

Topografiemessung gekrümmter Oberflächen mittels lateral scannender Weißlichtinterferometrie

Gert Behrends*, Dirk Stöbener**, Andreas Fischer**

* Universität Bremen, Bremer Institut für Messtechnik. Automatisierung und Qualitätswissenschaft
**MAPEX Center for Materials and Processes, Universität Bremen

<mailto:g.behrends@bimaq.de>

Die lateral scannende Weißlichtinterferometrie stellt eine Möglichkeit zur Topografiemessung an bewegten Objekten dar. Bislang kam sie vor allem an ebenen Objekten zum Einsatz. In diesem Beitrag wird eine Methode zur Kompensation lokaler Krümmungseffekte vorgestellt, welche das rotatorische Messen an zylindrischen Körpern ermöglicht.

1 Einführung

Die Herstellung glänzender Oberflächen stellt hohe Ansprüche an das verwendete Werkzeug. So sind die Arbeitswalzen zur Herstellung gewalzten Stahlblechs bereits nach wenigen Kilometern Walzstrecke so stark aufgeraut, dass eine Rekonditionierung erforderlich ist. Die bearbeiteten Oberflächen werden durch Sichtprüfung von Experten kontrolliert. Um eine objektive Aussage über die Rauheit der Oberflächen treffen zu können, soll die Topografie direkt gemessen werden.

Eine geeignete Messmethode zur großflächigen Messung optisch glatter, bewegter Objekte stellt die lateral scannende Weißlichtinterferometrie (LSWLI) nach Olszak [1] dar. Bislang wurde die LSWLI vorwiegend an ebenen Messobjekten angewandt. Der Einsatz an gekrümmten Objekten, unterstützt durch vorheriges Einmessen mittels Lasertriangulation, wurde durch Domaschke et al. beschrieben [2]. Im Projekt "SiToH – Schnelle interferometrische Topografiemessung bewegter Objekte im Fertigungsprozess mittels leistungsfähiger Hardware" soll die LSWLI an stärker gekrümmten Oberflächen eingesetzt werden. Dabei sind jedoch Projektionseffekte zu berücksichtigen, weshalb der Einfluss der Krümmung auf die Topografiemessung und dessen Kompensation Gegenstand des vorliegenden Artikels ist.

2 Messprinzip

Im Gegensatz zur vertikal scannenden Weißlichtinterferometrie (VSWLI), bei welcher für ein großflächiges Abbild der Topografie sequentiell einzelne Field-of-Views (FOV) aufgenommen und anschließend per Software zusammengefügt werden („Stitching“), wird bei der LSWLI das Objekt kontinuierlich aufgenommen, während es durch das stationäre FOV des WLI bewegt wird.

Der Pfad, auf dem das Objekt durch das FOV bewegt wird, ist relativ zur optischen Achse ge-

kippt. Der schräge Scanpfad vereint auf diese Weise parallel und senkrecht zum Kamerasensor laufende Bewegungen. Die Änderung der optischen Pfadlängendifferenz (OPD) jeden Objektpunktes ist in der Kamera in Form von Intensitätsänderungen zu beobachten, während das Objekt durch das FOV bewegt wird.

Die Objekthöhe kann mit dem Kippwinkel und der Objektposition im FOV, an welcher durch eine OPD von Null die maximale Intensitätsmodulation auftritt, berechnet werden.

Während ebene Objekte translatorisch gescannt werden, erfolgt die Messung zylindrischer Objekte mittels rotatorischer LSWLI. Durch die Objektkrümmung liegt nicht ein globaler Scanwinkel, sondern ein ortsabhängiges Winkelspektrum vor, siehe Abbildung 1. Um dennoch die Objekthöhe berechnen zu können, ist daher eine Bestimmung des jeweils lokal vorliegenden Winkels notwendig.

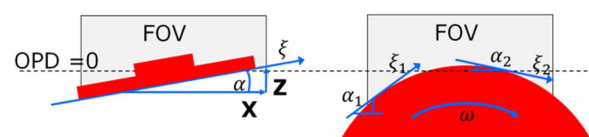


Abbildung 1: Der Scanpfad ξ der linearen LSWLI (links) wird durch den globalen Winkel α definiert. Bei der rotatorischen LSWLI (rechts) liegt an jedem Ort im FOV ein lokaler Scanpfad ξ_j mit Winkel α_j vor.

3 Berechnung lokaler Winkel

Eine Bestimmung des Scanwinkels wurde für die LSWLI an ebenen Oberflächen von Munteanu beschrieben [3]. Der globale Scanwinkel ist demnach abhängig von der Korrelogrammfrequenz und bekannten Eigenschaften der Messanordnung. Dieser Zusammenhang lässt sich mit Hilfe einer lokalen Frequenzauswertung auf zylindrische Oberflächen übertragen. Die Bestimmung der lokalen Frequenzen wurde zunächst mit einer gleitenden, gefensterten Fast Fourier Transformation (FFT) realisiert.

Simulationen, siehe Abbildung 2, ergaben, dass die im FOV vorliegenden Winkel rein von der Objektform abhängen. Bei moderaten Winkeln zwischen 1° und 3° konnten die geringsten Störeinflüsse festgestellt werden. Aus den im simulierten FOV angetroffenen Winkeln kann zudem, unter Annahme eines ideal kreisförmigen Objektes, auf die Entfernung der Messposition zum Scheitelpunkt des Kreises geschlossen werden.

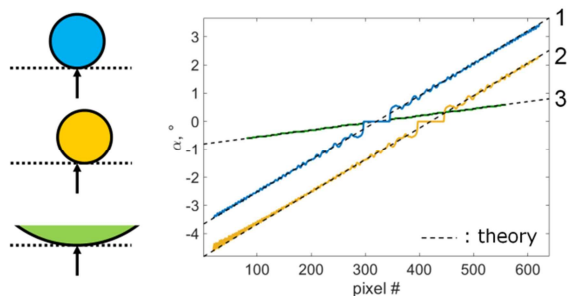


Abbildung 2: Simulation der lokalen Winkelauswertung. 1/blau: Kreis mit 5 mm Radius, mittig. 2/gelb: Kreis mit 5 mm Radius, 100 Pixel rechts der FOV-Mitte. 3/grün: Kreis mit 22,8 mm Radius, mittig

4 Experiment

Die in Abschnitt 3 beschriebene Methode wurde an einem LSWLI-Versuchsstand, siehe Abbildung 3 (links), experimentell überprüft. Das Interferometer nutzt eine LED-Lichtquelle mit 530 nm zentraler Wellenlänge und 70 nm Bandbreite, ein 10x/0,3 Mirau-Objektiv sowie eine 8-Bit-VGA-Kamera.

Das Messobjekt ist ein Linearencoderstreifen, welcher auf einem rundgefrästen Probenhalter mit 22,5 mm Radius befestigt wurde. Auf dem Streifen wechseln sich glatte und raue Strukturen ab, siehe Abbildung 3 (rechts). Die rauen Bereiche sind bis zu $2\ \mu\text{m}$ tiefer als die glatten Abschnitte.

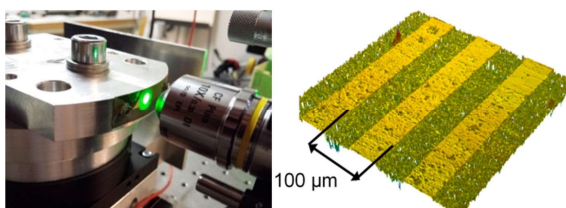


Abbildung 3: Links: Probe auf Drehtisch während einer Messung. Rechts: VSWLI Referenzmessung des Linearencoderstreifens.

In Abbildung 4 sind die Ergebnisse der Messung dargestellt. Inklusive Vor- und Nachlauf wurde eine Strecke von 1,32 mm gescannt. Oben links ist eine Schnittlinie des Objekts unter Annahme eines globalen Winkels abgebildet. Oben rechts wird derselbe Schnitt bei Anwendung der gemäß Abschnitt 3 bestimmten lokalen Winkel dargestellt.

Die oben links erkennbaren nadelartigen Artefakte sind durch die lokale Winkelkorrektur oben rechts deutlich reduziert worden. Die Amplituden in der korrigierten Schnittlinie entsprechen in etwa den

Amplituden der in Abbildung 3 (rechts) referenzierten Oberflächenstruktur.

Die 3D-Ansicht in Abbildung 4 (unten) zeigt, dass die Topografie auch in 2D korrekt rekonstruiert wurde. Die Streifen sind scharf voneinander getrennt, es sind keine Bildüberlagerungen erkennbar. In der oberen linken Ecke ist ein realer Oberflächendefekt (dunkelblau) zu erkennen.

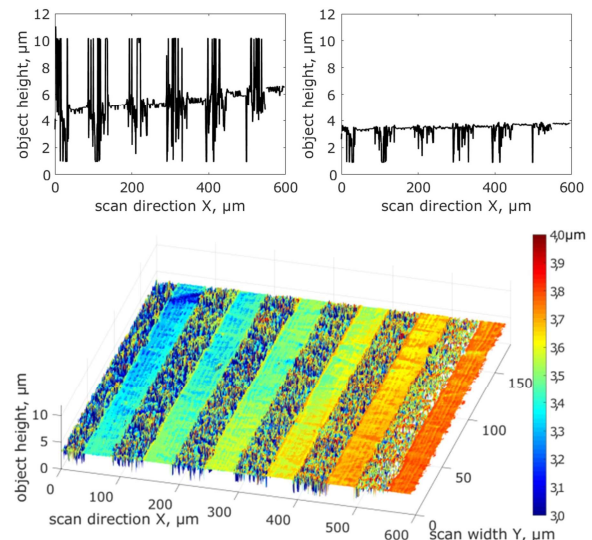


Abbildung 4: Oben: Schnittdarstellung in Scanrichtung. Links wurde ein konstanter Winkel angenommen. Rechts wurden die lokal berechneten Winkel verwendet. Unten: 3D-Topografie des Messobjekts.

5 Fazit

Es wurde demonstriert, dass die für eine LSWLI Auswertung erforderliche Winkelbestimmung für geradlinige Scanpfade nach [3] auch bei rotatorischen Scans anwendbar ist. So lassen sich die lokalen Oberflächenwinkel direkt aus den Messdaten berechnen, wodurch auf ein vorheriges Einmessen des Scanpfades verzichtet werden kann.

6 Danksagung

Das Projekt SiToH wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Programms „Photonik Forschung Deutschland“ unter Kennzeichen 13N14696 gefördert.

Literatur

- [1] A. Olszak, „Lateral scanning white-light interferometer“. *Appl. Opt.* 39, 3906-3913 (2000)
- [2] T. Domaschke, T. Schueppstuhl and M. Otto, "Robot Guided White Light Interferometry for Crack Inspection on Airplane Engine Components," *ISR/Robotik 2014*; 41st International Symposium on Robotics, Munich, Germany, 1-7 (2014)
- [3] F. Munteanu, „Self-calibrating lateral scanning white-light interferometer“. *Appl. Opt.* 49, 2371-2375 (2010)