

Internationaler Vergleich zur Topographiemessung an einer Planfläche

Michael Schulz, Susanne Quabis, Gerd Ehret

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

<mailto:michael.schulz@ptb.de>

In einem EURAMET-Vergleich wurden die Ebenheitsmessungen von 12 europäischen Staatsinstituten verglichen. Erste Ergebnisse der Auswertung werden vorgestellt. Messungen in horizontaler und vertikaler Lage des Prüflings können mittels FEM ineinander überführt werden.

1 Einführung

Die Messung und Kalibrierung der Topografie nahezu planer Oberflächen hat eine große Bedeutung für optische Systeme und Referenzflächen. Deshalb bieten viele nationale Metrologieinstitute entsprechende Kalibrierungen an. Vorzugsweise werden dazu optische Messtechniken wie die Interferometrie [1] oder Kleinwinkel-Deflektometrie [2] verwendet, die Unsicherheiten von wenigen Nanometern erreichen.

Zur Sicherstellung einer möglichst hohen Genauigkeit gehören auch Messvergleiche zwischen den einzelnen Instituten. Im Rahmen von EURAMET (European Association of National Metrology Institutes) wurde ein Vergleich verschiedener Ebenheitsmessgeräte von insgesamt 12 Instituten durchgeführt (Projektnummer: 672). Pilotlabor war hierbei die PTB.

2 Der Prüfling

Als Prüfling diente eine Zerodurplatte mit einem Außendurchmesser von 205 mm, die mit verschiedenen Masken (siehe Abb. 1) versehen werden konnte. Damit konnte eine Apertur von 100 mm oder 150 mm eingestellt werden oder aber Ausrichtung und Verzeichnung überprüft werden.



Abb. 1 Prüfling in Metallfassung (links) und Transportkoffer mit Umweltsensor und Masken (rechts)

Der Prüfling liegt auf drei in die Metallfassung eingelassenen Kork-Plättchen, die für die horizontale Lage mittels FEM so bestimmt wurden, dass die Durchbiegung innerhalb der Apertur von 150 mm minimal ist (ca. 6,7 nm "Peak to Valley" (PV), siehe Abb.2). Es ergeben sich hierbei nicht die Bessel-Punkte.

3 Auswertestrategie

Es wurden verschiedene Auswertestrategien getestet und als effektivste hat sich die Zerlegung in einen niederfrequenten Anteil, der durch die ersten 36 Zernike-Polynome gebildet wird, und die hochfrequente Rest-Topografie erwiesen. Abbildung 2 zeigt eine solche Zerlegung.

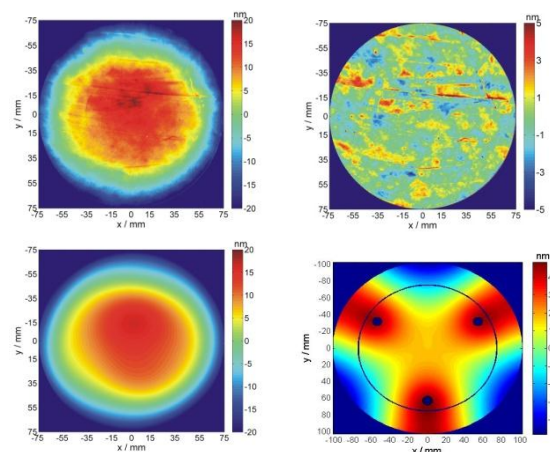


Abb. 2 Prüflingstopografie (links oben) und Zerlegung in Zernike-Polynome (links unten) und restlichen hochfrequenten Anteil (rechts oben). Rechts unten ist die in Abschnitt 2 erwähnte FEM-Auslegung mit den Kork-Plättchen gezeigt. Die Apertur von 150 mm ist durch einen Kreis angedeutet.

Der so definierte niederfrequente Anteil kann auch für die punktweise scannenden Verfahren [2, 3] berechnet werden.

Die Ausrichtung des Prüflings war über an der Metallfassung montierbare Pfeil-Masken gedacht und in Abb. 3 kann man auch erkennen, dass damit eine hohe Auflösung erreicht werden kann. Allerdings hat sich gezeigt, dass sich der Prüfling teilweise während des Transports in der Fassung leicht verdreht hat. Eine Ausrichtung der Daten über eine Korrelationsanalyse des hochfrequenten Anteils hat sich daher als stabiler erwiesen.

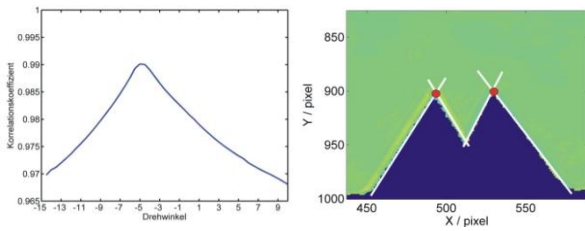


Abb. 3 Beispiel einer Korrelationsfunktion (links) und danach ausgerichteter Justierungsmessungen mit Maske. Der Prüfling war in der Fassung um ca. 5° verdreht.

4 Ergebnisse

Nachdem der Prüfling von dem jeweiligen Vergleichsteilnehmer gemessen worden ist, wurden in der PTB als Pilotlabor Überprüfungsmessungen mit einem Fizeau-Interferometer durchgeführt. Da immer mit derselben Referenzfläche gemessen wurde, zeigen diese Messungen auch die Stabilität des Prüflings (Abb. 4). Im Rahmen der Messunsicherheit konnte keine Veränderung des Prüflings festgestellt werden.

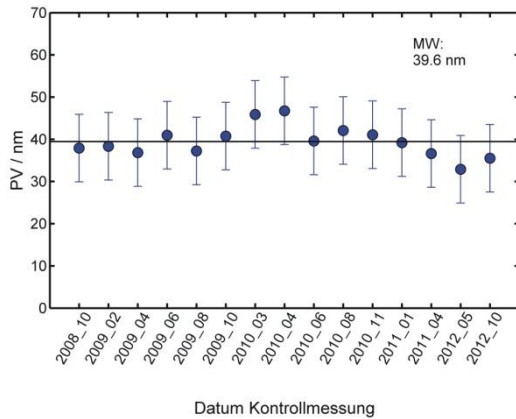


Abb. 4 Zeitlicher Verlauf des "Peak to Valley"-Wertes des niederfrequenten Anteils der Kontrollmessungen.

Der Großteil der Teilnehmer hat mit einer Apertur von 150 mm gemessen hat, allerdings war die Prüflingslage bei einigen Geräten horizontal, bei anderen vertikal. Die zu erwartenden Gravitations-einflüsse sind in Abbildung 5 gezeigt.

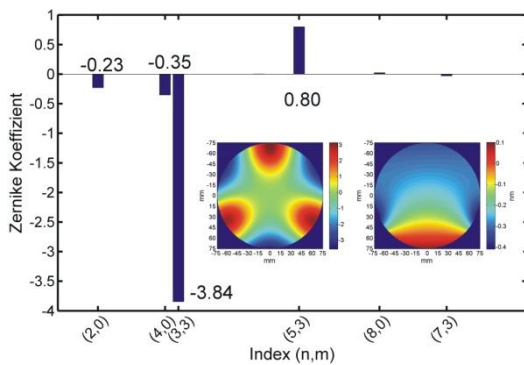


Abb. 5 Innere Bilder: Gravitationseinfluss auf einen ideal ebenen Prüfling mit den Eigenschaften der Vergleichsplatte. Außen: Zernike-Koeffizienten.

Durch die speziellen Auflagepunkte spiegelt sich der unterschiedliche Schwerkräfteinfluss im Wesentlichen im Zernike-Koeffizienten (3,3) wieder. Die von den Teilnehmern mit 150 mm Apertur gemessenen Ergebnisse für diesen Koeffizienten sind in Abbildung 6 gezeigt.

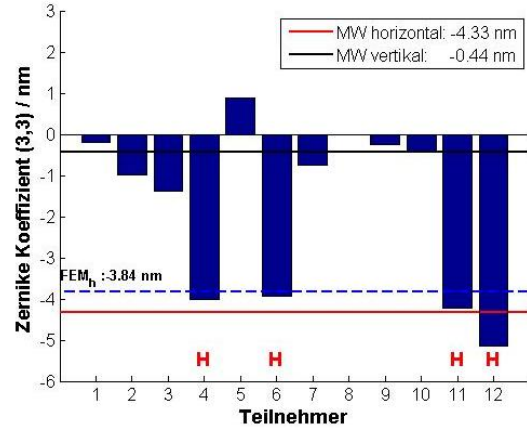


Abb. 6 Darstellung des Zernike-Koeffizienten (3,3) für ausgewählte Teilnehmer mit horizontaler und vertikaler Prüflingsausrichtung.

Die horizontal und vertikal gemessenen Ergebnisse unterscheiden sich um 4 nm, was in guter Übereinstimmung mit den FEM-Rechnungen ist. Der Mittelwert aller Messungen mit 150 mm Apertur, korrigiert auf eine horizontale Lagerung kann daher sinnvoll gebildet werden und ist in Abbildung 7 gezeigt.

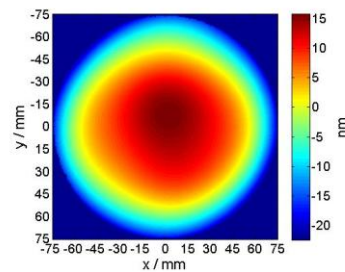


Abb. 7 Nach [4] gewichteter Mittelwert des niederfrequenten Anteils nach Korrektur des Schwerkräfteinflusses auf die waagerechte Prüflingslage

Literatur

- [1] M. Vannoni, G. Molesini, „Three-flat test with plates in horizontal posture“, Appl. Opt. **47** 2133-2145 (2008)
- [2] G. Ehret, M. Schulz, M. Stavridis, C. Elster, „Deflectometric systems for absolute flatness measurements at PTB“, Meas. Sci. Technol. **23** 094007 (2012)
- [3] P. Křen, „A simple interferometric method for determining the flatness of large optical flats with 1 nm repeatability“, Meas. Sci. Technol. **19** 107001 (2008)
- [4] M.G. Cox, „The evaluation of key comparison data“, Metrologia **39** 589-595 (2002)