

Absolute Formvermessung rotierender Festkörper mit einem Phasen-Laser-Doppler-Distanzsensor

Philipp Günther, Thorsten Pfister, Lars Büttner, Jürgen Czarske

Professur für Mess- und Prüftechnik, Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik, Technische Universität Dresden

mailto:philipp.guenther@tu-dresden.de

In diesem Beitrag wird ein auf der Laser-Doppler-Velozimetrie basierender Sensor vorgestellt, mit dem es durch die gleichzeitige Messung der axialen Position und der Tangentialgeschwindigkeit eines rotierenden Körpers möglich ist, dessen absolute Form zu berechnen. Die im einstelligen Mikrometerbereich liegende Messunsicherheit ist zudem unabhängig von der Objektgeschwindigkeit.

1 Einleitung

Die Abstands- und Formvermessung rotierender Bauteile ist sowohl für die Fertigungsmesstechnik als auch für eine Prozesskontrolle schnell drehender Objekte von großer Bedeutung. Neben der Überwachung von Produktionsgütern ist auch die Steigerung der Effizienz sowie eine Erhöhung der Betriebssicherheit durch eine Online-Kontrolle möglich. Aufgrund der Vielzahl an möglichen Anwendungen haben sich verschiedenste Messverfahren am Markt etablieren können.

Besonders die optischen Messverfahren sind aufgrund der Möglichkeit, schnell und nicht-invasiv zu messen, hervorzuheben. Als einen der wichtigsten Vertreter zur Abstandsmessung im industriellen Umfeld ist die Triangulation zu nennen. Aber auch die optische Kohärenztomographie, konfokale Sensoren und Laser-Doppler-Techniken kommen zum Einsatz. Die genannten Sensoren haben jedoch den Nachteil, entweder durch mechanische Scanvorgänge oder durch Auslesezeiten von Kameras in ihrer Messrate beschränkt zu sein [1]. Zudem kann mit jedem der Sensoren lediglich ein Messwert absolut bestimmt werden, was für die Berechnung der absoluten Form eines Körpers nicht ausreichend ist. Der hier vorgestellte neuartige Sensor überwindet diese Beschränkungen und erlaubt hochpräzise Messungen auch an schnell drehenden Festkörpern.

2 Phasen-Laser-Doppler-Distanzsensor

Der Phasen-Laser-Doppler-Distanzsensor (P-LDD) basiert auf der konventionellen Laser-Doppler-Velozimetrie, bei der das Schnittvolumen zweier sich kreuzender kohärenter Laserstrahlen als Messbereich verwendet wird. Durch die kohärente Überlagerung entsteht im Schnittbereich ein Interferenzstreifensystem mit einem aufbaubedingten Streifenabstand d . Passiert nun ein Streuobjekt das Messvolumen, so kann ein amplitudenmoduliertes Signal am Detektor empfangen werden. Die Geschwindigkeit v dieses Streuobjektes kann mit Hilfe der

Modulationsfrequenz f des gestreuten Lichtes und dem Interferenzstreifenabstand d berechnet werden mit: $v = f \cdot d$. Beim P-LDD wird dieses Messprinzip durch die Überlagerung eines zweiten Interferenzstreifensystems unterschiedlicher Wellenlänge erweitert, welches um den Winkel ψ gegenüber dem ersten Interferenzstreifensystem verkippt ist (siehe Abb. 1 links) [2]. Passiert nun ein Streuobjekt das aus den beiden überlagerten Interferenzstreifensystemen bestehende Messvolumen, so sind zwei Streulichtsignale detektierbar. Durch die Verkipfung der Interferenzstreifensysteme ist die Differenzphase der beiden Streulichtsignale direkt abhängig von der Position des Streuobjektes innerhalb des Messvolumens. Mit einer vor der eigentlichen Messung aufgenommenen eindeutigen Kalibrierkurve kann aus der Phasendifferenz direkt auf den Ort im Messvolumen geschlossen werden (Abb. 1 rechts).

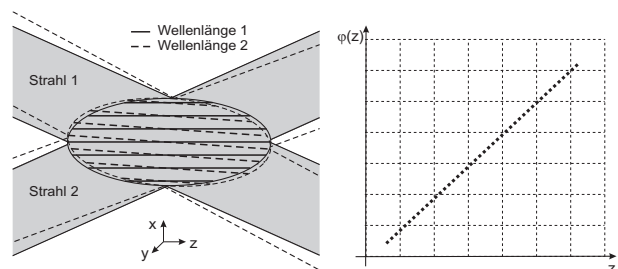


Abb. 1 Messvolumen (links) und Kalibrierkurve (rechts) des Phasen-Laser-Doppler-Distanzsensors [3].

Zur Charakterisierung des P-LDD wurden Messungen an Testkörpern mit unterschiedlicher Rauheit und verschiedenen Objektgeschwindigkeiten durchgeführt und die statistischen und systematischen Messabweichungen ausgewertet. Die nach dem Standard-GUM Verfahren berechnete Gesamtmessunsicherheit $\sigma_{z,ges}$ ist in Abhängigkeit der Oberflächenrauheit der Testkörper in Abb. 2 dargestellt. Diese liegt bei einer Messbereichslänge von $700 \mu m$ unter $9 \mu m$.

Zu erkennen ist, dass sowohl die Oberflächenrauigkeit der Testkörper als auch die Geschwindigkeit, mit der sich diese durch das Messvolumen bewegen, keinen signifikanten Einfluss auf die Messunsicherheit $\sigma_{z,ges}$ hat, was durch weiterführende Messungen unterstützt wird. Die Unabhängigkeit von der Geschwindigkeit ist auch theoretisch nachweisbar und stellt ein Alleinstellungsmerkmal dieses Sensors dar [3]. Die Positionsmessunsicherheit kann durch einen erweiterten Sensoraufbau noch weiter verringert werden. Weitere Informationen sind in [4] zu finden.

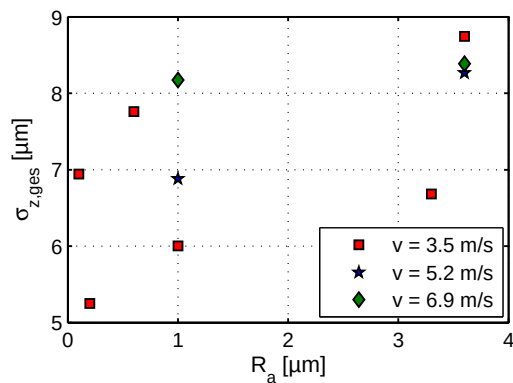


Abb. 2 Messunsicherheit $\sigma_{z,ges}$ des Phasen-Laser-Doppler-Distanzsensors in Abhängigkeit der Oberflächenrauheit und der -geschwindigkeit.

Die relative Messunsicherheit der Geschwindigkeit σ_v/v ist aufgrund des bekannten lokalen Streifenabstandes um etwa eine Größenordnung niedriger als bei konventionellen Laser-Doppler-Velozimetern und beträgt im Mittel $5 \cdot 10^{-4}$.

3 Anwendung: Formvermessung

Eine mögliche Anwendung des vorgestellten Sensors ist die hochgenaue Formvermessung rotierender Bauteile. Aus dem zeitlichen Verlauf der beiden bei mindestens einer Umdrehungen gemessenen Größen „axiale Position“ $z(t)$ und „Tangentialgeschwindigkeit“ $v(t)$ kann die absolute zweidimensionale Form des Messobjektes berechnet werden. Eine Beschreibung der dazu nötigen Vorgehensweise ist in [4] und [5] zu finden. Durch Traversierung des Sensors entlang der Rotationsachse der Testkörper kann ein dreidimensionales Abbild erstellt werden. Das Ergebnis eines solchen Vorgehens ist in Abb. 3 dargestellt. Die Testkörper drehten sich dabei mit 1000 min^{-1} und die Schrittweite entlang der Rotationsachse beträgt 1 mm . Zum Vergleich ist jeweils in der oberen rechten Ecke ein Foto der vermessenen Testkörper abgebildet.

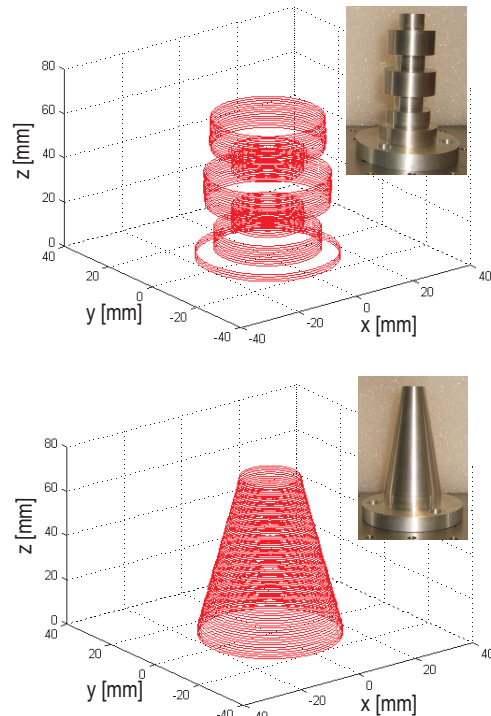


Abb. 3 Gemessene dreidimensionale Form zweier Messobjekte [5].

4 Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurde der Phasen-Laser-Doppler-Distanzsensor zur gleichzeitigen Messung der axialen Position und der Tangentialgeschwindigkeit eines rotierenden Festkörpers vorgestellt. Die Messunsicherheit des Sensors ist prinzipbedingt unabhängig von der Geschwindigkeit, wodurch sich auch bei sehr hohen Geschwindigkeiten Messunsicherheiten der Position im einstelligen Mikrometerbereich erreichen lassen.

Literatur

- [1] R. G. Dorsch *et al.*, „Laser triangulation: fundamental uncertainty in distance measurement,” in *Applied Optics*, vol. 33 (1994).
- [2] L. Büttner *et al.*, „Spatial resolving laser Doppler velocity profile sensor using slightly tilted fringe systems and phase evaluation,” *Meas. Sci. Technol.* **14**(1) (2003).
- [3] P. Günther *et al.*, „Abstands- und Formvermessung schnell bewegter Festkörperoberflächen mit dem optischen Doppler-Effekt,” *Technisches Messen* **75**, 237–244 (2008).
- [4] T. Pfister, *Untersuchung neuartiger Laser-Doppler-Verfahren zur Positions- und Formvermessung bewegter Festkörperoberflächen* (Shaker Verlag, 2008).
- [5] T. Pfister *et al.*, „Shape and vibration measurement of fast rotating objects employing novel laser Doppler techniques,” in *Proc. of SPIE Conf. Optical Measurement Systems for Industrial Inspection*, vol. 6616, pp. 66,163S1–12 (2007).