

Charakterisierung und Justage des Spatial Angle Autocollimator Calibrators der PTB

Oliver Kranz, Ralf D. Geckeler, Andreas Just, Michael Krause

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bundesallee 100, 38116 Braunschweig

<mailto:oliver.kranz@ptb.de>

Für das 2D-Kalibriersystem für Autokollimatoren der PTB ist die Ermittlung der Justage der Komponenten und die Bestimmung der Lage aller Messachsen unumgänglich. Das System und ein mathematisches Modell, mit dessen Hilfe sich die benötigten Justagemessungen ableiten und der Einfluss der Dejustage auf die Kalibrierung ermitteln lassen, werden in diesem Beitrag vorgestellt.

1 Autokollimatoren in der Deflektometrie

Für die Topographiemessung von Synchrotron- und FEL-Optiken und die Vermessung von Ebenheitsstandards in Metrologielaboren werden deflektometrische Messsysteme verwendet, bei denen Autokollimatoren (AK) eingesetzt werden. Die AK-Strahlen werden dabei von den Oberflächen reflektiert und der Auslenkungswinkel gemessen. Die Topographie wird schließlich durch Integration der gemessenen Winkel rekonstruiert.

Die Formmessung basiert daher auf einer Winkelmessung mittels AK, wobei sich für deren Kalibrierungen besondere Anforderungen ergeben: variable optische Weglängen des AK-Strahls durch das Abscannen der zu untersuchenden Optiken mittels eines bewegten Pentaprismas sowie die Auslenkung des reflektierten AK-Strahls in sowohl Scanrichtung als auch senkrecht dazu [1,2].

2 Realisierung des SAAC

Um den Einfluss von variablen optischen Weglängen und zweidimensionalen Winkelauslenkungen auf die Winkelmessung des AK kalibrieren zu können, wurde in der PTB ein neues Messsystem eingerichtet: der Spatial Angle Autocollimator Calibrator (SAAC, siehe Abb. 1). Als Basis dient eine Granitplatte ($L \times B \times H$ 2950×850×400 mm³, 3 t), welche von luftlagerbasierten, schwingungsisolierenden Beinen getragen wird. Auf ihr befindet sich eine massive Brücke, an welcher zwei Referenz-AK (horizontal und vertikal, $u=0,005$ arcsec) montiert sind sowie ein 2D-Kippsystem mit einem Reflektorwürfel und eine Linearverschiebeeinheit mit dem zu kalibrierenden AK. Der SAAC befindet sich im Reinraumzentrum der PTB, welches sehr stabile Umgebungsbedingungen bezüglich Temperatur ($\Delta T=0,01$ K/h) und laminarer Luftströmung bietet.

Gefertigt wurden die Granitplatte und das 2D-Kippsystem von der Firma Q-Sys (Helmond, NL), die Referenz-AK sind vom Typ Elcomat 3000 (Möller-Wedel Optical, Wedel, D), der Reflektorwürfel

wurde von Carl Zeiss Jena geliefert. Für eine detaillierte Beschreibung des Systems siehe [3].



Abb. 1 Hauptkomponenten des SAAC. 1: zu kalibrierender AK, 2 & 3: horizontaler und vertikaler Referenz-AK, 4: Reflektorwürfel, 5: Kippsystem. Die AK sind kartesisch angeordnet und tasten jeweils die ihnen zugewandte Seite des Reflektorkubus an.

3 Mathematisches Modell des SAAC

Um den Einfluss der Komponentenjustage und -charakteristika auf die Winkelmesswerte der AK bestimmen zu können, wurde ein mathematisches Modell des SAAC erstellt. Es berücksichtigt sowohl die Winkelorientierungen der AK, des Würfels und des Kippsystems als auch die Nichtorthogonalitäten der Würfelflächen, der Kippachsen und der AK-Messachsen. Mit Hilfe des Modells wurde ein Raytracing der AK-Strahlen durchgeführt [4]. Die Ergebnisse wurden für eine anschauliche Darstellung des Einflusses der einzelnen Justageparameter und Nichtorthogonalitäten auf die AK-Messwerte mittels Ausgleichsrechnungen zu Polynomen vereinfacht. Auf die Darstellung wird aus Platzgründen an dieser Stelle verzichtet. Die AK sind kartesisch angeordnet, so dass die Referenz-

AK die beiden Kippwinkel des Reflektorwürfels getrennt als nahezu ebene Winkel messen, der zu kalibrierende AK jedoch im gesamten Messbereich seiner beiden Messachsen kalibriert werden kann (siehe Abb. 2, Achsenskalierung beachten!). Auf diese Weise wird die 2D-Kalibrierung auf die Messung von zwei ebenen Winkeln durch die Referenz-AK zurückgeführt, welche auf konventionelle Art kalibriert werden [5].

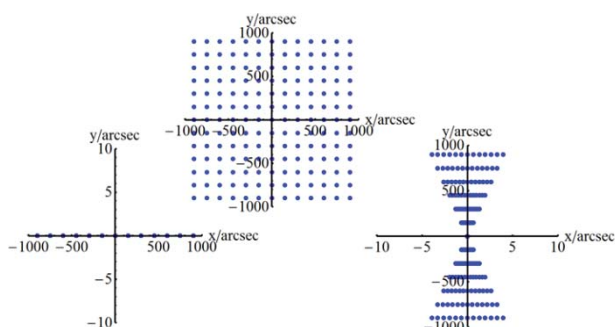


Abb. 2 Winkelmesswerte der drei AK des SAAC für ein 1800×1800 arcsec² Kalibrierraster an 13×13 Messpunkten: horizontaler Referenz-AK (links), zu kalibrierender AK (mittig), vertikaler Referenz-AK (rechts).

4 Messungen der Nichtorthogonalitäten

Die Nichtorthogonalitäten der Würfflächen werden durch die Messung der Winkel zwischen jeweils zwei Flächen bestimmt. Die Nichtorthogonalitäten der Mess- und Kippachsen werden mit Hilfe von Messungen ermittelt, bei denen die Messpunkte kreuzförmig angeordnet sind (entlang der beiden Messachsen des AK). Wird diese Messung in der 0°- und der 90°-Lage des AK durchgeführt, ergeben die Summe bzw. Differenz der gemessenen Winkel zwischen der vertikalen und horizontalen Messung die Nichtorthogonalitäten.

5 Ableitung von Justagemessungen

Aus den Polynomdarstellungen der AK-Messwerte lassen sich Verfahren herleiten, mit denen die Justage der AK und des Würfels relativ zum Kipp-system bestimmt werden kann. Die Polynome wurden dazu nach den Kippwinkeln des Würfels abgeleitet. Dies entspricht zwei Messungen in nur jeweils einer der beiden Kipprichtungen. Mit den beiden Messungen und den Messwerten von insgesamt sechs AK-Messachsen lassen sich die Justageparameter berechnen. Sie werden zur Korrektur der AK-Messwerte und Ermittlung der wahren Drehwinkel des Würfels verwendet.

6 Verwendung der Messergebnisse für Kalibrierungen mittels Optimierung

Die wahren Kippwinkel des Würfels werden durch eine Optimierung bestimmt, in welche die Messwerte der Referenz-AK und die berechneten Justageparameter einfließen. Da auch die Justagepa-

rameter des zu kalibrierenden AKs mitbestimmt wurden, lassen sich die Differenzen zwischen gemessenen und wahren Winkeln seines reflektierten Strahls berechnen. Abbildung 3 zeigt das Ergebnis einer 2D-Kalibrierung eines AK, welches in der Testphase des SAAC entstand.

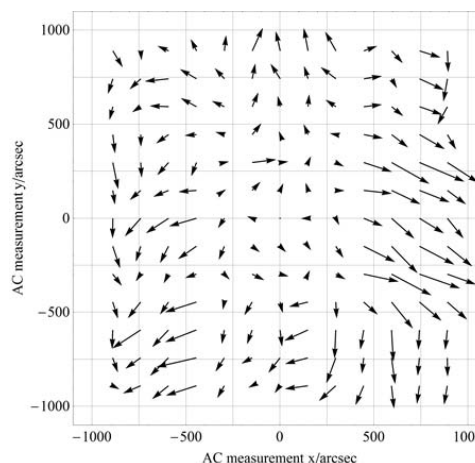


Abb. 3 2D-Kalibrierung eines AK an 13×13 x-y-Positionen in einem Raster von 1800×1800 arcsec². Die Pfeile geben die Winkelabweichungen (Skalierungsfaktor 2000) des kalibrierten AK an den jeweiligen, vom AK gemessenen, Winkelpositionen an. Per Definition ist für die Messwerte (0,0) die Messabweichung gleich null.

Ein Vergleich der Winkelabweichungen an Messpositionen entlang der Messachsen des AK (entspricht 1D-Kalibrierungen mittels SAAC) mit den Ergebnissen der konventionellen 1D-Kalibrierungen konnten durch sehr gute Übereinstimmungen die korrekte Funktionsweise der Algorithmen und der Auswertung der 2D-Kalibrierung verifizieren.

Literatur

- [1] F. Siewert, J. Buchheim, S. Boutet, G.J. Williams, P.A. Montanez, et al., „Ultra-precise characterization of LCLS hard X-ray focusing mirrors by high resolution slope measuring deflectometry“ in: *Opt. Express* **20**, 4525-4536 (2012)
- [2] R.D. Geckeler, A. Just, M. Krause, V.V. Yashchuck, „Autocollimators for deflectometry: Current status and future progress“ in: *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. A* **616**, 140–146 (2010)
- [3] R.D. Geckeler, O. Kranz, A. Just, M. Krause, „A novel approach for extending autocollimator calibration from plane to spatial angles“ in: *Adv. Opt. Techn.* **1**(6), 427-439 (2012)
- [4] O. Kranz, R.D. Geckeler, A. Just, M. Krause, „Modelling PTB's Spatial Angle Autocollimator Calibrator“ in *Proc. SPIE* **8789** (87890D), 1-11 (2013)
- [5] A. Just, M. Krause, R. Probst, R. Wittekopf, „Calibration of high-resolution electronic autocollimators against an angle comparator“ in *Metrologia* **40**, 288–294 (2003)