

XUV-Optik, Messung mit der Nano-Optik-Messmaschine - NOM - bei BESSY

Heiner Lammert, Tino Noll, Thomas Schlegel, Frank Siewert, Thomas Zeschke

Berliner Elektronenspeicherringgesellschaft für Synchrotronstrahlung mbH - BESSY –

12489 Berlin-Adlershof, Albert-Einstein-Straße 15

<mailto:Lammert@Bessy.de>

Mit der bei BESSY entwickelten Nano-Optik-Messmaschine – NOM – werden Oberflächenabweichungen ausgedehnter asphärischer optischer Komponenten mit höchster Genauigkeit vermessen. Mit zwei unterschiedlichen nach dem Deflektometrieprinzip arbeitenden Sensoren, einem Long Trace Profiler - LTP - und einem Autokollimationsfernrohr werden Genauigkeiten < 1 nm p-v erreicht.

1 Einführung

Höchste Flächengenauigkeiten der reflektierenden bis über 1 m langen Komponenten werden bei der Anwendung mit Synchrotronstrahlung im Wellenlängenbereich $0,1 \text{ nm} < \lambda < 60 \text{ nm}$ als ebene, sphärische oder asphärische Spiegel und Gitter mit flachen Krümmungen benötigt. Bei BESSY wurde eine diesbezügliche Messmaschine konzipiert und als Prototyp entwickelt. Das angewendete Deflektometrieprinzip arbeitet mit den zwei unterschiedlichen Sensoren LTP und AKF, die bei-

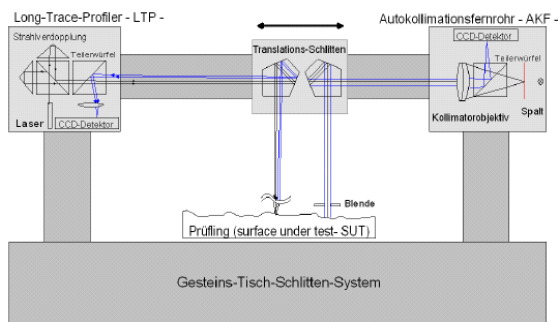


Abb.1 schematischer Aufbau der NOM

de gesondert Neigungsänderungen („slope errors“) des Prüfings dedektieren und bei denen systematische und zufällige Messabweichungen beider Sensoren zur Genauigkeitssteigerung der Messergebnisse miteinander verglichen werden können.

2 Messgenauigkeiten

Unter der Einführung einer Reihe von genauigkeit-relevanten konstruktiven und messstrategischen Details wurde beim Geräte- und Software- Design der NOM höchste Messgenauigkeit angestrebt. Zum Beispiel herrschen zeitliche Temperaturgradienten in den sensiblen Bereichen von $< 0,1$ mK/min über mehrere Stunden bei Regelschwankungen des Aussenraums von ± 100 mK. Die translatorische Schlittenführung hält über die 1200 mm Messlänge Linearitätsabweichungen von < 1 arcsec ein bei Reproduzierbarkeiten von $< 0,01$ arcsec. Die erzielbaren und nachgewiesenen Messgenauigkeiten befinden sich in Subnanome-

ter- beziehungsweise in 0,01 arcsec-Bereichen. Vergleichsmessungen über eine Messlänge von 130 mm stimmten zwischen dem intrinsischen ESAD-Verfahren bei der Physikalisch Technischen Bundesanstalt in Braunschweig und der NOM bei BESSY in Berlin innerhalb 0,3 nm rms überein.

3 Drei-D-Messergebnisdarstellung

Zur Erzielung einer Drei-D-Messergebnisdarstellung („mapping“) werden parallele Linienscans in zwei Schritten jeweils rechtwinklig zueinander vermessen und in mehreren Iterationsschritten so gegeneinander verkippt, dass die Gesamtabweichungen der Höhen von einer gemeinsamen Flä-

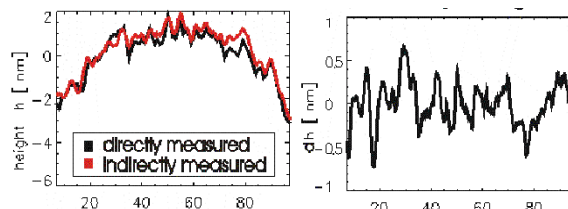


Abb. 2 Autokontrolle des Drei-D-Ergebnisses: Vergleich der Höhenwerte einer diagonal gemessenen Linie mit den korrespondierenden Werten der Flächendarstellung (links) über einer Diagonallänge von 100 mm. Die Differenz (rechts) beträgt 0,25 nm rms

che ein Minimum ergeben. Mögliche restliche „Torsion“ dieser Fläche wird durch die Höhenergebnisse einer Diagonalmessung im dritten Schritt kompensiert. Eine weitere Diagonale kann in einem vierten Schritt verwendet werden. In der Abb. 2 sind die Höhenergebnisse der drei ersten Schritte mit denen der Diagonale des vierten Schrittes als Autokontrolle verglichen: Die Differenz von 0,25 nm rms weist darauf hin, dass die Optimierung des Drei-D-Auswertungsprozesses innerhalb der Rauschgrenzen von 0,2 nm rms dieser Messung konsistent ist.

4 Reproduzierbarkeit der Messungen

In Abb. 3 sind die Rohmessdaten eines 6 fach hintereinander gemessenen 100 mm langen Linienscans einer Planfläche dargestellt, bei der die Neigungsabweichungen nach Abzug einer Kreisfit

kurve 0,02 arcsec rms betragen. Die Reproduzierbarkeit dieser Werte beträgt bei 95 % Wiederholbarkeit des Einzelmesswertes 0,007 arcsec rms. Das entspricht Höhenabweichungen von 0,08 nm rms (s.auch Abb. 7).

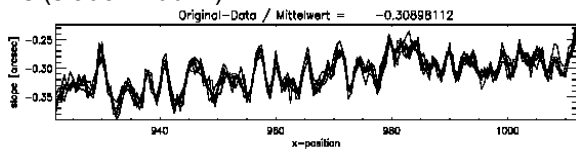


Abb. 3 Rohdaten einer 6 mal gescannten Linie im gemessenen Bereich des Prüflings von 100 mm: Ergebnis: 0,14 arcsec p-v. Die Reproduzierbarkeit beträgt 0,007 arcsec rms beziehungsweise 0,08 nm rms.

5 Autokalibrierung

Zur Erfassung der am Messergebnis nicht unmittelbar erkennbaren systematischen Abweichungen wurde ein sphärischer Prüfling in verschiedenen

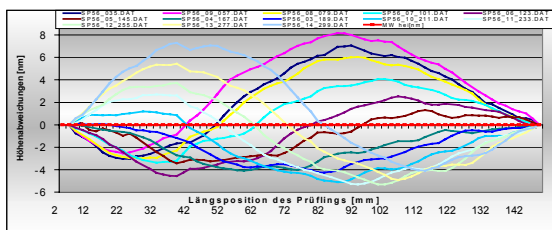


Abb. 4 Autokalibrierung des AKF-Sensors mit einem sphärischen Prüfling ($R=56m$) über verschiedene Teilbereiche des gesamten Messbereiches

Winkelstellungen des gesamten Messbereichs des AKF-Sensors gemessen. Die Abweichungen der Einzelkurven vom Mittelwert aller Kurven gibt Auskunft über systematische Abweichungen von Teilbereichen gegenüber dem Gesamt-Messbereich des Sensors. Abb. 4 stellt die in Höhen umgerechneten Abweichungen der Teilbereiche dar. Eine Verschiebung dieser Ergebnisse in den jeweils zugeordneten Sensorteilbereich führt zu einer Referenzkurve über den Sensormessbereich, die zur Ergebniskorrektur verwendet werden kann. Ein weiterer Zyklus ermöglicht noch genauere Autokalibrierung. Im Ergebnis hat die Korrekturkurve des Sensors Höhenabweichungen von $\pm 1,6$ nm p-v. Diese Autokalibrierung funktioniert am besten, wenn die zufälligen Messabweichungen einer komplexen Messeinrichtung wesentlich kleiner sind als die systematischen Abweichungen. Sie ist bei der NOM um $< |\pm 0,2 \text{ nm}|$ p-v wirksam.

6 Beispiele von Messergebnissen der NOM

Mit der NOM wurden verschiedene Prüflinge erfolgreich vermessen: Spiegel, Gitter (1. Ordnung in Littrowstellung) und Gittersubstrate mit 4% bis 100 % Reflektivität, die eben, sphärisch, Paraboloid, Kreiszyylinder, elliptische Zylinder oder Toroid in Ausdehnungen von 30 mm bis 1000 mm waren. Diese Prüflinge werden eingesetzt als Synchrotronspiegel- und gitter, ebene Referenznormale für Interferometrie und AKF-Kalibrierung, Probelglas für die optische Industrie, sowie als Spezialprüf-

körper von 310, 510, 620 mm Länge. In Abb. 5 sind die Ergebnisse von NOM-Messungen und davon unabhängig durchgeführten Interferometermessungen eines 310 mm langen und 110 mm breiten Zerodurprüfkörpers dargestellt.

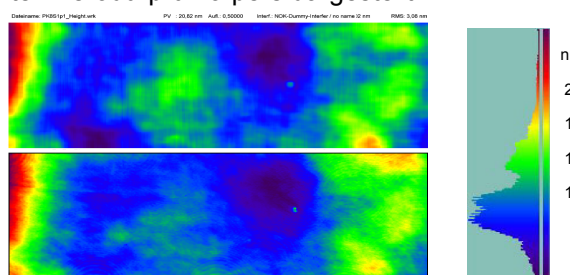


Abb. 5 Messergebnisvergleich eines identischen 310mm x 110 mm Zerodur-Prüfkörpers (Hersteller: Berliner Glas KG). NOM-Messergebnis (oben): 3,1 nm rms und 21 nm p-v sowie Interferometer-Messergebnis (unten): 4,4 nm rms; 28 nm p-v.

In Abb. 6 ist das NOM-Messergebnis eines Planflächen-Referenznormals dargestellt. Abb.7 zeigt die Abweichungen einer höchstpräzisen Planfläche

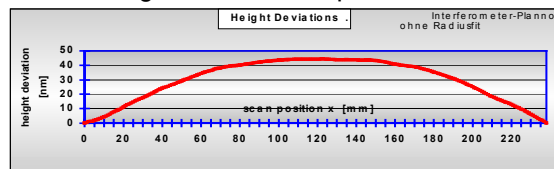


Abb. 6 Vorwiegend sphärische Abweichung eines „Planflächenreferenznormals“ für ein Präzisionsinterferometer von 240 mm Durchmesser auf der NOM gemessen mit 44,5 nm p-v, entsprechend einem Radius von 157,4 km. Die Restabweichungen von der Sphäre betragen 5,6 nm p-v oder 1,3 nm rms.

(Rohdaten in Abb. 3), die durch Ionenstrahlfinishingbearbeitung im Institut für Oberflächenmodifizierung Leipzig (IOM) feinstbearbeitet worden ist.

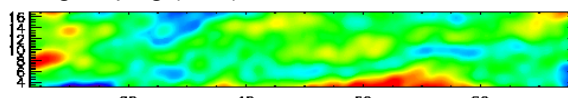


Abb. 7 100 mm langes Gittersubstrat für den Einsatz in einer Synchrotronbeamline mit einem slope-error von 0,02 arcsec rms, entsprechend Höhenabweichungen von 2,8 nm p-v bzw. 0,35 nm rms der mit einer Krümmung von 350 km gefitteten Fläche.

Danksagung

Die Entwicklung der NOM wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung unter der Nr. 13N7929 und der Projektträgerschaft des VDI gefördert. Insbesondere sei Dank den Partnern des von BESSY koordinierten Forschungsverbundprojekts Nanometeroptikkomponenten -NOK-: PTB-Braunschweig, IOM-Leipzig, Möller-Wedel-Optical und Olaf Schnabel Wedel, Berliner Glas, Jenoptik LOS-Jena, Friedrich Schiller Universität Jena, O&K Berlin, OEG-Frankfurt(O), Zeiss-Oberkochen.

Referenzen

Siehe unter: Lammert, BESSY Jahresberichte 2001/2002/ 2003. Texte und kostenfreie CD-Lieferung unter http://www.bessy.de/front_content.php?idcat=94