### Qualität wird berechenbar

Neue Lackierkonzepte und immer höhere Qualitätsanforderungen stellen Automobilhersteller und Zulieferer vor die Herausforderung, die Qualität der Lackierung umfassend zu überwachen und über eine Veränderung der Prozessparameter auch zu regeln. Ein neues Qualitätskonzept, bei dem Messung und Simulation Hand in Hand gehen, löst diese anspruchsvolle Aufgabe.

m Zuge immer stärker steigender Qualitätsanforderungen an eine Automobillackierung /1/, zum Beispiel bei der Einführung füllerloser Lacksysteme und der gestiegenen Qualitätsdokumentationen im Rahmen von Zertifizierungen und Audits, ist es zwingend notwendig geworden, dass eine 100%ige Qualitätsaussage zu 100% der lackierten Bauteilflächen jeder Karosse vorliegt. Auf Grund dieser Qualitätsdaten soll dann eine auto-

matische Qualitätsregelung für eine konstante bestmögliche Qualität sorgen. Um dies zu erreichen, sind zurzeit mehrere Ansätze in der Erprobung:

- **1. Reine Empirie:** Man versucht mit hohem Aufwand jeden Punkt auf jeder Karosse messtechnisch zu erfassen und auszuwerten.
- 2. Reine Theorie: Man versucht die Qualität an jedem Punkt auf jeder Karosse allein auf Grund von Simulationsmodellen zu berechnen.

3. Kombination aus Messung und Simulation: Die von der Firma Syspilot entwickelte Methode "Quality-pilot" kombiniert wenige, stichprobenartige Qualitätsmessungen mit einer kontinuierlichen Messung einzelner, ausgewählter Prozessdaten und mit Simulationsmodellen zu einer semi-empirischen Qualitätsvorhersage für 100% der Karossen und 100% aller lackierten Bauteilflächen.

Der folgende Artikel stellt die Kerngedanken des Qualitätskonzeptes "Quality-pilot" vor.

# Systematische Planung ist die Basis des Qualitäts-Managements

Die systematische und kompetente Planung eines Qualitätsmanagement-

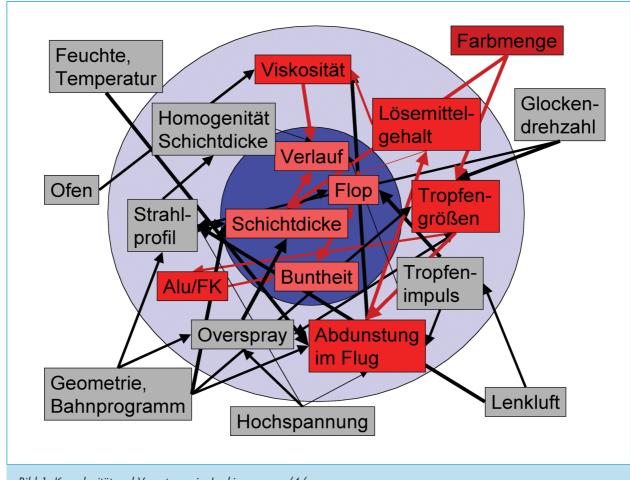


Bild 1: Komplexität und Vernetzung im Lackierprozess /4/

systems setzt die Berücksichtigung der Rahmenbedingungen der Lackieranlage voraus. Durch diese Daten wird festgelegt, wie viele Qualitätsmessungen notwendig sind und wie viele und welche Prozessparameter erfasst werden müssen. Erst mit diesen Informationen lässt sich die Größe eines optimal konfigurierten Qualitätssystems bestimmen. Des Weiteren lassen sich so genau die für den vorliegenden Prozess relevanten Simulationsmodelle einbeziehen. Beide Faktoren entscheiden signifikant über die Kosten und den Pflegeaufwand des Systems.

#### Erfassung der Qualitätsdaten

Welche Qualitätsdaten werden heute in der Regel erfasst? Stand der Technik ist eine visuelle Beurteilung von 100% der Karossen durch geschultes Personal, die Schmutz in jeder Ausprägung, Applikationsfehler und Materialprobleme im gewissen Rahmen (wie zum Beispiel Läuferneigung durch Viskositätsschwankungen) erkennen. Des Weiteren erfolgt eine manuelle messtechnische Beurteilung von Stichproben (Gesamt- und Einzel-Schichtdicke, Verlauf, Farbton) deren Umfang von der Kapazität des Personals abhängt.

Wie bereits erwähnt, sind die Anforderungen an die Qualitätsdatenerfassung in letzter Zeit stark gestiegen. Durch die Verwendung immer komplexerer Lacksysteme werden die zur Verfügung stehenden Prozessfenster immer schmaler. So erproben derzeit nahezu alle Automobilhersteller füllerlose Decklacksysteme. Für diese ist eine lückenlose Überwachung der Schichtdicke der Basislackschicht an 100% der Bauteiloberfläche von extremer Bedeutung, da bei einer Unterbeschichtung in dieser Schicht das darunter liegende KTL-Material nicht mehr ausreichend gegen das UV-Licht geschützt ist und es so zu Delaminationen kommt.

Bei einigen Automobilherstellern werden zur umfangreicheren Qualitätsdatenerfassung Messroboter eingesetzt. Es werden hierbei zwei Wege beschritten. Beim ersten Ansatz wer-

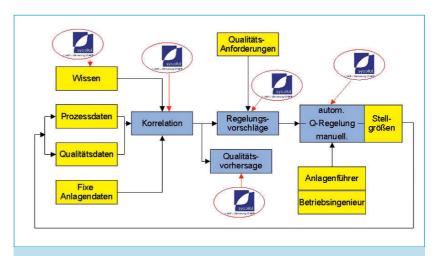


Bild 2: Aufbau einer Qualitätsvorhersage und -regelung

den die Schichtdicken im Nasszustand direkt nach der Applikation gemessen, um möglichst schnell Probleme zu erkennen und in den Prozess eingreifen zu können /2/. Beim zweiten Konzept werden umfassende Qualitätsdaten (Einzelschichtdicken, Verlauf und Farbton) auf der trockenen Karosse gemessen, was eine ganzheitliche Beurteilung der Qualität ermöglicht /3/.

Beide Konzepte haben den Mangel, dass die Messzyklus-Zeiten für mehrere Qualitätskriterien extrem lang sind und deshalb bestenfalls entweder nur einzelne Karossen oder nur sehr wenige Stellen auf vielen Karossen vermessen werden können. Dies wird sich auch in absehbarer Zukunft nicht wesentlich ändern. Wenn man jedoch gewährleisten muss, dass möglichst viele Messpunkte auf allen produzierten Karossen vermessen werden, ist es in der Regel notwendig, mehrere Roboter einzusetzen, was sich in einem enormen Invest- und Wartungsaufwand niederschlägt.

Generell muss beim Einsatz von Messrobotern vermieden werden, dass in einer Lackierlinie mehr Messroboter als Lackierroboter stehen. Ein erhebliches Problem ist, dass aus physikalischen Gründen nicht an jedem geometrischen Ort der Karosse gemessen werden kann und man daher auch keine 100%-Aussage erhält, egal wie viele Roboter man einsetzt. Die Aussage "90% der Fläche besitzt eine i.O.-Schichtdicke" hilft dem Lackierer im Falle der beschriebenen Gefahr einer

Delamination nicht weiter. Der alleinige Einsatz von Messrobotern kann daher das Problem der Schichtdickenüberwachung bei füllerlosen Decklacksystemen nicht lösen. Der ganzheitliche Ansatz von Syspilot geht deshalb darüber hinaus und bezieht die Prozessdaten mit ein.

## Prozessdaten in die Messung mit einbeziehen

Da die Erfassung sämtlicher Prozessdaten sehr aufwändig, kosten- und auf Dauer sehr pflegeintensiv ist, sollten nur die wirklich wichtigen Prozessparameter erfasst werden. Zu den Kriterien für die Auswahl gehören neben Karossentypen-Vielfalt, Geometriedaten und Farbfächer auch Material-Mix und die Art der Applikations- sowie Anlagentechnik. Die notwendige Sensorik ist in Neuanlagen Standard und bedarf in der Regel keiner zusätzlichen Installationen.

Zur Auswertung der Prozess-Signale gibt es auf dem Markt eine Reihe von Messdaten-Erfassungssystemen, die von kleinen handlichen Tools bis zu luxuriösen, aber aufwändig bedienund pflegbaren All-inclusive-Systemen reichen. Entsprechend den Anforderungen kann man das passende System mit dem besten Kosten-Nutzen-Verhältnis einsetzen. Die Entwicklungen von Syspilot gehen dahin, dass die Messdaten-Erfassung in die Steuerungen/Anlagenvisualisierungen integriert

- Kontinuierliche Erfassung von Prozess- und Qualitätsdaten
- Implementierung statistischer Analysen
- Übertragung des Lackierwissens in komplexe mathematische Algorithmen

### > Regelungsvorschläge werden dem Anlagenführer visualisiert

- Spezialisten beurteilen die Regelungsvorschläge und veranlassen Änderung der Stellgrößen
- Ausbildung der vorhandenen Anlagenführer zur Bedienung des Q-Systems
- Erfahrungsaufbau

#### Manuelle Qualitätsregelung

- Nur noch wenige Anlagenführer notwendig für nicht klare Fälle
- Einzelne "Spezialisten" unterstützen und implementieren neue Erkenntnisse
- Qualitäts- und Prozessoptimierungsteams müssen nicht ausgebaut werden
- Automatische Qualitätsregelung

Tabelle 1: Ablaufplan zur Implementierung einer Qualitätsregelung

wird, und so die Notwendigkeit eines externen Messdaten-Erfassungssystems nicht mehr gegeben ist.

### Was können Simulationsmodelle leisten?

Aus der Literatur ist bekannt, wie komplex und hochgradig vernetzt das Zusammenspiel der Lackierparameter ist /4/ (siehe Bild 1). In den letzten Jahren wurden erfreulicherweise sehr viele Fortschritte beim Thema Lackiersimulation erzielt /5-8/. Gerade in Bezug auf Auftragswirkungsgrade, Schichtdickensimulationen, Kabinenund Trocknerströmungsberechnungen sowie beim Thema Korrelation Appli-

kationsprozessdaten mit Qualitätsdaten wurden große Erfolge erzielt. Hierdurch entstand die Hoffnung, die Qualität quasi ab-initio aus den Prozessdaten berechnen zu können. Wenn man alle relevanten Prozessdaten in ausreichender Genauigkeit besitzt und die Beziehungen zwischen den Größen klar definiert sind, sollte sich die Qualität vorausberechnen lassen. Dieser Ansatz lässt sich heute aus zwei Gründen noch nicht realisieren. Erstens sind trotz intensiver Forschungen und Simulationen längst noch nicht alle Wechselwirkungen so weit bekannt, dass sie exakt quantifizierbar sind und zweitens sind die Lackeigenschaften und deren Veränderungen noch nicht ausreichend erfassbar.

> Umsetzungsgrad beziehungsweise -zeitpunkt

Erprobung automatische Störungsmeldung abgeschlossen
Qualitätsvorhersage Schichtdicke 12.2004
Automatische Regelungsvorschläge zur manuellen Stellgrößenveränderung 2005
Qualitätsvorhersage Verlauf und Farbton 2005-6
Ganzheitliche Qualitätsvorhersage 2006
Automatische Qualitätsregelung mit manueller Bestätigung 2007
Vollautomatische Qualitätsregelung 2008

Tabelle 2: Zeitplan zur Einführung von "Quality-pilot"

Die Überwachung der Viskosität mittels Online-Viskosimeter /9/ oder auch sehr elegant durch Verfahren zur Online-Viskositäts-Berechnung, wie sie von Syspilot entwickelt wurden, und damit den Einsatz von Viskosimetern in den Ringleitungen erübrigen, ermöglicht es zwar schon, sehr viele Veränderungen im Lack zu detektieren, ist aber zur umfassenden Beschreibung des Lacks nicht ausreichend.

Zur Umsetzung des oben definierten Qualitätssystems werden nun die für den speziellen Fall notwendigen Simulationsmodelle und Forschungsergebnisse ausgewählt und unter Berücksichtigung von umfangreichem Praxiswissen bewertet.

### Kombination "Berechnung plus Messung"

Der mit Abstand effektivste Ansatz zur Qualitätsdatenbestimmung liegt zurzeit in einer intelligenten Kombination der beiden oben beschriebenen Verfahren, wie sie auch bei "Qualitypilot" eingesetzt wird.

Einzelne Messroboter vermessen hierbei wenige definierte Punkte auf der Karosse. Durch dieses Verfahren werden eindeutig großflächige Schichtdickenabweichungen, zum Beispiel durch Veränderung der Lackeigenschaften oder der Kabinenbedingungen, erkannt. Durch die automatische Überwachung der wichtigen Prozessparameter aller Zerstäuber zu jeder Zeit der Applikation können Fehler im Applikationsprozess erkannt werden, die zu nur lokal begrenzten Unterbeschichtungen an einzelnen Karossen führen. Diese Unterbeschichtungen können kleiner als das Messraster eines Roboters sein oder an Stellen liegen, die aus geometrischen Gründen nicht messbar sind und daher durch ein reines Messrobotersystem nicht erkannt werden.

Durch die Kombination der Analyse der wichtigsten Prozessparameter mit den stichprobenartigen Messungen eines Messroboters ist es möglich, eine fundierte Qualitätsvorhersage für die gesamte Karosse zu machen. Die für eine Ab-initio-Berechnung fehlenden Informationen werden durch die Normierung der berechneten Qualitätsergebnisse mit Hilfe der stichprobenartigen Messungen kompensiert. Durch dieses Verfahren wird eine 100%-Bauteilflächenüberwachung ermöglicht.

### Automatische Qualitätsregelung

Die Qualitätsvorhersage stellt aber nur den ersten Schritt auf dem Weg zur automatischen Lackierung dar. Der zweite logische Step ist die intelligente, zuerst manuelle, in der Endausbaustufe dann automatische Qualitätsregelung. Um dieses ehrgeizige Ziel zu erreichen, ist ein strategisches Vorgehen notwendig. In Bild 2 ist der Ablauf schematisch dargestellt; es wird gezeigt, an welchen Stellen externe Spezialisten zum Einsatz kommen können.

# Einführung eines Qualitätssystems

Im Folgenden wird die Einführung eines Qualitätssystem am Beispiel von "Quality-pilot" beschrieben. In der ersten Phase wird nach der Aufnahme der Rahmenbedingungen und der daraus resultierenden Anforderungen an die Qualitäts- und Prozessdatenerfassung eine geeignete Datenverarbeitung implementiert. Anschließend werden die notwendigen Simulationsmodelle definiert. Mit den Daten werden statistische Analysen durchgeführt, um echte Abweichungen von "Geistereffekten" zu unterscheiden. Das vorhandene umfassende Prozessund Simulationswissen wird anschließend in komplexe mathematische Algorithmen übertragen, die kontinuierlich aus den Prozessdaten Qualitätsberechnungen beziehungsweise Qualitätsvorhersagen generieren. Diese ziehen wiederum Regelungsvorschläge nach sich (siehe Tabelle1).

Spezialisten beurteilen diese Regelungsvorschläge und veranlassen die Änderung der Stellgrößen. Parallel hierzu erfolgt die Ausbildung der Anlagenführer zur Bedienung des Qua-

litätssystems. Ein ganz wichtiger Punkt in dieser Projektphase "manuelle Qualitätsregelung" ist der Erfahrungsaufbau mit dem Qualitätssystem. Das erlangte Know-how wird direkt wieder in immer effektivere Algorithmen übertragen, die dann wiederum eine verbesserte Qualitätsvorhersage beziehungsweise verbesserte Regelungsvorschläge ergeben.

Nach einem ausführlichen Testlauf schließt sich dann die Projektphase "automatische Qualitätsregelung" an. Die Anzahl der notwendigen Anlagenführer reduziert sich hierbei, da nur noch die unklaren Fälle von ihnen beurteilt werden müssen. Sie werden von einzelnen Spezialisten unterstützt, die gleichzeitig kontinuierlich die neuen Erkenntnisse in Algorithmen umwandeln und im System implementieren.

Ein weiterer Vorteil dieses automatischen Qualitätsregelungssystems ist auch, dass bestehende Qualitäts- und Prozessoptimierungsteams nicht weiter ausgebaut werden müssen, um die immer komplexeren Prozesse zu beherrschen. Durch den permanent steigenden Wissensanteil wird mit der Zeit die Normierung mit den mittels Roboter erfassten Qualitätsdaten immer unwichtiger, so dass in der Endausbaustufe auf den kostenintensiven Einsatz dieser Roboter in Neuanlagen verzichtet werden kann. Der mehrjährige Einsatz mehrerer hundert von Syspilot implementierten Algorithmen in unterschiedlichsten Lackieranlagen stellt eine fundierte Erfahrungsgrundlage dar, auf der erste Qualitätsvorhersagen bereits erfolgreich getestet wurden.

Eine umfassende Qualitätsvorhersage auf der Basis des Zusammenspiels von Messungen und Simulationen wird in den nächsten Jahren umgesetzt werden und schrittweise in die automatische Qualitätsregelung münden. Der Zeitplan für die Einführung eines Qualitätskonzeptes am Beispiel von "Quality-pilot" ist in Tabelle2 dargestellt.

Das von Syspilot entwickelte ganzheitliche und intelligente Qualitätskonzept "Quality-pilot", bei dem Messung und Simulation Hand in Hand gehen, gibt Automobilherstellern und Zulieferern die erforderlichen Instrumente in die Hand, um den künftigen Qualitäts-Herausforderungen effektiv begegnen zu können.

#### Literatur:

|1| Leisin; Gut – besser – optimal, JOT Journal für Oberflächentechnik, 42 (9/2002); S. 46-53

/2/ Hayk et al.; Online Film Thickness Measurement in Practice at Audi; JOT Automotive Surface Technology 5/2001, S. 64-67 /3/ DePascalis; Automatisierte Qualitätsanalyse (AQUA) in der Lackiererei; European Automotive Coating – 11. DFO Automobiltagung; Maastricht, 2004

/4/ Leisin; Vollständige Kontrolle der Applikationstechnik und -verfahren; Automobilkreis-Special-Tagung; Bad Nauheim; 1999 /5/ Domnick; Willkommen in der Zukunft – Virtuelle Lackierung als Teil der digitalen Fabrik" mo – metalloberfläche, 57 (1-2/2003), S. 27-31

|6| Eickmeyer; Automatische Berechnung der Applikationsparameter; JOT Journal für Oberflächentechnik, 44 (6|2004); S. 34-41 |7| Tiedje, Behr; Eine Rechnung die aufgeht - Schnelle und anwendbare Prozesssimulation; mo – metalloberfläche, 57 (11|2003), S. 56-59

/8/ Wolff, Gloistein; Automatisches Prozessüberwachungssystem zur frühzeitigen Mängelerkennung an Lackieranlagen; Internationaler Rohbau-Expertenkreis; Fellbach, 2002 /9/ Gehm, Richtig messen – Kosten sparen durch Online-Viskositätsmessung von Wasserlacken; mo – metalloberfläche, 57 (10/2003), S. 33-34

Der Autor: Dr. Ulrich Gloistein, syspilot Industrie Consulting GmbH, Böblingen, Tel. 0 70 31/76 39 121, ulrich.gloistein@syspilot-c.de