

# Test eines absolutmessenden Interferometers am 50m-Längenkomparator der PTB

Thomas Kinder\*, Gerald Sparrer\*\*, Klaus-Dieter Salewski\*\*\*

\*TEM Messtechnik GmbH, Großer Hillen 38, 30559 Hannover

\*\*Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig

\*\*\*Institut für Physik, Universität Greifswald

mailto: thomas.kinder@tem-messtechnik.de

Ein absolutmessendes Laserinterferometer mit einem Messbereich bis über 50m und einer relativen Messunsicherheit von weniger als 1ppm wurde zur Feststellung der Messabweichungen einem Vergleichstest am 50-Meter-Längenkomparator der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) in Braunschweig unterzogen.

## 1 Einführung

Das Ausgangssignal eines konventionellen Laserinterferometers ist eine periodische Funktion des Produktes aus der Laserfrequenz und der zwischen beiden Interferometerarmen bestehenden optischen Wegdifferenz. Die sich daraus ergebende  $2\pi$ -Mehrdeutigkeit der Distanzmessung wird bei der von uns angewandten Interferometrie mit variabler synthetischer Wellenlänge (VSW-ADI) grundsätzlich überwunden. Dabei wird die zwischen einem Extended-Cavity-Diodenlaser mit nicht entspiegelter Laserdiode und einem stabilisierten Helium-Neon-Laser erzeugte Schwebungsfrequenz kontinuierlich geändert und die zu messende Wegdifferenz aus den registrierten Phasenänderungen der Interferometersignale berechnet. Der ADI-Experimentalaufbau sowie die zahlreichen Vorgängerarbeiten sind an anderer Stelle beschrieben [1].

Gegenstand dieses Beitrags ist ein Vergleichstest am 50-Meter-Längenkomparator der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) in Braunschweig, welcher zur Feststellung der systematischen und zufälligen Messabweichungen diente.

## 2 Komparatoranordnung

Als Längennormal dient bei einem solchen Test üblicherweise ein inkrementell messendes Laserinterferometer, wobei prinzipiell unterschiedliche geometrische Anordnungen von Normal und Prüfling möglich sind. Eine Übersicht darüber mit den jeweiligen Vor- und Nachteilen wird in [2] gegeben. Im vorliegenden Fall wurde eine Variante der dort unter Nummer 7 beschriebenen Anordnung benutzt, bei welcher die Messstrahlen beider Interferometer gleichsinnig und parallel ausgerichtet sind. Im Strahlengang befindet sich ein großer, beweglicher Tripelspiegel, der die Messstrahlen auf die zum jeweiligen Interferometer gehörenden Mess-

tripelprismen leitet und auch die Reflexion zu den Empfängern ermöglicht. Die beiden Messstripelprismen sind - im Unterschied zur üblichen Anwendung eines Interferometers - fest in der Nähe der jeweiligen Interferenzstrahlteiler angeordnet.

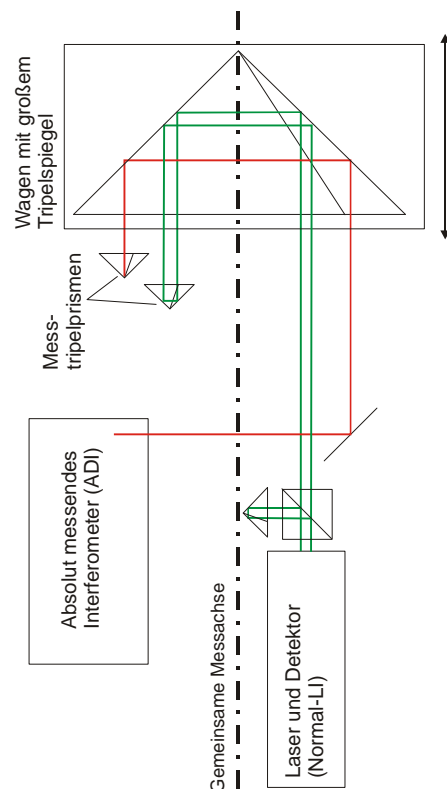
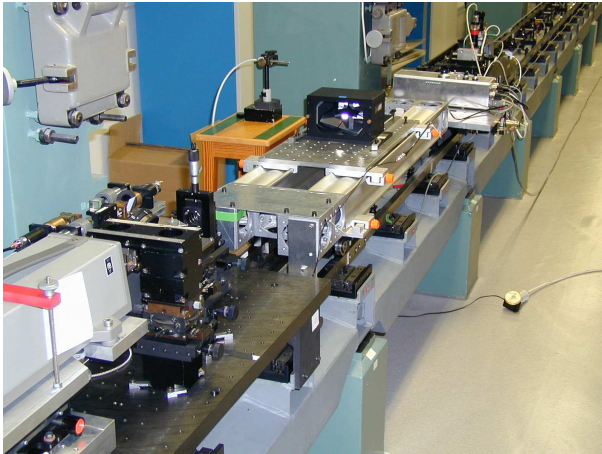


Abb. 1 Schematische Darstellung der Komparatoranordnung

Die Messabweichungen, die durch den Komparator verursacht werden, sind auch deshalb so klein, weil auf die beiden zu vergleichenden Messinterferometerarme nahezu die gleiche thermische Ausdehnung und die gleiche Brechzahl einwirken (gleicher Messkreis).



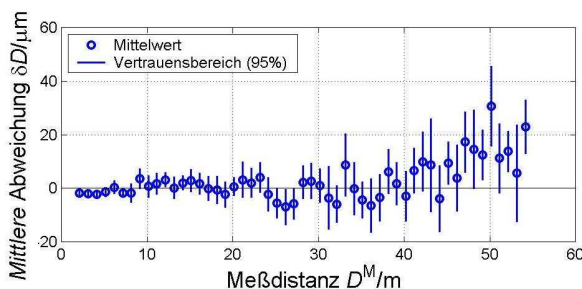
**Abb. 2** Komparator mit fest angeordneten Komponenten (vorn im Bild) und auf der Führungsbahn befindlichem beweglichen Messwagen mit großem Tripelspiegel

Das als Normal dienende Interferometer HP5529A der Firma Agilent befindet sich gemeinsam mit dem Messinterferometerkopf des ADI-Systems auf einer Stahlplatte am Anfang der Führungsbahn.

### 3 Messergebnisse

Die Messdistanz  $D^M$  wurde durch Verschieben des großen Tripelspiegels in Intervallen zu je 1000mm vergrößert, beginnend bei der kleinstmöglichen Distanz von etwa 2,18m. Bei stehendem Wagen wurde in jeder Position von Normal und Prüfling jeweils ein Ensemble von etwa 20 Messwerten aufgenommen.

In Abb. 3 sind die Ensemblemittelwerte und die zugehörigen statistischen Vertrauensbereiche (95%) der Messwertdifferenzen zwischen ADI und Normal über der Distanz aufgetragen.



**Abb. 3** Mittelwerte der Messwertdifferenzen zwischen ADI und Normal mit den zugehörigen Vertrauensbereichen.

### 4 Reflektorschwingungen

Aus Vorarbeiten ist bekannt, dass Absolutinterferometer mit variabler Wellenlänge gegenüber Reflektorbewegungen während der Laserdurchstimmung empfindlich sind. Daher wurde die hier vorgestellte Anordnung dahingehend untersucht, indem das zum ADI-System gehörige Tri-

pelprisma während des Messvorganges zu Schwingungen mit einer Amplitude von etwa  $5\mu\text{m}$  und einer Frequenz von 100 Hz angeregt wurde. Es wurden keine zusätzlichen Messabweichungen beobachtet, so dass sich die Anordnung diesbezüglich als außerordentlich robust erweist.

### 5 Diskussion

Das vorliegende Datenmaterial weist für den Messbereich 2...55m eine reproduzierbar gute Übereinstimmung der mittels ADI gemessenen Reflektordistanzen mit den jeweiligen Referenzmesswerten aus. Experimentell wurde eine abstandsabhängige Messwertstreuung mit der zweifachen Standardabweichung

$$2\sigma_{D^M} \approx \sqrt{(7,5\mu\text{m})^2 + (10^{-6} \cdot D^M)^2} \quad (1)$$

ermittelt. Die systematische Messabweichung  $\delta D^M$  ist in den Daten quantitativ schwer nachweisbar, denn in den meisten Fällen umfasst der Vertrauensbereich des ADI-Mittelwertes den vom Normal-Interferometer gelieferten Messwert. Lediglich bei sehr großen ( $D^M > 35\text{m}$ ) und sehr kleinen Distanzen ( $D^M < 3\text{m}$ ) weichen die ADI-Werte um wenige Mikrometer ab, was die Abschätzung

$$|\delta D^M| < 2\mu\text{m} + 3 \cdot 10^{-7} \cdot D^M \quad (2)$$

ausdrückt.

### 6 Ausblick

Die Messergebnisse zeigen, dass mit dem vorliegenden Aufbau die Absolute Distanzinterferometrie mit variabler Wellenlänge (ADI) die Schwelle zur Marktreife erreicht hat. Insbesondere zeigt das Verfahren die für einen industriellen Einsatz notwendige Robustheit. Es versteht sich von selbst, dass für Abstandsmessungen mit Mikrometerpräzision geeignete Rahmenbedingungen zu schaffen sind. Die Ergebnisse zeigen jedoch, dass keine besonderen Maßnahmen, wie z. B. eine Abdeckung des Strahlenganges usw., erforderlich sind.

### Literatur

- [1] Kinder, Th.: Beiträge zur Absoluten Distanzinterferometrie mit variabler synthetischer Wellenlänge (VSW-ADI). Dissertation, Universität Greifswald, 2004.
- [2] Sparrer, G.: Messanordnungen zur Kalibrierung kompletter Laserinterferometer. Microtecnic, 3:27-32, 1994.