

Kombinierte Ebenheits- und Rauheitsmessung mittels Speckle-Interferometrie

Thomas Bodendorfer, Alexander W. Koch

Lehrstuhl für Messsystem- und Sensortechnik, Technische Universität München

mailto:t.bodendorfer@tum.de

Ebenheit und Rauheit sind ausschlaggebende Größen in der Qualitätskontrolle. In dieser Arbeit wird ein Konzept für eine auf Speckle-Interferometrie basierte gleichzeitige Messung von Ebenheit und Rauheit vorgestellt. Die Grundlage dafür stellen Messverfahren aus der Speckle-Interferometrie dar, die sich in die Messprozedur der Speckle-Formvermessung mittels Zwei-Wellenlängen-Technik integrieren lassen.

1 Motivation

In zahlreichen Produktionsprozessen sind Ebenheit sowie Rauheit ausschlaggebende Größen in der Qualitätskontrolle. In der Industrie dient das Tastschnittverfahren immer noch als Standardmessprinzip, obwohl optische Messsysteme zahlreiche Vorteile gegenüber dem mechanischen Abfahren eines Werkstücks bieten: sie sind berührungslos, beschädigungsfrei und lassen sich oft aus großer Entfernung zum Messobjekt anwenden. In der Speckle-Interferometrie stellt die Zwei-Wellenlängen-Technik [1, 2] ein mögliches Verfahren zur Form- bzw. Ebenheitsmessung dar. Das Ergebnis einer solchen Messung ist eine Höhenlinienkarte des Messobjekts. Aus den erfassten Interferogrammen können aber neben diesen Informationen über die Form noch weitere Daten über das Testobjekt, wie z.B. die Oberflächenrauheit, gewonnen werden. Hierfür existieren verschiedene Verfahren [3, 4, 6], die sich mit der Formvermessung mittels Zwei-Wellenlängen-Technik kombinieren lassen, ohne den Messaufbau oder die Messprozedur verändern zu müssen.

2 Ebenheitsmessung

Den prinzipiellen Aufbau eines Messsystems zur Ebenheits- bzw. Formvermessung mittels Zwei-Wellenlängen-Technik zeigt folgender Abbildung:

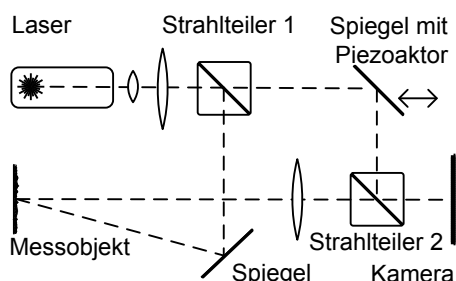


Abbildung 1 Prinzipieller Aufbau des Interferometers zur Form- und Rauheitsmessung.

Im Ablauf einer einzelnen Messung werden zu-

nächst drei Interferogramme mit der Beleuchtungswellenlänge λ_1 und anschließend drei Interferogramme mit λ_2 aufgenommen. Zwischen den Aufnahmen wird die Phasendifferenz zwischen Objekt und Messpfad mittels Piezoaktor um jeweils $\frac{2}{3}\pi$ vergrößert. Ein 3-Schritt-Algorithmus berechnet aus den Interferogrammen das Phasenbild (Abbildung 2, F1). Ein Tiefpassfilter, kombiniert mit einer vorangehenden Sinus- und Kosinustransformation, entfernt das Rauschen, ohne die Phasensprünge zu verzeichnen (Abbildung 2, F2). Abschließend können die Phasensprünge dieses gefilterten Phasenbildes mit Hilfe eines Unwrapping-Algorithmus entfernt werden (Abbildung 2, F3).

$$\Lambda = \frac{\lambda_1 * \lambda_2}{|\lambda_1 - \lambda_2|} \quad (1)$$

Die Empfindlichkeit dieser Messmethode lässt sich durch Variation der verwendeten Wellenlängen an das Messobjekt anpassen: der Abstand zwischen zwei Streifen entspricht der synthetischen Wellenlänge (Gleichung 1).

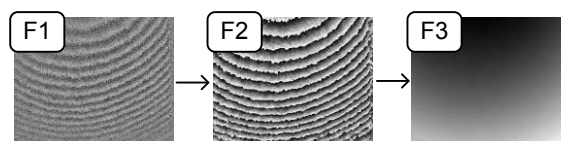


Abbildung 2 Auswertung des Phasenbilds (F1) mittels geeigneter Filterung (F2) und Unwrapping-Algorithmus (F3).

3 Rauheitsmessung

Folgendes Schema verdeutlicht die Schritte von der Aufnahme der Interferogramme bis zur Bestimmung der Form und Rauheit:

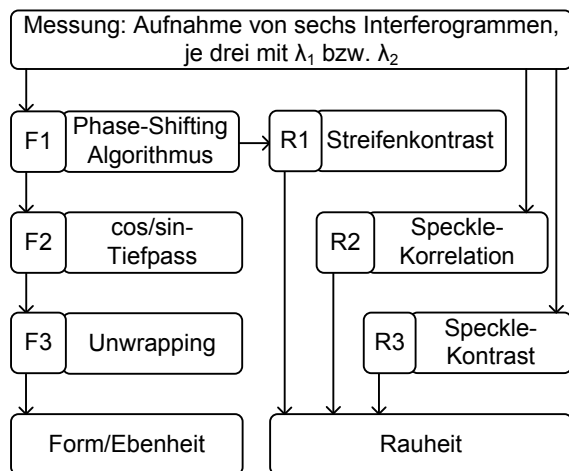


Abbildung 3 Konzept für die gleichzeitige Messung von Ebenheit und Rauheit.

Für die im folgenden beschriebenen Verfahren zur Bestimmung der Oberflächenrauheit sind keine weiteren Messungen nötig: sie lassen sich alle auf die während der Formvermessung erfassten Daten anwenden.

Streifenkontrast Zur Berechnung des Streifenkontrasts sind lediglich die maximale bzw. minimale Intensität der Streifen im Phasenbild zu bestimmen [5]. Neben der Oberflächenrauheit hat auch die synthetische Wellenlänge Einfluss auf den Streifenkontrast. Er lässt sich nur dann sinnvoll bestimmen und zur Rauheitsmessung nutzen, wenn Gleichung 2 erfüllt ist. Außerdem ist auch nur in diesem Fall eine Ebenheitsmessung möglich.

$$8 * R_a < \Lambda \quad (2)$$

Spektrale Speckle-Korrelation Bei diesem Verfahren zur Bestimmung der Rauheit wird der Korrelationskoeffizient aus zwei Interferogrammen mit unterschiedlichen Wellenlängen genutzt [6]. Durch eine geeignete Wahl von λ_1 und λ_2 lässt sich die Empfindlichkeit des Verfahrens ähnlich der Ebenheitsmessung variieren.

Speckle-Kontrast Hierbei wird der Kontrast des jeweiligen Speckle-Musters entsprechend Gleichung 3 berechnet [3].

$$C = \frac{\sigma_I}{\langle I \rangle} \quad (3)$$

Ein Vergleich dieses Ergebnisses mit einer durch Simulation erzeugten Kennlinie führt zum Rauheitswert. Abbildung 4 zeigt einen Vergleich von Mes-

sung und Simulation. Eine gute Übereinstimmung ist vor allem im Bereich $\frac{\lambda}{10} < R_a < \frac{\lambda}{4}$ gegeben.

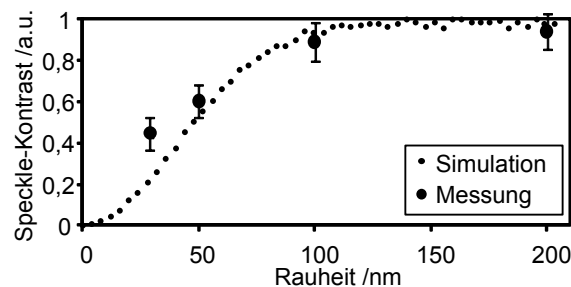


Abbildung 4 Messung und Simulation einer Rauheitsbestimmung mittels Speckle-Kontrast.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Die vorgestellten Verfahren der Rauheitsmessung wurden jeweils für sich auf Daten aus der Formvermessung angewandt: die zur Verfügung stehenden Rauheitsproben konnten unterschieden werden – eine genaue quantitative Rauheitsmessung war aber nicht möglich. Die Kombination der Verfahren zusammen mit einer gemeinsamen Auswertung (z.B. Hauptkomponentenanalyse) ist ein vielversprechendes Konzept für eine schnelle, genaue und flächenhafte Rauheitsbestimmung. Zusammen mit der Formvermessung könnten so mit einem Messsystem die Größen Form, Welligkeit und Rauheit gleichzeitig nach der Aufnahme von nur sechs Interferogrammen bestimmt werden.

Literatur

- [1] T. Bodendorfer and A. Koch, "Resolution limit of Mach-Zehnder two-wavelength phase-shifting speckle interferometer," vol. 7387 of *Proceedings of SPIE*, p. 73870X (2010).
- [2] A. Purde, N. Werth, A. Meixner, and A. Koch, "ESPI for contouring of surfaces with discontinuities," vol. 5856 of *Proceedings of SPIE*, p. 525 (2005).
- [3] U. Persson, "Real time measurement of surface roughness on ground surfaces using speckle-contrast technique," *Optics and Lasers in Engineering* **17**(2), 61–67 (1992).
- [4] A. W. Koch, M. W. Ruprecht, and O. Toedter, *Optische Meßtechnik an technischen Oberflächen* (Expert-Verlag, ISBN: 3816913725, 1998).
- [5] R. Jones and C. Wykes, *Holographic and speckle interferometry* (Cambridge University Press, ISBN: 0521348781, 1989).
- [6] B. Ruffing, "Application of speckle-correlation methods to surface-roughness measurement: a theoretical study," *JOSA A* **3**(8), 1297–1304 (1986).