

Selbstprogrammierende Lackierzelle

Für eine vollautomatische Lackierung bis Losgröße 1 entwickeln Wissenschaftler in dem aktuellen Forschungsprojekt „SelfPaint“ eine selbstprogrammierende Lackierzelle. 3D-Objekterfassungen, Lackiersimulationen und Terahertz-Messung sollen künftig eine flexible und ressourcenschonende Lackapplikation ermöglichen.

Nico Güttler

Individuelle beziehungsweise personalisierte Produkte rücken zunehmend in den Fokus. Im Hinblick auf die Produktion führt dies zu einer steigenden Komplexität des Produktionsbetriebes. Dies betrifft vor allem die Roboterlackierung in Losgröße 1, für die bisher nur sehr wenige Lösungsansätze existieren. In dem laufenden Kooperationsprojekt „SelfPaint“ der Fraunhofer-Institute IPA (Stuttgart), ITWM (Kaiserslautern) und

FCC (Göteborg) entwickeln die Wissenschaftler eine selbstprogrammierende Lackierzelle, die eine vollautomatische Lackierung – bis hin zur Losgröße 1 – ermöglichen soll. Das Projekt wurde im Februar 2016 gestartet und läuft über drei Jahre. Begleitet werden die Institute von Industrieunternehmen aus den Bereichen Lackverarbeitung, Lackherstellung sowie dem Lackieranlagenbau. Die Umsetzung der Idee erfolgt im Sinne der Digitalisie-

rung in Form eines cyber-physischen Produktionssystems (Bild 1). Die Architektur der selbstprogrammierenden Lackierzelle gliedert sich in vier wesentliche Module. Im ersten Modul wird das zu lackierende Teil, in Bild 1 am Beispiel eines Stuhles, über eine 3D-Objekterfassung digitalisiert. In der Cloud, die das zweite Modul darstellt, wird auf Basis von Projektionsmethoden und multiphysikalischen Simulationen ein Lackierpfad

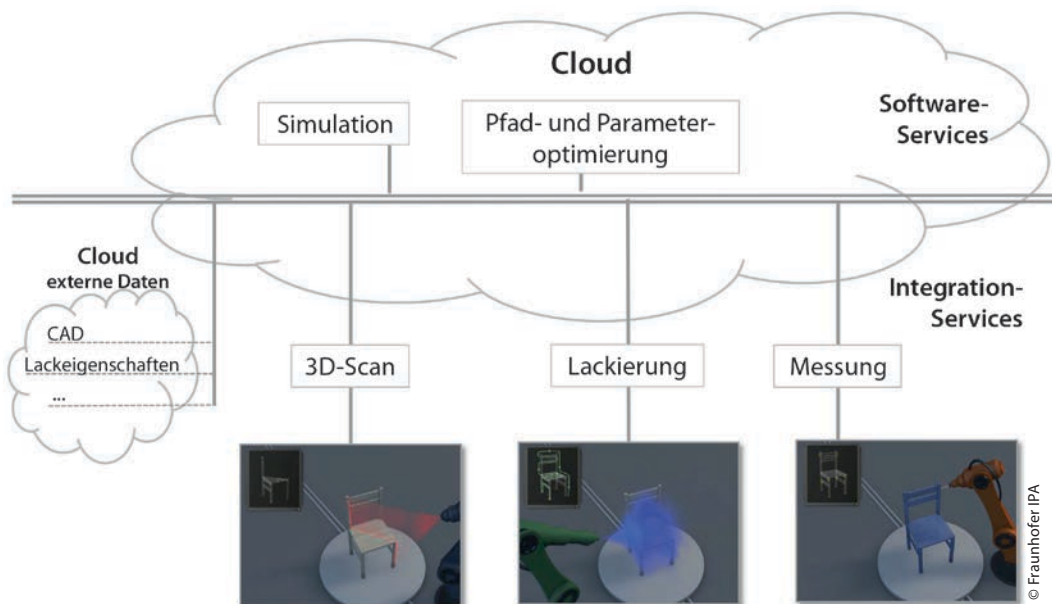


Bild 1 > Cloud-Architektur eines cyber-physischen Produktionssystems für eine selbstprogrammierende Lackierzelle.



©Fraunhofer IPA

Bild 2 > Physikbasierende Simulation unterteilt in Near-Bell und Laydown-Simulation.

und Applikationsparameter berechnet und anschließend auf dem Lackierroboter eingespielt. Nach der Lackierung, dem dritten Modul, erfolgt im vierten Modul eine Qualitätskontrolle auf Basis eines robotergeführten, berührungslosen Schichtdickenmessgerätes mittels Terahertz-Technologie, da bei Losgröße 1 eine 100%-Überwachung nötig ist.

Virtuellen Zwilling erzeugen

Bei der 3D-Objekterfassung wird mit Hilfe des „Kinect-Fusion“-Algorithmus von Microsoft eine Punktwolke des zu lackierenden Objektes digital erfasst. Mit angepassten Algorithmen wird anschließend ein Positionsabgleich zwischen der vorliegenden CAD-Zeichnung des Bauteiles und der detektierten Punktwolke durchgeführt. Es werden Positionsangaben des Objektes im realen Raum ermittelt und anschließend an die Simulationssoftware in der Cloud übergeben.

Anschließend erfolgt im zweiten Modul die Planung und Optimierung von La-

ckierbahnen am virtuellen Zwilling des Originalbauteiles auf Basis von Projektionen und physikbasierenden Simulationen. Die Projektionsmethode nutzt ein statisches, simuliertes Spritzbild und wird nach dem Prinzip einer Taschenlampe zur Erzeugung einer Schichtdickenverteilung genutzt. Physikbasierende Simulationen simulieren auf Grundlagen der Strömungsmechanik und numerischer Mathematik ein reales Spray. Um in kürzester Zeit mit hoher Präzision Lackierbahnen zu erzeugen, werden beide Simulationen miteinander kombiniert.

Lackierbahn mittels physikbasierter Simulation bestimmen

Die physikbasierende Simulation wird, um den Rechenaufwand weiter zu reduzieren, in eine Simulation nahe dem Hochrotationszerstäuber (Near-Bell) und in eine dynamische Schichtdickensimulation (Laydown) geteilt (Bild 2). In der Near-Bell-Simulation müssen über ein feines Diskretisierungsgitter die großen phy-



Leutenegger + Frei AG

Beschichtungsanlagen

- Komplett Pulverbeschichtungsanlagen und Nasslackieranlagen
- Umbauten/Erweiterungen
- Takt- oder Durchlaufanlagen
- Schlüsselfertig inkl. Montage, Steuerung und Installation

Vorbehandlungsanlagen

- Zum Reinigen und Vorbehandeln von Objekten
- Sprühanlagen oder Tauchbadanlagen
- Takt- oder Durchlaufanlagen

Nasslackierkabinen

- Zum Beschichten der Objekte
- Nasslackierkabinen oder Lackier-Sprühstände

Öfen und Trockner

- Haftwassertrockner, Einbrennöfen, Nasslacktrockner
- Spezialöfen
- Hochtemperaturöfen bis 500 °C
- Energieträger: Gas, Öl, Elektro, Hackschnitzel

Transportsysteme

- Zum Transportieren der Objekte durch die gesamte Anlage
- Power+Free-Systeme, Handschiebebahnen, Kreisförderanlagen
- Senkstationen, Gehänge-Lifte (Vertikal-Lifte)
- Integration von Roboter- und Handlings-Anlagen



www.leutenegger.com



Gesamtlösungen
Oberflächentechnik.

L+F lohnt sich.

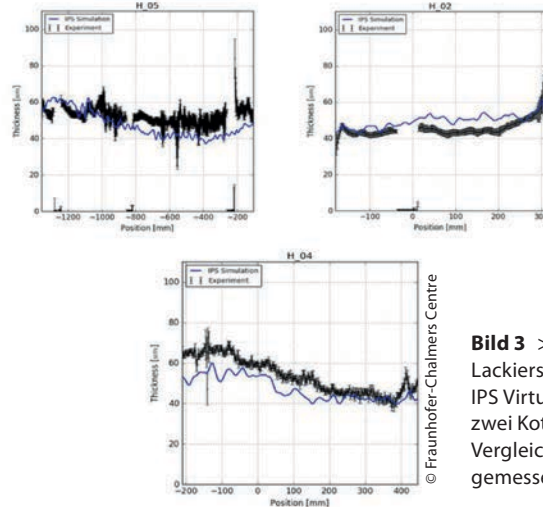


Bild 3 > Multiphysikalische Lackiersimulation (links) mittels IPS Virtual Paint am Beispiel von zwei Kotschützern und deren Vergleich mit experimentell gemessenen Schichtdicken (rechts).

sikalischen Gradienten der Lenkluftströmung numerisch gelöst werden. Die erforderten Rechenkapazitäten werden mit einem Hochleistungsrechner bewerkstelligt. Daher wird diese Simulation in einem Offline-Prozess durchgeführt und die Ergebnisse in einer Datenbank gespeichert.

Wichtiger Bestandteil aktueller Forschung am Fraunhofer IPA stellt hierbei die Modellierung der Rand- und Anfangsbedingungen, wie die elektrostatische Ladung der Lacktröpfchen, dar. Die Entwicklung und Validierung der Modelle werden mittels optischer Messmethoden durchgeführt, beispielsweise mit Hilfe der Phasen-Doppler-Anemometrie und der Laserbeugung.

Die Laydown-Simulation beruht auf einer rechenzeitoptimierten Methode, die in der verwendeten Multiphysik-Software IPS Virtual Paint eingesetzt wird. Die Entwicklung effizienter Algorithmen zur Optimierung von Lackierbahnen und deren Implementierung in eine userfreundliche Software wird hierbei maßgeblich

vom Fraunhofer-Chalmers Centre vorangetrieben.

Die Kopplung der Near-Bell-Simulation mit der Laydown-Simulation erfolgt über eine Datenbank, auf die im Online-Prozess in Echtzeit zugegriffen wird. Ziel dieser instationären, dynamischen Lackiersimulation ist die Berechnung der Tröpfchenflugbahnen und die Erzeugung einer Schichtdickenverteilung auf dem zu lackierenden Objekt.

Projektionsbasiertes Optimierungsverfahren

Im Projekt „SelfPaint“ wurde die dynamische Lackiersimulation anhand eines Kotschützers durchgeführt und validiert (Bild 3). Trotz der für numerische Fluidsimulation kurzen Rechenzeit und der Option den Prozess auf mehrere Grafikkards zu parallelisieren ist die Simulationszeit für eine iterative Optimierung eines Lackierpfades zu hoch. Mit der Projektionssimulation lässt sich bei bekanntem stationär simuliertem Spritzbild eine Pfa-

doptimierung in nur wenigen Minuten durchführen.

Iterative Verfahren beginnen mit einem Startwert, der in der selbstprogrammierenden Lackierzelle den initialen Lackierpfad darstellt. In dem gradientenbasierten Optimierungsalgorithmus wurden definierte Rahmenbedingungen und Regeln aus der Lackierpraxis eingearbeitet, um realitätsnahe Ergebnisse zu erzeugen.

Im Anschluss an das projektionsbasierte Optimierungsverfahren werden mittels multiphysikalischer Simulation eine Feinjustierung sowie eine Geschwindigkeitsoptimierung durchgeführt. Der optimierte Pfad wird in der Schnittstelle zum Roboter einer Kollisionsprüfung unterzogen und anschließend automatisch auf dem Roboter eingespielt.

Die Lackierlinie am Fraunhofer IPA wird für folgende Aufgaben eingesetzt:

- Erzeugung der benötigten Eingangsbedingungen für die Simulationen
- Validierung der Simulations- und Schichtdickenmessergebnisse
- Aufbau eines Demonstrators.

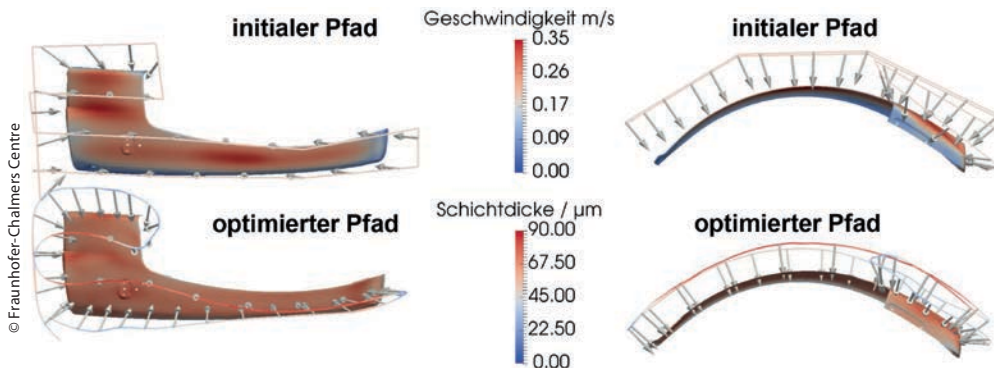


Bild 4 > Pfadoptimierung mittels Projektionssimulation und gradientenbasierten Optimierungsverfahren bei fixierten Applikationsparametern und einer Zielschichtdicke von 70 µm.

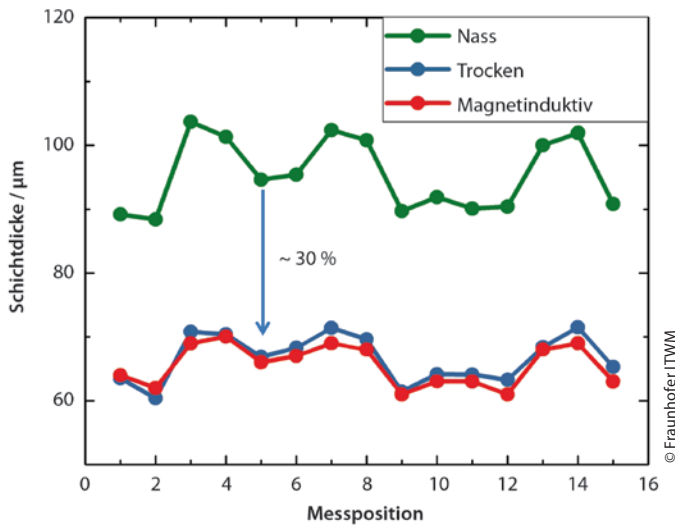


Bild 5 > Mittels Terahertz-Technik ermittelte Schichtdicke im nassen und trockenen Zustand. Magnetinduktive Verfahren bestätigen die Terahertz-Messungen im trockenen Zustand.

für die Messung an komplexen 3D-Bauteilen, wird unter anderem über eine 20 Meter lange Zuleitung gewährleistet.

Mit der Terahertz-Schichtdickenmesstechnik werden neben der Endkontrolle am realen Bauteil auch die Schichtdickeninformationen zur Validierungen der simulierten Schichtdickenverteilung bereitgestellt.

Im Rahmen einer Messkampagne am Fraunhofer IPA wurden rund 50.000 Messungen durchgeführt, bei der folgende Lacksysteme miteinander verglichen wurden:

- Wasserbasislacke
- Lösemittellacke
- Unilacke
- Metalllacke.

Die Ergebnisse zeigen eine sehr gute Übereinstimmung mit bekannten magnetinduktiven Verfahren (*Bild 5*). Da die Terahertz-Technologie eine kontaktlose Messung der Schichtdicke am Nasslackfilm erlaubt, sind zusätzlich Zeit-, Energie- und Kosteneinsparungen möglich.

Schichtdickenmessung mittels Terahertz-Technik

Das vom Fraunhofer ITWM entwickelte berührungslose Schichtdickenmesssystem auf Basis der Terahertz-Technik

ermöglicht eine Messung von Einzelschichtdicken in Mehrschichtlackierungen mit einer Reproduzierbarkeit von unter einem Mikrometer. Der flexible Einsatz des robotergeführten Messkopfs für unterschiedliche Anwendungen, beispielsweise



OBERFLÄCHENTECHNIK

ZUKUNFT BRAUCHT VISIONEN

- » 2- und 3-Komponenten-Anlagen
- » Roboterapplikationstechnik
- » Elektrostatische Lackier- und Pulveranlagen
- » Farbversorgungssysteme

- » Dosier- und Mischanlagen
- » Konventionelle Farbspritztechnik
- » Destilliergeräte
- » Airlessgeräte

www.ls-oberflaechentechnik.de



© Fraunhofer IPA

Bild 6 > Lackierung der Kotschützer zur Validierung.

Ausblick

In den nächsten Arbeitspaketen des Forschungsvorhabens werden die Schnittstellen zwischen den Modulen weiterentwickelt und automatisiert. Zum Ende des Projektes (Anfang 2019) wird ein Demonstrator im Lackier-Technikum des Fraunhofer IPA aufgebaut sein.

Die Idee und die bisherigen Erfolge im Projekt „SelfPaint“ zeigen, wie die zukünftige Lackapplikation flexibler und zugleich ressourcenschonender gestaltet werden kann. Der modulare Aufbau ermöglicht einen Einsatz der entwickelten Software und Technologien über die selbstprogrammierende Lackierzelle hinaus und lässt sich auch in bestehende Lackieranlagen integrieren. //

Der Autor

Nico Güttler,

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung
Nassapplikation und Simulationstechnik,
Stuttgart
Tel. 0711 970 1350,
nico.guettler@ipa.fraunhofer.de
www.ipa.fraunhofer.de

Kontakte

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA

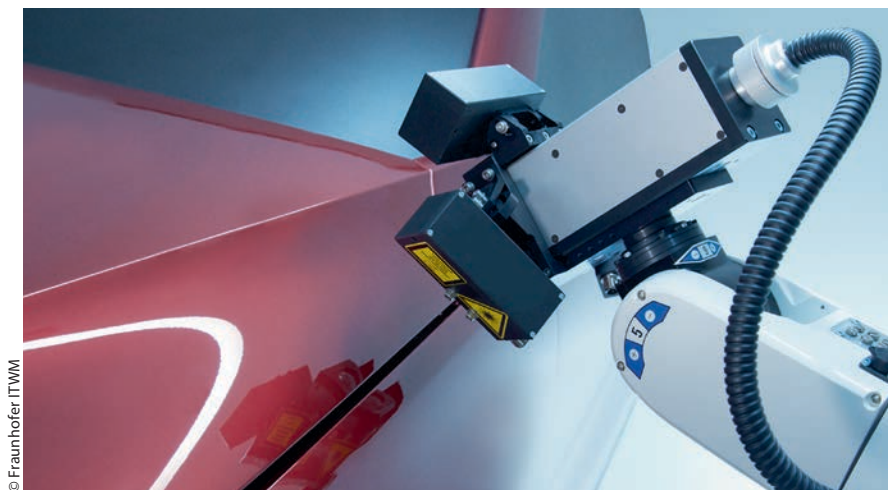
Nassapplikation und Simulationstechnik,
Stuttgart
Dr. Oliver Tiedje, Tel. 0711 970 1773
oliver.tiedje@ipa.fraunhofer.de
www.ipa.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM

Materialcharakterisierung und -prüfung,
Kaiserlautern
Dr. Joachim Jonuscheit, Tel. 0631 31600 4911
joachim.jonuscheit@itwm.fraunhofer.de
www.itwm.fraunhofer.de

Fraunhofer-Chalmers Centre, Computational Engineering and Design

SE-Göteborg, Fredrik Edelvik, PhD,
Associate Professor
Tel. +46 31772 4246,
fredrik.edelvik@fcc.chalmers.se
www.fcc.chalmers.se



© Fraunhofer ITWM

Bild 7 > Terahertz-Schichtdickenmesssystem mit externem sensorisch gesteuertem Messkopf.



© Fraunhofer IPA

Bild 8 > Messung der Tröpfchengrößenverteilung mittels Laserbeugung.