

# Optisch, berührungslos, präzise

## OPTISCHE MESSTECHNIK FÜR DIE QUALITÄTSSICHERUNG IM PROZESS

Optische Messtechnik spielt eine entscheidende Rolle in der zunehmenden Automatisierung von Fertigungs- und Prüfprozessen. In diesem Überblicksbeitrag stellt Micro-Epsilon verschiedene optische Messverfahren für Weg, Abstand, Position, Dimension, Oberfläche und Farbe vor.

**JOHANN SALZBERGER**

Die taktile Messtechnik hat sich über Jahrzehnte bewährt und wurde aus Kostensicht optimiert. Berührende Messverfahren sind unabhängig von Material- und Oberflächeneigenschaften und haben Vorteile beim Messen optisch schwer zugänglicher Bereiche. Doch die optischen Verfahren spielen eine entscheidende Rolle bei der zunehmenden Automatisierung von Fertigungs- und Prüfprozessen: sie können die produzierten Bauteile dimensional vermessen, sind in der Messpunktaufnahme um ein Vielfaches schneller, und die Messdaten stehen in der Regel in Echtzeit digital zur Verfügung und können zur automatischen Korrektur und Regelung im Fertigungsprozess verwendet werden. Die optimierten Abläufe verbessern die Qualität der Produkte, sparen Rohstoffe sowie Energie und senken die Herstellkosten.

Dieser Beitrag bietet einen Überblick über die verschiedenen in Fertigungs- und Prüfprozessen eingesetzten optischen Messverfahren und stellt diese anhand von Anwendungsbeispielen vor. Diese reichen von der Automobilproduktion über die Medizin- und Pharmatechnik bis hin zur Spritzgussteilerherstellung. Die Welt der Sensorik ist jedoch komplex, es gibt keinen Universalsensor für Weg, Position, Abstand und Dimension.

### Genau, genauer, konfokal

Beim konfokalen Messverfahren wird die Unschärfe des Brennpunkts der verschiedenen Farben des weißen Lichts ausgedehnt und über Sammellinsen entlang einer Fokusslinie senkrecht zum Messobjekt gebündelt, sodass die Entfernung des



**Farbsensoren vergleichen die Übereinstimmung von Farbwerten**

Messobjekts einer bestimmten Position des reflektierten Strahls auf der CCD-Zeile des Sensors entspricht (Bild 1) [1]. Die Beschaffenheit der Oberfläche hat keinen Einfluss auf die Genauigkeit der Messung. Selbst reflektierende oder transparente Oberflächen misst das System präzise.

Somit kann mit dem konfokalen Messprinzip auf hochreflektierenden Materialien (zum Beispiel Metall) genauso zuverlässig gemessen werden wie auf schwarzem Gummi, Kunststoff, Papier, Vlies und Flüssigkeiten. Der Messfleck ist je nach Typ des Sensors nur wenige  $\mu\text{m}$  groß und bleibt auch bei wechselnden Messabständen konstant. Mit dem konfokalen Verfahren lassen sich sehr hohe Auflösungen (bis 10 nm) in alle Richtungen realisieren.

Ein interessantes Beispiel für den Einsatz konfokaler Sensoren ist die Füllhöhenmessung im Medizinlabor. Hier werden

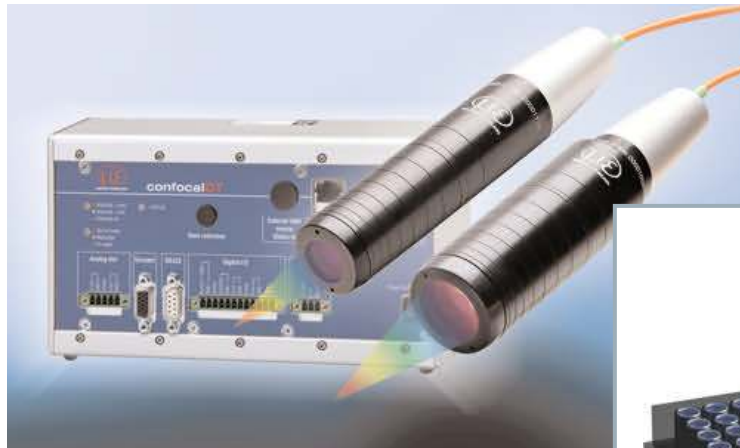
Wirkstoffe für Testserien in Mikrotiter-Gefäße manuell angefüllt. Die exakte Menge des jeweiligen Wirkstoffs ist wichtig, stellt aber eine Herausforderung dar. Werden die Mikrotiter automatisch befüllt, wird die Füllmenge ebenfalls automatisch kontrolliert. Die in der Medizin typischen Kleinserien werden allerdings manuell pipettiert. Üblicherweise werden dafür Stichproben gewogen. Doch für die 100-prozentige Qualitätsprüfung reicht

### KONTAKT

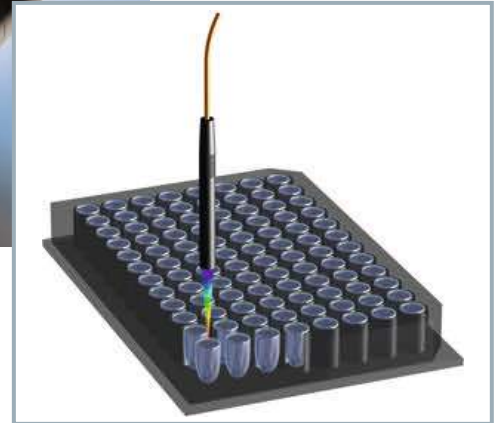
Micro-Epsilon Messtechnik GmbH & Co. KG  
 94496 Ortenburg, Deutschland  
 Tel. +49 8542 168-0  
 info@micro-epsilon.de  
 www.micro-epsilon.de



**1 Konfokal-chromatisches Messprinzip**



**2 Für die Füllstandsmessung »tasten« die konfokal-chromatischen Sensoren die Mikrotiter in der Palette nacheinander ab**



das nicht aus. Für derartige Anwendungen stellt die konfokale Abstandsmesstechnik eine geeignete Lösung dar.

Die Sensoren »confocalDT« (Bild 2) »tasten« die Mikrotiter in der Palette nacheinander ab und führen Abstandsmessungen vom Sensor zur Flüssigkeit mikrometergenau aus. Konfokale Standardsensoren können verkippt werden und arbeiten daher auch bei großem Meniskus (der Wölbung an der Oberfläche einer Flüssigkeit) zuverlässig. Miniatur-Sensoren mit einem Durchmesser ab 4 mm können in einer Linie angeordnet werden und so über die gesamte Breite der Mikrotiter-Palette die Mikrotiter abtasten.

## Universelle Laser-Wegsensoren

Die Laser-Triangulationssensoren zählen zu den berührungslosen Standardmess-

verfahren. Bei der Lasertriangulation kann über die Dreiecksbeziehung von der Laserdiode, dem Messpunkt auf dem Messobjekt und der CCD-Zeile der Abstand zum Messobjekt proportional bestimmt werden (Bild 3, links) [2]. Die Messauflösung reicht bis in den Bruchteil eines Mikrometers. Die Daten werden über den externen oder internen Controller ausgewertet und über verschiedene Schnittstellen ausgegeben.

Die Intensität der reflektierten Strahlung ist von der Oberfläche des Messobjekts abhängig. Deshalb regelt die von Micro-Epsilon entwickelte RTSC-Software (»Real Time Surface Compensation«) Intensitätsänderungen aus. Das optische Prinzip erlaubt je nach Bauart Messabstände von einigen mm bis über 1 m, dabei bleibt der Messpunktdurchmesser relativ klein.

Die Lasersensoren »optoNCDT« von Micro-Epsilon werden in Maschinen für die

Bearbeitung von Schlüsselrohlingen eingesetzt (Bild 3, rechts). Bei der Zuführung der unterschiedlichen Rohlinge wird der jeweilige Datensatz aus einer Datenbank geladen. Vor der Bearbeitung wird überprüft, ob sich der richtige Schlüsselrohling in der Maschine befindet. Dazu traversiert der Lasersensor über den Schlüsselrohling und nimmt das Profil der Oberfläche auf. Stimmt das Profil mit den Sollwerten überein, wird die Bearbeitung freigegeben. Der Sensor leistet die geforderten 10 kHz Messrate und bietet dank der integrierten RTSC-Oberflächenkompensation zuverlässige Ergebnisse auf glänzenden bis matten metallischen Oberflächen. Die Grenzfrequenz der optoNCDT-Lasersensoren beträgt 100 kHz.

## 2D/3D-Laser-Profilscanner

Laser-Profilscanner besitzen eine integrierte, hochempfindliche CMOS-Matrix. Diese ermöglichen Messungen auf fast allen glänzenden, spiegelnden oder transparenten Oberflächen unabhängig von der Oberflächenreflexion. Die aufwendige Elektronik liefert eine hohe Genauigkeit, Auflösung und Datensicherheit bei einer hohen Messrate von bis zu 2,56 Millionen Punkten/s. Eine Laserdiode projiziert über eine spezielle Optik eine Laserlinie auf das Messobjekt. 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



**3 Punktlaser-Sensoren wie der »optoNCDT« (links) zählen zu den berührungslosen Standardmesssystemen. Rechts: zum Beispiel zur Qualitätsprüfung von Schlüsselrohlingen**



4 Der Laser-Linienscanner scanControl wird für die Profil- und Konturmessung im laufenden Fertigungsprozess eingesetzt. Links, scanControl bei der Überprüfung eines Reifens auf Beulen und Einschnürungen, rechts: bei der Prüfung von Sektionaltoren

entlang der Laserlinie (x-Achse) und gibt beide Werte als 2D-Koordinaten aus. Ein bewegtes Messobjekt oder ein bewegter Sensor erzeugt ein 3D-Abbild des Objekts. Laserscanner werden eingesetzt zur Profil- und Konturmessung im laufenden Fertigungsprozess von endlos produzierten Erzeugnissen (Extrusion, Walzen, Ziehen et cetera) oder von einzelnen Teilen. Für die Befestigung am Roboterarm hat Micro-Epsilon einen besonders kompakten und leichten Laser-Profilscanner entwickelt: Der »scanControl 2600/2900« (Bild 4, links) mit integriertem Controller ist in einem 380 g wiegenden Aluminiumgehäuse untergebracht und verarbeitet bis zu 4000 Profile/s.

Die Laser-Profilscanner scanControl kommen zum Beispiel für die Qualitätsprüfung bei der Herstellung von Sektionaltoren zum Einsatz (Bild 4, rechts). Bei Sektionaltoren kommt es wie bei Laminatböden zu einer Nut-und-Feder-Verbindung einzelner Sektionen. Für eine dichte und dauerhaft flexible Verbindung müssen die Sollmaße eingehalten werden. Gerade bei starken Temperaturunterschieden

kommt es bei ungenauen Maßen zu einem Verkleben oder schlechtem Sitz der Tore. Bei der Fertigung werden beschichtete Bleche in die gewünschte Form gebracht. Zur besseren Wärmedämmung wird in den Zwischenraum ein PU-Schaum eingebracht. Er schäumt unter definierten Bedingungen aus und stabilisiert die Form der Panele. Nach dem Aushärten muss die Form geprüft werden, um Abweichungen speziell an den oben genannten Feder- und Nutbereichen zu erkennen.

Entsprechend den Kundenaufträgen werden die Sektionen in vorgegebener Länge mit einer fliegenden Säge getrennt. Die Messung der Nut und Feder erfolgt mit einem Laser-Profilscanner. Um die Daten in das vom Kunden verwendete Protokoll zu übersetzen, wird die Output-Unit des Laserscanners verwendet. Im Profil ist ein Ankerpunkt definiert, nach dem alle Berechnungen erfolgen. Dadurch werden sämtliche Schwankungen im Bandprozess ausgeglichen. Die Ergebnisse werden an die Steuerzentrale der Linie übertragen.

### 3D-Oberflächeninspektion – Streifenlichtprojektion

Für die Defekterkennung auf diffus reflektierenden Oberflächen, etwa für die Automobilproduktion, bietet Micro-Epsilon das Messsystem »surfaceControl« (Bild 5, links) an. Dieses System arbeitet nach dem Verfahren der Streifenlichtprojektion. Damit lassen sich lokale Formfehler (Beulen und Dellen), die nur wenige Mikrometer vom Sollmaß abweichen, in Oberflächen erkennen und analysieren (Bild 5, rechts). Auch genarbte Oberflächen (zum Beispiel Interieurteile von Automobilen) werden damit zuverlässig bewertet. SurfaceControl bietet verschiedene Messflächen in der Größe von circa 150 x 100 mm<sup>2</sup> bis etwa 600 x 400 m<sup>2</sup> und erfasst innerhalb weniger Sekunden die 3D-Daten der Oberfläche.

Für die Auswertung stehen je nach Ausprägung der gesuchten Formabweichungen verschiedene Verfahren zur Verfügung. So kann für einen Vergleich aus den 3D-Daten eine fehlerfreie virtuelle Hülle berechnet oder in Analogie zum Abziehstein in Presswerken ein digitaler Abziehstein eingesetzt werden. Diese Verfahren bieten eine reproduzierbare, objektive Bewertung von Abweichungen ab circa 5 bis 20 µm (je nach Oberfläche). Das Streifenlichtprojektionsverfahren eignet sich für alle Flächen, die mindestens einen Teil des Lichts diffus reflektieren, etwa Stahl, Aluminium, Kunststoffe oder Keramik.



5 3D-Inspektionssysteme surfaceCobtrol (links) werden für diffus reflektierende Oberflächen eingesetzt und arbeiten nach dem Verfahren der Streifenlichtprojektion (rechts). Damit lassen sich lokale Formfehler (Beulen und Dellen), die nur wenige µm vom Sollmaß abweichen, in Oberflächen erkennen und analysieren

### Bewerten, wie unser Auge es tut – Farbsensoren

Ein Farbsensor vergleicht die Farben oder besser gesagt, er prüft die Übereinstimmung von Farbwerten. Dabei wird das





**6 Die Wärmebildkamera »thermoMAGER TIM« bei der Inline-Qualitätsprüfung bei Spritzgussmaschinen: Die Kamera erkennt nicht nur die sichtbaren Defekte, sondern auch verdeckte Materialfehler**

Messobjekt mit einer Weißlichtquelle (LED) beleuchtet und die reflektierten Farbanteile werden anschließend ausgewertet. Der Farbabstand  $\Delta E$  ergibt sich aus den drei Koordinaten im  $L^*a^*b^*$ -Farbraum: Position auf der Rot-Grün-Achse ( $a$ ), Position auf der Gelb-Blau-Achse ( $b$ ) und die Helligkeit ( $L$ ). Der Wert von  $\Delta E$  zwischen den Farborten wird als euklidischer Abstand berechnet:

$$\Delta E_{p,v} = \sqrt{(L_p^* - L_v^*)^2 + (a_p^* - a_v^*)^2 + (b_p^* - b_v^*)^2}$$

Die Soll-Farben des zu prüfenden Objekts können im Sensor eingelernt und in einem Farbspeicher abgelegt werden. Den eingelernten Farben können zulässige Abweichungstoleranzen zugeordnet werden. Im weiteren Prüfablauf werden die gespeicherten Farbwerte mit den ermittelten Werten verglichen. Dazu wird der Farbabstand ( $\Delta E$ ) zwischen der Objektfarbe und der eingelernten Referenz berechnet. Stimmen diese Werte unter Berücksichtigung der Toleranzen überein, wird ein verwertbares Ausgangssignal erzeugt. Vorteil ist dabei, dass der Sensor die Farben genau so bewertet, wie es ein menschliches Auge tun würde (»True Color«-Farbsensor).

Die Farbsensoren (**Titelbild**) finden vielfältige Einsatzmöglichkeiten, zum Beispiel in der Pharmaproduktion bei der Tablettenverpackung. Nach dem Pressen überprüft der Farbsensor »colorSensor« die Farben der Tabletten. So gelangen die richtigen Tabletten in die richtige Verpackung. Die »Blindgänger« können gefunden und ausgeschleust werden. Neben der Verpackungstechnik kommen die Farb-

sensoren bei der Automatisierung in der Lackiertechnik, der Oberflächenbeschriftung und der Drucktechnik zum Einsatz.

### Echtzeit-Thermografie – Ergänzung des Auges

Bei der Qualitätskontrolle ergänzt die Thermografie das menschliche Auge: Sie erfasst die vom Messobjekt ausgehende Infrarotstrahlung und visualisiert sie. So können neue Messaufgaben für Qualitätssicherung und Überprüfung erschlossen werden. Zum Beispiel in der Spritzgießproduktion liefert die Temperaturverteilung eine globale Qualitätsaussage über die Fehltemperierung des Werkstücks: Fehlfunktion des Werkzeugs, sichtbare Geometriefehler und verdeckte Fehler wie etwa Materialfehler können erkannt werden. Detektorseitig beträgt die Auflösung bis zu 40 mK. Der Anschluss der Kamera erfolgt über eine USB-Schnittstelle, über die auch die Versorgung vorgenommen wird.

Unterschiedliche Leistungsklassen der Wärmebildkameras erlauben den Einsatz des passenden Modells in jede Anwendung. Zum Beispiel realisierte Micro-Epsilon in Kooperation mit dem Kunststoff-Zentrum SKZ KTT, Würzburg, eine thermografiebasierte Lösung für die Inline-Qualitätsprüfung bei Spritzgussmaschinen: Zum Erfassen der fehlerhaften Teile wird eine Wärmebildkamera der Serie »thermoImager TIM« in der Maschine installiert (**Bild 6**). Auf der Grundlage der vom Werkstück ausgehenden Wärmestrahlung erkennt sie nicht nur die sichtbaren Defekte, sondern auch verdeckte Materialfehler. Die Bedien-

software visualisiert das Werkstück und vergleicht es mit einem Infrarot-Referenzbild. Das System ermöglicht die Steuerung und automatische Aussortierung fehlerhafter Teile. Weiterhin ist auch eine schnelle und gesicherte Maschinenumstellung möglich, da nach dem Wechsel des Spritzwerkzeugs umgehend eine Bewertung der neu produzierten Teile erfolgt. Gerade für die Automobilzulieferer, bei denen der Wert von Spritzgussteilen im Prozess um mehrere Hundert Prozent steigt, ist die durchgehende Qualitätskontrolle von Bedeutung. Die verwendete hochauflösende Infrarotkamera weist eine optische Auflösung von  $382 \times 288$  Pixeln mit bis zu 80 mK thermischer Auflösung auf.

### Fazit

**Die präzise Messung in automatisierten Abläufen wird immer häufiger gefordert. Hier setzen sich die optischen Messverfahren immer mehr durch. Sie können dimensional vermessen, sind in der Messpunktaufnahme um ein Vielfaches schneller, und die Messdaten stehen in der Regel in Echtzeit digital zur Verfügung. Dies ermöglicht eine automatische Korrektur und Regelung in laufenden Prozessen mit dem Ziel, keine »Schlechtteile« mehr zu produzieren. Die automatisierten Abläufe lassen sich zuverlässiger, genauer und kostengünstiger realisieren. Dazu wird in Zukunft neben der eindimensionalen auch verstärkt zwei- und dreidimensionale Messtechnik eingesetzt.**

### AUTOR

Dipl.-Phys. JOHANN SALZBERGER ist Geschäftsführer Marketing und Vertrieb bei Micro-Epsilon Messtechnik.

### LITERATUR

- 1 Video 1: [www.laser-photonik.de/LP110223/Messprinzip\\_Konfokal](http://www.laser-photonik.de/LP110223/Messprinzip_Konfokal)
- 2 Video 2: [www.laser-photonik.de/LP110223/Messprinzip\\_Triangulation](http://www.laser-photonik.de/LP110223/Messprinzip_Triangulation)

■ [www.laser-photonik.de/LP110223](http://www.laser-photonik.de/LP110223)