

# Innovative Sensor-Architektur für hochgenaue Messungen optischer Elemente

P. Drabarek, F. Depiereux

fionec GmbH, Aachen

<mailto:p.drabarek@fionec.de>

Ein kosteneffizientes Michelson-Interferometer wird als hochauflösender Objektsensor mit Laserdiode und auch als Kontrollsensor mit Superlumineszenzdiode (SLD) für eine hochpräzise Form-Messmaschinen vorgeschlagen. Beide Systeme erreichen Auflösung von  $< 0,6$  nm bei einer Messfrequenz von 40 kHz.

## 1 Einführung

In letzten Jahren haben die rasante Entwicklung und Produktion von optischen Systemen, wie z.B. Objektive für Smartphones, Kamera basierte PKW-Sensorik und Sicherheitstechnik, den Bedarf an schnellen, hochauflösenden und berührungslosen optischen, formmessenden Maschinen gesteigert.

Ein entscheidender Vorteil einer scannenden Formmessmaschine mit punktmessendem, interferometrischem Objektsensor liegt in ihrer Universalität: es können z.B. sehr große Spiegel mit einem Durchmesser  $> 1$  m aber auch sehr kleine asphärische Linsen (Durchmesser  $< 3$  mm) für Smartphones vermessen werden.

## 2 Konzept des Interferometers

Ein Michelson-Interferometer mit schwingendem Spiegel als Phasen-Modulator (Abb.1) wurde sehr oft realisiert. Dieses Konzept erlaubt, das gesamte Interferometer mit wenigen Komponenten und geringen Justage-Aufwand zu realisieren.

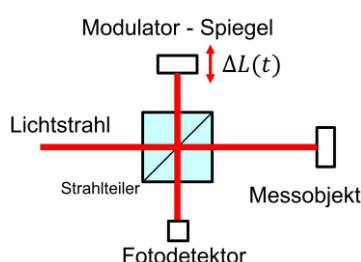


Abb.1 Interferometer mit schwindendem Spiegel als Phasen-Modulator

In den Abb. 2 ist experimentell aufgenommenes Steuersignal des Modulators (Spiegelposition in der Zeit) wiedergegeben. Abb. 3 zeigt das entsprechende Fotodetektor-Signal (Interferenzsignal), für  $0^\circ$  Differenz der Lichtphase. Ein speziell entwickelter Algorithmus berechnet, innerhalb einer Periode des Steuersignals ( $25 \mu\text{s}$ ), aus dem Interferenzsignal (Abb.3) die Phasendifferenz im Interferometer und dadurch die Abstandänderung des Messobjekts.

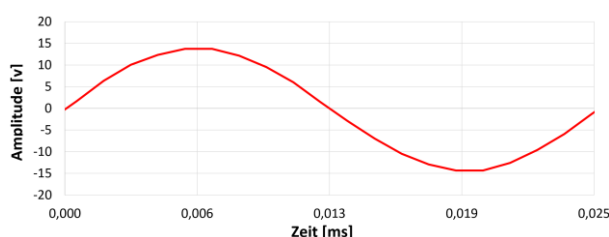


Abb.2 Steuersignal des Phasen-Modulators

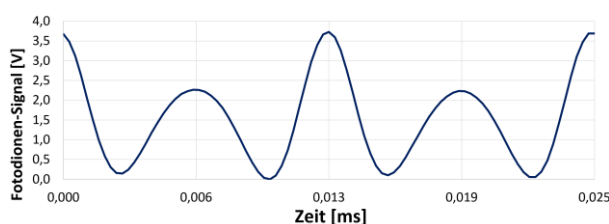


Abb.3 Interferenzsignal für Phasendifferenz  $0^\circ$

In der Abb. 4 ist das Konzept für einen Objekt- und Kontrollsensor abgebildet.

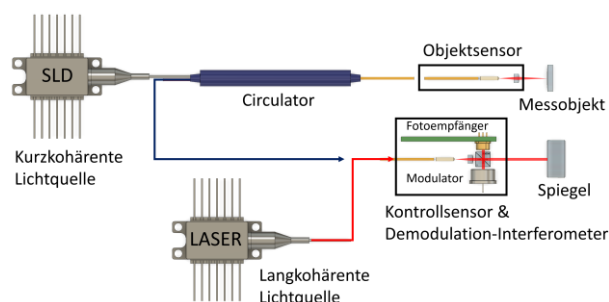


Abb.4 Innovative Sensor-Architektur

Bei dem dargestellten Kontrollsensor wird das Interferometer als Messkopf eingesetzt. Dieser beinhaltet den faseroptischen Kollimator, den Strahlteiler, den Modulator mit Spiegel und den Fotodetektor mit Verstärkerplatine. Als Lichtquelle wird ein Halbleiter-Laser mit einer Wellenlänge  $\sim 1550$  nm verwendet. Ein Einsatz von anderen fasergekoppelten Lasern (z.B. frequenzstabilisierten oder mit kürzerer Wellenlänge) ist mit geringerer Modifikation ebenfalls möglich. Der Spiegel dient beim Kontrollsensor als Target.

Bei einem Objektsensor mit kurzkohärenter Lichtquelle (z.B. SLD) wird das Interferometer als Demodulations-Interferometer verwendet. Die Sonde des Objektsensors besteht aus einem faseroptischen Pigtail und einer Linse. Das Licht wird über einen Circulator an die Sonde geleitet und an der Stirnfläche des Lichtleiters in zwei Wellen aufgeteilt: in eine Referenzwelle von der Faserstirnfläche und in eine Messwelle vom Objekt. Beide Wellen werden zum Demodulations-Interferometer geführt, interferieren und beleuchten den Fotodetektor.

### 3 Prototyp

In den Abb. 5 und 6 sind der Prototyp des Kontrollensors und die Sonde des Objektsensors dargestellt. Alle Komponenten des Interferometers wurden in einer einzelnen Trägerplatte aus Invar montiert.



Abb.5 Prototyp des Kontrollensors



Abb.6 Sonde des Objektsensors

Die aktive Justage erfolgte mit Unterstützung eines 6-achs-Roboters. Dieses Vorgehen erlaubte, den Messkopf ausreichend klein zu bauen. Dies ist insbesondere von Vorteil, um z.B. eine Sensorkopf-Integration auf einer bewegten Achse der Messmaschine zu ermöglichen.

### 4 Messtechnische Charakterisierung: Auflösung

Die Auflösung des Interferometers wurde als die Standardabweichung des abstandäquivalenten Rauschens definiert. In der Abb. 7 sind die Ergebnisse einer Messung zur Ermittlung der Auflösung für den Kontrollsensor gezeigt.

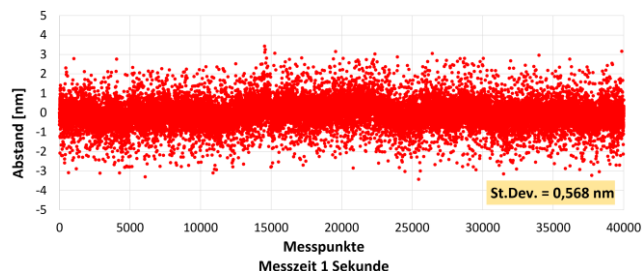


Abb.7 Abstandäquivalentes Rauschen im Kontrollsensor

In dem Experiment war der optische Wegunterschied im Interferometer auf  $0 \pm 2 \mu\text{m}$  gesetzt. In einer Zeit von 1 Sekunde wurden kontinuierlich die Abstandswerte mit einer Frequenz von 40 kHz gemessen und anschließend die Standardabweichung berechnet. Die Auflösung betrug  $0,570 \text{ nm}$ .

Abb. 8 zeigt das Ergebnis einer Abstandsmessung in einer Entfernung von 0,5 m. Das Abstandsrauschen mit PV-Wert von 4 nm beinhaltet dabei auch Fehler der Frequenzunstabilität der Laserdiode.

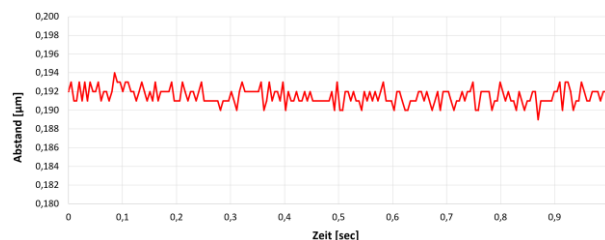


Abb.8 Rauschen der Abstandsmessung beim Arbeitsabstand von 0,5 m gemessen mit dem Kontrollsensor

### 5 Applikation: Messung der Oszillations-Amplitude

Der Objektsensor wurde eingesetzt um die Amplitude einer 1Hz Sinus-Oszillation (Abb.9) zu vermessen. Anschließend wurde die Messsystemanalyse nach Verfahren 1 ( $C_g = 1,33$ ) durchgeführt.

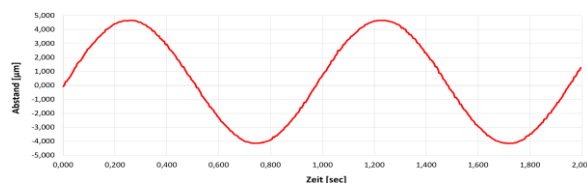


Abb.9 Oszillation eines Objekts gemessen mit dem Objektsensor mit SLD

Die Ergebnisse der 30 Wiederholmessungen sind in der Abb. 10 dargestellt.

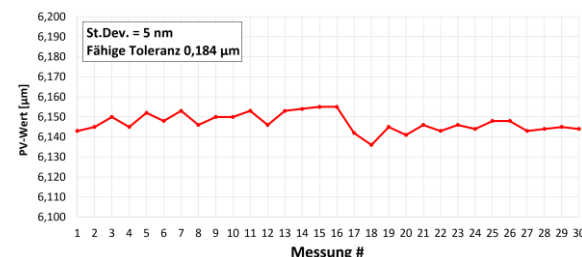


Abb.10 Ergebnisse der Messsystemanalyse Verfahren 1 ( $C_g = 1,33$ ) der Oszillationsmessung

Die Standardabweichung betrug 5 nm was einer minimalen fähigen Toleranz von  $0,184 \mu\text{m}$  entspricht.