

Nichtäquidistante Sensoranordnung zur absoluten Profilvermessung

Axel Wiegmann*, Michael Schulz*

* Physikalisch-Technische Bundesanstalt Braunschweig

<mailto:axel.wiegmann@ptb.de>

Für ein absolutes Profilmessverfahren wird der Einfluss der Sensorabstände des Liniensensorarrays auf die laterale Auflösung diskutiert. Durch interferometrische Messungen eines Chirpprüflings wird gezeigt, wie mithilfe nichtäquidistanter Sensorabstände eine laterale Auflösung deutlich unterhalb des kleinsten Sensorabstandes erreicht werden kann.

1 Einleitung

Das zur hochgenauen Absolutmessung von Profilschnitten optischer Flächen entwickelte Traceable Multiple Sensor (TMS) Verfahren [1,2] ermöglicht eine Profilmessung bei gleichzeitiger Schätzung systematischer Sensorfehler. Dabei wird ein Liniensensorarray über den Prüfling geführt und die Verkippung des Sensors in jeder Messposition mit einem Autokollimator gemessen (Abb. 1).

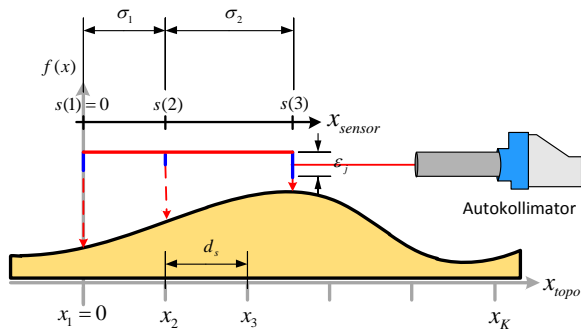


Abb. 1 Skizze des TMS-Verfahrens für nichtäquidistante Sensorarrays.

Aus den Messwerten des Liniensensorarrays und des Autokollimators können anschließend sowohl die gesuchten Topographiehöhen, die Höhenabweichungen der Führung sowie die systematischen Fehler der einzelnen Sensoren des Sensorarrays berechnet werden.

Bisher wurde das TMS Verfahren mit einem kompakten Interferometer verwendet, um ausgedehnte Prüflinge (bis zu 1 m) mit Höhen bis zu 100 µm hochgenau zu vermessen. Für Prüflinge mit größeren Abweichungen von einer ebenen Fläche kann das kompakte Interferometer nicht eingesetzt werden, da die Streifendichte im Interferogramm zu groß werden würde. Alternativ können für derartige Prüflinge Liniensensoren z.B. aus taktilem oder chromatischem Sensoren genutzt werden [3]. Um Unsicherheiten unterhalb von einem Nanometer für sehr flache Prüflinge zu erreichen, lassen sich aber auch Linienarrays aus Abstandsinterferometern verwenden [4].

2 Begrenzung der lateralen Auflösung durch äquidistante Sensoranordnung

Nicht alle Sensortypen können beliebig dicht nebeneinander platziert werden. Dies hat zur Folge, dass die laterale Auflösung durch den kleinsten Sensorabstand limitiert ist.

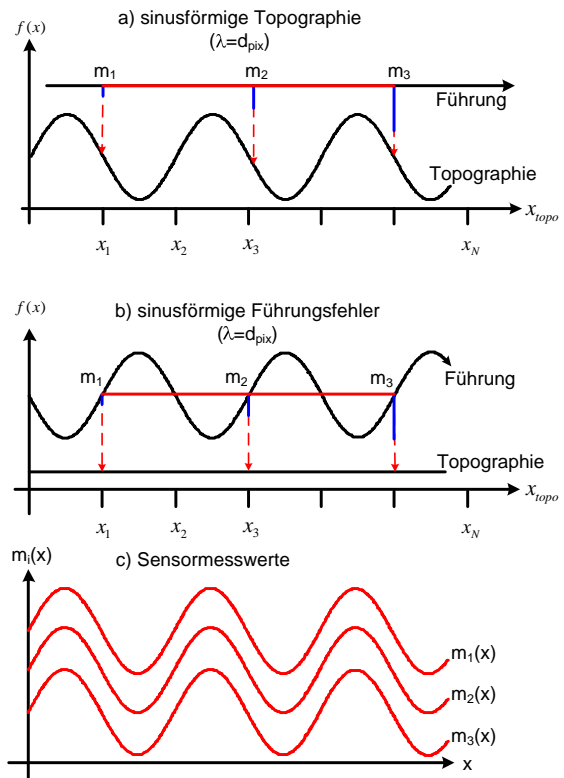


Abb. 2 Veranschaulichung der Auflösungslimitierung durch äquidistante Sensoranordnungen.

In Abb. 2a) ist der Fall einer idealen Führung ohne Höhenoffsets und einer sinusförmigen Topographie mit einer Ortswellenlänge gleich dem Sensorabstand dargestellt. In Abb. 2b) ist der Fall einer ideal ebenen Topographie und eines sinusförmigen Führungsfehlers gezeigt. Beide Fälle führen zu den in Abb. 2c) dargestellten Messwerten. Da mithilfe des TMS-Verfahrens sowohl Topographie als auch Führung aus den Messwerten geschätzt

werden sollen, ist in diesem Fall keine eindeutige Rekonstruktion möglich.

Wie in [5] gezeigt wurde, stellt das TMS-Verfahren ein Shearingverfahren mit zusätzlicher Schätzung systematischer Fehler dar. Die Shears entsprechen hier den Abständen benachbarter Sensoren (σ_1, σ_2 in Abb. 1). Entsprechend kann jedem Sensorabstand eine Transferfunktion zugeordnet werden, die angibt, wie sensitiv der jeweilige Sensorabstand für bestimmte Ortsfrequenzen ist. Im Falle äquidistanter Sensoranordnungen gibt es nur eine Transferfunktion. Die erste Nullstelle der Transferfunktion liegt bei der Ortswellenlänge, welche dem Sensorabstand entspricht, wodurch die laterale Auflösung limitiert ist. Eine geeignete Wahl von Sensorabständen erlaubt daher eine Steigerung der lateralen Auflösung über die beschriebene Grenze hinaus.

3 Nichtäquidistante Sensoranordnung zur Auflösungssteigerung - Messergebnisse

Um zu zeigen, dass eine nichtäquidistante Sensoranordnung zur Steigerung des lateralen Auflösungsvermögens des TMS-Verfahrens führt, wurden Messungen mit einem kompakten Interferometer (Apertur 3 mm) an einem Chirprüfling durchgeführt. Dabei wurden nur 3 Pixel des Interferometers für die Auswertung benutzt. Somit konnten verschiedene nichtäquidistante Sensoranordnungen getestet werden. Zusätzlich ermöglicht die Nutzung aller Interferometerpixel die Rekonstruktion einer Referenztopographie.

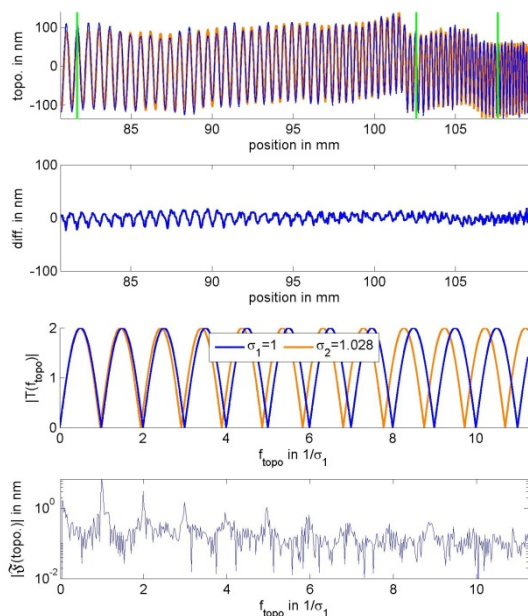


Abb. 3 Ausschnitt des rekonstruierten Chirprüflings, Differenz zur Referenztopographie, Transferfunktionen der Sensorabstände und Spektrum der Differenztopographie (von oben nach unten).

In dem oberen Teil in Abb. 3 ist in Orange das Rekonstruktionsergebnis eines wie beschrieben konstruierten Dreiersensors mit einem Abstands-

verhältnis von $\sigma_2/\sigma_1=1,028$ dargestellt. In Blau ist die bereits erwähnte Referenztopographie dargestellt. Die grünen Linien markieren Positionen, an denen die Ortswellenlänge des Prüflings $\sigma_1, \sigma_1/2, \sigma_1/3, \dots$ beträgt. Mit einer äquidistanten Sensoranordnung könnten die Ortswellenlängen rechts von der ersten grünen Linie nicht rekonstruiert werden. Das gewählte Sensorverhältnis von 1,028 ist nicht optimal, wie sich an der Differenz zur Referenztopographie erkennen lässt. Die systematischen Rekonstruktionsfehler treten für diejenigen Ortsfrequenzen auf, für welche die Einhüllende der beiden Transferfunktionen sehr klein ist.

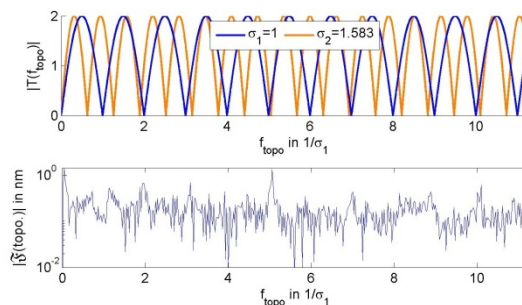


Abb. 4 Transferfunktionen für ein Abstandsverhältnis von 1:1,583 (oben) sowie Spektrum der Differenztopographie (unten).

In Abb. 4 ist das Spektrum der Differenztopographie für ein Sensorverhältnis von 1,583 gezeigt. Durch das bessere Abstandsverhältnis konnte der Rekonstruktionsfehler deutlich reduziert werden. Da das TMS-Verfahren nicht auf 3 Sensoren limitiert ist, können weitere Sensoren verwendet werden um das Rekonstruktionsergebnis weiter zu verbessern bzw. die laterale Auflösung weiter zu steigern.

Literatur

- [1] C. Elster, I. Weingärtner und M. Schulz, „Coupled distance sensor systems for high-accuracy topography measurement: Accounting for scanning stage and systematic sensor errors“ in: *Prec. Eng.* **30**, 32-38 (2006)
- [2] A. Wiegmann, M. Schulz und C. Elster, „Absolute profile measurement of large moderately flat optical surfaces with high dynamic range“ in: *Opt. Express* **16**, 11975-11986 (2008)
- [3] H. Bremer, F. Schmähling, C. Elster, S. Krey, A. Ruprecht, M. Schulz, M. Stavridis und A. Wiegmann, „Simple methods for alignment of line distance sensor arrays“ in: *Proc. SPIE* **7718** (2010)
- [4] J. Flügge, R. Köning, C. Weichert, W. Häßler-Grohne, R. D. Geckeler, A. Wiegmann, M. Schulz, C. Elster und H. Bosse „Development of a 1.5D reference comparator for position and straightness metrology on photomasks“ in: *Proc. SPIE* **7122** (2008)
- [5] A. Wiegmann, M. Schulz und C. Elster: „Improving the lateral resolution of a multi-sensor profile measurement method by non-equidistant sensor spacing“ in: *Opt. Express.* **18**, 15807-15819 (2010)