

# Aktueller Stand des EMRP-Projektes zur absoluten Formmessung optischer Komponenten

M. Schulz\*, R. Bergmans\*\*\*, G. Blobel\*, I. Fortmeier\*\*, S. Quabis\*, A. Wiegmann\*

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

\*\*Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Abbestraße 2-12, 10587 Berlin, Germany

\*\*\*VSL Dutch Metrology Institute, Delft, P.O. Box 654, 2600 AR, The Netherlands

<mailto:michael.schulz@ptb.de>

Das europäische Metrologieprojekt „Optical and tactile metrology for absolute form characterisation“ ist in der Endphase. Es beinhaltet Ebenheits- und Asphärenmesstechniken mit sowohl flächenhaft messenden Sensoren als auch mit scannenden Verfahren unter Verwendung optischer und taktile Sensoren. Resultate werden vorgestellt und es wird ein Ausblick auf zukünftige Entwicklungen gegeben.

## 1 Einführung

Zur Förderung der Metrologie in Europa wurde von der Vereinigung der Europäischen Metrologieinstitute EURAMET das „European Metrology Research Programme“ (EMRP) initiiert [1]. Das Projekt „Optical and tactile metrology for absolute form characterisation“ mit 15 Partnern (Nationale Metrologieinstitute, Forschungsinstitute und Firmen) [2] ist Teil dieses Forschungsprogramms. Das Projekt ist mittlerweile in der Endphase und es wird nachfolgend ein kurzer Überblick über die bisherigen Resultate vorgestellt und ein Ausblick auf zukünftige Entwicklungen gegeben.

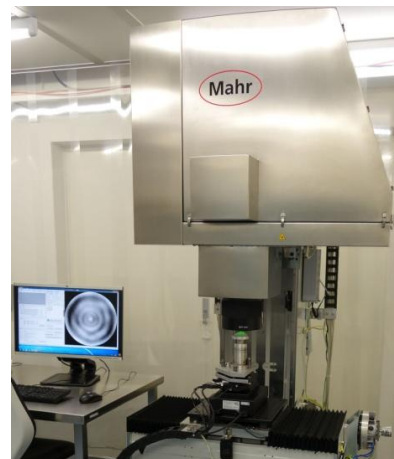
## 2 Ebenheitsmesstechnik

Im Rahmen des Projektes wurde der Bereich der Ebenheitsmesstechnik insbesondere durch die Realisierung eines kostengünstigen kapazitiven Verfahrens [3] und durch die Weiterentwicklung eines deflektometrischen Verfahrens unter Verwendung von Autokollimatoren verbessert. Dabei wurden zum einen ein Kalibrationsverfahren für Autokollimatoren weiterentwickelt [4], zum anderen wurde das Exact Autocollimation Deflectometric Scanning – Verfahren [5] in Bezug auf die Ortsauflösung verbessert. Bei diesem Verfahren werden zwei Winkelsensoren verwendet. Das Licht des einen wird über ein verschiebbares Pentagonprisma auf die Oberfläche des Prüflings gelenkt und dieser wird damit abgescannet, wobei der Prüfling an jeder Stelle senkrecht zum Messlicht positioniert wird. Der andere Winkelsensor misst die dazu notwendige Kippung des Prüflings (in festem Abstand). Der erste Winkelsensor braucht dabei kein konventioneller Autokollimator zu sein, da er nur als Nullinstrument dient. Messungen mit kreisförmigen Blenden von 200  $\mu\text{m}$  Durchmesser und mit einer spaltförmigen Blende von 50  $\mu\text{m}$  Breite waren möglich.

## 3 Interferometrisch flächenhafte Messtechnik

Im EMRP-Projekt werden ein Tilted Wave Interferometer (TWI) [6] und punktuell scannende Koordinatenmessgeräte miteinander verglichen, um so die verschiedenen Fehlereinflüsse identifizieren und reduzieren zu können.

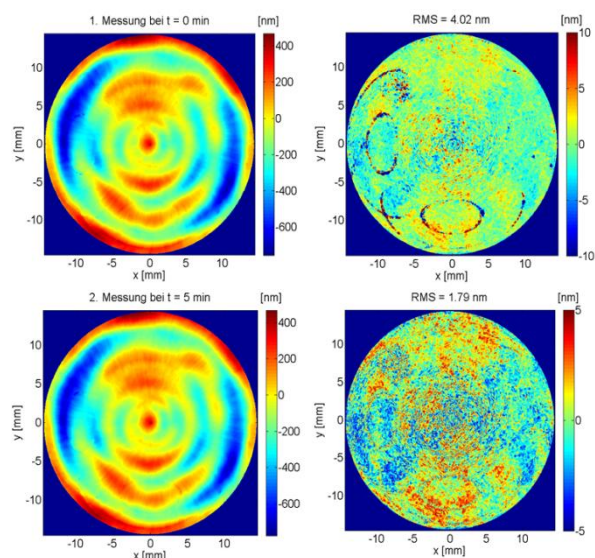
Die Realisierung des TWI findet in Kooperation von der PTB, der Mahr GmbH und dem Institut für Technische Optik der Universität Stuttgart statt.



**Abb. 1** Tilted Wave Interferometer – Prototyp im Labor der PTB. Das Bewegungssystem enthält noch nicht alle geplanten Achsen.

Der in diesem Jahr an der PTB aufgestellte Prototyp (Abb. 1) hat die Besonderheit, dass der komplette Aufbau bekannt ist (keine Black-Box Komponenten) und somit eine Abschätzung der Messunsicherheit erlaubt [7]. Ein Beispiel für einen Stabilitätstest ist in Abb. 2 gezeigt. Es wurde eine asphärische Standardkomponente (Durchmesser 45 mm, mittlerer Radius ca. 28 mm, max. Abweichung von einer Sphäre ca. 300  $\mu\text{m}$ ) zweimal im Abstand von 5 Minuten, gemessen. In dem Diffe-

renzbild (rechts oben) sind Störeffekte beim Kombinieren der Interferenzbilder der einzelnen Quellen zu sehen. Dies liegt vermutlich an einer Verschmutzung im Beleuchtungsstrahlengang. Durch Ausfiltern der Linien reduziert sich die Differenz auf einen rms-Wert von weniger als 2 nm.

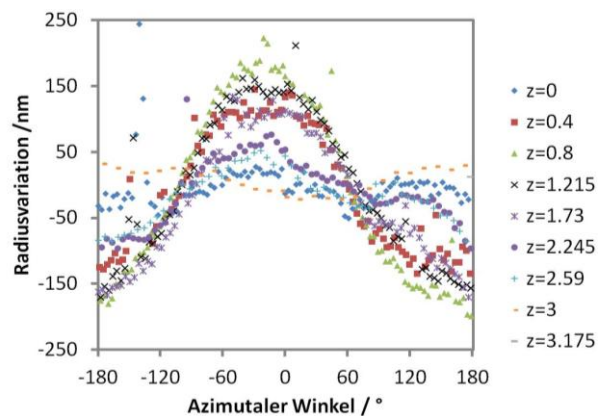


**Abb. 2** Messungen mit dem Tilted Wave Interferometer im Abstand von 5 Minuten nach Abzug eines festen niederfrequenten Anteils (links) und Abweichung zueinander (rechts), ungefiltert (oben) und nach Filterung der Ausreißer (unten).

Weitere Untersuchungen und als Endergebnis eine Unsicherheitsangabe werden folgen.

#### 4 Punktuell messende Verfahren

Durch geringe Antastkräfte der taktilen Koordinatenmessgeräte können Beschädigungen der optischen Oberflächen vermieden werden, allerdings treten andere Effekte auf, wie z.B. eine Wechselwirkung von Tastkugel und Prüfling, dynamische Effekte oder auch Einflüsse durch die Rundheit der Tastkugel sowie die Anisotropie des 3D-Sensors



**Abb. 3** Statische Ergebnisse des taktilen 3D-Sensors bei VSL. Gezeigt sind die Abweichungen im Radius entlang des Umfangs beim Messen einer Referenzkugel in verschiedenen Höhen (der Äquator liegt bei  $z = 0$ ).

des Tastkopfes (Abb. 3), die nach entsprechender Charakterisierung korrigiert werden können.

Im Projekt steht der Nachweis einer Formmessgenauigkeit von 50 nm für optische Oberflächen mit taktilen und optischen punktuellen Verfahren kurz vor dem Abschluss, wobei die lokalen Oberflächenwinkel für die taktilen Messungen bis zu  $50^\circ$  und für die optischen bis zu  $15^\circ$  betragen dürfen.

#### 5 Messvergleiche

Ein Messvergleich an ausgewählten Prüflingen hat bereits erfolgreich stattgefunden und ein weiterer wird aktuell durchgeführt. Für diesen ist auch der Einsatz spezieller „Metrologieasphären“ geplant, die mit anderen Systemen messbare Eigenschaften aufweisen. Details dazu werden in dem Beitrag A31 dieser DGaO-Proceedings beschrieben.

#### 6 Ausblick

Es ist geplant, die Asphären und Freiformmetrologie in einem neuen europäischen Projekt im Rahmen des EMPIR-Programmes [8] weiter zu verbessern.

#### Danksagung

Wir danken dem EMRP für die finanzielle Unterstützung der Arbeiten im Projekt »Optical and tactile metrology for absolute form characterisation«. Das EMRP wird von den im EMRP teilnehmenden Staaten innerhalb von EURAMET und der Europäischen Union gemeinschaftlich gefördert.

#### Literatur

- [1] [http://www.euramet.org/index.php?id=about\\_emrp](http://www.euramet.org/index.php?id=about_emrp)
- [2] <http://www.ptb.de/emrp/ind10-home.html>
- [3] P. Kren, „Optical mirror referenced capacitive flatness measurement and straightness evaluation of translation stages“, in: Meas. Sci. Techn. **25**, 044017 (2014)
- [4] R.D. Geckeler, O. Kranz, A. Just, M. Krause, „A novel approach for extending autocollimator calibration from plane to spatial angles“, Adv. Opt. Techn. **1**(6), 427-439 (2012)
- [5] G. Ehret, S. Quabis, M. Schulz, B. Andreas, R.D. Geckeler, „New sensor for small angle deflectometry with lateral resolution in the sub-millimetre range“, in: Fringe 2013, Springer Berlin Heidelberg, 887-890 (2014)
- [6] E. Garbusi, C. Pruss, W. Osten, „Interferometer for precise and flexible asphere testing“, Optical Letters OSA **33**, 2973-2975 (2008)
- [7] I. Fortmeier, M. Stavridis, A. Wiegmann, M. Schulz, G. Baer, C. Pruss, W. Osten, C. Elster, „Sensitivity analysis of tilted-wave interferometer asphere measurements using virtual experiments“, Proc. SPIE **8789**, 878907 (2013)
- [8] [http://www.euramet.org/index.php?id=about\\_empir](http://www.euramet.org/index.php?id=about_empir)