

Florian Hofmann

## Zerstörungsfrei prüfen

Zur zerstörungsfreien Werkstoffprüfung kommen als optische Messtechniken vor allem Lasertriangulation und Laser-Linienscanner zum Einsatz – in jüngster Zeit ergänzt um die konfokal-chromatische Technologie. Ein Überblick.

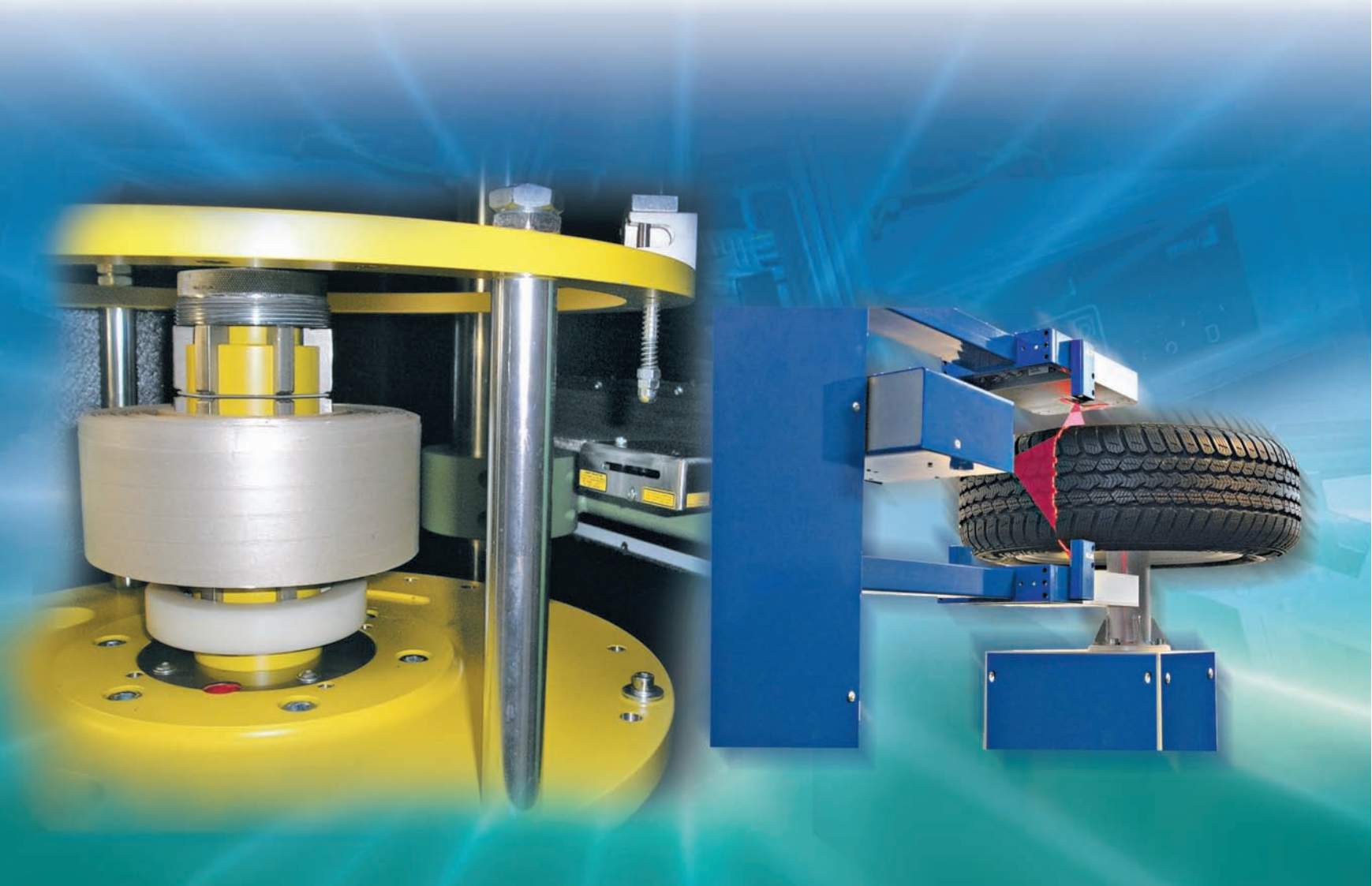
**M**it dem Triangulationsprinzip werden Abstände gegen ein breites Spektrum von Materialoberflächen gemessen. Abhängig davon, ob ein Laserpunkt oder eine Linie auf die Objektfläche projiziert wird, ist das Ergebnis ein ein- oder zweidimensionales Ausgangssignal. Dazu werden Punkt oder Linie über eine Empfangsoptik in einem spitzen Winkel betrachtet und auf einer CCD-Zeile oder -Matrix abgebildet. Über einen Signalprozessor werden die Messwerte digital verarbeitet. Die Datenausgabe erfolgt sowohl als Analogwert als auch über eine serielle Schnittstelle. Wird das Mess-Objekt oder alternativ der Sensor bewegt, lässt sich über diese weitere Dimension

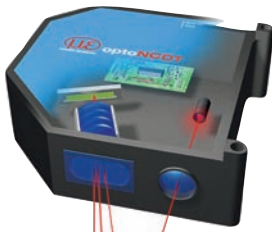
auch ein dreidimensionales Profil des Objektes erzeugen.

Die Methode der Lasertriangulation basiert auf einer einfachen geometrischen Beziehung: Eine Laserdiode emittiert einen Laserstrahl, der auf das Mess-Objekt gerichtet ist. Die dort reflektierte Strahlung wird über eine Optik entweder auf eine CCD-/CMOS-Zeile oder auf ein PSD-Element abgebildet. Dabei ist die Intensität der reflektierten Strahlung von der Oberfläche des Mess-Objektes abhängig. Deshalb wird bei analog arbeitenden PSD-Sensoren die Empfindlichkeit geregelt. Bei digitalen CCD-Sensoren regelt beispielsweise die von Micro-Epsilon entwickelte RTSC-Schaltung (Real Time

Surface Compensation) Intensitätsänderungen ohne Verzögerung aus. Durch eine trigonometrische Berechnung lässt sich der Abstand so genau bestimmen. Die mögliche Auflösung reicht bis in den Nanometerbereich. Abhängig von der Geräte-Ausführung werden die Daten über einen externen oder internen Controller ausgewertet und über verschiedene Schnittstellen ausgegeben.

Häufig verwendet werden Punktlaser-Sensoren, da sie durch den sichtbaren Laserpunkt am Mess-Objekt einfach ausgerichtet werden können. Das optische Prinzip erlaubt Mess-Abstände von mehr als 1 m, wobei der Messpunkt dennoch relativ klein bleibt.





**Messprinzip der Laser-Triangulations-sensoren: Der reflektierte Laserpunkt wird von der Empfangszeile aufgenommen; die Abstandsmessung erfolgt über die Position.**

Laser-Triangulationssensoren zählen zu den Standard-Messverfahren der Industrie. Ein Anwendungsbeispiel findet sich bei der Kabel-Ummantelung, wo „optoNCDT-Sensoren“ von Micro-Epsilon ihren Dienst tun: Sie sind in einer Umbänderungsmaschine montiert, in der die Ummantelung von Kabeln mit verschiedenen Bandmaterialien wie Kapton, Teflon, Mica, Polyester, Kupfer oder Glasseide erfolgt.

Von einer Seite wird der blanke Draht in die Umbänderungsmaschine geführt. Die Umbänderungs-Einheiten bestehen aus einer Aufnahme (Kops) für das auf eine Rolle gewickelte Umbänderungsmaterial. Um den Kops befindet sich ein Gehäuse (Kopf), das die Führung des Bandes übernimmt. Im Zentrum dieser Einheit verläuft der Draht. Bewegt sich der Draht durch die Maschine, sind Kops und Kopf ständig in Rotation, um den Draht mit dem eingelegten Material zu umbändern. Der Triangulationssensor ist in die Maschine seitlich neben der Trommel montiert, von wo aus er laufend den aktuellen Durchmesser der Trommel misst. Die gewonnenen Messdaten werden an einen Wickelrechner übergeben, der daraus das Sollmoment des Kops-Antriebes berechnet.

Problematisch in dieser Anwendung sind die verschiedenen Materialien – von glänzend bis transparent –, die sich auf der Trommel befinden können. Glänzende Metalle stellen für viele Lasersensoren aufgrund der direkten Reflexion ein Problem dar. Bei der Datengewinnung muss zudem beachtet werden, dass der Kopf viele senkrechte Querstreben zur Bandführung besitzt. Diese Streben durchkreuzen laufend den Messbereich des Sensors und müssen softwareseitig ausgeblendet werden, damit als Mess-Ergebnis nur der Wert des Durchmessers bleibt.

### Die konfokale Sensorik

Konfokale Wegsensoren beruhen auf einem optischen Messprinzip, das die „chromatische Aberration des Lichtes“ gezielt ausnutzt – also die unterschiedliche Brechung von Licht in Abhängigkeit von seiner Wellenlänge. Der Effekt führt beispielsweise zur Entstehung eines Regenbogens oder zur Aufspaltung von weißem Licht durch ein Prisma.

Das konfokale Sensorsystem verwendet eine LED, deren Licht vom Controller durch einen Lichtwellenleiter zum Sensor transportiert wird. Das polychromatische (weiße) Licht der LED durchläuft im Sensor eine Optik aus mehreren Linsen, die das Licht auf die Oberfläche des zu messenden Objektes fokussieren. Dabei sind die Linsen so angeordnet, dass eine gezielte chromatische Aberration auftritt. Das bedeutet, dass Licht mit unterschiedlicher Wellenlänge oder Farbe unterschiedlich stark fokussiert wird: Der Fokus für blaues Licht liegt näher am Sensor als der für rotes Licht. Zurück im Controller durchläuft das von der Oberfläche reflektierte Licht wiederum eine Optik, die es auf ein lichtempfindliches Sensorelement abbildet. Dieses Sensorelement erkennt das Spektrum des reflektierten Lichtes und bestimmt durch die Farbauswertung die Distanz zum Mess-Objekt. Durch eine bereits beim Hersteller vorgenommene Kalibrierung wird jeder Lichtwellenlänge beziehungsweise jeder Farbe eine be-

(Bilder: Computer & AUTOMATION, Quelle: Micro-Epsilon)



## Superior sensor solutions

### Temperature sensors

- Evaporator sensors
- Glass-encapsulated sensors for high temperatures
- PTC sensors for current limitation
- Sensors with high long-term stability

### Pressure sensors

by Aktiv Sensor (an EPCOS company)

- Piezo-resistive pressure sensors
- Stainless steel encapsulated sensors



[www.epcos.com](http://www.epcos.com)

stimmte Distanz zum Messobjekt zugeordnet.

Bei dieser Methode beeinflusst die Beschaffenheit der Oberfläche die Genauigkeit der Messung nicht, so dass auch reflektierende oder transparente Oberflächen präzise messbar sind. Abhängig vom Sensortyp ist der Messfleck nur wenige Mikrometer groß und bleibt auch bei wechselnden Messabständen konstant. Dies ermöglicht hohe Auflösungen in alle Richtungen. Ein weiteres Plus des konfokalen Ansatzes: Im Gegensatz zu Systemen, die mit Laserlicht arbeiten, sind keinerlei Vorsichtsmaßnahmen notwendig. Da standardmäßig eine LED als Lichtquelle zum Einsatz kommt, muss der Anwender die Laserschutzverordnung nicht berücksichtigen.

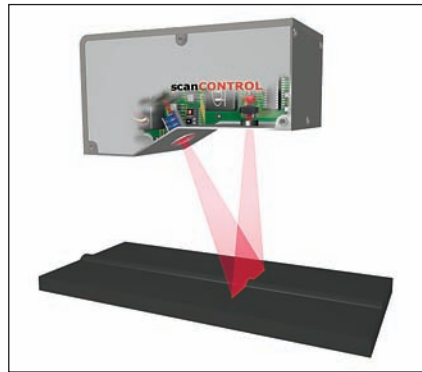
## Im Praxistest

Da der Strahlengang der Sensoren kompakt und konzentrisch ist, sind mit dem System auch Messungen in Bohrungen realisierbar – mit optischen Methoden wie dem Triangulationsverfahren ist dies aufgrund der Abschattung nur schwer oder häufig gar nicht möglich. Auch bei der Dickenmessung von transparenten Folien, Platten oder Schichten bietet das System Vorteile, denn anders als andere Verfahren benötigt es für eine derartige Messung nur einen Sensor: Für die Messung werden die Reflexionen der Fokuspunkte auf der vorderen und hinteren Oberfläche ausgewertet.

Auch für die Füllstand-Überwachung lassen sich konfokale Sensoren nutzen. Beispielsweise müssen bei der Produktion von Kondensatoren Rohlinge exakt in eine Wanne mit Lösungsmittel eingetaucht werden, um Qualitätsmerkmale wie Haltbarkeit und Kurzschlussicherheit sicherzustellen. Hier kommen konfokale Sensoren von Micro-Epsilon zum Einsatz, die den Füllstand des Lösungsmittels in der Wanne überprüfen. Die geforderte Genauigkeit der Füllhöhe beträgt



**Das konfokale Messprinzip:**  
Per Weißlicht wird eine Auflösung im Nanometer-Bereich möglich.



50 µm. Dabei stellen die spiegelnde Flüssigkeitsoberfläche sowie die Lösungsmitteldämpfe zusätzliche hohe Anforderungen an das Messsystem. Darüber hinaus können Wellenbewegungen an der Oberfläche der Flüssigkeit entstehen, wenn der Kondensator-Rohling in das Lösungsmittel eintaucht. Unterbrechen diese das Messsignal, verhindert dies eine zuverlässige Auswertung.

Verwendet wird für diese Messung ein konfokaler Sensor mit einem Messbereich von 24 mm, der in einem Leerrohr mit O-Ring untergebracht ist. Durch diese Konstruktion werden Lösungsmitteldämpfe, die die Messung behindern könnten, von der Optik abgehalten. Zudem wird das Leerrohr beheizt, um zu verhindern, dass die Lösungsmitteldämpfe an der Optik kondensieren. Der Controller, an dem der Sensor über einen 10 m langen Lichtwellenleiter angebracht ist, befindet sich außerhalb des Ex-Schutzbereiches. Durch diesen speziellen Mess-Aufbau lässt sich eine Messgenauigkeit von 10 µm realisieren.

## Messen per Laser-Scan

Eine dritte Möglichkeit der berührungslosen Oberflächen-Prüfung bietet der Einsatz von 2D/3D-Laser-Scannern. Durch eine integrierte, hoch empfindliche CMOS-Matrix ermöglichen sie Messungen auf fast allen glänzenden, spiegelnden oder transparenten Oberflächen, unabhängig von der Oberflächenreflexion. Hierzu projiziert ein Linienlaser eine Laserlinie auf das zu messende Objekt. Das von der Oberfläche reflektierte Licht wird durch eine CMOS-Matrix detektiert. Zusammen mit der Information über die Distanz (z-Achse) berechnet der Controller die Position der Messpunkte entlang

**2D/3D-Laser-Sensoren: Eine Laserlinie wird auf das Mess-Objekt projiziert, was eine Darstellung des Oberflächenprofils ermöglicht. Bei einer Bewegung von Mess-Objekt oder Scanner ergeben sich 3D-Bilder.**



der Laserlinie (x-Achse) und gibt beide Werte als 2D-Koordinate aus. Ein bewegtes Mess-Objekt oder ein bewegter Sensor erzeugt ein 3D-Abbild des Mess-Objektes durch eine ebenfalls zugeordnete Y-Koordinate.

Laserscanner eignen sich zur Profil- und Konturmessung im laufenden Fertigungsprozess endlos produzierter Erzeugnisse (Extrusion, Walzen, Ziehen) sowie einzelner Teile (Stückgut). Zu den typischen Applikationsfeldern gehören die Profilerfassung an Reifen, Drehteilen, Bahnschienen, die Roboterführung, Koplanaritätsmessungen an elektronischen Bauteilen, Ebenheitsmessungen an Blechbändern sowie die Messung der Breite und Tiefe von Nuten.

Nachfolgend ein Beispiel aus der Automobilindustrie: Einem Prüfstand zur Reifenprüfung werden die Reifen automatisch aus der Linie zugeführt. Ein Greifer fixiert sie, woraufhin sie binnen einer Sekunde um 360° gedreht werden. Während dieser Zeit überprüfen drei Laserscanner „ScanControl“ von Micro-Epsilon in Echtzeit alle drei Seiten des Reifens. Dabei visualisiert der Prüfstand die Reifenoberfläche, blendet die Reifenbeschriftung aus, ermöglicht das Filtern von Daten, stellt laterale und radiale Unwucht fest, führt eine Schwingungskontrolle durch, überprüft die Reifengröße und vergleicht den Grad eines Defekts mit einer Sollwert-Tabelle. *ik*



**Florian Hofmann**

ist Mitarbeiter im Marketing bei Micro-Epsilon Messtechnik in Ortenburg.

Artikel-Download:  
[www.computer-automation.de](http://www.computer-automation.de)