

# Berührungslose Ebenheitsmessung von größeren Präzisionsflächen

Geläppte und feingeschliffene Bauteile lassen sich sehr schwer auf Ebenheit überprüfen. Um diese dennoch zu bestimmen, kann man ein Interferometer mit schrägem Lichteinfall verwenden. So lassen sich Teile mit einem Durchmesser bis 100 mm mit einer einzelnen Messung im Sekundenbereich prüfen.

BERND PACKROSS

**G**eläppte und feingeschliffene Bauteile haben oftmals eine spezifizierte Ebenheit im Mikrometerbereich, aber keine spiegelnde Oberfläche. Um dennoch die Ebenheit zu bestimmen, ist eine Messung mithilfe eines Interferometers mit schrägem Lichteinfall möglich. Auf diese Weise können Teile mit einem Durchmesser bis 100 mm mit einer einzelnen Messung im Sekundenbereich geprüft werden. Für größere Teile ist eine segmentweise Messung mit Dreh- oder Kreuztischen die wirtschaftliche Erweiterung.

Dr. Bernd Packross ist Geschäftsführer der Lamtech Lasermesstechnik GmbH in 70619 Stuttgart, Tel. (07 11) 23 28 10, bernd.packross@lamtech.de

Glatte Flächen können mit den aus der Optiktferung bekannten Interferometern gemessen oder auch mit dem Planglas geprüft werden. Problematisch hingegen wird deren Einsatz bei nicht glatten Flächen, wie sie beim Läppen, Flachhonen und Feinschleifen entstehen, weil dort infolge der höheren Rauheit keine Interferenzstreifen als Maß für die Ebenheit zu sehen sind. Um solche Flächen dennoch mit dem Planglas prüfen zu können, müssen sie in einem zusätzlichen Arbeitsschritt auf einem mit feinstem Polierpapier bespannten Poliertisch abgezogen werden. Durch diese Politur können jedoch die Kanten verrundet werden und das Teil kann bei einer geforderten Mindestrau-

heit unbrauchbar geworden sein. Beispiele für solche fein bearbeitete Teile sind Komponenten für die Benzin- und Dieseleinspritztechnik, Pumpen oder auch technische Keramikbauteile.

## Matte Flächen können durch schrägen Lichteinfall geprüft werden

Die Ebenheit solcher Flächen kann mit Interferometern mit einem schrägen Lichteinfall auf die Fläche gemessen werden. Dies lässt sich damit erklären, dass bei einem schrägen Lichteinfall auf die Oberfläche auch bei matten Flächen das Licht gerichtet reflektiert wird und nicht diffus wie bei einem senkrechten Lichteinfall auf eine matte Fläche. Dieser Effekt kann leicht gesehen werden, wenn eine matte Oberfläche unter einem schrägen Winkel betrachtet wird. Je schräger auf die Oberfläche geschaut wird, umso spiegelnder erscheint die Fläche und die Objekte dahinter können erkannt werden. Tritt dieser Effekt auch bei sehr flachem Winkel nicht auf, so wird die Fläche mit einem Interferometer mit schrägem Lichteinfall nicht zu messen sein.

Durch den schrägen Lichteinfall verringert sich die Empfindlichkeit des Interferometers. Betrug diese beim senkrechten Lichteinfall die halbe Wellenlänge  $\lambda$  der Lichtquelle, so ist diese nun abhängig vom Einfallswinkel  $i$  des Lichtes:

$$\text{Empfindlichkeit } (i) = \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{1}{\cos(i)}$$

Bild 1: Optischer Aufbau eines Prismeninterferometers mit schrägem Lichteinfall auf die zu messende Fläche.

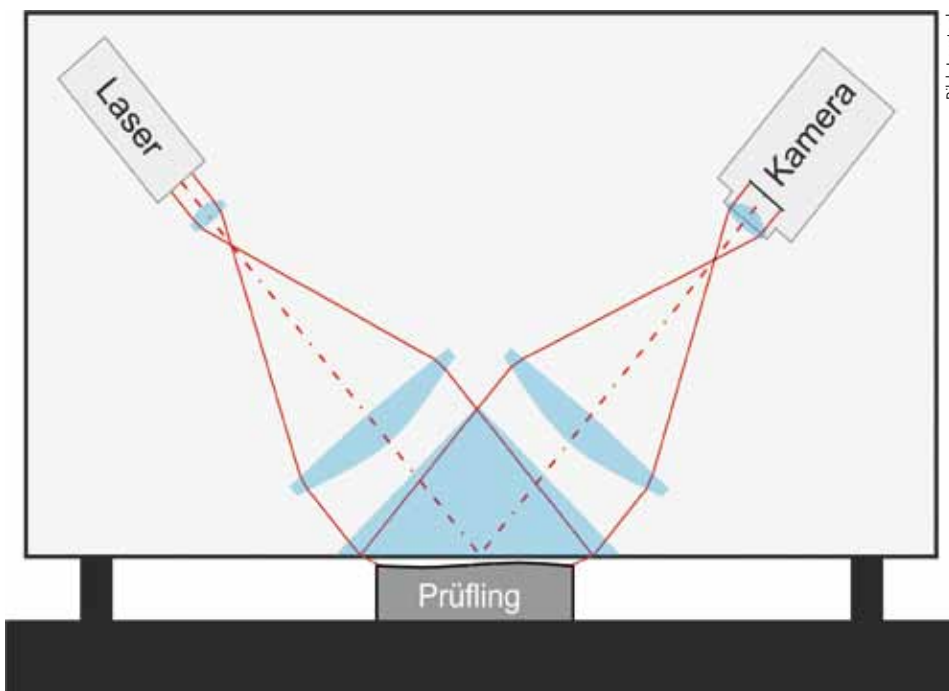


Bild: Lamtech



**Bild 2:** Bei diesem Prismeninterferometer können zur Anpassung an die Rauheit des zu prüfenden Teils vier kalibrierte Empfindlichkeiten für matte und polierte Teile eingestellt werden.

Durch diese Reduzierung der Empfindlichkeit um  $1/\cos(i)$  sind mit dem schrägen Lichteinfall auch größere Abweichungen von der Ebenheit als bei einem senkrechten Lichteinfall messbar und somit erweitert sich auch der Messbereich. Die Auflösung ist ein Bruchteil der Empfindlichkeit.

Vorteilhaft sind in der Praxis Schräglichtinterferometer mit einstellbarem Einfallswinkels des Lichtes, weil damit eine optimale Anpassung an die Rauheit von polierten Teilen bis hin zu matten Teilen mit  $Ra = 0,8 \mu\text{m}$  vorgenommen werden kann. Damit kann eine höchstmögliche Genauigkeit erreicht werden. Durch den schrägen Lichteinfall ergibt sich eine Verzerrung des Bildes des Teils in Richtung des Lichteinfalls auf die Fläche. Diese Verzerrung lässt sich weitgehend kompensieren, indem man ein

Prisma verwendet. Das Bild 1 zeigt den optischen Aufbau eines Prismeninterferometers mit dem schrägen Lichteinfall auf die zu messende Fläche. Als Lichtquelle wird ein Laser verwendet. Das Interferenzstreifenbild wird auf den Sensor einer Kamera abgebildet und in den Rechner eingelesen.

Durch Auswertung der Interferogramme mit Phasenschiebung lässt sich die Ebenheit bestimmen. Dieses Verfahren ist sehr genau und liefert ein objektives Ergebnis. Bei dem Phasenschiebepverfahren werden mehrere Interferogramme aufgenommen, die zueinander phasenverschoben sind, was sich in einem „Wandern“ der Streifenbilder während der Messung zeigt.

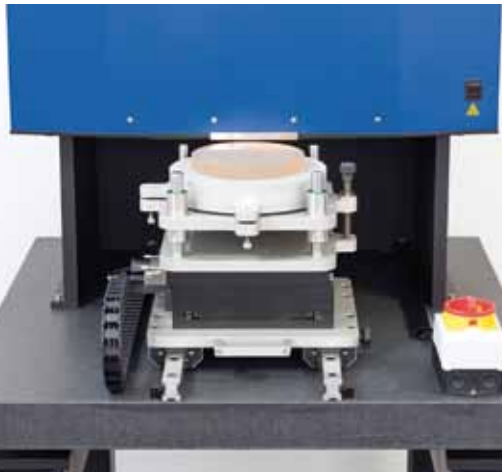
Das Prismeninterferometer Topos 100 (Bild 2) kann an die Rauheit des zu prüfenden Teils angepasst werden. Dazu können

vier kalibrierte Empfindlichkeiten im Bereich von  $0,5 \mu\text{m}$  je Streifen für polierte Teile bis hin zu  $4 \mu\text{m}$  je Streifen für matte Teile eingestellt werden. Bei einer Empfindlichkeit von  $4 \mu\text{m}$  je Streifen können noch Teile mit einem  $Ra$ -Wert von  $0,8 \mu\text{m}$  gemessen werden. Die Absolutgenauigkeit über das gesamte Messfeld beträgt  $0,1$  bis  $0,4 \mu\text{m}$  PV (Peak-to-Valley), je nach eingestellter Empfindlichkeit. Durch das eingebaute Zoomobjektiv können Teile mit einem Durchmesser von  $100 \text{ mm}$  mit einer Ortsauflösung von etwa fünf Messpunkten pro Millimeter hin zu kleinen Teilen bis zu einem Durchmesser von  $22 \text{ mm}$  mit etwa 23 Messpunkten pro Millimeter gemessen werden.

Die Auswertzeiten liegen unter  $2 \text{ s}$  bei Messfeldern bis zu  $300.000$  Punkten. Für die Auswertung ist ein Luftspalt zwischen dem Prisma und dem Messteil notwendig. Dies hat in der Praxis den Vorteil, dass das zu messende Teil nicht in Kontakt zum Prisma gebracht werden muss und somit ein Verkratzen des Prismas, einer der teuersten Komponenten eines Interferometers, vermieden werden kann.

### Messung großer Flächen erfolgt segmentweise wirtschaftlicher

Bei Komponenten, die größer als das maximale Messfeld des Interferometers sind, würde sich als erstes ein Interferometer mit entsprechend großer Optik für das benötigte Messfeld anbieten. Die Kosten für optische Komponenten steigen aber überproportional zu ihrem Durchmesser, sofern sie ab einer bestimmten Größe überhaupt verfügbar sind. So ist es wirtschaftlicher von dem In-



REFPZ150  
Tuch

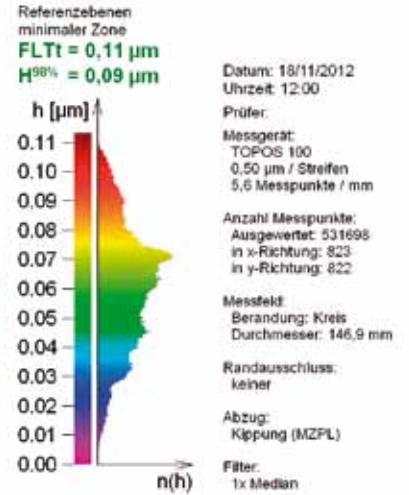
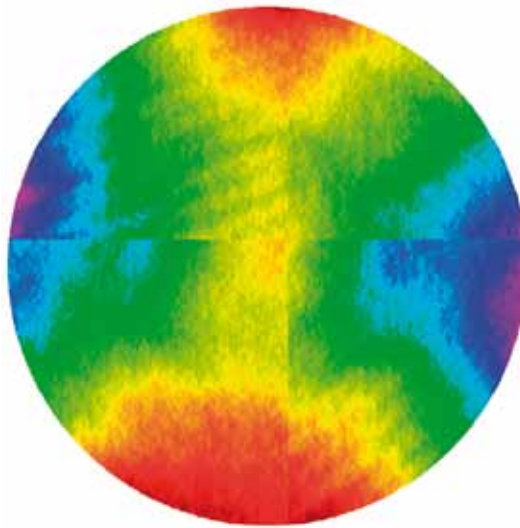
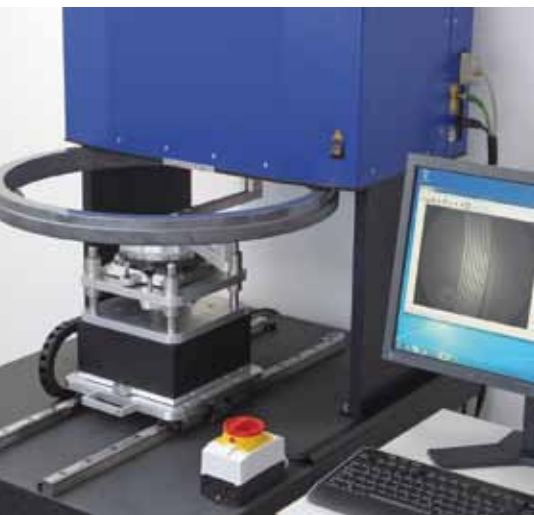


Bild 3: Messung einer großen Fläche mit einem Kreuztisch; rechts ist das Messergebnis zu sehen.

Bild: Lamtech

Bild: Lamtech



SISIC AD 610

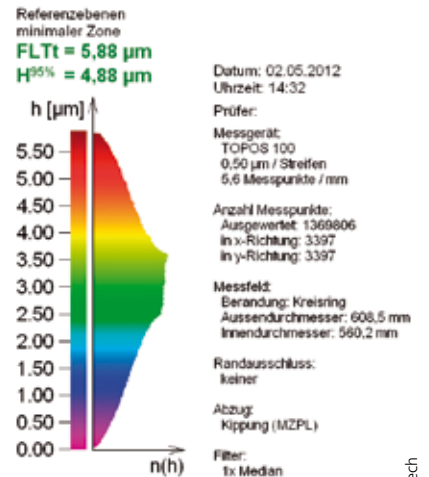


Bild 4: Drehtisch mit SiSiC-Gleitring und Auswertung; rechts ist das Ergebnis der Messung zu sehen.

Bild: Lamtech

Bild: Lamtech

terferometer mit maximalem Messfeld auszugehen und dies um eine mechanische Verfahrenseinheit für eine segmentweise Messung des Teils zu ergänzen. Aus den einzelnen, gemessenen Segmenten kann dann die Gesamtfläche rechnerisch zusammengesetzt werden.

Dies bietet zudem den Vorteil, dass das maximale Messfeld unabhängig wird vom Interferometer selbst und von der preisgünstigeren Mechanik bestimmt wird. Zudem bleibt die hohe Ortsauflösung der einzelnen Messung erhalten. Diese Art der Erweiterung des Messfeldes ist aufgrund der berührungslosen Messung möglich.

Bei flächigen Bauteilen wird mit einem Kreuztisch gemessen. Dabei wird mit einer Überlappung der einzelnen Segmente gemessen und das Teil unter dem Messfeld des Interferometers verschoben. Bild 3 zeigt das Interferometer mit einem Kreuztisch – im

Beispiel bei der Messung einer Referenzfläche mit 150 mm Durchmesser in vier Einzelmessungen. Durch entsprechende Wahl der Kreuztische werden vollflächige Teile mit einem Durchmesser bis zu 290 mm gemessen. Eine Erweiterung zu noch größeren Teilen ist möglich.

Bei vollflächigen Bauteilen, deren kürzere Seite schmaler als das Messfeld des Interferometers ist, kann mit einer einzelnen motorisch angetriebenen Linearachse gemessen werden. Ist die schmale Seite länger als das Messfeld des Interferometers, wird mit einem Kreuztisch gemessen.

**Bei großen, ringförmigen Teilen kann mit einem Drehtisch gemessen werden**

Bei ringförmigen Teilen mit einer Ringbreite kleiner als das Messfeld kann mit einem Drehtisch gemessen werden. Es werden jeweils Ringsegmente gemessen, die nach Mes-

sung aller Segmente wieder stetig zum Gesamttring zusammengefügt werden. Beispiele für große ringförmige Flächen mit einer Ebenheit im Mikrometerbereich sind Hydraulikkomponenten, beispielsweise Ventilplatten, und keramische Gleitringe, die bis zu einem Durchmesser von 620 mm gefertigt werden.

Bild 4 zeigt einen motorgetriebenen Drehtisch bei der Messung eines SiSiC-Gleittrings mit einem Durchmesser von 610 mm. Der Ring wurde in 24 Segmenten bei einer Messzeit von weniger als 90 s gemessen. Bild 4 rechts zeigt das Ergebnis der Messung. Die Ebenheit dieses Rings beträgt 5,88 µm mit einer für das Lappen typischen Zweipunktwelligkeit. Ein Ring mit 215 mm Außendurchmesser wird in acht Segmenten gemessen. Dabei wird eine Gesamtzeit von 30 s für die Messung bis zur Ausgabe der Ebenheit benötigt.