

Neuartiger Laser-Doppler Profilsensor zur gleichzeitigen Abstands- und Geschwindigkeitsmessung von rotierenden Objekten

T. Pfister*, L. Büttner*, J. Czarske*, H.K. Tönshoff***

*Laser Zentrum Hannover e.V., Hollerithallee 8, 30419 Hannover

**Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW), Schönebecker Allee 2, 30823 Garbsen

mailto: tp@lzh.de

In diesem Beitrag wird ein neuartiger Laser-Doppler Profilsensor für die gleichzeitige Abstands- und Geschwindigkeitsmessung an bewegten technischen Oberflächen mit 1µm Ortsauflösung vorgestellt. Damit kann die Form von rotierenden Werkstücken oder Bauteilen (z.B. Turbinenschaufeln, Drehteile) mit einem einzigen Sensor absolut und im Prozess bestimmt werden.

1 Einführung

Sowohl in der Fertigungstechnik als auch bei der Prozessüberwachung ist die hochgenaue Messung von Abständen und Geschwindigkeiten von großer Bedeutung. Je nach Messproblem werden hierfür unterschiedliche optische Messmethoden wie z.B. Speckle-Messverfahren, Interferometrie, Laser-Doppler Techniken oder Triangulation verwendet [1], wobei mit jedem Sensor jeweils immer nur eine Messgröße ermittelt werden kann.

Mit dem hier vorgestellten Laser-Doppler Profilsensor ist nun eine gleichzeitige Abstands- und Geschwindigkeitsmessung an bewegten technischen Oberflächen mit 1µm Ortsauflösung möglich. Der Sensor arbeitet schnell und berührungslos, so dass damit die Form von rotierenden Werkstücken oder Bauteilen mit einem einzigen Sensor absolut und im Prozess bestimmt werden kann.

2 Funktionsprinzip

Der Sensor basiert auf der Erzeugung eines konvergierenden und eines divergierenden Interferenzstreifensystems unter Ausnutzung der Wellenfrontkrümmung des Gaußschen Strahls. Durch die Verwendung zweier verschiedener Laserwellenlängen ist eine getrennte Signalauswertung für beide Kanäle möglich [2].

Die Position z eines Streuobjektes innerhalb des Messvolumens kann aus dem Quotienten der Dopplerfrequenzen f_1 und f_2 für die beiden Wellenlängen über eine Kalibrationsfunktion $q(z)$ gemäß

$$q(z) = \frac{f_2(v, z)}{f_1(v, z)} = \frac{v(z)/d_2(z)}{v(z)/d_1(z)} = \frac{d_1(z)}{d_2(z)} \quad (1)$$

bestimmt werden. Diese Kalibrationsfunktion ergibt sich aus dem Quotienten der ortsabhängigen Streifenabstände $d_{1/2}(z)$ und ist unabhängig von der Objektgeschwindigkeit v .

Mit Hilfe der gemessenen z -Position können die aktuellen Streifenabstände $d_1(z)$ und $d_2(z)$ bestimmt werden. Zusammen mit den beiden Dopplerfrequenzen ergibt sich dann die Objektgeschwindigkeit v zu

$$v(z) = f_1(v, z) \cdot d_1(z) = f_2(v, z) \cdot d_2(z). \quad (2)$$

3 Messeigenschaften des Sensors

Zur Untersuchung der Messeigenschaften des Sensors wurden Metallstreifen aus Stahl und Aluminium mit definierter Rauheit auf einen optischen Chopper gespannt und mit Hilfe eines Verschiebetisches schrittweise durch das Messvolumen hindurchbewegt. Dabei wurden an jeder Position mehrere zehnte Einzelmessungen durchgeführt.

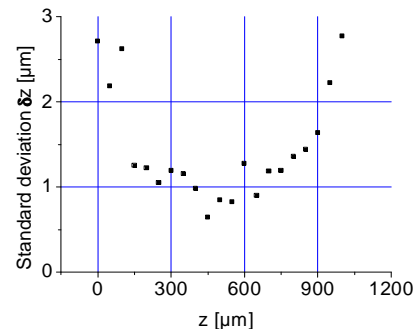


Abb. 1 Standardabweichung δz über der Position z für ein Messobjekt mit einer Rauheit von $R_a = 0,7\mu\text{m}$.

Abb. 1 zeigt, dass in der Mitte des Messvolumens eine Messunsicherheit δz bezüglich der Position von weniger als 1µm erreicht werden konnte. Der Mittelwert von δz über alle Chopper-Positionen lag bei allen Messungen zwischen 1,0µm und 2,1µm (siehe Abb. 2). Es konnte keine signifikante Abhängigkeit der Messunsicherheit δz von der Objektrauheit oder von der Chopperfrequenz f_{ch}

festgestellt werden. Ferner erwies sich δz auch als unabhängig von der Beobachtungsapertur (vgl. Abb. 3). Dies kommt daher, dass die Abstandsmessung nicht wie z.B. bei der Triangulation in eine Ortsmessung auf der Oberfläche eines Photodetektors überführt wird. Somit wird die Messunsicherheit δz bei diesem Sensor nicht direkt durch kohärentes Speckle-Rauschen beeinflusst.

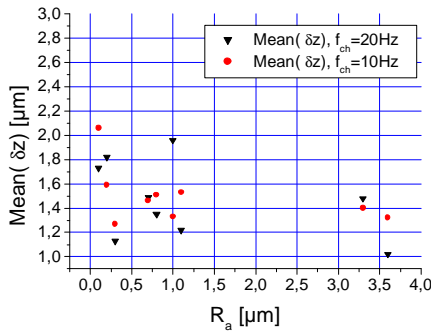


Abb. 2 Mittelwert von δz in Abhängigkeit von der Objektraueheit und der Chopperfrequenz f_{ch} .

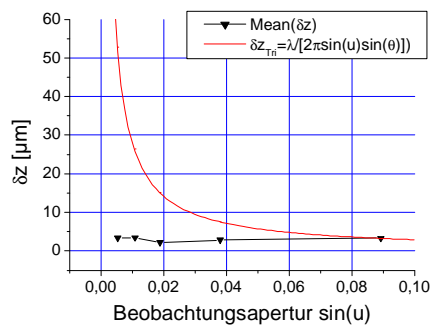


Abb. 3 Mittelwert von δz in Abhängigkeit von der Beobachtungsapertur. Vergleich der Messwerte mit theoretischen Werten für einen Triangulationssensor (δz_{Tri}).

4 Formvermessung rotierender Objekte

Die Messanordnung zur Formvermessung eines rotierenden Zylinders ist in Abb. 4 dargestellt.

Mit Hilfe einer Zeit-Frequenz-Analyse und Gl. (1) und (2) erhält man zunächst zeitabhängige Funktionen für die Geschwindigkeit $v(t)$ und die Radiusänderung $dr(t)$ (mittelwertfrei). Aus der Grundfrequenz von $dr(t)$ lässt sich dann die mittlere Rotationsfrequenz $\langle f \rangle$ bestimmen und damit der mittlere Objektradius $\langle R \rangle$ gemäß:

$$\langle R \rangle = \frac{\langle v \rangle}{2\pi \langle f \rangle}. \quad (3)$$

Der momentane Drehwinkel $\varphi(t)$ ergibt sich als Integral der Winkelgeschwindigkeit $\omega(t)$ zu:

$$\varphi(t) = \int_0^t \omega(\tau) d\tau = \int_0^t \frac{v(\tau)}{\langle R \rangle + dr(\tau)} d\tau \quad (4)$$

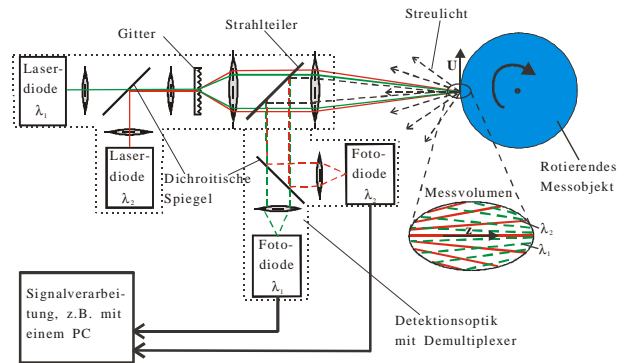


Abb. 4 Messanordnung.

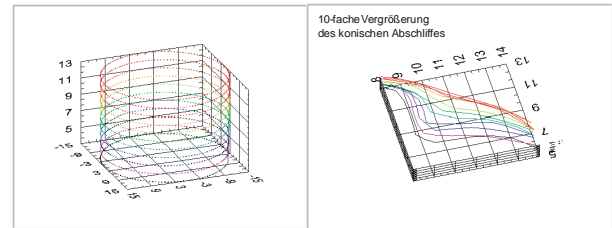


Abb. 5 Formvermessung eines Zylinders mit konischem Anschliff an einer Seite.

Daraus folgt für die Objektform:

$$\vec{r}(t) = [\langle R \rangle + dr(t)] \cdot \begin{pmatrix} \cos(\varphi(t)) \\ \sin(\varphi(t)) \end{pmatrix} \quad (5)$$

Messergebnisse für einen Zylinder mit konischem Anschliff an einer Seite sind in Abb. 5 dargestellt.

5 Zusammenfassung

Es wurde ein Laser-Doppler Profilsensor für die gleichzeitige Abstands- und Geschwindigkeitsmessung an bewegten technischen Oberflächen vorgestellt. Die Messung erfolgt axial, berührungslos und mit bis zu $1\mu\text{m}$ Ortsauflösung, und zwar unabhängig von der Objektraueheit und der Beobachtungsapertur.

Mit diesem Sensor können die Form bzw. Formabweichungen oder Verschleiß von rotierenden Werkstücken und Bauteilen absolut und im Prozess bestimmt werden (z.B. Drehen, Schleifen, Turbinenvermessung).

6 Danksagung

Die Autoren danken der DFG für die Förderung dieses Projektes (Förderkennzeichen: Cz55/15-1).

Literatur

- [1] HÄUSLER, G.; ETTL, P.; SCHENK, M. et al.: Limits of Optical Range Sensors and How to Exploit Them. In: ASAKURA, T. (Hrsg.): Int. Trends in Optics and Photonics, ICO IV, Springer Series in Optical Sciences, Vol 74. Springer Verlag, 1999.
- [2] CZARSKA, J.: Laser Doppler velocity profile sensor using a chromatic coding. In: Meas. Sci. Technol. 12 (2001), S. 52-57