

# Hochgenaue und reproduzierbare Blendenpositionierung in der Autokollimatoren-Messtechnik

Matthias Schumann\*, Bernd Grubert\*\*, David Kreitschik\*\*, Olaf Schnabel\*\*\*, Andreas Just\*, Michael Krause\* und Ralf D. Geckeler\*

\* Physikalisch-Technische Bundesanstalt

\*\* MÖLLER-WEDEL OPTICAL GmbH

\*\*\* Schnabel Elektronische Meßtechnik

<mailto:matthias.schumann@ptb.de>

In der Präzisionsmesstechnik mit Autokollimatoren (AK) ist es in bestimmten Anwendungen erforderlich, eine Blende hochgenau und reproduzierbar zu zentrieren. In diesem Beitrag wird der von der Firma Möller-Wedel Optical (MWO) entwickelte Blenden-Zentrieraufsatz ACenD (apture centring device) für AK vorgestellt, welcher dies erstmalig ermöglicht.

## 1 Einführung

Autokollimatoren (AK) werden in der berührungslosen Winkelmessung von optischen Oberflächen eingesetzt. Die deflektrometrische Topographiemessung von Spiegeln, die in Synchrotron- und FEL-Experimenten verwendet werden, stellt besonders hohe Anforderungen an die Messgenauigkeit der eingesetzten AK. Die laterale Auflösung dieser Topographiemessungen wird durch die Verwendung immer kleinerer Blenden im AK Strahlengang erhöht. Ein ausführlicher Überblick zu diesem Themengebiet ist in [1] gegeben.

Die verwendeten AK müssen unter denselben Messbedingungen kalibriert werden, unter denen sie verwendet werden. Dies gilt auch für die laterale Blendenposition, die auf 1 mm reproduzierbar eingestellt werden sollte [2].

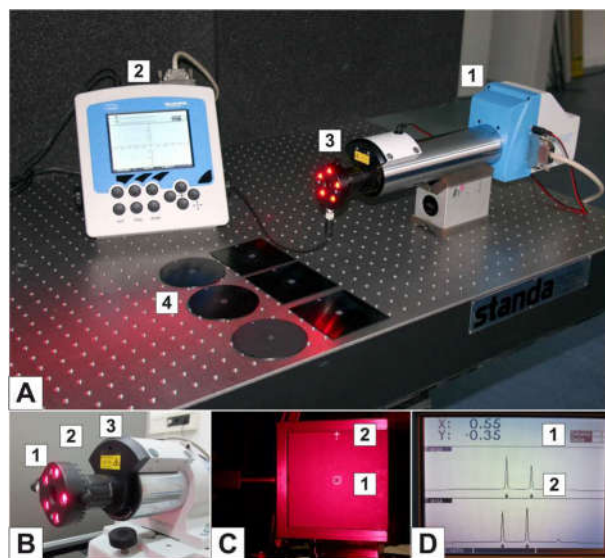
Die Fa. MWO hat ein Gerät – eng. aperture centring device: ACenD - zur hochpräzisen Messung der lateralen Blendenposition entwickelt, das in diesem Beitrag vorgestellt wird. Mit dem ACenD wird die Blendenposition relativ zum AK unter Verwendung von dessen Optik, internen CCDs und der Anzeigeeinheit bestimmt. Das Kernstück des ACenD ist eine Vorsatzoptik, die nur während der Justierung der Blende auf den Tubus des AK aufgesetzt wird.

## 2 Funktionsprinzip der ACenD

Die Messung der Blendenposition relativ zur optischen Achse des AK wird mit den internen CCDs des AK und mit Hilfe der Vorsatzoptik realisiert. Für beide Richtungen sind je zwei lineare Markierungen auf der Blende aufgebracht, die zusammen ein Quadrat bilden (siehe Abb. 1 C). Sie werden mit der Optik der ACenD und der des AK auf die CCD Zeilen des AK abgebildet. Das Bild jeder Linie schneidet die entsprechende CCD Zeile senkrecht (Abb. 1

D). Aus den bekannten Abständen der Markierungen auf der Blende und den Abständen der Bilder auf den CCDs, kann der Abbildungsmaßstab bestimmt werden. Die relative Position der Bilder auf den CCDs wird mit dem Abbildungsmaßstab in die Blendenposition relativ zur optischen Achse umgerechnet. Diese wird auf der Anzeigeeinheit mit einer Auflösung von 0,1 mm (0,01 cm) angezeigt (Abb. 1 D).

Der ACenD ist für AK der Reihe ELCOMAT 3000 erhältlich und für Abstände von 50 cm bis 2 m verwendbar.



**Abb. 1** Der ACenD im Einsatz. **A)** AK vom Typ Elcomat 3000 (1) mit zugehöriger Anzeigeeinheit (2), aufgesetzter ACenD (3) und ausgewählte Blenden (4). **B)** Detailansicht des ACenD mit LED-Beleuchtungsarray (1), Fokaleinstellung (2) und Hilfs-Laserzeiger (3). **C)** Beleuchtete Blende. Das Quadrat (1) stellt die Blendenmarkierung dar, das Kreuz (2) ist eine Markierung für den Hilfs-Laserzeiger. **D)** Display der Anzeigeeinheit im Justiermodus. Die Blendenposition ist in cm angegeben (1), darunter das Bild der Blendenmarke (2) zur Überprüfung und Fokaleinstellung.

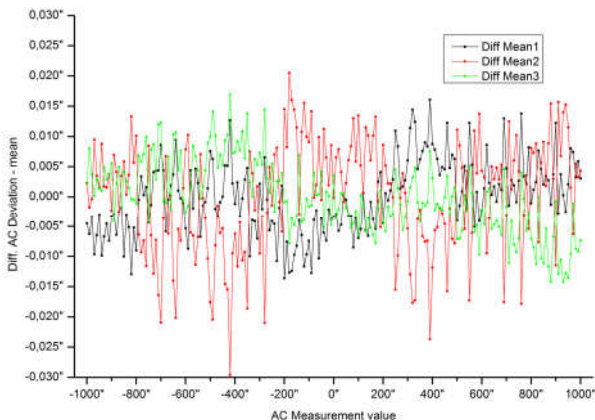
### 3 Validierung der ACenD

Zur Überprüfung der Leistungsfähigkeit des ACenD wurden an der PTB umfangreiche Untersuchungen durchgeführt.

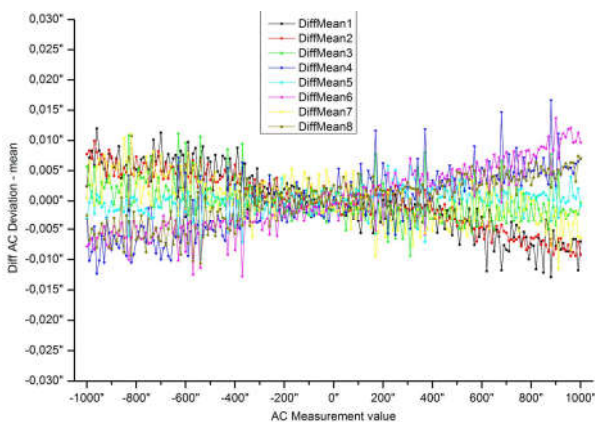
In zwei Messreihen wurde ein AK mit einer Blende mit 2,5 mm Durchmesser auf dem Primärstandard des ebenen Winkels WMT 220 [3] jeweils mehrfach kalibriert. Die Blende wurde zwischen jeder einzelnen Kalibrierung aus- und eingebaut und neu justiert.

In der ersten Messreihe wurde für die Justierung der Blende ein Laservorsatz zur visuellen Justierung verwendet (D65 MWO [4]). Diese stellt die Vergleichsmessung dar und besteht aus drei unabhängigen Kalibrierungen. In der zweiten Messreihe mit acht Kalibrierungen wurde der ACenD verwendet.

Die Ergebnisse sind in Abb. 2 und Abb. 3 dargestellt. Es sind jeweils die Differenzen aller einzelnen Kalibrierung zu ihrem jeweiligen gemeinsamen Mittelwert gezeigt. Die Standard Messunsicherheit  $u$  jeder einzelnen Kalibrierung beträgt  $0,005''$  ( $U=0,01''$ ,  $k=2,07$ ).



**Abb. 2** Reproduzierbarkeit einer AK-Kalibrierung unter Benutzung einer klassischen Methode der Blendenjustage mit Laservorsatz.



**Abb. 3** Reproduzierbarkeit einer AK-Kalibrierung unter Verwendung des neuen ACenD zur Blendenjustage. Es treten hauptsächlich lineare Anteile in den Differenzen auf.

Die in Abb. 2 gezeigten Differenzen zeigen sowohl lang- ( $\sim 400''$ ) als auch kurzperiodische ( $\sim 50''$ ) Abweichungen mit Amplituden von wenigen hundertstel Bogensekunden.

Diese Differenzen resultieren aus der unterschiedlichen Position der Blende zwischen den einzelnen Kalibrierungen. Sie stellen einen systematischen Unsicherheitsbeitrag bei Verwendung des Laservorsatzes dar.

In Abb. 3 sind die Ergebnisse der Kalibrierungen unter Verwendung der ACenD gezeigt. Die Differenzen zwischen den Kalibrierungen sind signifikant reduziert. Sowohl lang- als auch kurz-periodische Anteile sind stark reduziert und es überwiegen lineare Anteile, die in Unsicherheits-Betrachtungen einfacher zu berücksichtigen sind. Der lineare Anteil in den Differenzen ist zusätzlich durch Luftdruckänderungen zwischen den einzelnen Messungen verursacht [5].

### 4 Zusammenfassung

Der Blendejustieraufsatz ACenD der Fa. MWO verbessert die Justierbarkeit von Blenden für Autokollimatoren deutlich. Der Aufsatz wird nur auf den Tubus des AK aufgesetzt, wodurch eine hohe Benutzerfreundlichkeit erreicht wird. Die numerische Auswertung ermöglicht es, die Blende auf  $0,1$  mm reproduzierbar zu positionieren. Die Untersuchungen am Primärstandard des ebenen Winkels der PTB zeigen die Vorteile des ACenD gegenüber klassischen Verfahren.

### Literatur

- [1] R.D. Geckeler, A. Just, M. Krause, V.V. Yashchuk, "Autocollimators for deflectometry: Current status and future progress" in *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* **616**, 140–146 (2010)
- [2] R.D. Geckeler, N.A. Artemiev, S.K. Barber, A. Just, I. Lacey, O. Kranz, B.V. Smith, V.V. Yashchuk, "Aperture alignment in autocollimator-based deflectometric profilometers" in *The Review of scientific instruments* **87** (5), 51906 (2016)
- [3] R. Probst, R. Wittekopf, M. Krause, H. Dangschat, A. Ernst, "The new PTB angle comparator" in *Meas. Sci. Technol.* **9** (7), 1059–1066 (1998)
- [4] <https://www.haag-streit.com/de/moeller-wedel-optical/produkte/elektronische-autokollimatoren/empfohlenes-zubehoer/#c145093>
- [5] R.D. Geckeler, P. Kren, A. Just, M. Schumann, M. Krause, H. Bosse, "Influence of the air's refractive index on precision angle metrology with autocollimators" in Vorbereitung (2017)