

Neue Möglichkeiten für die CT durch Mesofocus-Röhren mit 450 kV

Uwe Zscherpel¹, Daniel Barroso¹, Marcel Odermatt², Adrian Riedo²

¹ BAM, Berlin

² COMET, Flamatt, Schweiz

Kontakt E-Mail: uwez@bam.de

Kurzfassung. Mit einem Prototyp einer 450 kV Mesofocus-Röhre wurde anhand von Beispielen demonstriert, worin die Vorteile einer Mesofocus-Röhre mit Brennfleckgrößen in Bereich von 50 bis 450 μm bei Röntgenröhrenspannungen bis 450 kV liegen. Dazu wurde ein Detektor mit 50 μm Pixelgröße verwendet, der eine Projektionsfläche von 23x29 cm² erfasst. Beides wurde in den Spiral-CT-Set-Up der BAM montiert, der frei verstellbar ist. Die bisher notwendige genaue mechanische Justage der Ausrichtung von Detektor, Drehachse und Quellposition wurde durch eine geometrische Kalibrierung der Achspositionen anhand eines Testkörpers mit Kugelprojektionen bestimmt, die bei der CT-Rekonstruktion als Rekonstruktionsparameter mitgegeben werden. So können auch für Spiral-CT scharfe Rekonstruktionen ohne mechanische Justierung erzielt werden.

Aufgrund der verwendeten kleinen Pixelgrößen und der großen Fläche des Detektors lassen sich schwer durchstrahlbare Objekte bei 450 kV wie Turbinenschaufeln oder AM-Bauteile aus dickem Edelstahl 316L in einem CT-Scan Artefakt-frei rekonstruieren. Der gegenüber klassischen Microfocus-Röhren erweiterte Leistungsbereich von 50 bis 450W der 450 kV Mesofocus-Röhren erzeugt bei Vergrößerungsfaktoren unter 3 eine deutlich höhere Durchstrahlungsleistung bei ausreichender Auflösung. Dabei ist die Stabilität der Ausgangsleistung ausgezeichnet, sie wurde für Scanzeiten bis 12h analysiert.



Sicherheit in Technik und Chemie

BAM Berlin





BAM
Bundesanstalt für
Materialforschung
und -prüfung

DGZfP-Jahrestagung 2022

NEUE MÖGLICHKEITEN FÜR DIE CT DURCH MESOFOCUS-RÖNTGENRÖHREN MIT 450 KV

Uwe Zscherpel ¹, Daniel Fontoura Barroso ¹, Marcel Odermatt ², Adrian Riedo ²

¹ Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin
² COMET, Flamatt, Schweiz

23.05.2022

CT mit Mesofocus-Röhre 450 kV

www.bam.de
uwez@bam.de

Erprobung Mesofocus-Röhre 450 kV an BAM Berlin August bis Oktober 2021

**Bipolare Röhre, neues Design, Gitter und optimierte
Elektronenfokussierung, 1 Brennfleck, geschlossen:**



**5 verschiedene Leistungen (50-450W)
davon Brennfleckgröße abhängig:**



Power Rating Diagrams



Power (W)	100 kV (mA)	200 kV (mA)	300 kV (mA)	400 kV (mA)	500 kV (mA)
50	0.5	0.3	0.2	0.15	0.1
100	1.0	0.6	0.4	0.3	0.2
250	2.0	1.2	0.8	0.6	0.4
350	2.0	1.2	0.8	0.6	0.4
450	2.0	1.2	0.8	0.6	0.4

23.05.2022

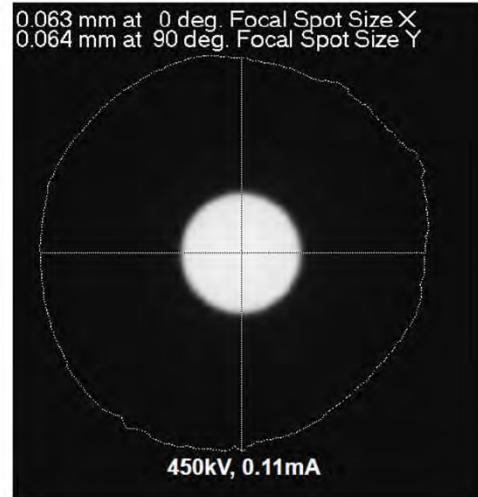
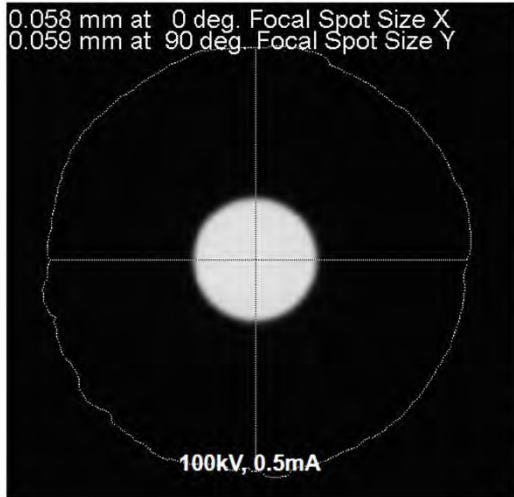
CT mit Mesofocus-Röhre 450 kV

1

Brennfleckvermessung aus Unschärfe an Lochkante BAM

(\varnothing 2mm, M= 30)

Measurements: ASTM E1165-20 (user method)



FDD: 3'000mm
FOD: 100mm
DDA: 1620 (200 μ m)
Tube No. 1376491

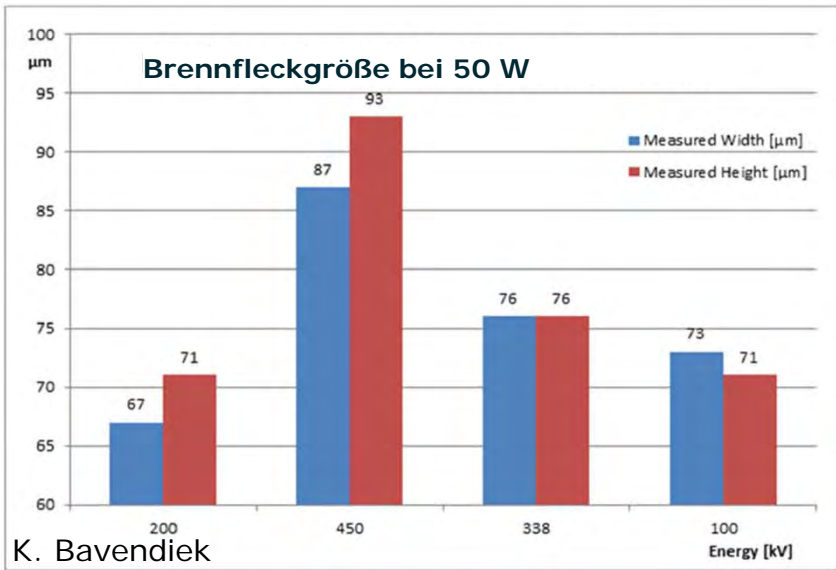
23.05.2022

CT mit Mesofocus-Röhre 450 kV

3

Mit Lochkamera Kowospot X (10 μ m Loch), M=9, nach DIN EN 12543-2:2021 und ASTM E 1165-20, ILP:

Kowospot M9:1 @ BAM
Tube No. 1376491

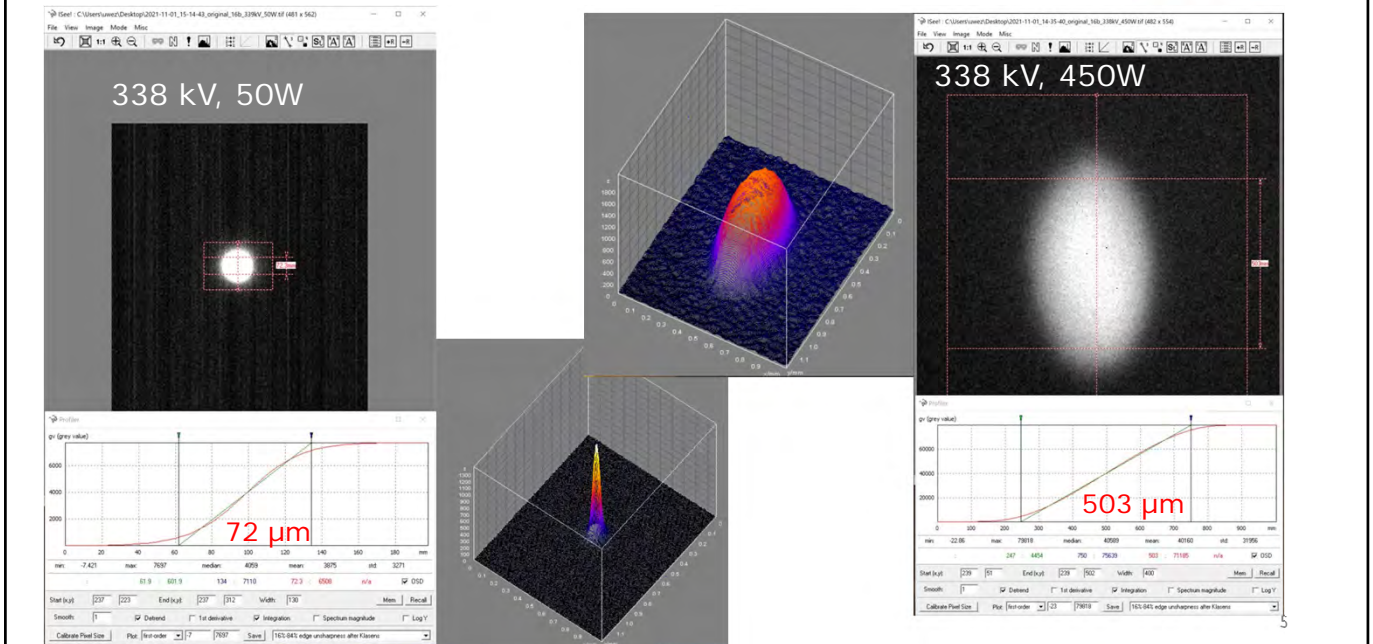


23.05.2022

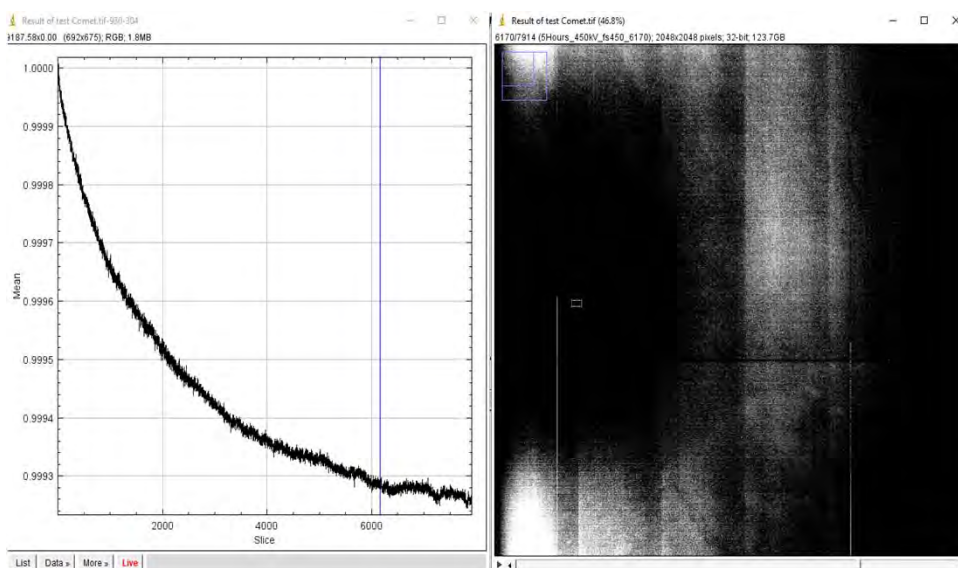
CT mit Mesofocus-Röhre 450 kV

4

BF-Vermessung mit integriertem Linienprofil am Lochkamerabild (ASTM E 1165-20, EN 12543-2:2021):



5 h Belichtung des Detektors, Normierung auf erstes Bild, aller 4s ein Bild: 450 kV, 1mA



Detektorrohdaten,
 Framezeit: 1s
 8000 Frames aller 4s,
 Mittelwerte in ROI

Ergebnis:
 Keine Schwankungen
 sichtbar, geringe
 Dosisabnahme um
 -0,07% nach 5h!

23.05.2022

CT mit Mesofocus-Röhre 450 kV

6

Neuer Detektor VXWeld HR50 von Vision-in-X (Leihgabe vom AZ Berlin der DGZfP)

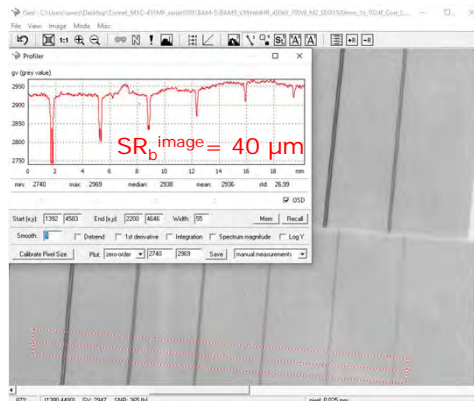


Detektorfläche: 230x290 mm²,
Pixelgröße: 49,5 µm (4608x5888 Pixel), 52 Mbyte
Belichtungszeit pro Frame: 1 bis 10 s,
CMOS, 4 Tiles, Szintillator: DRZ-fine (Gadox)

Ortsauflösung
bei 450 kV, M=2:

M=0:
 SR_b detektor = 60µm

aber:
geringe Empfind-
lichkeit bei 450 kV



23.05.2022

CT mit Mesofocus-Röhre 450 kV

7

modulare CT-Anlage BAM 8.3

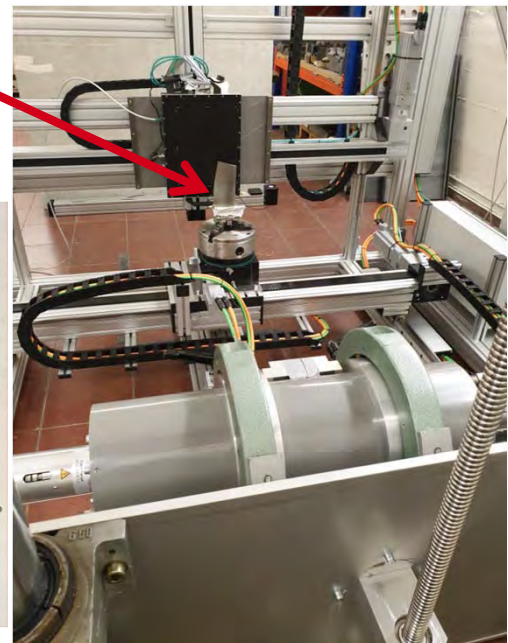
Turbinen-
schaufel
20 cm
hoch



geom. Set-Up: 4600 Pixel-Zeile, 7200 Proj.
Belichtung: 1 s pro Projektion, Start - Stop
Messdauer: 8 h, Datensatz 374 Gbyte
Rekonstruktion: cIFDK (GraKa, 10 h)
8 Bit Output: 120 Gbyte Volumen

Anlage flexibel verschiebbar, daher
geometrische Kalibrierung notwendig!

Turbinenschaufel 20cm hoch,
8 cm breit, max. 40 mm Dicke:
Material (RFA):
Ni 63%, W 13%, Co 11%, Cr 8%, ...



23.05.2022

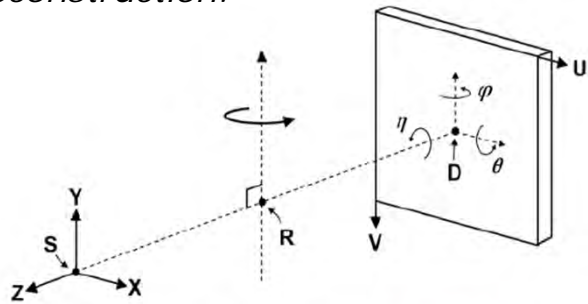
CT mit Mesofocus-Röhre 450 kV

Theorie der Kalibrierung der Kegelstrahl-CT



Input parameters for a calibrated reconstruction:

- Θ_x Detector tilt (Pitch)
- Φ_y Detector slant (Yaw)
- η_z Detector skew (Roll)
- u_o Detector offset (x)
- v_o Detector offset (y)
- SDD Source detector distance
- SOD Source object distance

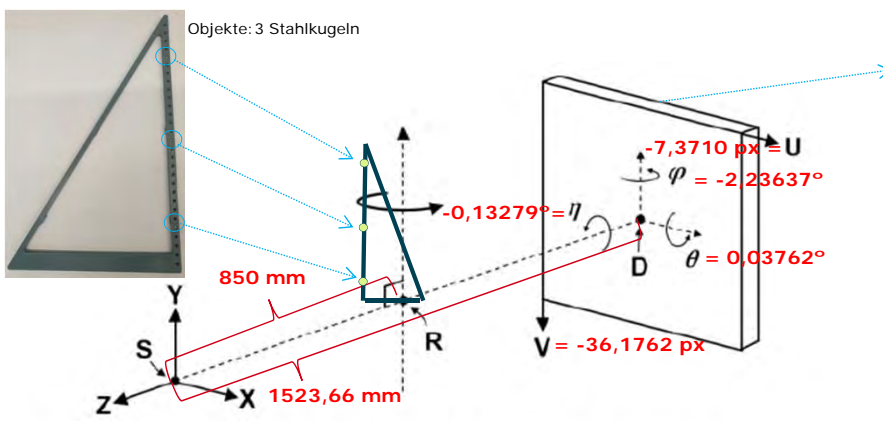


Parameterization of the CT instrument geometry.

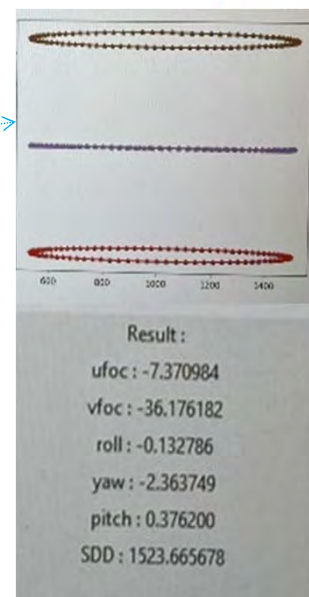
cIFDK Implementation durch C. Gollwitzer, BAM 8.5, 2018

Image from: "Enhanced dimensional measurement by fast determination and compensation of geometrical misalignments of X-ray computed tomography instruments" by Wim Dewulf, Massimiliano Ferrucci, Evelina Ametova, Petr Heřmánek, Gabriel Probst, Bart Boeckmans, Tom Craeghs, Simone Carmignato, CIRP Annals. Vol. 67, Issue 1, pp 523-526 (2018).

Geometrische Kalibrierung (Analyse mit Pythonscript)



Parameterization of the CT instrument geometry.



CT: verschiedene geometrische Kalibrierungen

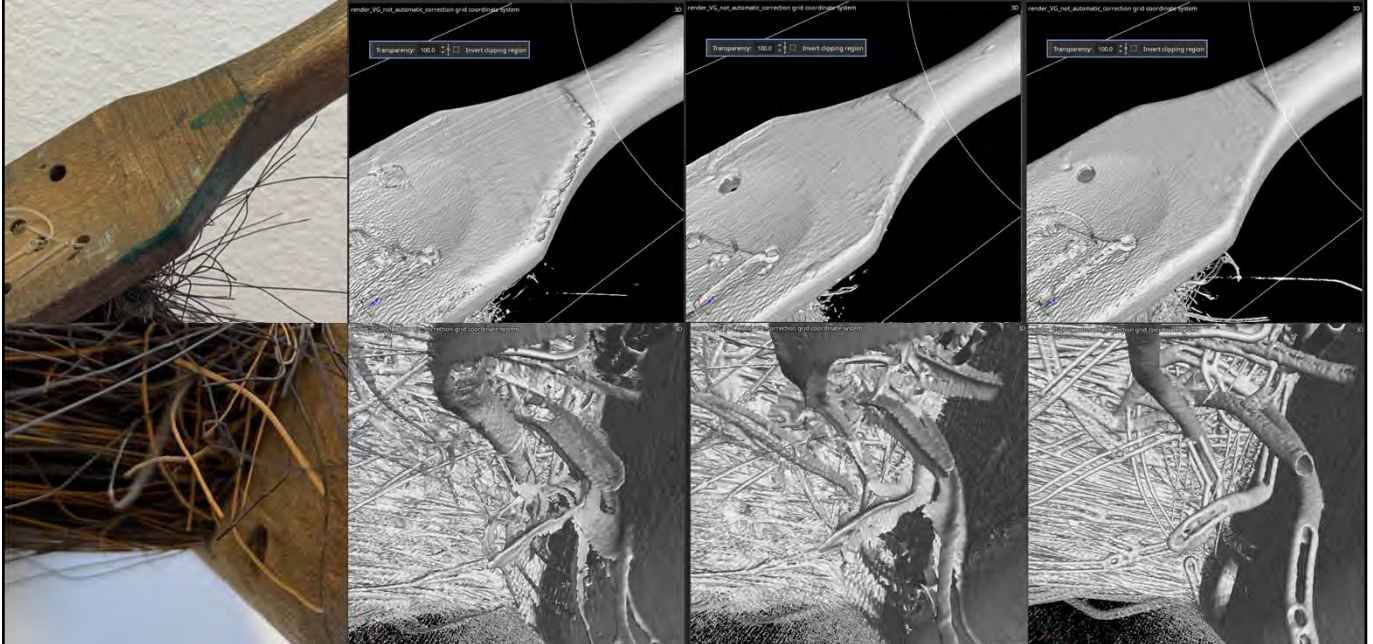


optische Ansicht

cIFDK ohne Kalibrierung

automatisch VGStudio

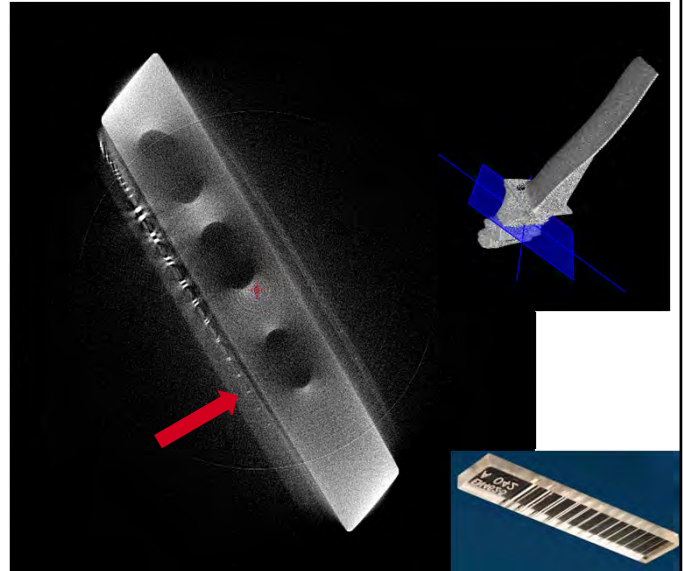
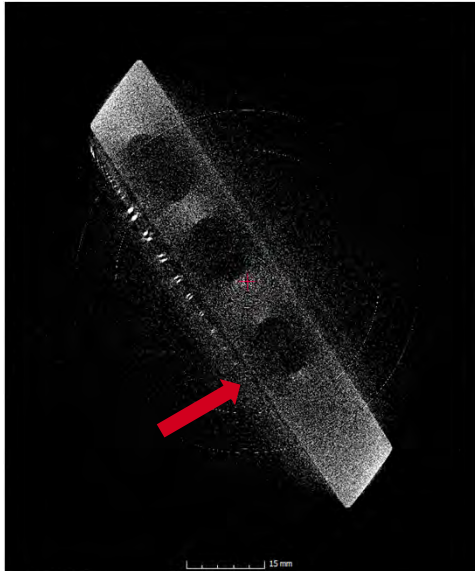
cIFDK mit Kalibrierung



Ansicht (links) und CT @ 450 kV 250 W (rechts)
Oberflächenrendering durch VG Studio (Rohdaten)



450 kV, 100 W, 3mm Cu Filter, M=1,4, links volle Auflösung,
rechts 2x2 Sub-Sampling



D10 nicht
getrennt
 $SR_b^{image} =$
 $100 \mu m$

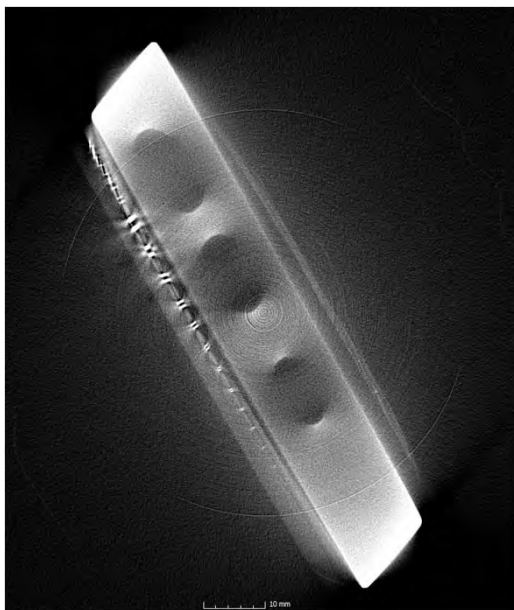
23.05.2022

CT mit Mesofocus-Röhre 450 kV

13

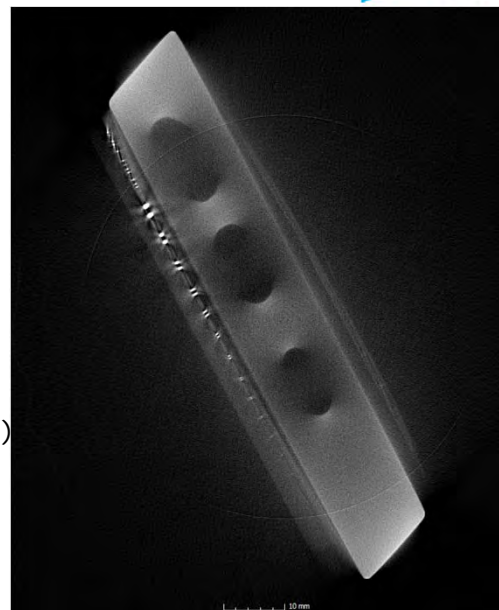
300 kV + 250W

450 kV + 250W BAM



Schaufel-
fuß

300 kV
(+1.5mm Cu)
zu geringes
Signal gegen
450 kV
(+3mm Cu)



23.05.2022

CT mit Mesofocus-Röhre 450 kV

14

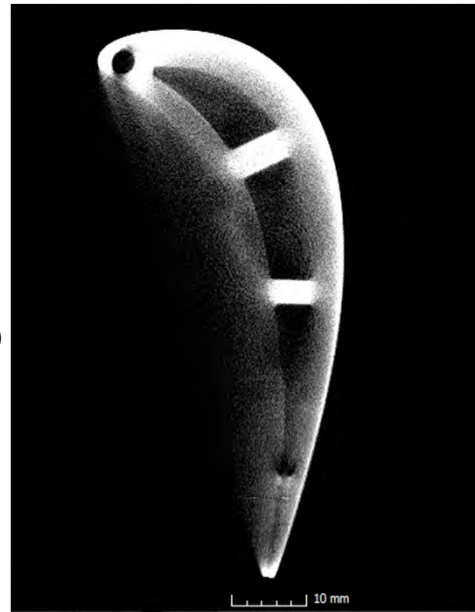
300 kV + 250W



23.05.2022

Schaufelblatt

300 kV (+1.5mm Cu)
zu große
Schwächung
gegenüber
450 kV (+3mm Cu),
konkave Innenfläche
problematisch!

450 kV + 250W  BAM

15

CT mit Mesofocus-Röhre 450 kV

Zusammenfassung



- Mesofokusröhre MXC-450MF hochstabil und Brennfleckgröße zwischen 70 bis 500 μm in Abhängigkeit der Leistung (50 bis 450 W, 100 bis 450 kV).
- Damit ist der Doppeldraht-BPK (ISO 19232-5) bei 450 kV in Objektebene bis D15 auflösbar (d.h. erreichte Bildunschärfe 50 μm bei M=5 und 50W).
- Erprobung erstmalig mit CT und einem Detektor mit 50 μm Pixelgröße (Vxweld HR50) bis 450 kV. SNR-Problem nur lösbar durch Binning 2x2.
- Modularer CT-Aufbau ohne Justierung. Mit Kalibrierkörper (3 Stahlkugeln in 3D-gedrucktem Rahmen) aus 30 Projektionen lassen sich alle geometrischen Korrekturen bestimmen, um mit cIFDK eine korrigierte Rekonstruktion durchzuführen. Erzielte Genauigkeit (SR_b) bei 450 kV sind 0.1 mm (D10).
- Turbinenschaufel (20 cm hoch) ist mit 450 kV prüfbar, auch im Fußbereich. Bei 300 kV noch starke Defizite im Bereich des konkaven Blattes.

23.05.2022

CT mit Mesofocus-Röhre 450 kV

16