

Mitarbeiter vernetzen sich

Poka Yoke sichert Qualität im Prozess

Kameras entwickeln sich zu schlaun Alleskännern

# Automatisierung und Qualität

Integrierte Sensoren prüfen in der Fertigung

## QUALITY ENGINEERING

01.14

**Branchen-Specials**

**Automobil**

**Metall/Maschinenbau**

Die richtigen berührungslosen Sensoren für die jeweilige Anwendung

# Intelligente Integration

Eine wichtige Voraussetzung für die Automatisierung der industriellen Produktion ist die reibungslose Integration von immer kleineren und mit zunehmender Funktionalität ausgestatteten Sensoren in den Prozess. Integrierbare Sensoren überprüfen die Qualität nicht erst am fertigen Produkt, sondern optimieren die Abläufe in der Fertigung.

Um Wege, Verformungen, Dehnungen, Abstände, Positionen und weitere geometrische Größen zu erfassen, wird heute neben taktilen, tastenden Sensoren die berührungslose Messtechnik eingesetzt. Messprinzipbedingt haben die berührungslosen Sensor entscheidende Vorteile für die zunehmend schnellen und automatisierten Fertigungs- und Prüfprozesse: Sie nehmen die Messpunkte oft schneller, genauer und sicherer auf als die „Taster“. Die Messdaten stehen in der Regel in Echtzeit zur Verfügung und können die Fertigung automatisch regeln und steuern. Die Qualitätskontrolle erfolgt nicht erst am fertigen Produkt, die Messtechnik überwacht und optimiert die Herstellung. Das Ziel ist es die Qualität der Produkte zu verbessern, den Ausschuss zu minimieren und die Gesamtherstellkosten zu senken.

Was versteht ein Anwender unter dem Begriff der Sensorintegration? Zum Einen ist es die physische Integration: Sind die Sensoren für die schmutzige, verölzte Umgebung mit starken Temperaturschwankungen und Vibrationen geeignet? Kann die Größe und Form an die jeweiligen Einbaubedingungen angepasst werden? Auf der anderen Seite, geht es um die datenbezogene Integration: Smarte Sensoren mit integriertem Controller verarbeiten die Daten im Sensor und liefern sie an die Steuerung weiter. Schnittstellen für Echtzeit-Datenbusse wie Ethernet und Ethercat tragen zu einer optimalen datenmäßigen Integration in den Prozess und in den Datenfluss der Maschine bei. Dabei steht eine ganze Palette verschiedener Sensoren zur Verfügung: Von den elek-

tro-magnetischen Klassikern wie Wirbelstrom- und kapazitiven System bis zu den optischen Laser-Sensoren mit Messpunkt oder Messlinie. Anhand von Beispielen aus der Industrie werden die Unterschiede in der Anwendbarkeit noch stärker herausgearbeitet.

## Wirbelstromsensoren: extrem klein und robust

Die industrielle Umgebung ist oft schmutzig, staubig und feucht. Die Maschinen können großen Temperaturschwankungen ausgesetzt sein. In den vorhandenen Strukturen ist oft nur ein beschränkter Einbauraum für die Sensoren vorhanden. Für die Weg-, Abstands- und Positionsmessung unter solchen Bedingungen eignen sich die Wirbelstromsensoren, die sich durch ingenieurtechnische Lösungen bis in den Subminiaturbereich verkleinern lassen.

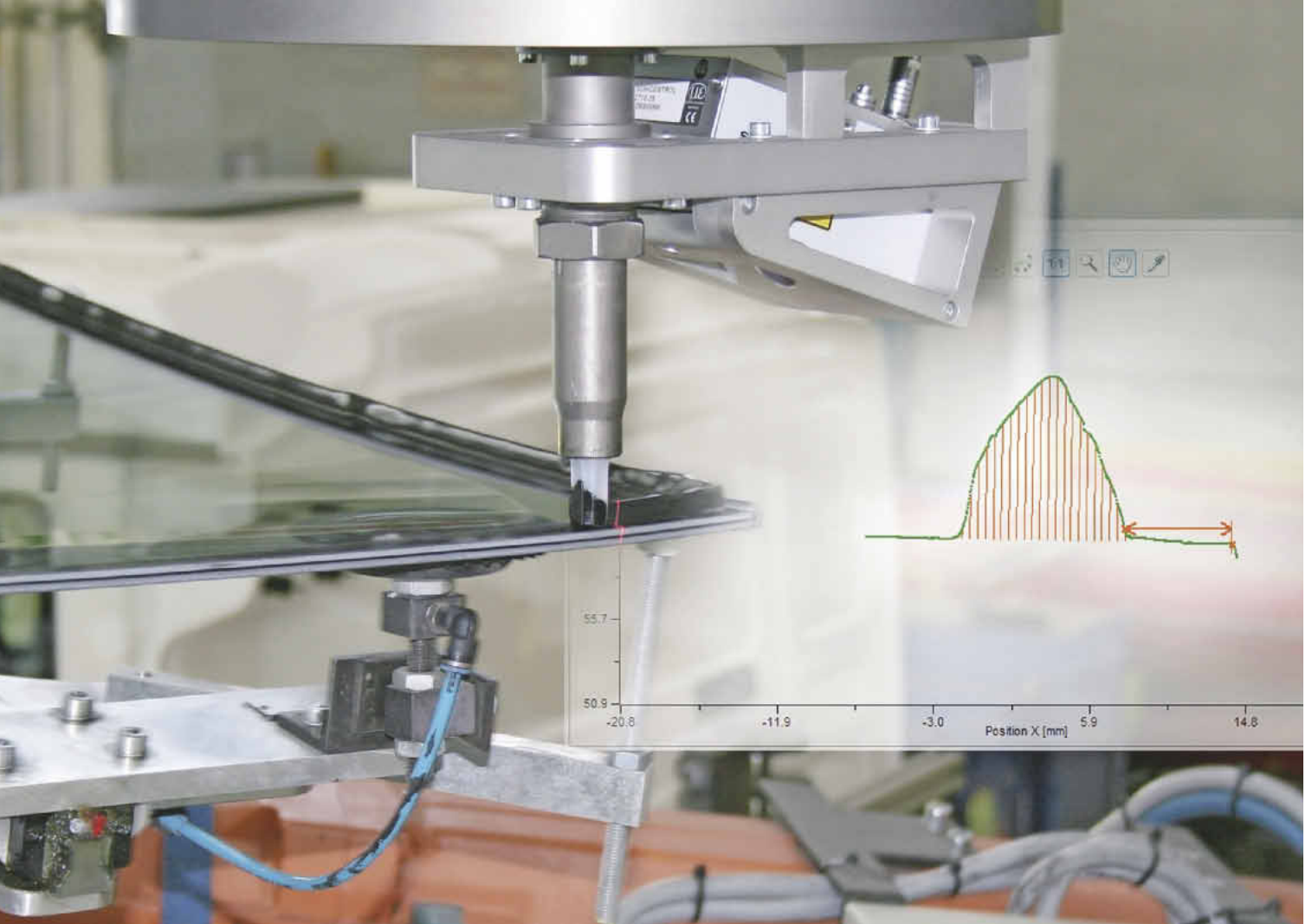
Das Wirbelstrom-Prinzip findet Anwendungen bei Messungen an elektrisch leitenden Werkstoffen, die sowohl ferromagnetische als auch nicht-ferromagnetische Eigenschaften haben können. Eine in ein Sensorgehäuse eingebaute Spule wird dabei vom hochfrequenten Wechselstrom durchflossen. Das elektromagnetische Spulenfeld induziert im leitfähigen Messobjekt Wirbelströme, wodurch sich der resultierende Wechselstromwiderstand der Spule ändert.

Aus dieser Impedanzänderung resultiert ein elektrisches Signal, das dem Abstand des Messobjekts zur Senserspule proportional ist. Die von der Senserspule ausge-

## Der Autor



**Johann Salzberger**  
Geschäftsführer  
Marketing und Vertrieb  
Micro-Epsilon  
[www.micro-epsilon.de](http://www.micro-epsilon.de)



*Kompakte 2D/3D Laser-Profil-Scanner sind für die Inline-Steuerung robotertauglich*  
 Bilder: Micro-Epsilon

henden hochfrequenten Feldlinien durchdringen auch nichtmetallische Stoffe, wodurch Messungen bei starker Verschmutzung, Druck und Öl ermöglicht werden. Dieser besondere Vorteil lässt die Messung auf metallische Objekte, die mit Kunststoff überzogen sind, zu. Mit der Wirbelstromtechnologie ist man in der Lage submikrometergenaue Messungen durchzuführen. Die Wirbelstromsensoren können auch für hohe Temperaturen ausgelegt und angepasst werden.

Um die Flexibilität der Wirbelstromsensoren zu erhöhen, hat Micro-Epsilon die Embedded Coil Technology (ECT) Sensoren entwickelt, die auf eine herkömmlich gewickelte Spule verzichten. Stattdessen wird eine flache Spule in ein anorganisches Material form- und temperaturstabil eingebettet. Durch den miniaturisierten Sensoraufbau in anorganischem Material sind nahezu alle Freiheitsgrade für die äußere Form gegeben. Bei Bedarf kann die gesamte Auswerteelektronik in den Sensor integriert werden. Damit lassen sich ECT-Sensoren an spezielle Einbausituationen anpassen. Diese Sensoren sind für die härtesten Einsatzbedingungen geeignet, also etwa für die Ausrichtung von Spiegelsegmenten an Teleskopen, Halbleiterfertigung im Ultrahochvakuum oder für die Mahlsplattmessung an Refinern der Papierindustrie.

#### **Kapazitive Sensoren für sehr präzise Messergebnisse**

Das kapazitive Messverfahren zählt ebenfalls zu den klassischen Prinzipien der industriellen Wegmessung. Kapazitive Sensoren werden überall dort eingesetzt, wo

präzise und stabile Ergebnisse gefordert werden. Im Unterschied zu Wirbelstromsensoren benötigen sie eine saubere und trockene Umgebung. Beim kapazitiven Messprinzip bilden Sensor und Messobjekt die „Platten“ eines idealen Kondensators: Durchfließt ein Wechselstrom mit konstanter Frequenz und Amplitude den Sensorkondensator, so ist die Amplitude der Wechselspannung am Sensor proportional dem Abstand zum Messobjekt. Als elektromagnetisches Verfahren misst ein kapazitives Messsystem auf alle Metalle mit stabiler Empfindlichkeit und Linearität.

Kapazitive Sensoren können auch Abstände gegen Isolatorwerkstoffe messen. Der Messspalt muss jedoch frei und sauber bleiben, da ein zusätzliches Dielektrikum im Spalt erfasst wird und die Messergebnisse verfälscht. Kapazitive Sensoren zählen zu den genauesten Messsystemen überhaupt – es werden Auflösungen von weit unter einem Nanometer erzielt. Sie werden überall dort eingesetzt, wo präzise und stabile Ergebnisse gefordert werden – um Vibration, Verformung und Dicke zu messen. Ein Beispiel dafür ist die Dickenmessung von CD-Matrizen.

#### **Laser-Punkt-Triangulationssensoren: sehr flexibel**

Die Laser-Triangulationssensoren zählen zu optischen Standardmessverfahren. Die Triangulation basiert auf einer einfachen geometrischen Beziehung: Eine Laserdiode emittiert einen Laserstrahl, der auf das Messobjekt gerichtet ist. Die reflektierte Strahlung wird über

## :: Titelthema



Mit der Embedded Coil-Technologie für die Wirbelstromsensoren sind nahezu alle Freiheitsgrade in der äußeren Form und Größe gegeben

eine Optik auf einer CCD-/CMOS-Zeile abgebildet. Der Abstand zum Messobjekt kann über eine Dreiecksbeziehung von der Laserdiode, dem Messpunkt auf dem Objekt und dem Abbild auf der CCD-Zeile bestimmt werden. Die Messauflösung reicht bis in den Bruchteil eines Mikrometers. Die Intensität der reflektierten Strahlung hängt von der Objektoberfläche ab.

Mit der Real Time Surface Compensation-Schaltung von Micro-Epsilon können die Intensitätsänderungen in Echtzeit geregelt werden. Das optische Prinzip erlaubt je nach Bauart Messabstände von einigen mm bis über 1 m. Je nach Anforderungen werden kleine und hochpräzise Messbereiche oder große und genaue Messbereiche realisiert. Der Messpunktdurchmesser bleibt dabei klein. Micro-Epsilon bietet über 60 verschiedene Laser-Triangulatoren. Neben analogen stehen digitale Schnittstellen zur direkten Anbindung in bestehende Umgebung zur Verfügung. Die Sensoren mit digitalen Schnittstellen sind über einen externen PC konfigurierbar. Kompakte



Kapazitive Sensoren werden eingesetzt, wenn präzise und stabile Ergebnisse gefordert sind

Sensormodelle mit integrierten Controllern lassen sich selbst in enge Bauräume problemlos integrieren.

### Vermessung von Betonsteinen

Bei der modernen Betonsteinproduktion steht neben der Produktqualität und Kürzung der Produktionszeiten die Kostenreduzierung im Vordergrund. Als Antwort auf diese Herausforderung, hat R&W Industriautomation GmbH aus Hachenburg ein System zur Inline-Steinhöhenmessung mit Laser-Triangulationssensoren entwickelt. Alle Komponenten sind im System integriert. Es wird lediglich eine Netzwerkschnittstelle und eine Stromversorgung benötigt. Der Sensor kann im ganzen Netzwerk bedient werden, oder mit anderen Systemen kommunizieren. Das Messsystem wird hinter dem Steinfertiger über dem Transportförderer für die Unterlagsbretter positioniert. Die durchlaufenden Betonsteine werden berührungslos "abgetastet" und mit einer Ge-

## Messsysteme im Vergleich

Messsystem	Messobjekt	Messbereich	Messgenauigkeit (Auflösung)	Geschwindigkeit	Integrationsplus
Wirbelstromsensoren	Elektrisch leitende Werkstoffe	0,4 – 80 mm	20 nm	Grenzfrequenz 100kHz	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Messung in schmutziger Umgebung</li> <li>– Sehr kleine Bauformen</li> <li>– Flexible Bauformen</li> <li>– Temperaturstabil</li> <li>– Druckbeständig</li> <li>– Embedded Coil-Technologie</li> </ul>
Kapazitive Sensoren	Elektrisch leitende Werkstoffe	50 µm – 10 mm	0,04 nm	Bandbreite 8,5 kHz	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Temperaturstabil</li> <li>– Kleine Baugrößen</li> <li>– Embedded Coil-Technologie</li> </ul>
Laser-Sensoren (Triangulation mit Laserpunkt)	Alle Werkstoffe	0,5 – 1000 mm	20 nm	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Digitalsensoren: Messrate bis 49 kHz</li> <li>– Analogsensoren: Grenzfrequenz bis 100 kHz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Integrierter Controller</li> <li>– Analoge und digitale Ausgänge</li> <li>– Große Messabstände</li> <li>– Punktförmige Messung</li> <li>– Real Time Surface Compensation</li> </ul>
2D/3D Laser-Scanner (Triangulation mit Laserlinie)	Alle Werkstoffe	X-Achse = 148 mm Z-Achse = 300 mm	Z-Achse = 2 µm	<ul style="list-style-type: none"> <li>Messrate: <ul style="list-style-type: none"> <li>– bis 2,56 Mio. Messpunkte/s</li> <li>– 4000 Profile/s</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Robotertauglich (kompakt, leicht)</li> <li>– Ethernet/Ethercat-Anbindung</li> <li>– Linienförmige Messung</li> </ul>



naugigkeit von +/- 0,5 mm vermessen. Die Unterlagsbretter dienen als Referenzabstand. R&W integrierte zusätzlich einen leistungsfähigen Mikrocontroller mit Ethernet-Schnittstelle und digitalen I/O in die Messeinheit. Sie erlauben komplexe Auswertungen der Sensordaten, Kommunikation mit übergeordneten Steuerungen und grafische Datenvisualisierung per Web-Server. Diese flexible Modularisierung ermöglicht kostengünstige kundenspezifische Anwendungen.

### Laser-Linien-Triangulationssensoren: Messen mit Profil

Im laufenden Fertigungsprozess werden nicht nur eindimensionale Größen (Materialdicke, Vibrationen und Abstand) ermittelt, sondern auch eine mehrdimensionale Qualitätskontrolle (Profil- und Konturmessung) durchgeführt. Hier punktet die berührungslose optische Messtechnik mit Genauigkeit, Messgeschwindigkeit und Flexibilität in Hinsicht auf die Messobjektoberfläche. Die Laser-Profil-Scanner führen komplexe 2D/3D-Messaufgaben durch. Hier greift das Prinzip der Laser-Linien-Triangulation (Lichtschnittverfahren). Der punktförmige Laserstrahl wird durch spezielle Linsen zu einer Linie ausgedehnt. Zusammen mit der Information über die Distanz (z-Achse), berechnet der integrierte Controller die Position der Messpunkte entlang der Laserlinie (x-Achse) und gibt beide Werte als 2D-Koordinate aus. Bei einem bewegten Messobjekt oder einem bewegten Sensor entsteht ein 3D-Abbild des Objektes. Es können bis zu 2,56 Mio. Punkte pro Sekunden erfasst werden.

Dank des integrierten Controllers sind die Laser-Scanner kompakt ausgeführt. Laser-Scanner besitzen eine integrierte, hoch empfindliche Empfangsmatrix. Sie ermöglicht Messungen auf fast allen industriellen Materialien weitestgehend unabhängig von der Oberflächenreflexion. Die extrem leistungsfähige integrierte Kontrolleinheit und Ethernet-Schnittstelle machen den Laser-Profil-Scanner für eine Inline-Steuerung robotertauglich und somit gut geeignet für die dynamischen Fertigungstechnologien.

### Automatische Montage von Windschutzscheiben

Viele Fertigungsstraßen, vor allem in der Automobilbranche, sind mittlerweile mit Robotern ausgestattet. Hier ist ein geringes Eigengewicht der Sensoren von Vorteil. Für die Befestigung am Roboterarm hat Micro-Epsilon einen 350 g leichten Laser-Profil-Scanner im Aluminiumgehäuse entwickelt. So können automatisierte Verbauprozesse, wie zum Beispiel die Montage der Windschutzscheibe, unterstützt werden. Eine Autowindschutzscheibe übernimmt tragende Funktionen bei der Konstruktion des Automobils, zudem muss sie Erschütterungen und hohen Temperaturschwankungen standhalten. Beim Verbau ist ein einwandfreier Kleberauftrag auf den Scheibenrand entscheidend: Ein Laser-Profil-Scanner prüft die Höhe der Kleberaupe und ihre Position am Scheibenrand. Danach platziert der Roboter



Bei der Vermessung von Betonsteinen kommen Laser-Triangulationssensoren zum Einsatz

die Scheibe vor der Karosserie und setzt sie nach einer Positionsbestimmung durch die Lichtschnittsensoren zentriert ein. Für eine Inline-Steuerung werden die Profildaten im Laser-Scanner verarbeitet und über Ethernet-Schnittstelle an die SPS geliefert. Der gesamte Messprozess ist in einen branchentypischen Fertigungstakt von unter einer Minute integriert.

### Die richtige Wahl

Die berührungslose Messtechnik überzeugt durch hohe Präzision und Messgeschwindigkeit, kompakte Größe und schnelle Datenverarbeitung. Dem Anwender stehen verschiedene Messsysteme zur Verfügung. Jedes Messprinzip hat seine Besonderheiten, Vorteile und Einschränkungen, die berücksichtigt werden müssen. Einfache Sensoren für Standardanwendungen können nach Katalog oder im Internet ausgewählt und bestellt werden. Anspruchsvolle Anwendungen mit höherer Auflösung, Robustheit, Temperaturstabilität, Linearität oder besonderen Montage- und Einbaubedingungen, erfordern dagegen oft Speziallösungen und Kundenanpassungen. Eine optimale Lösung setzt eine qualifizierte messprinzipunabhängige technische Beratung voraus. Denn intelligente Integration ist eine Ingenieursaufgabe und lässt sich nur am (Mess-) Ergebnis beurteilen. ■

## Webhinweis

Die Funktionsweise der einzelnen, im Text beschriebenen Messtechniken erklärt Micro-Epsilon in verschiedenen Videos:



Wirbelstromsensoren  
<http://goo.gl/0ltwZC>



Lasersensoren  
<http://goo.gl/sRW4yE>



Kapazitive Sensoren  
<http://goo.gl/3Ku1O6>



2D/3D Laser-Scanner  
<http://goo.gl/qal1jF>