

# Weißlichtinterferometrie für die Formmessung

Sören Laubach, Gerd Ehret

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

mailto:soeren.laubach@ptb.de

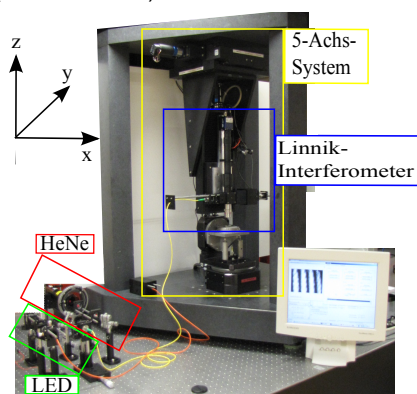
Im Rahmen eines gemeinsamen DFG Projektes der PTB und der Universität Kassel wird die Einsatzfähigkeit der klassischen Weißlichtinterferometrie mit der Hüllkurvenauswertung für einen dynamisch nachgeführten schnellen Liniensensor untersucht.

## 1 Einleitung

Im Rahmen eines DFG-Projektes wird ein neuartiges schnell scannendes Messsystem zur Formmessung von Präzisionsbauteilen aufgebaut. Ein interferometrischer Zeilensensor soll dynamisch nachgeführt werden. Zur Auswahl eines geeigneten Sensors werden drei Ansätze verfolgt: die scannende Weißlichtinterferometrie [1], die phasenschiebende Interferometrie und ein zeitliches Trägerfrequenzverfahren, bei dem der Referenzspiegel oszilliert. Ein Linnik- und ein Michelson-Aufbau werden näher untersucht. Von den im Projekt verfolgten Ansätzen wird nachfolgend im Wesentlichen auf die scannende Weißlichtinterferometrie mit einem Linnik-Interferometer eingegangen, dabei werden Messungen einer Subapertur eines Sinusprofils mit verschiedenen Lichtquellen unterschiedlicher Kohärenz (grüne, kaltweiße und warmweiße LED) vorgestellt. Anhand der Messdaten der einzelnen Quellen werden die Hüllkurvenauswertungen verglichen. Die Einsatzfähigkeit des Weißlichtsensors für das neuartige dynamisch scannende Formmesssystem wird diskutiert.

## 2 Messaufbau

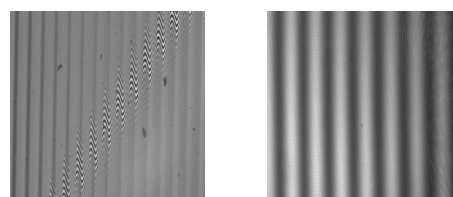
Das Messsystem besteht aus einem 5-Achs-Bewegungssystem und einem interferometrischen Sensor (siehe Abb. 1).



**Abb. 1** Aufbau des Messsystems mit angebautem Interferometer und Einkopplung der Lichtquellen

Der Sensor ist an den drei linearen Achsen angebracht und der Prüfling kann um die z-Achse rotiert und um die y-Achse gekippt werden. Er kann sowohl als Weißlichtinterferometer als auch als phasenschiebendes Interferometer betrieben werden (siehe Abb. 2). Die Verwendung mit einem zeitlichen Trägerfrequenzverfahren ist durch den Austausch des starren Referenzspiegels gegen einen schwingenden Referenzspiegel leicht möglich. Im Folgenden werden Messungen mit einem starren Referenzspiegel beschrieben.

Die Beleuchtung ist so aufgebaut, dass die Lichtquelle auf die Eintrittspupille des Objektivs fokussiert wird und somit zur Ausleuchtung mit einer ebenen Wellenfront führt. Eine ebene Wellenfront wird verwendet, da die Subaperturen aufgrund der kleinen Apertur nur geringe Krümmungen aufweisen. Die folgenden Messungen sind mit einem Linnik-Aufbau durchgeführt worden. Das Interferometer besitzt zwei Objektive mit fünffacher Vergrößerung, die einen Arbeitsabstand von 34 mm besitzen. In Kombination mit den 5x-Objektiven ergibt sich damit ein Messfeld von circa 1 mm x 1,5 mm auf dem Messobjekt.



**Abb. 2** Links: Aufnahme typischer Weißlichtinterferenzen für ein schräg gestelltes Sinusprofil; Rechts: Aufnahme von Interferenzen mit einem HeNe Laser als Lichtquelle für einen Planspiegel

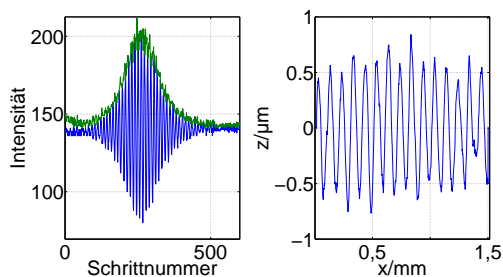
Durch definiertes Verfahren in z-Richtung wird an unterschiedlichen Positionen ein Weißlichtinterferogramm für jedes Pixel aufgenommen. Die Einhüllende wird durch eine Hilberttransformation [2] des Interferenzsignals und anschließende Betragsbildung ermittelt. Das Maximum der Einhüllenden der einzelnen Pixel muss anschließend mit der Verfahrenweite skaliert werden und es entsteht ein Höhenprofil. In einem letzten Schritt werden die Messdaten mit einem Mittelwertfilter von 21 Werten geglättet.

### 3 Messergebnisse

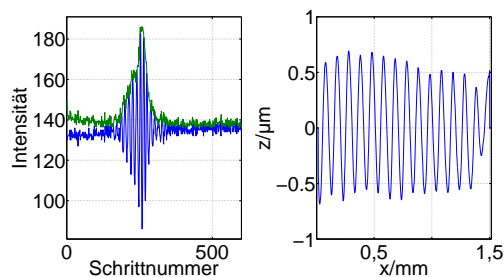
Im Folgenden wurde ein Sinusprofil mit  $0,5 \mu\text{m}$  Amplitude und  $100 \mu\text{m}$  Periodenlänge vermessen. Als Lichtquelle wurden drei verschiedene LEDs getestet:

- Grün (Luxeon LXML PM01 0100)
- Kaltweiß (Luxeon LXML PWC1 0120)
- Warmweiß (Luxeon LXML PWW1 0120)

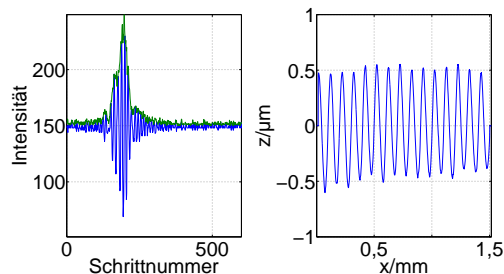
Das Interferenzsignal der einzelnen Quellen ist exemplarisch für ein Pixel in der linken Bildhälfte von Abb. 3, Abb. 4 und Abb. 5 in blau und die dazugehörige Hüllkurve in grün dargestellt. In der rechten Bildhälfte ist das ausgewertete Sinusprofil zu sehen.



**Abb. 3** Links: Interferenzsignal (blau) und dazugehörige Hüllkurve (grün) für die grüne LED; Rechts: gemessenes Sinusprofil



**Abb. 4** Links: Interferenzsignal (blau) und dazugehörige Hüllkurve (grün) für die kaltweiße LED; Rechts: gemessenes Sinusprofil



**Abb. 5** Links: Interferenzsignal (blau) und dazugehörige Hüllkurve (grün) für die warmweiße LED; Rechts: gemessenes Sinusprofil

Mit allen drei LEDs können gute Ergebnisse erzielt werden, ohne dass die Messdaten aufwendig ge-

filtert werden müssen. Auffallend ist, dass sich die Maximumsuche bei einer schmaleren Hüllkurve einfacher gestaltet, dies bedingt gleichwohl eine feinere Verfahrenweite.

### 4 Zusammenfassung

Es wurden Testmessungen mit drei verschiedenen Lichtquellen durchgeführt. Da die Aufnahme eines Bilderstapels für eine Subapertur sehr lange dauert, steigt die Messzeit bei der scannenden Weißlichtinterferometrie, dies ist jedoch für erste Voruntersuchungen zum Stitching der einzelnen Subaperturen auch noch nicht notwendig. Lange Messzeiten einzelner Abschnitte sollen durch ein zeitliches Trägerfrequenzverfahren beseitigt werden, bei dem ein Weißlichtinterferogramm innerhalb von  $1 \text{ ms}$  aufgenommen werden kann [3]. Ein zu untersuchender Punkt ist die Rückführbarkeit des Verfahrens. Ist die Genauigkeit der Verfahrenheit oder die Wellenlängenstabilität entscheidend? Bei einem phasenschiebendem Verfahren oder einer Hüllkurvenauswertung mit Phasenauswertung kommt es im Wesentlichen auf die Wellenlängenstabilität der Lichtquelle an, die um ein Vielfaches genauer bestimmt werden kann als die Genauigkeit der Verfahrenheit. Als Alternative wird ebenfalls ein zeitliches Trägerfrequenzverfahren weiterverfolgt [3]. Des Weiteren wird das Stitching der Messdaten mit und ohne äußere Messmittel für das Scannen eines Prüflings untersucht [4].

### 5 Danksagung

Diese Forschungsarbeit (LE 992/7-1, EH 400/4-1) wird von der Deutschen Forschungsgesellschaft (DFG) gefördert. Das Projekt ist eine Kooperation zwischen dem Lehrstuhl für Messtechnik, Fachbereich Elektrotechnik der Universität Kassel (LMT) und der Arbeitsgruppe Form- und Wellenfrontmetrologie der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB).

### Literatur

- [1] P. de Groot, "High-speed noncontact profiler based on scanning white-light interferometry," *Appl. Opt.* 33, 7334-7338, p. A4 (1994).
- [2] M. Fleischer, "Fast algorithm for data reduction in modern optical three-dimensional profile measurement systems with MMX technology," *Appl. Opt.* 39, 1290-1297, p. A4 (2000).
- [3] H. Knell, "High speed measurement of specular surfaces based on carrier fringe patterns in a line scan Michelson interferometer setup," *SPIE Proceedings* 8788 2013, p. A4 (2013).
- [4] A. Wiegmann, "Multiple Sensorsysteme zur Topographiebestimmung optischer Oberflächen," Dissertation, TU Berlin (2009).