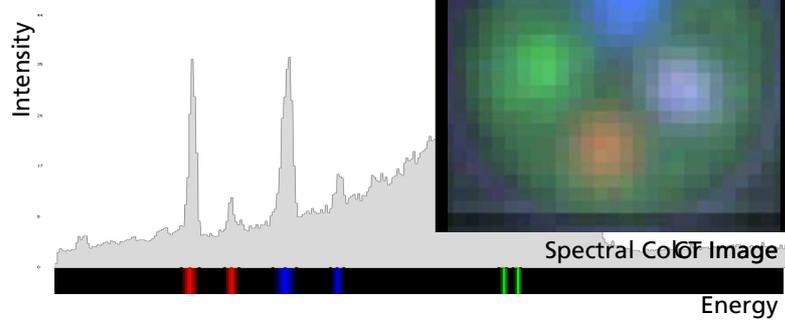
Bild: Goldpartikel in Ton

23

## Plattform zur Datenanalyse und -quantifizierung Spektrale Transferfunktion



- Globale Analyse: Übersicht  
Materialzusammensetzung

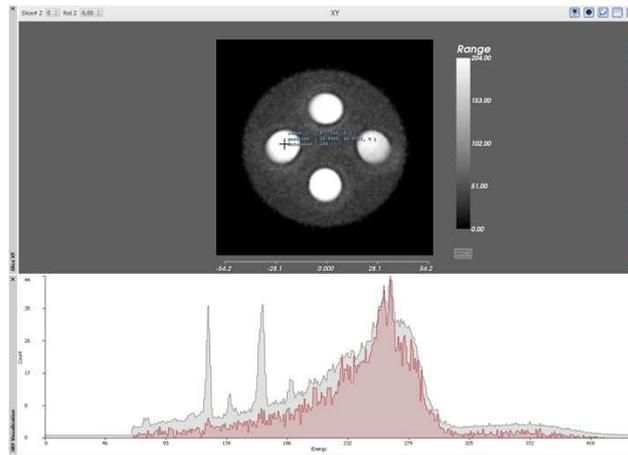


24

## Plattform zur Datenanalyse und -quantifizierung Spektrums- und Konzentrationssondierung



Lokale Analyse: Zusammensetzung an einem Ort



25

© Fraunhofer

DACH, Salzburg, 12.05.2015

NanoXCT

Fraunhofer  
EZRT

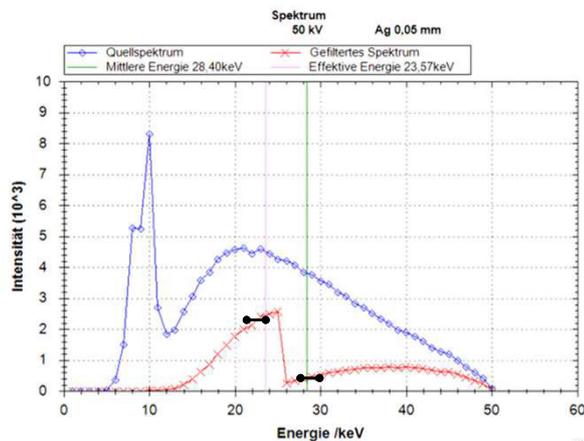
## Ansatz K-Kanten-Bildgebung Absorption an der K-Kante

Fraunhofer  
EZRT

Messung der Intensität  
bei vier Energie-  
schwellen:

→ Zwei Energiekanäle

- Einer oberhalb, der andere direkt unterhalb der K-Kante
- Kalibrierung mit Metallfolien bekannter Dicke und Material



26

© Fraunhofer

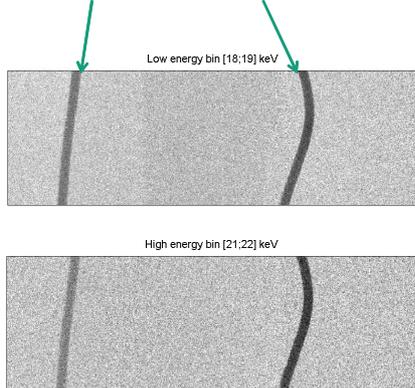
DACH, Salzburg, 12.05.2015

NanoXCT

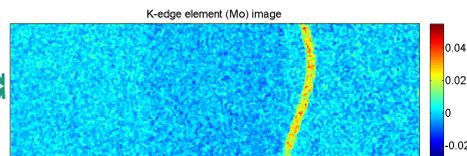
Fraunhofer  
EZRT

## Erste Ergebnisse auf Projektionsbasis Molybdän (Mo)-Draht

- Silber- und Molybdändraht, beide 50 µm Durchmesser



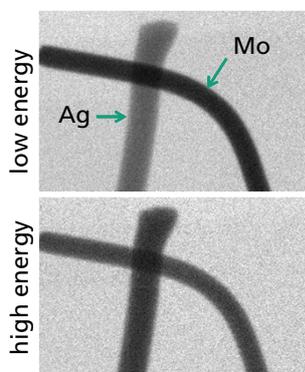
- Mo K-Kantenbild
- 2.4 µm Pixelgröße



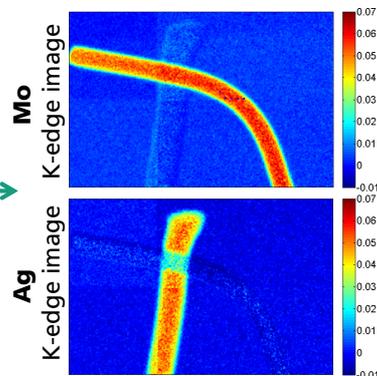
27

## Erste Ergebnisse auf Projektionsbasis Molybdän(Mo)- und Silber(Ag)-Draht

- Silber and Molybdändraht, beide 50 µm Durchmesser



- Mo and Ag K-Kanten Bilder
- ~700 nm Pixelgröße



28

## Zusammenfassung

- Komponenten für das NanoXCT System entwickelt und getestet
- Prototyp System aufgebaut und einsatzbereit
  
- nächste Schritte
  - Evaluation der Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems
  - Optimierung von Komponenten und Aufnahmeverfahren
  - in Zukunft: Test konkreter Anwendungen möglich
  
- Möglichkeit zum Upgrade von Anlagen mit einzelnen Komponenten (NanoTube, NanoXCT-Detektor, Analyse-SW, ...)

29

## Acknowledgement



NanoXCT

This research project has been supported by the European Commission under the 7th Framework Programme (grant agreement n° 280987).

Titel: „Compact X-ray computed tomography system for nondestructive characterization of nano materials “



30