

Verbesserte deflektometrische Ebenheitsmetrologie an großen Optiken durch den Einsatz von elektronischen Neigungssensoren

Gerd Ehret, Sören Laubach, Michael Schulz

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bundesallee 100,
38116 Braunschweig, Germany

<mailto:gerd.ehret@ptb.de>

Elektronische Neigungssensoren bieten eine hohe Winkelauflösung und eine hohe Abtastfrequenz. Es wird die Idee des Einsatzes von elektronischen Neigungssensoren für eine verbesserte deflektometrische Ebenheitsmetrologie vorgestellt und Messungen zur Charakterisierung der Neigungssensoren gezeigt.

1 Einleitung

Die Ebenheitsmessung optischer Flächen, wie Synchrotron- oder XFEL-Spiegeln, bis zu einem Meter Größe mit Unsicherheiten von wenigen Nanometern ist eine große Herausforderung [1]. Hierfür eignen sich deflektometrische Messprinzipien, die auf der Winkelmessung durch Autokollimatoren basieren („Kleinwinkel-Deflektometrie“) oder interferometrische Verfahren. Bei den interferometrischen Messverfahren ist nachteilig, dass sie für eine vollflächige Messung sehr große und damit teure Optiken benötigen. Die Kleinwinkel-Deflektometrie hat den Vorteil, dass sie sehr genau messen kann, jedoch durch die punktweise Messung sehr lange Messzeiten besitzt. Das Prinzip der Kleinwinkel-Deflektometrie ist in Abb. 1 dargestellt. Ein kollimierter Lichtstrahl eines Autokollimators (AKF) wird über ein Pentaprisma auf die Prüflingsoberfläche gelenkt. Der Lichtstrahl wird vom Prüfling reflektiert und wiederum durch das Pentaprisma abgelenkt und dann zum Autokollimator gelenkt. Der Autokollimator misst hochgenau den Ablenkwinkel des reflektierten Lichtstrahls. Dadurch erhält man punktweise die Oberflächengradienten des Prüflings. Die Integration der gemessenen Gradienten entlang einer Linie führt zum Höhenprofil des Prüflings. Aus mehreren Höhenprofilen lässt sich die 3D-Topografie des Prüflings rekonstruieren.

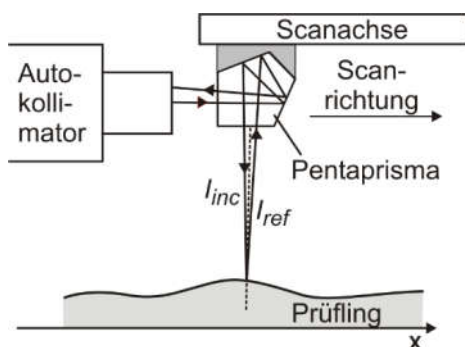


Abb. 1 Prinzip der Kleinwinkel-Deflektometrie

Das Kleinwinkel-Deflektometer der PTB (Deflectometric Flatness Reference, DFR, siehe Abb. 2) kann Optiken bis zu 1 m Größe messen [2].

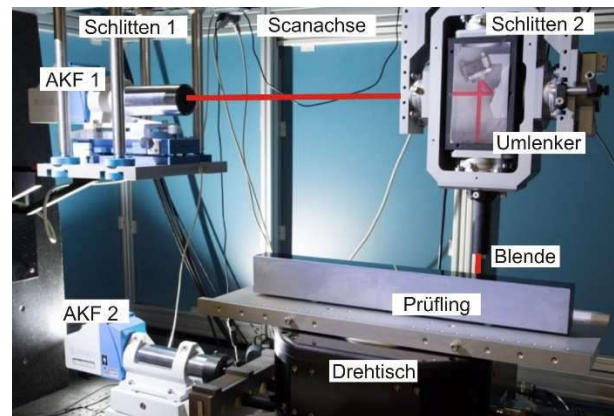


Abb. 2 Foto des DFR mit den beiden Autokollimatoren AKF 1 und AKF 2

Das System soll zukünftig mit elektronischen Neigungssensoren erweitert werden, um zu erforschen, inwieweit die Messunsicherheit reduziert werden kann.

2 Einsatz elektronischer Neigungssensoren für verbesserte deflektometrische Messungen

Die Neigungssensoren können beim sogenannten EADS-Verfahren (Exact Autocollimation Deflectometric Scanning [3]) zum Einsatz kommen.

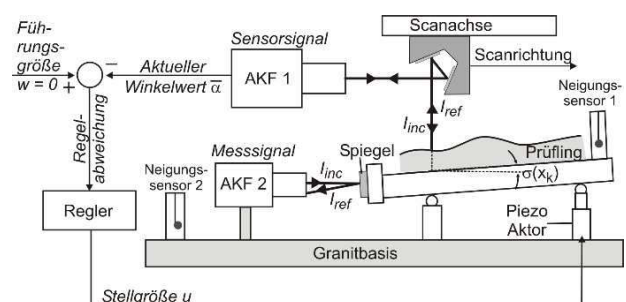


Abb. 3 EADS-Prinzip mit 2 Neigungssensoren

Bei diesem Verfahren wird der Prüfling senkrecht zum scannenden Lichtstrahl ausgerichtet, indem er mit einem Piezoaktor nachgekippt wird. Der Autokollimator 1 wird hierbei als Nullinstrument eingesetzt. Der Autokollimator 2 misst die Verkippung und damit die Steigung des Prüflings am Strahlort. Die Idee ist nun, dass die Kippung des Prüflings nicht durch einen Autokollimator, sondern durch das Differenzsignal der beiden Neigungssensoren 1 und 2 bestimmt wird (siehe Abb. 3). Vorteilhaft hierbei könnte die hohe Abtastfrequenz der Neigungssensoren sein, was gerade bei großen Prüflingen zu einer kürzeren Messzeit führt und damit auch Messfehler durch Lage-Instabilitäten reduzieren kann.

Als möglicher elektronischer Neigungssensor wird ein Sensor von LGM [4] näher untersucht. Messungen der Punktstabilität des Neigungssensors sind in Abb. 4 an 10000 Messpunkte mit einer Abtastfrequenz von 250 Hz gezeigt. Die Streuung der Einzelmessung liegt bei 0,21 arcsec. Eine Streuung kleiner als 0,01 arcsec wird erreicht, wenn über 1000 Werte gemittelt wird.

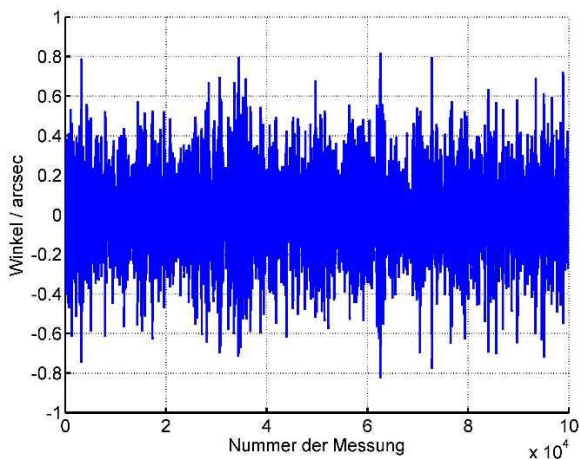


Abb. 4 10000 Messungen mit einer Abtastfrequenz von 250 Hz

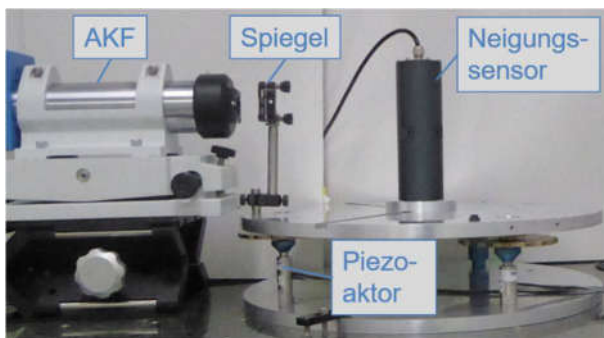


Abb. 5 Messaufbau zur Bestimmung der Sensitivität der Neigungssensoren

Der Messaufbau für die Bestimmung der Sensitivität ist in Abb. 5 dargestellt. Über den Verfahrensweg eines Piezoaktors werden Kippungen eingestellt, die sowohl vom AKF als auch vom Neigungssensor de-

tektiert werden. Eine gleichzeitige Messung von sieben Stufen mit dem Neigungssensor und dem AKF zeigt Abb. 6. Es zeigt sich, dass Stufenhöhen von 0,01 arcsec mit dem Neigungssensor aufgelöst werden können.

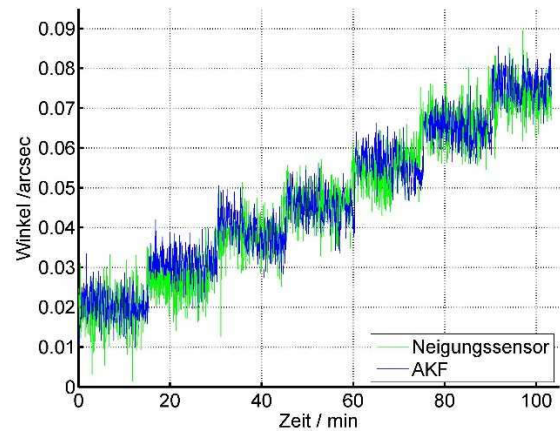


Abb. 6 Messungen von 7 Stufen mit Stufenhöhen von 0,01 arcsec

3 Zusammenfassung und Ausblick

Ebenheitsmessungen von großen Prüflingen mit Unsicherheiten im Nanometerbereich sind immer noch eine große Herausforderung. Elektronische Neigungssensoren erreichen prinzipiell sehr hohe Auflösungen bis zu ca. 0,002 arcsec (1 nrad). Es wurde gezeigt, dass 0,01 arcsec sicher aufgelöst werden können. Bessere Auslese-Elektroniken erlauben Abtastfrequenzen von einigen Kilohertz bei 24 Bit Signalaufösung, was noch schnellere Messungen ermöglicht.

Die Idee der hochgenauen Ebenheitsmessung mit zwei elektronischen Neigungssensoren wurde vorgestellt. Zudem können Neigungssensoren zur Messung von Deformationen und Driften des Messsystems eingesetzt werden. Dieses bietet großes Potenzial für eine verbesserte deflektometrische Ebenheitsmetrologie. Erste EADS-Messungen mit den Neigungssensoren werden aktuell ausgeführt.

Literatur

- [1] F. Siewert et al.: On the characterization of ultra-precise X-ray optical components: advances and challenges in ex situ metrology, J. Sync. Rad. 21, 968–975, (2014).
- [2] G. Ehret, M. Schulz, M. Stavridis, C. Elster: Deflectometric systems for absolute flatness measurements at PTB. Measurement Science and Technology: 23, 9, 094007-1 - 094007-8 (2012)
- [3] M. Schulz, G. Ehret and A. Fitzenreiter: Scanning deflectometric form measurement avoiding path-dependent angle measurement errors. Journal of the European Optical Society: Rapid Publications: 5 (2010),
- [4] Lippmann, Geophysikalische Messgeräte (LGM), <http://www-l-gm.de/>