

Weiterentwicklung des TMS-Verfahrens zur hochauflösenden und hochgenauen optischen Formmessung

Michael Schulz*, Axel Wiegmann***, Clemens Elster**

Physikalisch-Technische Bundesanstalt
*Bundesallee 100, 38116 Braunschweig
**Abbestraße 2-12, 10587 Berlin

mailto: Michael.Schulz@ptb.de

Das TMS (Traceable Multi Sensor)-Verfahren nutzt ein System aus gekoppelten Abstandssensoren in Kombination mit einem Autokollimator zur scannenden Messung optischer Oberflächen. Der aktuelle Stand der TMS-Messtechnik und Weiterentwicklungen des Systems zur Messung nahezu planer und schwach gekrümmter optischer Oberflächen werden vorgestellt, wobei speziell auf den Einfluss der Interferometerfehler eingegangen wird.

1 TMS-Messtechnik

Zur Formmessung optischer Oberflächen, die aufgrund ihrer Größe oder Krümmung nicht direkt mit konventionellen Interferometern erfasst werden können, wurde unlängst das Traceable Multi Sensor – Verfahren (TMS) entwickelt. Das Verfahren nutzt ein flächenmessendes Interferometer, das mittels einer Scaneinheit über den Prüfling bewegt wird. Dabei wird die Abstandsinformation, die das Interferometer an einzelnen Stellen liefert, als Signal gekoppelter Abstandssensoren ausgewertet. Die Kombination dieser Sensoren mit einem Autokollimator, der die während des Scannens auftretende Verkippung des Scankopfes (Interferometers) erfasst, gestattet eine absolute Bestimmung der Form des Prüflings entlang der Scanlinie. Anders als bei Stitching-Verfahren, in denen die Rekonstruktion der Form nur aus den Einzelmessungen des Interferometers geschieht, ist beim TMS-Verfahren auch der quadratische Anteil der Form des Prüflings bestimmbar. Gleichzeitig werden die Nullpunktsfehler der einzelnen Abstandssensoren bestimmt und aus der Formmessung eliminiert. Das Verfahren ist in [1-3] näher beschrieben. Es ermöglicht eine lateral hochauflösende und hochgenaue Formmessung mit Unsicherheiten von wenigen Nanometern.

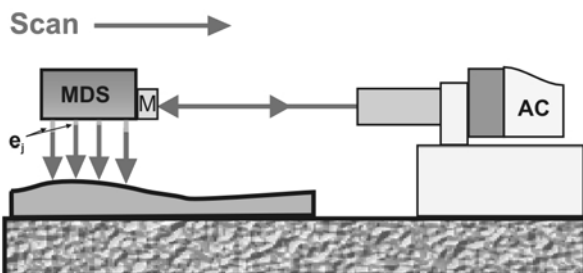


Abb. 1 TMS – System mit Multiple Distance Sensor (MDS) und Autokollimator (AC). Das Messlicht des Autokollimators wird von einem am Scankopf befestigten Spiegel (M) reflektiert. Die e_j bezeichnen die Nullpunktsfehler der einzelnen Abstandssensoren.

2 Bisherige Realisierung

Das TMS-Verfahren wurde zunächst in einem Demonstrator-Aufbau getestet und es wurden Flächen mit „Peak to Valley“ – Höhen von bis zu 120 μm bei einer Scanlänge von 220 mm gemessen. Durch Erweiterung der Scaneinheit können z. Zt. Prüflinge bis 800 mm Länge gemessen werden. Abbildung 2 zeigt den aktuellen Aufbau mit einem Luftlagertisch. Zur Positionsbestimmung wird ein Längenmessinterferometer eingesetzt.

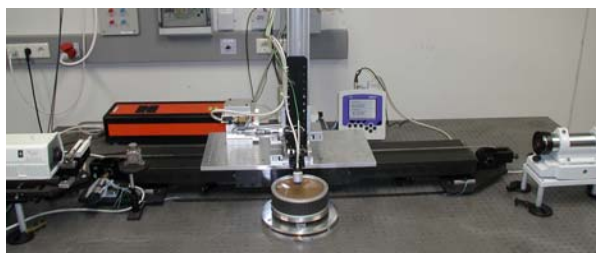


Abb. 2 TMS – System mit Luftlagertisch, Längenmessinterferometer und Autokollimator

3 Transfer in die Industrie

Im Rahmen eines vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderten Programms zur Unterstützung kleiner und mittlerer Unternehmen bei der Umsetzung von Innovationen in den Bereichen Messen, Normen, Prüfen und Qualitätssicherung („MNPQ-Transfer“) wird die TMS-Messtechnik zum Projektpartner TRIOPTICS GmbH übertragen und es sollen Prototyp-Apparaturen entwickelt werden. Dies soll ermöglichen, dass TMS-Messapparaturen als kommerzielle Geräte zur Verfügung stehen.

4 Erweiterungen des TMS – Systems

Um auch stark gekrümmte Oberflächen messen zu können wird die Erweiterung des Messverfahrens unter Einbeziehung von Drehbewegungen durchgeführt. Dazu wird eine Modellierung verschiede-

ner Messaufbauten mit Unsicherheitsanalysen für realisierbare Systemparameter durchgeführt und es werden neuartige fehlereliminierende Algorithmen entwickelt. Geplant ist, Messmethoden für asphärische Systeme mit Krümmungsradien bis hinab zu einigen 10 mm zu realisieren.

5 Genauigkeitsbetrachtungen: Interferometer als Vielfachabstandssensor

Das TMS-Verfahren ist in der Lage, Oberflächen mit Messunsicherheiten von wenigen Nanometern zu messen. Welche Messunsicherheit erreicht wird, hängt insbesondere auch von Fehlern höherer Ordnung des Interferometers ab.

Konstante Offsetfehler der Interferometerpixel werden durch das TMS-Verfahren bestimmt, d.h. das Interferometer wird durch das Verfahren hochgenau kalibriert. Dabei wird davon ausgegangen, dass diese Fehler während der Messung konstant sind. Beim Abscannen des Prüflings können sich allerdings z.B. die lokale Kippung und Krümmung, die das Interferometer erfasst, ändern. Je stärker das „Common Path“-Prinzip verletzt wird, desto mehr werden die Interferometerfehler anwachsen und dadurch an verschiedenen Stellen des Prüflings verschieden sein. Um diesen Effekt sehr klein zu halten, ist es wichtig, dass das Interferometer selbst sehr kleine Fehler für nicht in sich zurücklaufende Strahlen hat.

Nachfolgend sind Raytrace-Simulationen für eines der neu konzipierten TMS-Interferometer gezeigt, die mit Hilfe des Raytracing-Programms ZEMAX und der dazugehörigen Programmiersprache ZPL erstellt wurden. Als Testobjekt diente eine sphärische Fläche mit 45 m Krümmungsradius, für die virtuell ein Schnitt über eine Länge von 200 mm abgescannt wurde. Abb. 3 zeigt den dabei maximal auftretenden Interferometerfehler als Funktion der genutzten Apertur.

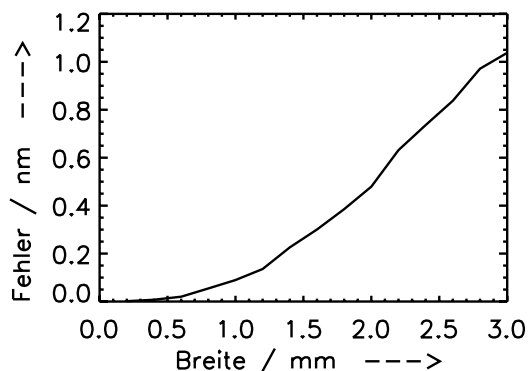


Abb. 3 Maximaler Fehler des Interferometers als Funktion der Aperturbreite des Interferometers

Eine Verringerung der Apertur auf beispielsweise 1 mm reduziert den Interferometerfehler erheblich. Der im TMS-Verfahren insgesamt auftretende Fehler muss noch unter Einbeziehung des TMS-

Algorithmus analysiert werden. Eine entsprechende Analyseumgebung, die für jeden Prüfling die entsprechenden Fehler bzw. Unsicherheiten bestimmt, wird momentan erstellt.

Eine weitere Abweichung vom TMS-Modell ergibt sich, wenn das Abbildungssystem des Interferometers Verzeichnung aufweist und die effektiven Abtastorte dadurch nicht exakt an den gewünschten Stellen liegen. Daher wurde das Interferometer bezüglich der Verzeichnung optimiert (Abb. 4). Der Einfluss der Verzeichnung wird in [4] diskutiert.

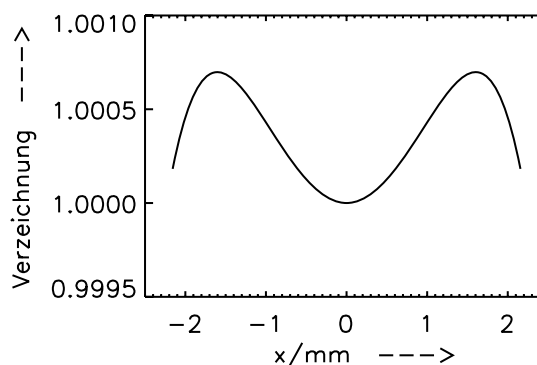


Abb. 4 Verzeichnung des neu konzipierten TMS-Interferometers

6 Zusammenfassung

Mit TMS können Oberflächen ohne die Notwendigkeit einer Referenzfläche (absolut) gemessen werden. Verschiedene Varianten des TMS werden z. Zt. realisiert. Interferometereffekte wurden mittels Raytracing untersucht. Bei angepasster Benutzung können Interferometerfehler kleiner als 0,1nm erreicht werden. Die Eigenschaften des Vielfachsensors (z.B. Interferometer) müssen in ihrer Wechselwirkung mit dem mathematischen Verfahren tiefgehend analysiert werden. Speziell Apparaturen, die nicht nur linear scannen, stellen ein interessantes aber auch herausforderndes Arbeitsfeld dar.

Literatur

- [1] C. Elster, I. Weingärtner, M. Schulz, "Coupled distance sensor systems for high-accuracy topography measurement: Accounting for scanning stage and systematic sensor errors", *Prec. Eng.* 30, 32-38 (2006)
- [2] M. Schulz, R.D. Geckeler, "Scanning Form Measurement for Curved Surfaces", *Proc. SPIE* 5921, 29-39 (2005)
- [3] M. Schulz, R.D. Geckeler, "Messung gekrümmter Oberflächen mit einem absoluten Vielfachsensystem", *DGaO-Proceedings 2006*, http://www.dgao-proceedings.de/download/107/107_b25.pdf
- [4] A. Wiegmann, C. Elster, R. D. Geckeler, M. Schulz, "Stabilitätsanalyse für das TMS Verfahren: Einfluss hoher Ortsfrequenzen des Prüflings", *DGaO-Proceedings 2006*, http://www.dgao-proceedings.de/download/108/108_p34.pdf