

Schnelle Messung und tomographische Rekonstruktion von Brennflecken $< 5 \mu\text{m}$ durch Aufnahmen strukturierter Prüfkörper

Uwe EWERT¹, Gerd-Rüdiger JAENISCH², David SCHUMACHER²,
Uwe ZSCHERPEL², Andreas DERESCH³, Benjamin BIRCHER⁴, Felix MELI⁴

¹ KOWOTEST, Teltow

² Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin

³ YXLON International GmbH, Hamburg

⁴ Eidgenössisches Institut für Metrologie METAS, Labor Länge, Nano- und
Mikrotechnik, Bern-Wabern, Schweiz

Kontakt E-Mail: uwe@ewert-net.de

Kurzfassung

Im Europäischen EMPIR-Projekt „NanoXSpot“ (Measurement of the focal spot size of X-ray tubes with spot sizes down to 100 nm) werden neue Messmethoden für Brennflecke von Röntgenröhren entwickelt. Teil des Projektes ist die Entwicklung eines zur Lochkameramethode äquivalenten Messverfahrens für kleine Brennflecke. ASTM E 1165-20, Annex A, beschreibt die Bestimmung von Brennfleckgrößen aus Kantenprofilen von Lochaufnahmen für Röntgenröhren mit Brennflecken $> 50 \mu\text{m}$. Es wurde bereits vorgeschlagen über die Analyse der richtungsabhängigen Kantenunschärfe einer Lochblende und anschließender CT-Rekonstruktion die Intensitätsverteilung des Brennflecks äquivalent zur Lochkameraaufnahme zu berechnen. Die Lochkameramethode, wie in EN 12543-2 und ASTM E 1165-20 beschrieben, ist im unteren Größenbereich für Mikrofokusröhren nicht geeignet, da Pinholes $< 10 \mu\text{m}$ schwer zu fertigen sind und lange Belichtungszeiten erwartet werden. Mit Hilfe exakt gefertigter Lochblenden sowie strukturierter Targets mit konvergierenden Strukturen wird der Bereich mit der Single-Shot-CT-Methode auf die Messung von Mikrofokusröhren, alternativ zur Vermessung von Kanten oder Strichgruppenkörpern, erweitert. Die rekonstruierten Brennfleckformen werden mit Kanten- und Lochkameraaufnahmen quantitativ verglichen, um die Messgenauigkeit zu bewerten. Außerdem werden CNR und Messzeit bestimmt, um die Wirtschaftlichkeit der Verfahren zu bewerten.

Schnelle Messung und tomographische Rekonstruktion von Brennflecken < 5 µm durch Aufnahmen strukturierter Prüfkörper

U. Ewert¹, G.-R. Jaenisch², D. Schumacher², U. Zscherpel², A. Deresch³,
B. Bircher⁴, F. Meli⁴

¹ KOWOTEST, Teltow

² Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin

³ YXLON International GmbH, Hamburg

⁴ Eidgenössisches Institut für Metrologie METAS, Labor Länge, Nano- und Mikrotechnik, Bern-Wabern, Schweiz

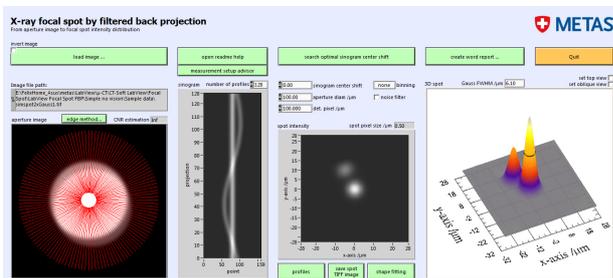
Einführung

Die exakten Brennfleckgrößen und -formen von Röntgenröhren werden benötigt, um die Bildschärfe und die Erkennbarkeit von Details in der Radiographie und CT vorherzusagen.

Im EMPIR-Projekt „NanoXSpot“ werden neue Prüfkörper, Algorithmen und Standards zur Brennfleckmessung von Nanofokus-Röhren und Mikrofokus-Röhren mit Brennfleckgrößen unterhalb 5 µm entwickelt.

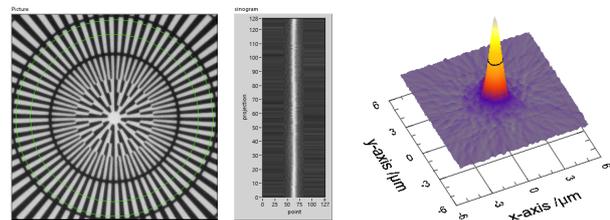
Röhrentyp	Brennfleckgröße ϕ	ZfP-Standards
Makrofokus	$\phi \geq 1 \text{ mm}$	EN 12543-2:2021 ASTM 1165-20
Minifokus	$1 \text{ mm} > \phi \geq 0,1 \text{ mm}$	
Mikrofokus	$0,1 \text{ mm} > \phi \geq 0,001 \text{ mm}$	EN 12543-5 (> 5 µm) ASTM 2903-18 (> 5 µm) Kein Standard (< 5 µm)
Nanofokus	$\phi < 0,001 \text{ mm}$	Kein Standard

Brennfleck-CT von Loch-Aufnahmen (Rekonstruktion basierend auf der Unschärfe der Lochaufnahme)



Aus den Kantenprofilen (rot, links) der Lochaufnahme wird nach 1. Ableitung ein Sinogramm berechnet, aus dem die Brennfleckverteilung rekonstruiert wird, die einer Lochkameraaufnahme entspricht.

Brennfleck CT von Siemensstern-Aufnahmen (Rekonstruktion basierend auf der Streifenunschärfe)



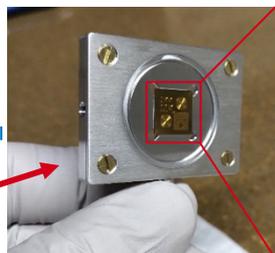
Aus dem Bereich zwischen den grünen Kreisen der Siemensstern-Aufnahme wird ein Sinogramm abgeleitet. Aus dem Sinogramm wird die Brennfleckverteilung rekonstruiert, die einer Lochkameraaufnahme mit vernachlässigbarem Pinhole-Durchmesser entspricht (Röntgenbild 240 µm x 240 µm, Spot: 1.2 µm FWHM).

Strukturierte Prüfkörper zur Bestimmung von Brennfleckgrößen

Voraussetzung für die exakte Brennfleckmessung sind kalibrierte Prüfkörper (Targets) mit Strukturen, die so eine rückführbare Bestimmung der Ortsauflösung und der Brennfleckgröße ermöglichen.

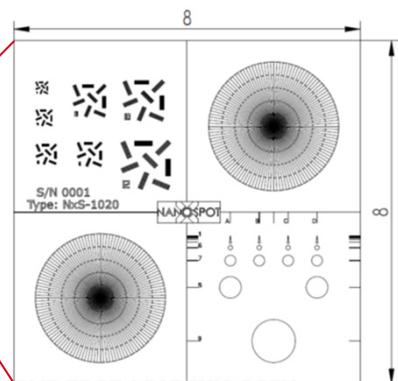
Drei Target-Designs werden berücksichtigt:

1. JIMA-Target (Strichgruppen-Test für kleine Röntgenenergien) <https://jima.jp/english/assen-e.html>
2. Hochkontrast-Strichgruppen-Target (YXLON-Design)
3. NanoXSpot-Target für hohe Auflösungen und hohen Kontrast
 - Strichgruppen in verschiedenen Richtungen
 - Lochstrukturen verschiedener Durchmesser
 - 2x Siemensstern



Zur Auswertung der Strichgruppen-Targets siehe Ewert et al.,

<https://www.dir2019.com/portals/dir2019/bb/Tu.2.A.1.pdf>



Sicherheit in Technik und Chemie

<https://www.ptb.de/empir2019/nanoxspot/home/>