

Fachaufsatz

# Von Schwärmen lernen: Design von optischen Sensoren für IIOT-Projekte in Beschichtungsanwendungen

Der folgende Fachaufsatz gibt Antworten auf die fünf wichtigsten Fragen, die sich zu Beginn eines Projekts zum Design von optischen Sensoren für die automatisierte Schichtdickenprüfung in IIoT-Projekten stellen: Wie lassen sich automatisierte Schichtdickenprojekte angehen? Wie lassen sich die Messgeräte ideal in den Prozess einbringen (Inline-/ Online-Anwendungen)? Wie sollte die Datenbank-Anbindung aussehen? Welche sind die besonderen Herausforderungen für Schichtdickensensoren in diesen Prozessumfeldern? Wie sieht das optische Sensor-Layout idealerweise aus?

## 1. Einführung

### 1.1 Beschichtungsprüfung:

#### Kundenanforderungen versus Kosten



Bilder: OprSense

xxxx xxx xxx xxx x xxxx  
xxxx xxx xx xxxx

Klassischerweise möchten Beschichtungsunternehmen und deren Kunden alle Bauteile prüfen und somit eine 100prozentige Kontrolle über den ganzen Prozess und alle Parameter haben. Das klingt einsichtig, birgt aber einige Schwierigkeiten.

Zudem möchte der Beschichter sicher sein, dass korrekt appliziert wurde und dass die Qualität in Ordnung ist. Idealerweise möchten Beschichter dann das grüne Symbol mit dem Smiley auf ihrer Prozessdatenvisualisierung haben, das bedeutet: „Prozess läuft, alles ist gut, ich kann mich entspannt zurücklehnen.“

Wenn es aber um die Kosten geht, wie kompliziert die Prüfung ist und wie aufwändig die Wartung später sein wird, werden die Wünsche oft reduziert. Denn eine 100-prozentige Erfassung aller Prozessgrößen ist sehr komplex und kostenintensiv.

### 1.2 Primäre Zielgrößen der Lackprüfung

Schauen wir zunächst auf die Parameter, die eigentlich in der Beschichtung gemessen werden sollten. Schichtdicke ist ja kein primärer Leitparameter.

Ein Primärparameter ist die Farbe, Stichwort „Color Matching“. Die Spezialisten im Metalllack denken an Flop, die Spiegelung des Lacks bei verschiedenen Winkeln. Zudem sind Themen wie klassischer Korrosionsschutz und auch UV-Stabilität interessant. Abrieb und Haftungsfragen spielen eine ebenso große Rolle wie Glanzgrad und Appearance. Aber: sobald diese Größen im Prozess online gemessen werden sollen, wird es äußerst komplex.

### 1.3 Die Schichtdicke als Leitparameter

Jetzt kommt die Schichtdickenmessung ins Spiel, denn alle diese schwierig messbaren Primärparameter sind letztendlich mit der Schichtdicken verbunden.

Die Schichtdickenmessung ist die einfachste Größe, weil sie Schicht für Schicht gemessen werden kann; aufgetragene Schicht für aufgetragene Schicht.

### 1.4 Die Genauigkeit der Messung

Wenn die Prozessparameter nicht direkt, sondern über die Schichtdicke gemessen werden, stellt sich die Frage, wie genau gemessen werden muss. Dazu gibt es eine relativ einfache Formel, die am Anfang eines Projekts betrachtet wird, um abzuschätzen, ob das Projekt erfolgversprechend ist.

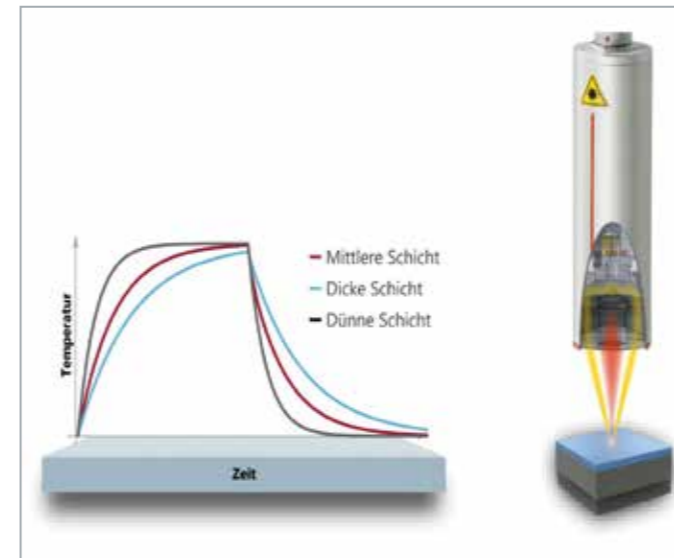
Wir nehmen an, die Prozesstoleranz beträgt 20 Mikrometer und die Prozessstabilität CP soll mindestens 1,33 betragen, was letztendlich nichts anderes ist als viermal die Standardabweichung. Aus der Formel ergibt sich eine minimale Schichtdickentoleranz von 2,5 Mikrometer.

Da es im Prozess zusätzliche Fluktuationen gibt, sollte die Toleranz der Schichtdickenmessung deutlich unter dem Minimalwert, also unter 1 Mikrometer, liegen.

### 1.5 Das photothermische Messprinzip

Nicht berührende Verfahren können im nassen Zustand, im Flash Off, vorgetrocknet, im pulverförmigen und natürlich auch im getrockneten Zustand messen. Das funktioniert wie folgt:

Die photothermische Schichtdickenmessung ist ein berührungsloses Verfahren für Lacke, Pulverbeschichtungen und Glasuren auf metallischen und nichtmetallischen Untergründen. Dabei werden die unterschiedlichen thermischen Eigenschaften von Beschichtung und Untergrund genutzt, um die Schichtdicke zu bestimmen. Die Oberfläche der Beschichtung wird mit einem kurzen, intensiven Lichtimpuls um einige Grad aufgewärmt und kühlt anschließend durch Ableitung der Wärme in tiefere Bereiche wieder ab. Dabei sinkt die Temperatur umso schneller, je dünner die Beschichtung ist. Der zeitliche Temperaturverlauf wird mit einem hochempfindlichen Infrarotsensor erfasst und in die Schichtdicke umgerechnet.



Das photothermische Messprinzip

## 2. Inline- und Online-Anwendungen

### 2.1 Detaillierte Geometrien versus Mittelwertmessungen

Es gibt eine große Herausforderung beim Messen von Schichtdicken: Die zu untersuchenden Teile haben für gewöhnlich gekrümmte Flächen.

Es gibt überall Rundungen, Ecken und Kanten, kaum gerade Fläche. Und so wird es schwierig, A-, B- oder C-Säule zu messen. Ebenso kompliziert ist es, die Frontseite der Haube – da, wo der Stoßfänger oder den Schweller zu messen.

Daneben gibt es Türdichtungssysteme, wo nicht nur metallische Substrate, sondern auch Gummi-Substrate vorkommen. Hier gilt es, Gleitlacke zu messen, damit das Fenster nicht quietscht oder im Win-



Die Kreise markieren die unterschiedlich kritischen Messbereiche.

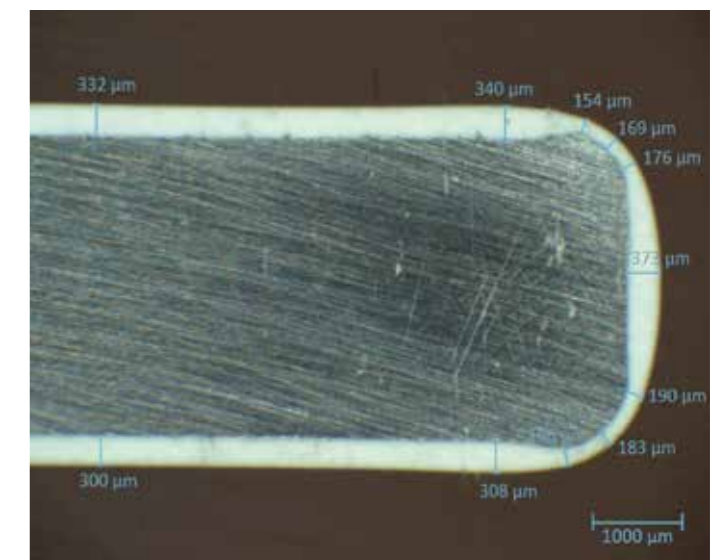
ter nicht festfriert. Und es gibt den korrosiven Bereich, zu Beispiel die Bremsscheibe.

### 2.2 Neuralgische Lackaufträge

Es gibt nahezu flache Bereiche am Fahrzeug (grüne Kreise; siehe Abbildung). Diese sind einfach zu messen und können mit verschiedenen Schichtdickenverfahren gemessen werden.

Aber es gibt auch gekrümmte Flächen (gelbe Kreise; siehe Abbildung), von denen jeder, der selbst appliziert, weiß, dass dies die kritischen Flächen sind. Diese zu messen, also auch Schichtdicken dieser Areale zu bestimmen, ist kompliziert.

Zudem gibt es kritischen Bereiche (rote Kreise, siehe Abbildung). Darunter sind stark gekrümmte Teile zu verstehen, beispielsweise Kanten, an denen sich der Lack gern aufwellt. Dies sind die Bereiche, bei denen der Schichtdickenauftrag wirklich interessiert.



Das Messbeispiel zeigt deutlich, dass die Schichtdicke um den Faktor zwei auseinanderliegt.

Das heißt: Eine Messung der Schichtdicke auf einer flachen Ebene irgendwo in der Mitte löst es letztlich – in prozesstechnischer Sicht – nicht das Problem. Es gilt, die kritischen Zonen zu kennen.

Unsere Erfahrung zeigt, dass bei solchen Projekten der Unterschied zwischen grünen und roten Punkten bezüglich der Schichtdicke um mehr als den Faktor 2 auseinanderliegt.

Das betrifft über 80 Prozent der Fälle und das bedeutet: Die grünen Punkte zu kennen, reicht nicht aus, um eine ausreichende Prozesssicherheit zu gewährleisten.

### 2.3 Schwarmsensoren versus Roboterlösung

#### 2.3.1 6-Achs-Roboter

Um die kritischen Punkte zu messen, nutzen Beschichtungsunternehmen üblicherweise 6-Achs-Roboter. Diese besitzen eine extrem

■ ■ ■ hohe Flexibilität und können jede Stelle des Bauteils erreichen. Unter einer Prämisse: Es gilt, genügend Aufwand in das Programmieren der Roboterbewegung zu investieren.

Die Nachteile dieses Verfahrens: Ein solcher 6-Achs-Roboter braucht viel Platz – er würde in obigem Fahrzeugbeispiel gut sieben Meter entlang der Linie benötigen. Das hätte eine komplexe Integration zur Folge und der Beschichter müsste vermutlich einige Fachleuten bemühen, um den 6-Achs-Roboter zu integrieren.

Und er würde auch im Service-Fall gut ausgebildetes Personal benötigen. Denn die Roboterprogrammierung – die Inbetriebnahme – ist erst der Anfang. Vermutlich steht bereits nach einigen Monaten das erste Facelift an. Es ist fraglich, ob das Know-how Inhouse vorhanden ist, um Anpassungen am Roboter vorzunehmen. Die Folgekosten sind demnach ebenfalls sehr hoch.

**2.3.2 Schwarmsensoren**

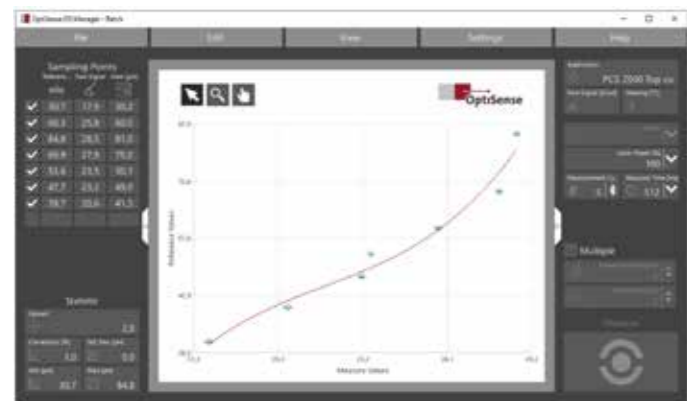
Wenn die Geschwindigkeit im Vordergrund steht, eignen sich Multikopfsysteme besonders gut. In der Regel kommen die Schwarmsensoren in der Einzelteilfertigung mit relativ hohen Taktraten zum Einsatz. Zum Messen bleiben nur einige Sekunden Zeit. Das Beschichtungsunternehmen kann sogar von allen Seiten, von oben und unten, links und rechts das Bauteilzeitgleich prüfen – bei gerade einmal ein bis zwei Sekunden Messzeit.

Hier sind Multikopfsysteme ideal, da diese direkt auf die kritischen Stellen gerichtet sind. Sie sind relativ einfach zu montieren und benötigen wenig Platz. Das ist entscheidend, denn heutzutage spielt der Platzverbrauch entlang der Linie, die Dichte der Produktionsstätte innerhalb einer Halle, eine entscheidende Rolle.

Voraussetzung hierfür sind ähnliche Sensoren. Diese müssen derselben Applikation alle das gleiche Messergebnis anzeigen. Das ist eine besondere Herausforderung für den Sensorhersteller.

**3. Datenbank-Anbindungen**

Jetzt schauen wir, wie die Daten vom Sensor Controller zu einer Datenbank transportiert werden können, in der gewöhnlich die riesigen Datenmengen gespeichert werden.



xxxxx

**3.1 Datentransfer via USB**

Viele Beschichter nutzen auch heute noch den USB-Stick: Er wird einfach in das Messgerät gesteckt und anschließend auf eine Visualisierungseinheit aufgespielt. Das Procedere ist zwar sehr einfach, aber leider nicht automatisiert. Der Pferdefuß: Die heutigen Prozesse benötigen sowohl in der Produktion als auch in der Messtechnik eine Automatisierung.

- Pro: Einfach und sicher
- Contra: Fehlende Datenbank-Schnittstelle

**3.2 Datentransfer via Feldbus**

Die zweite Möglichkeit ist der Datentransfer via Feldbusystem, sprich via SPS. Der Vorteil dieser Anbindung liegt darin, dass die SPS bereits installiert ist. Für Sensorhersteller hat es im Service-Fall den Nachteil, dass bei einem Fehler von außen im laufenden Betrieb nur schwer auf den Sensor-Controller zugegriffen werden kann, da Wartungsarbeiten über SPS ungern während des Betriebs gefahren werden.

- Pro: Sicher und in Echtzeit
- Contra: Kompliziert für Service

**3.3 Datentransfer via lokalem Netzwerk**

Die dritte Alternative ist der Transport der Daten direkt über einen zweiten Netzwerkzugriff auf die lokale Datenbank. Dort gibt es üblicherweise einen Auswertungs-PC, der die Aggregation, das Data Mining und die Alarmfunktion übernimmt und dem sogenannten Shop Floor – direkt an der Linie – mitteilt, ob die Produktion läuft oder eben nicht. Der Nachteil: Das Beschichtungsunternehmen benötigt einen extra PC vor Ort. Und auch hier bleibt der Nachteil, dass ein Serviceteam im Falle des Falles nicht so einfach auf den PC und die Daten zugreifen kann.

- Pro: Komfortabel und automatisch; Prozess- und Serviceanalyse
- Contra: Zusätzliche PC-Hardware; Kein automatischer Service

**3.4 Datentransfer zum Cloud Netzwerk**

Heutzutage wird vermehrt Cloud Computing genutzt: Die Daten wandern dabei direkt auf ein Datenbanksystem in der Cloud. Dort können die oben bereits skizzierten Funktionen des Data-Mining, Aggregation und Auswertung durchgeführt werden. Vorteil: Der Sensorhersteller kann die Qualität der Daten und die Qualität des Sensors online monitoren, ähnlich wie es heute bei Windenergieanlagen gang und gäbe ist. Diese vorausschauende Wartung nennt sich Predictive Maintenance. Bleiben wir bei dem Beispiel der Windenergieanlagen: Die Anlage meldet sich bereits, wenn das System einen Schaden bekommen wird, nicht erst, wenn die Anlage einen Schaden hat.

- Pro: Komfortabel/vollständige Analyse; Kosten nach Datenvolumen
- Contra: Datenschutz

**4. Anforderungen an Beschichtungssensoren**

Neben der Schichtdicke als Leitparameter sind weitere sekundäre Parameter relevant. Einer der wichtigsten sekundären Parameter in der Beschichtungsindustrie ist die Temperatur.

**4.1 Der Sekundärparameter Temperatur**

**4.1.1 Temperatureinfluss auf den Sensor**

Jeder, der beschichtet, weiß: Wenn die Temperatur nicht stimmt, gibt es Probleme. Das fängt bei den Sensoren an. Hier gilt es festzustellen, welches „thermische Rauschen“ anliegt und wie es um die optische Leistung der Sensoren bestellt ist. Diese hängt für gewöhnlich immer von der Temperatur ab, weil es um Halbleitertechnologie geht.

Der Temperatureinfluss auf den Sensor führt zu

- Überhitzungsgefahr
- Verringerter Signalqualität
- Reduzierter optische Leistung
- Schnellerer Alterung

**4.1.2 Temperatureinfluss auf den Beschichtungsprozess**

Auf der anderen Seite spielen die Temperatur der Umgebung und des Bauteils eine Rolle. Ebenso ist die Luftfeuchte relevant; beispielsweise für die Tröpfchen-Formierung.

Und letztlich muss die aufgebrauchte Schicht noch aushärten. Die Temperaturkurven der Trocknungsöfen sind schon lange Forschungsbereich, denn es ist wichtig, diese Temperaturabhängigkeiten zu kennen.

Temperatureinfluss auf den Beschichtungsprozess:

- Lackviskosität
- Tröpfchenbildung
- Verlauf, Filmbildung
- Aushärtegeschwindigkeit
- Verklebung
- Abkühlzeit

Es ist also zwingend notwendig, den Einfluss des Sekundärparameters Temperatur für die integrierten Schichtdickensensoren zu kennen und zu berücksichtigen.

**4.2 Messungen an nicht ausgehärteten Beschichtungen**

Wie sehen die Sensoranforderungen aus, wenn das industrielle Unternehmen die Schichtdicke relativ früh im Prozess messen möchte? Wenn nicht-getrocknete oder nicht-ingebrannte Schichten zu untersuchen sind?

**4.2.1 Nasslackmessung unmittelbar nach der Beschichtung**

Bei Messung im nassen Zustand spielen die Fragen „Wie können wir das Aushärteverhalten des Materials bestimmen?“ und „Wie hängt das Messverfahren von der Feuchtigkeit ab?“ eine zentrale Rolle. Und zwar unabhängig davon, welches Messgerät zum Einsatz kommt.

Bei der Gruppe der wirklich feuchten Beschichtungen, die direkt nach der Applikation gemessen werden sollen, gibt es immer eine starke Abhängigkeit von der Abdunstung. Ein kleiner Trick ist, direkt hinter den sogenannten „Flash Off“ zu messen. Dort hat sich die Abhängigkeit von dem feuchten Film bereits stark reduziert.

Der Vorteil der frühen Prüfung: Die Prozesseinstellungen und die Prozesssteuerung werden optimiert, Reklamationen und Fehlbeschichtungen vermieden.

**4.2.2 Pulvermessung direkt nach der Beschichtung**

Bei den Pulverlack-Applikationen ist es etwas einfacher, frühzeitig im Prozess zu messen, da die Pulverschicht als solche über eine längere Zeit stabil bleibt.

**4.2.3 Vorteile der frühzeitigen Messung**

Die frühzeitige Messung bietet eine Menge Vorteile:

- Sofortige Rückmeldung über Prozesstoleranzen
- Optimierte Prozesssteuerung
- Verbesserte, homogene Beschichtungsqualität
- Minimierter Materialverbrauch (Ressourcenschonung)
- Erhöhte Produktionskapazität
- Weniger Ausschuss und Nacharbeit
- Geringere Reklamationsrate
- Höhere Standzeiten
- Human Ressourcen effizienter nutzen
- Kontinuierliche Messung des Beschichtungsauftrags
- Automatisierte Messprotokolle
- Automatisierter Qualitäts- und Prozesskontrolldokumentation

**4.3 Applikationen bei ungehärteten Lacken**

**4.3.1 Die konventionelle Applikation**

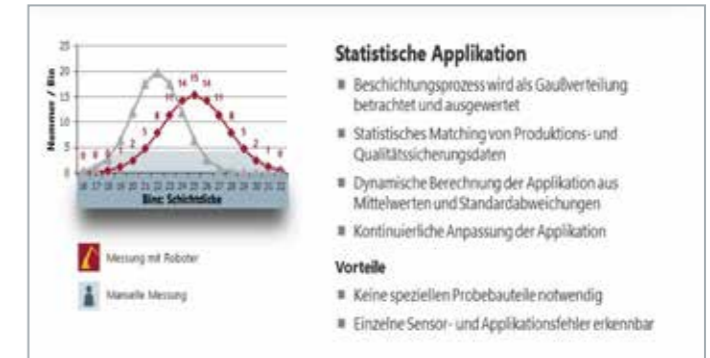
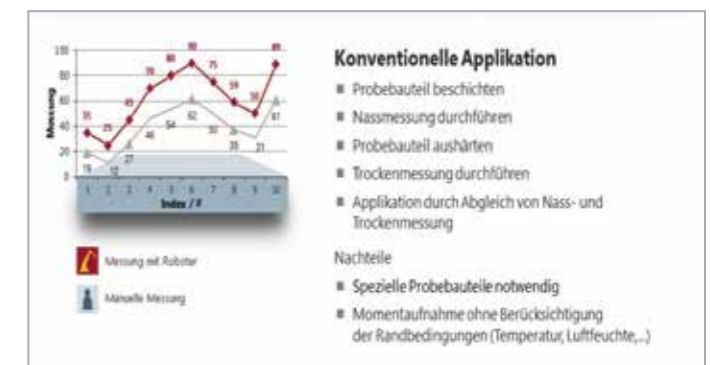
Wie erhalte ich nun eine Applikation, obwohl der Lack sich permanent verändert? Üblicherweise wird die Schichtdicke eines präparierten Bauteils – das den Beschichtungsprozess durchlaufen hat – zunächst mit einem berührungslosen Messgerät (per Roboter) geprüft. Es folgt eine Handmessung im ausgehärteten Zustand. Anschließend muss der Beschichter die beiden Messergebnisse abgleichen und es entsteht eine klassische Applikationskurve.

Wer es mal gemacht hat, weiß, wie kompliziert und aufwändig das sein kann. Und letztlich handelt es sich dabei lediglich um eine Momentaufnahme, ohne dass Randbedingungen wie Temperatur oder Luftfeuchtigkeit berücksichtigt wurden.

**4.3.2 Die statistische Applikation**

Da der Beschichter bereits mit Datenbanken, statistischen Werten und Sekundärdaten arbeitet, kann bei modernen Anlagen davon ausgegangen werden, dass der Beschichtungsprozess in gewissen Zeiträumen konstant verläuft. Damit kann die Applikation über eine klassische Gaußsche Normalverteilung mittels PC abgebildet werden.

Beim Vergleich des Mittelwerts der Verteilungsfunktion vom Roboter mit dem Mittelwert der Verteilungsfunktion und Standardabweichung der Handmessung ergibt sich eine dynamische Applikation, die nun in der Produktions-/Beschichtungsline verwendet werden kann. Dieses Verfahren nennt sich statistisches Matching oder Forecasting.



**Anforderungen an Beschichtungssensoren**

Die Vorteile: Erstens entfällt der extrem aufwändige und fehleranfällige Abgleich zwischen Roboter- und Handmessung. Zweitens muss nicht extra ein Bauteil präpariert werden. Im Automotivbereich wird dazu häufig eine komplette Karosserie eingeschleust.

Beim statistischen Matching wird die Roboter messung im Nasszustand fortlaufend mit den Qualitätssicherungsmessungen im aus-

Bilder: OptiSense

gehärteten Zustand abgeglichen. Diese Messdaten sind sowieso vorhanden, sie müssen lediglich statistisch ausgewertet und zur Nachführung der Roboter messung aufbereitet werden.

Zusätzlich besteht die Möglichkeit, diese Variation der Roboter messung selbst wieder auszuwerten, um so die Stabilität des gesamten Beschichtungsprozesses inklusive Lackgebinde und Applikatoren zu beurteilen.

## 5. Design optischer Sensoren

### 5.1 Eigenschaften und Anordnung optischer Sensoren

Werden optische Sensoren für eine Schichtdickenaufgabe verwendet, muss die Größe des Messflecks passend gewählt werden.

Üblich ist eine Messfleckgröße von einem halben bis zu einem Millimeter, um die Rauheit auf dem Substrat zu kompensieren. Ein anderes Aufgabenspektrum sind besonders kleine Teile, wie beispielsweise die Schichtdicke auf einem lackierten Draht zu vermessen. Solche Herausforderungen verlangen nach einem sehr kleinen Messfleck in der Größenordnung von 250 Mikrometer. Würde hier mit einem zu großen Messfleck gemessen, könnte die Schichtdicke des Drahts nicht ermittelt werden können.

Komplementär dazu liegt der Aufgabenbereich, bei dem der Messabstand sehr groß sein soll. Damit wird natürlich auch der Messfleck größer. Der größere Messfleck dient dazu, Variationen im Abstand die oft durch das Wackeln des Prüflings in Inline-Setups entstehen, zu kompensieren. Bildlich gesprochen wäre die Wahl kleiner oder großer Messfleck das Prinzip Teleskop im Vergleich zum Mikroskop.

Aber Beschichter haben mitunter das Problem, dass sie die kritischen Zonen der Beschichtung nicht vollständig kennen. Sie suchen häufig nach einer Lösung, die bei geringem Abstand eine flächige Messung bietet. Damit kommen Kamertechnik oder Array-Technik ins Spiel. Der Vorteil dieser Verfahren: Es ist bildlich zu erkennen, wo die Schichtdicke dicker oder dünner ist.

Allerdings bedeutet der Einsatz von Kamerasystemen eine Kostenexplosion. Denn wenn eine quantitative Größe wie Schichtdicke, angegeben in Mikrometer, als Fläche gemessen wird, muss eine riesige Fläche angeregt werden. Das braucht viel mehr Energie, das Datenvolumen wird riesig, die automatisierte Auswertung enorm aufwändig – es wird komplex und richtig teuer.

### 5.2 Schwarm-Sensoren

Cleverer Alternativansatz: Die Nutzung ultra-kleiner Sensoren und der Einsatz vieler dieser Sensoren an die kritischen Stellen, die geprüft werden sollen. Die Messtechnik ist also hinsichtlich Abstand und Größe genau auf das Problem optimiert. Das ist der sogenannte Multi-Sensor- oder Schwarm-Sensor-Einsatz. Der einzige Nachteil: Sie benötigen mehr Sensoren und die Sensoren sollten gleich sein.

Den riesigen Vorteil macht ein Beispiel aus der Biologie deutlich: Wenn einem Schwarmsystem, zum Beispiel einem Bienenschwarm eine Biene verloren geht, oder auch zwei oder drei, wirkt sich das kaum auf die Honigproduktion aus. Genauso verhält es sich mit dem Sensorschwarm.

### 5.3 Beispiel Batterieherstellung: Leistungsstarkes Messsystem mit mehreren Sensoren

Damit eine Batterie wettbewerbsfähig ist, muss sie sich kostengünstig herstellen lassen, eine hohe Energiedichte aufweisen und möglichst lange halten, und sie muss vor allem sicher sein. Die Zellen müssen zuverlässig voneinander isoliert werden, um einen Kurzschluss oder das Abbrennen der ganzen Batterie zu verhindern. Das Gehäuse wird dazu mit einem speziellen UV-Lack beschichtet. Da die Beschichtungsdicke eine sicherheitsrelevante Kenngröße ist, muss diese präzise und dokumentationsicher gemessen werden.

Das System besteht aus einem zentralen Controller, an den bis zu acht Sensoren über Kabel anschließbar sind. Das System prüft mehrere Punkte gleichzeitig. Zur softwareseitigen Integration in die Ferti-

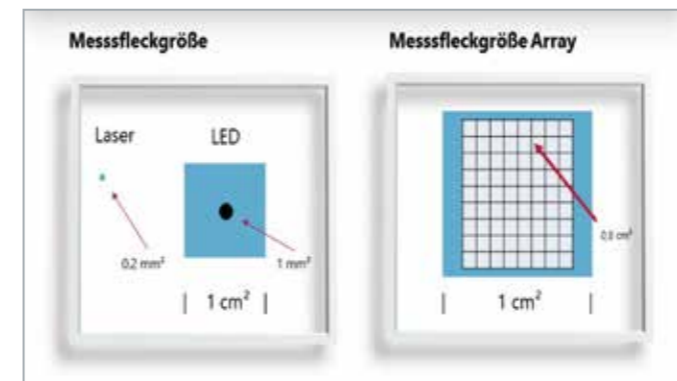
gungsanlage besitzt der PaintChecker Industrial verschiedene Schnittstellen zur übergeordneten SPS.

Auch das Platzproblem wurde elegant gelöst. Indem der Strahlengang der Optik um 90° gefaltet wurde, gelang es, den Sensorkopf so weit zu verkürzen, dass er in den verfügbaren Bauraum passt. Mit dem nur 150 Gramm leichten Winkelsensor können bei gerade einmal 40 Millimetern Bautiefe Schichtdicken bis 300 µm schnell, genau und reproduzierbar gemessen werden.

### 5.4 Die Messfleckgröße

Die erste Generation photothermischer Schichtdickenmessgeräte verwendet einen Laser, der nur den Bereich erwärmt, der anschließend auch gemessen wird (Anregungsgröße = Messfleckgröße). Die Systeme werden auch heute noch für äußerst punktgenaue Messung an filigransten Konturen eingesetzt, sind aber empfindlich gegen Verwackeln und Unebenheiten der Oberfläche.

Photothermische Messgeräte mit LEDs erwärmen einen wesentlich größeren Bereich als der, der gemessen wird. Dadurch ist eine Bewegung des Prüflings während der Messung unkritisch, solange der Messfleck im erwärmten Bereich verbleibt. Außerdem ist der Messfleck selbst größer als beim Lasergerät, sodass Unregelmäßigkeiten der Oberfläche ausgemittelt werden.



Ausblick: Design optischer Sensoren

Kombiniert man die LED-Anregung mit einem Array-Sensor, kann sehr detailliert gemessen werden, ohne eine Präzisionsausrichtung des Prüflings zu benötigen. Durch geschickte Auswertung der einzelnen Messpunkte kann die Messsoftware Arrayelemente ignorieren, die während der Messung den erwärmten Bereich verlassen haben, unregelmäßige oder raue Oberflächen entsprechend ausmitteln und trotzdem kleinste Details punktgenau vermessen. Selbst defekte Sensorelemente werden erkannt und ausgeblendet, ohne dass sie einen Totalausfall des Sensors zur Folge haben.

## 6. Fazit

### 6.1 Vorteile optischer Schichtdickenmessung

Die optische, zerstörungsfreie Prüfung misst Schichtdicken im Vergleich zu anderen Größen, die beim Coatingauftrag relevant sind, sehr schnell und äußerst einfach. Dabei kann bei berührungsloser Messung schon früh im Prozess Lackschicht für Lackschicht untersucht werden. Es gilt dabei, alle zusätzlichen Daten wie Temperaturen von Bauteil, Umgebung, Luftfeuchte, etc. zu erfassen, weil dies die größten Einflussparameter für eventuelle Störungen sind – weit mehr als die Schichtdickenmessung selbst.

Wichtig ist: Das Setup muss zu kritischen Bereichen passen. Wenn die kritischen Zonen nicht geprüft werden können, muss das Konzept

zu überprüft werden. Denn Mittelwerte von flachen Bereichen sind zwar einfach zu ermitteln, haben aber wenig Aussagekraft.

### 6.2 Automatisierte, dynamische Applikationen

Damit kann die Oberflächenindustrie – und deswegen steht „IIOT“ im Titel dieses Beitrags – automatisiert messen und automatisiert speichern. Damit ist der Beschichter in der Lage, mit modernen Algorithmen auch sogenanntes Reverse Application oder Forecasting zu erstellen. Das heißt: Beschichter rechnen dynamisch ihre Applikationen aus.

Mit den Möglichkeiten der Statistik und einer hohen Datenrate erhält das Unternehmen viele neue Informationen und ist äußerst flexibel. So können zum Beispiel MSA-Daten als typische Überprüfungsdaten abgespeichert werden. Diese sind relevant, um die Performance und die Langzeitstabilität der Sensoren zu überprüfen.

Und im Service-Fall hat der Beschichter bzw. die Wartungsfirma Zugriff auf diese Daten. Das ist besonders wichtig, da so leicht unterschieden werden kann, ob ein Sensor beginnt auszufallen oder ob der Prozess selbst nicht stetig ist.

### 6.3 Data-Mining und KPI ermöglichen den Closed Loop

Im nächsten Schritt werden für sogenanntes Data-Mining und KPI verschiedenste Statistiken und damit Aussagen über unterschiedlichste Größen wie Aussagen nach Farbe, Bauteilen, Linienseiten ... verfügbar. Damit existiert eine derart gute Datenqualität, dass die Anlage automatisch gefahren werden kann. Das heißt: Der Closed Loop ist Realität geworden!



xxxxxxx

Ein weiterer, übergeordneter Vorteil ist die raumsparende, lückenlose Langzeitspeicherung, denn es gibt immer mehr dokumentationspflichtige Bauteile, bei denen eine Aufbewahrungspflicht für die Schichtdickenprüfung von 10 Jahren gilt. Unvorstellbar und ressourcenverschwendend, die Messergebnisse allesamt in Excel-Tabellen handschriftlich einzutragen und in vielen Ordnern abzulegen.

Vorausschauende Wartung ist ebenfalls ein großer Pluspunkt: Auch kleine Schichtdicken-Sensoren sind heute predictive-maintenance-fähig. Unternehmen tun gut daran, diese Funktionen zu nutzen, weil sie für den Gesamtprozess wichtig ist.

Und damit schließt sich der Kreis: Sie erinnern sich noch an das kleine, grüne Prozess-Smile, das „Beschichtungsprozess okay“ symbolisiert? Genau das haben wir mit unserem Sensorschwarm erreicht:

- der Prozess läuft rund
- die Schichtdickenverteilung ist stabil und
- Sie haben eine konstant hohe Beschichtungsqualität

Jörg Mülleneisen, OptiSense



xxxxxx