



LASERABSTANDSENSOREN MESSEN DIE DICKE VON WALZBÄNDERN

Präzision bei 210 km/h

Reinhard Noll, Stefan Hölters,
Jann Kämmerling und Achim Lenenbach, Aachen

Das Aachener Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT hat die Grenzen herkömmlicher Sensoren bezüglich Gewicht, Geschwindigkeit und Genauigkeit überwunden. Die Experten entwickelten eine neue Generation berührungsloser Laserabstandssensoren, die insbesondere für den Inline-Einsatz geeignet sind. Damit lassen sich geometrische Kenngrößen metallischer Halbzeuge bei hohen Geschwindigkeiten in der Produktionslinie messen.

In der Luftfahrt- und Automobilindustrie werden immer höhere Anforderungen an die Maßhaltigkeit der verarbeiteten metallischen Halbzeuge und Werkstücke gestellt. Ob Walzprofile, Bänder, Bleche oder Achsen, Wellen, Formteile – die Ansprüche an Schnelligkeit, Genauigkeit und Flexibilität der Messtechnik steigen stetig. Berührungslosen Messverfahren und insbesondere den Lasermessmethoden kommt dabei eine Schlüsselrolle zu. Sie sind inlinefähig, messen über einen Abstand von einigen Zentimetern und

mehr, sind verschleißfrei und in automatische Prüfsysteme einfach integrierbar. War ihr Einsatz vor mehr als zwanzig Jahren noch eine eher selten gesehene Pionierleistung, so sind heute in Europa und weltweit Hunderte von automatischen Prüfsystemen im Einsatz, die mit Laserverfahren inline geometrische Merkmale von Rohren, Walzblechen, Walzprofilen, Nocken- und Kurbelwellen etc. prüfen [1].

Eines der schon länger eingesetzten Verfahren ist die Laser-Triangulation (Bild 1, links) [2]. Ein auf das Messobjekt

gerichteter Laserstrahl wird an der Oberfläche gestreut. Der so entstehende Leuchtfleck wird unter einem definierten Winkel beobachtet, typische Triangulationswinkel betragen z. B. 30°. Aus der Lage des Bildes des Leuchtflecks und der bekannten Beobachtungsgeometrie wird der Abstand zum Objekt ermittelt. Ein Triangulationssensor benötigt daher meist zwei optische Fenster: eines für den ausgesendeten Laserstrahl und eines für die Erfassung des Streulichts zur Abbildung des Leuchtflecks. Das zweite

Fenster ist hinreichend groß zu wählen, um eine akzeptable Genauigkeit zu erreichen. In rauer Industrieumgebung sollten optische Fenster hingegen eher klein sein, um die Gefahr von Verschmutzungen zu verringern.

Die Genauigkeit des Verfahrens steigt, wenn der Triangulationswinkel groß gewählt wird, allerdings steigt damit auch die Baugröße des Sensors. Im Ergebnis haben typische Sensoren eine Baugröße von z. B. $100 \times 90 \times 30 \text{ mm}^3$ und ein Gewicht von 400 g. Dies belastet die mechanischen Tragstrukturen, schränkt die Möglichkeiten einer kompakten Mehrstellenmesstechnik ein und begrenzt die Bewegungsdynamik der Sensoren an schnellen Handhabungssystemen, wie Achsen und Gelenkarmrobotern.

Laserlaufzeitverfahren messen die Laufzeit eines kurzen Laserpulses, der zum Messobjekt hinläuft und auf dem gleichen Weg wieder zurück in den Sensor gelangt (bidirektionales Prinzip, Bild 1). Das auch als Laser-Radar bezeichnete Messverfahren ist vor allem für die Messung größerer Abstände von einigen Metern bis zu mehreren Hundert Metern von Interesse. Die erzielbaren Genauigkeiten reichen für Aufgaben der Automations-, Transport- und Verkehrstechnik aus, für die Prüfung der Maßhaltigkeit von Werkstücken im Mikrometerbereich sind sie jedoch nicht geeignet.

Ein anderes bidirektionales Verfahren ist die Laser-Interferometrie [2]. Sie nutzt die Kohärenzeigenschaften des Laserlichts und hier insbesondere die Phaseninformation. Bekannt ist der Einsatz relativ messender Interferometer bei Ultrapräzisionsmessungen. Für die Inline-Messtechnik in einer Produktionslinie sind jedoch insbesondere absolut messende Verfahren von Interesse.

Nutzung der Phaseninformation einer Laserstrahlquelle

Das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik hat in den vergangenen Jahren eine neue Generation absolut messender Abstandssensoren entwickelt: Diese arbeiten bidirektional und erreichen interferometrische Genauigkeit. Das Prinzip beruht auf der Nutzung der Phaseninformation einer Laserstrahlquelle, die erst durch die moderne Halbleitertechnologie und eine leistungsfähige Rechentechnik möglich wurde. Die Daten des neuen Sensors „bd 1“ zeigt beispielhaft Tabelle 1. Je nach Aus-

Bild 1. Vereinfachte Darstellung von Verfahren zur Laserabstandsmessung

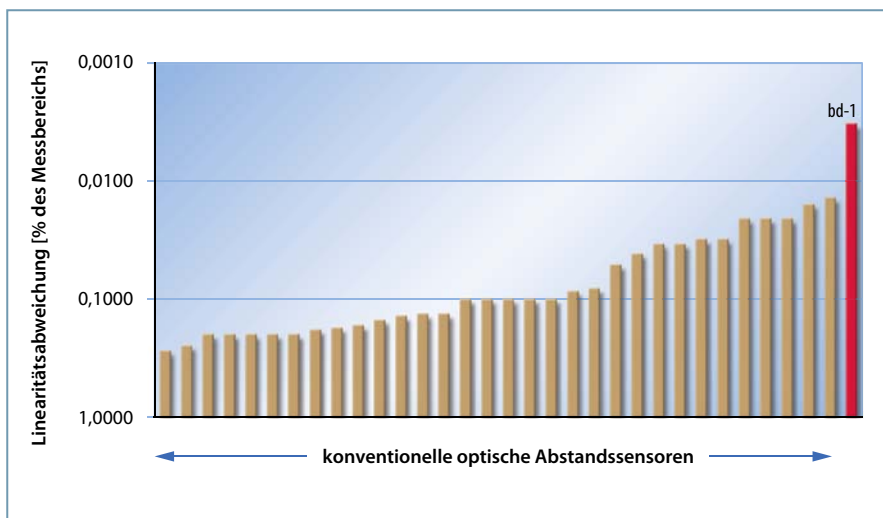
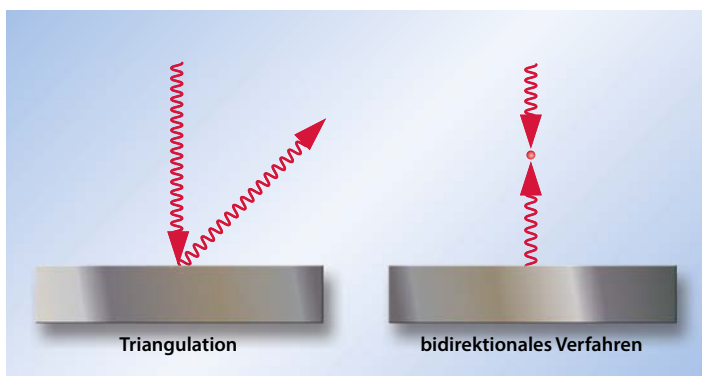


Bild 2. Linearitätsabweichung in Prozent des Messbereichs für konventionelle optische Abstandssensoren, wie konfokale chromatische Sensoren und Laser-Triangulationssensoren, im Vergleich zum interferometrischen Abstandssensor

legung sind verschiedene Messbereiche und Arbeitsabstände wählbar. Bild 2 zeigt die Linearitätsabweichung des Sensors im Vergleich zu einer Reihe konventioneller optischer Abstandssensoren, wie sie bereits am Markt eingeführt sind.

Im Vergleich zu herkömmlichen Methoden wie der Laser-Triangulation bietet das neue Verfahren mehrere Vorteile: Zur Ausstrahlung und Messung der Abstands-

signale ist nur ein kleiner Messkopf erforderlich. Das eliminiert Justierungsprobleme, Sender und Empfänger müssen nicht mehr aufeinander ausgerichtet werden. Im direkten Vergleich mit herkömmlichen Triangulationssensoren lässt der neue Sensor z. B. mit einem Linearitätsfehler deutlich kleiner als 0,01 Prozent des Messbereichs seine Konkurrenz weit hinter sich.

Luftstrom schützt vor Verunreinigungen

Bild 3 zeigt die Ergebnisse einer Prüfung der Linearitätsabweichung des Sensors nach DIN 32877. Dazu wurde eine Endmaßoberfläche im Messbereich des Sensors von 7,0 mm in 30 ungleichmäßig eingeteilten Stufen mit einer Präzisionsachse positioniert. An jeder Stufe wurden > 50 Messungen durchgeführt und der Mittelwert und die Standardabweichung ermittelt. Aufgetragen ist die Linearitätsabweichung des Mittelwerts der Messwerte einer Stufe vom richtigen Wert. Als richtiger »

Eigenschaft	Daten
Messbereich	7 mm
Messunsicherheit	< 500 nm
Arbeitsabstand	80 mm
Strahlführung	bidirektional
Messfrequenz	bis 70 kHz
optisches Fenster	< Ø 2 mm
Dynamikbereich	60 dB
Größe Messkopf	Ø 18 mm x 55 mm
Gewicht Messkopf	< 100 g

Tabelle 1. Daten des absolut messenden Sensors „bd 1“

Literatur

- 1 Lamott, A.; Noll, R.: Laser measurement technology. In: Poprawe, R (Hrsg.): Tailored Light 2 – Laser Application Technology. Springer Verlag, Berlin Heidelberg 2011, S. 473–486
- 2 Donges, A.; Noll, R.: Lasermesstechnik – Grundlagen und Anwendungen. Springer Verlag, Berlin Heidelberg 2013

Autoren

PD Dr. Reinhard Noll, geb. 1955, leitet das Kompetenzfeld Messtechnik und EUV-Strahlquellen am Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT, Aachen.

Dr. Stefan Hölters, MBA, geb. 1978, und **Jann Kämmerling, M.Sc.**, geb. 1986, sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Fraunhofer ILT.

Dr. Achim Lenenbach, geb. 1969, arbeitet als Gruppenleiter am Fraunhofer ILT.

Kontakt

PD Dr. Reinhard Noll
reinhard.noll@ilt.fraunhofer.de

QZ-Archiv

Diesen Beitrag finden Sie online:
www.qz-online.de/514623

Wert wird die Achsposition der Präzisionslinearachse angenommen, die dafür spezialisierte Fehlergrenze beträgt 250 nm.

Bild 3, oben, zeigt die Linearitätsabweichung, und Bild 3, unten, die empirische Standardabweichung der zeitlichen Wiederholpräzision. Die Linearitätsabweichung beträgt für Abstände zwischen 0 und 6,6 mm weniger als 200 nm und liegt damit in der Größenordnung der Fehlergrenze der verwendeten Linearachse. Die so ermittelte Linearitätsabweichung ist daher nur eine obere Abschätzung für die tatsächliche Messunsicherheit des Sensors „bd 1“. Um diese zu ermitteln, wäre eine Präzisionslinearachse mit 10-fach geringerer Fehlergrenze erforderlich.

Der Bauraum des Sensors ist erheblich kleiner als beispielsweise derjenige von Triangulationssensoren: Der einzelne Messkopf sendet und empfängt seinen Messstrahl durch ein einziges kleines Fenster mit nur 2 mm Durchmesser und kann durch einen Luftstrom auch in rauen Umgebungen zuverlässig vor Verunreinigungen geschützt werden. Bei einem

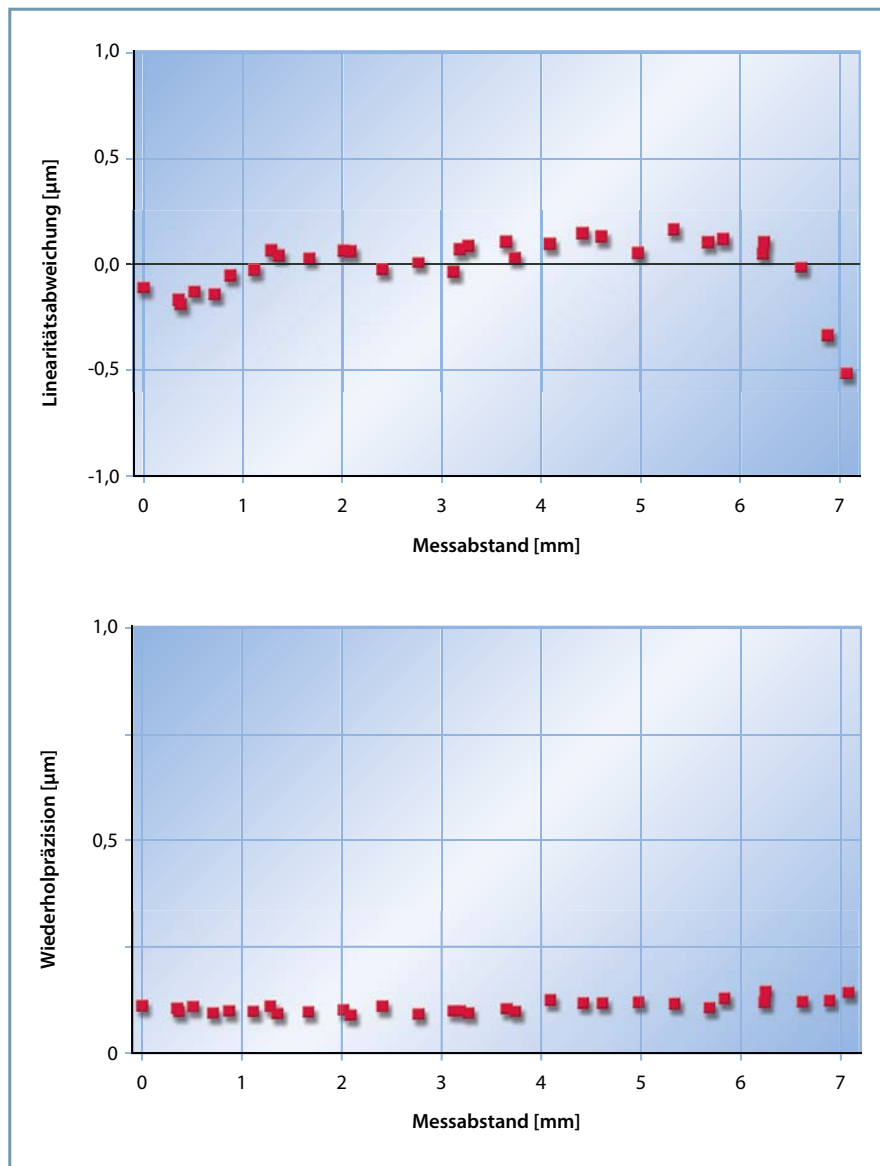


Bild 3. Linearitätsabweichung (oben) und zeitliche Wiederholpräzision (unten) des Abstandssensors mit einem Messbereich von 7,0 mm

Test wurden Messobjekt und des Messkopf mit Schwallwasser beaufschlagt. Aufgrund des kleinen optischen Fensters kann auch unter solchen Bedingungen eine Verschmutzung des Fensters sicher vermieden werden. Aufgrund seines geringen Bauraums und geringen Gewichts eignet sich der neue Sensor insbesondere für die Mehrstellenmesstechnik, d.h. die simultane Messung von mehreren Abständen zu einem Messobjekt, wie z. B. für die Dickenmessung sowie die Prüfung von Nockenwellen oder von Kfz-Strukturkomponenten wie Achsträgern.

Bei der Dickenmessung werden zwei Messköpfe an einem C-Bügel montiert und messen von der Ober- und Unterseite auf ein durchlaufendes Walzband. Das Dickenmesssystem „bd 2“, wurde erstmals

auf der Control 2013 der Öffentlichkeit präsentiert. Die Daten des C-Rahmens: Maulweite 180 mm, Maultiefe 280 mm, Tiefe des C-Rahmens 200 mm. Mit dem System lässt sich die Dicke an Walzbändern, an Kalt- und Feinband sowie an Metallfolien oder die matte bis hochglänzende Oberfläche von Stahl, Aluminium oder Kupferbauteilen messen.

Inline-Dickenmessung bei hoher Geschwindigkeit

Die Richtigkeit der Dickenmessung wurde mit 14 Endmaßen der Toleranzklasse 1 geprüft. Bild 4 zeigt das Ergebnis. Aufgetragen ist die Abweichung der mit dem System gemessenen Dicke von der richtigen Dicke, die für das betreffende End-

© QZ – Qualität und Zuverlässigkeit

© 2013 Carl Hanser Verlag, München www.qz-online.de Nicht zur Verwendung in Intranet- und Internet-Angeboten sowie elektronischen Verteilern

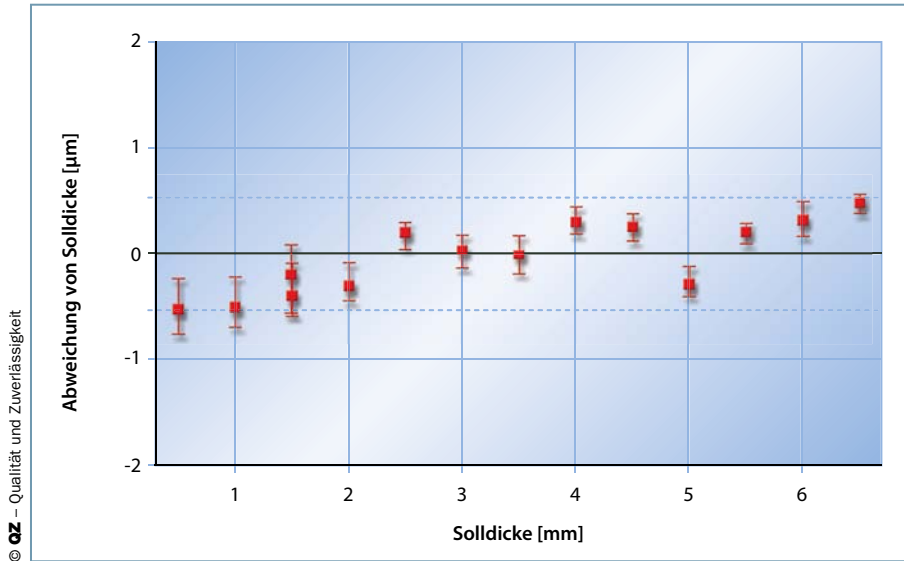


Bild 4 Abweichung der Dickenmessergebnisse von der Solldicke als Funktion der Dicke von Endmaßen

maß spezifiziert ist, als Funktion der Dicke. Die Fehlergrenze für die Dickenmessung beträgt in einem Messbereich von 7 mm weniger als 600 nm.

Neben der Messunsicherheit des Systems haben bei einer solchen Prüfung

auch die Toleranzgrenzen der Endmaße Einfluss auf das Messergebnis. Die Fehlerbalken an den Datenpunkten zeigen den Einfluss der Position des jeweiligen Endmaßes innerhalb des Messbereichs des Dickenmesssystems an. Sie sind ein Maß

für den Einfluss, den ein vertikales Schwärmen des Walzbandes auf das Messergebnis haben kann. Eine Endmaßdicke von 500 µm kann im gesamten Messbereich innerhalb einer Fehlergrenze von 250 nm reproduzierbar gemessen werden.

Das Dickenmesssystem eignet sich für die Dickenmessung von Walzbändern, Blechen und Metallfolien im Bereich von 10 µm bis 10 mm. Matte Oberflächen werden ebenso sicher gemessen wie glänzende aufgrund der hohen Dynamik des Messprinzips (Tabelle 1).

Das neue Sensorkonzept für absolute Abstandsmessungen bietet die Präzision interferometrischer Methoden. Die Sensoren messen zudem deutlich schneller als etablierte absolut messende Abstandssensoren. Das komplette System verarbeitet bis zu 70 000 Dickenmessungen pro Sekunde. Bei ersten Praxistests wurden bewegte Oberflächen mit einer Geschwindigkeit von 3,5 km/min sicher vermessen, umgerechnet sind das 210 km/h. Damit ist eine Inline-Messung auch bei hohen Produktgeschwindigkeiten möglich, und die Daten können für die Prozessregelung genutzt werden. □