



Metallbau Ferk, Österreich

## Roboterapplikation mit Gema

Wenn höchste Flexibilität und einwandfreie Beschichtungsqualität gefordert sind, ist der Roboter die Lösung.

Eigens für die Beschichtungsindustrie entwickelte Mehrachsenroboter sind mit moderner Pulverapplikationstechnologie ausgestattet. Einmal programmiert, beschichten die Roboter auf effiziente Weise Teile wie von Zauberhand in höchster Qualität.

Die Vorteile von gleichmässigen und reproduzierbaren Beschichtungsresultaten, Kostenreduktion durch erhöhten Wirkungsgrad, Optimierung der Lohnkosten, Verbesserung des Durchsatzes, einfache Anpassungen und Speicherung verschiedenster Programme und sicherer wie verbesserter Arbeitsbedingungen liegen auf der Hand. Es besteht kein Zweifel, dass in Zukunft

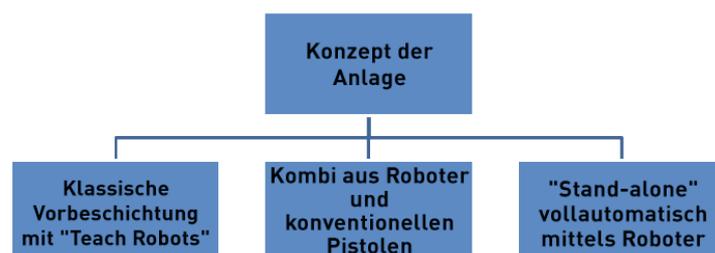
die Beschichtung zunehmend dem flexiblen und effizienten Applikationsprozess mittels Robotern weichen wird.

Dabei spielt es keine Rolle, welches Anlagenkonzept verfolgt wird. Klassisch wurden Anfang dieses Jahrhunderts bei Handanlagen die Handbeschichter zwecks Prozessstabilisierung substituiert, dies vor allem an stehenden Teilen. Bei Kombianlagen (pendelnde Achsen ergänzt mit Roboterstationen) mit laufendem Förderer wird der Roboter zur

Substitution oder Entlastung des Handbeschichters eingesetzt, um beispielsweise wiederkehrende Innenkonturen und Ecken zu beschichten.

Automatikanlagen mit wiederkehrendem Teilespektrum, welche im 3-Schichtbetrieb laufen und vollautomatisch mit mehreren Robotern beschichten, bilden das Stand-alone-Konzept.

Die Fördergeschwindigkeit liegt tendenziell eher im tiefen Bereich bis 2m/min, kann aber je nach Teilekomplexität auch 5m/min betragen.



Ist einmal der auf das zu beschichtende Objekt zugeschnittene Bewegungsablauf programmiert, stellen Roboter sicher, dass die Pistolen mit der richtigen Geschwindigkeit, Neigung und Position arbeiten, um die erforderlichen Oberflächenqualitäten bei einem minimalen Pulververbrauch zu erreichen.

Die einmal definierten Programme lassen sich wieder abrufen und die Beschichtung absolut reproduzieren. Roboter können auf unterschiedliche Art und Weise programmiert werden. Dazu stehen je nach Roboterhersteller verschiedene Technologien zur Verfügung. Die intuitiven und verständlichen Bedieneroberflächen erfordern aber trotz ihrer Einfachheit vom Bediener vertiefte Kenntnisse und eine Vertrautheit zum Beschichtungsprozess, um das volle Potential auszuschöpfen.

Viele beeindruckende, auf eine Produktgruppe abgestimmte und integrierte Roboterlösungen, sind in der allgemeinen Beschichtungsindustrie mit unterschiedlichen Beschichtungsaufgaben nur bedingt verwendbar. Um den richtigen Roboter für seine Anwendung zu finden, sind vorabgehend umfassende Analysen der Anforderungen zu führen. Kriterien wie Teilespektrum bestimmen die Reichweiten des Roboters, Kapazitätsforderungen führen zur Frage der benötigten Anzahl an Robotern und Beschichtungsgeräten sowie Durchlauf- oder Stopp-Go-Förderung. Die Art und Weise der Programmerstellung, Programmübergabe, Farbwechsel, Kommunikationsschnittstellen, Sicherheitskonzept, Montage usw. resultieren in einer komplexen Aufgabestellung. Nicht zuletzt muss die passende Beschichtungstechnik gefunden werden und das Beschichtungsergebnis den Erwartungen standhalten.

Ein Roboter wird erst durch die Integration eines Beschichtungsgerätes zum Beschichtungsroboter.

Gema liefert nebst den Beschichtungspistolen auch die individuellen Befestigungsadapter für die Anbindung an den Roboterarm eines jeglichen Roboteranbieters, sowie die nötige Signalkommunikation zwischen Robotersteuerung und Beschichtungspistole, damit der Beschichtungsstart und -stoppunkt

genau erfolgt. Zusätzlich ist auch über moderne Industriebussysteme der Datenaustausch von Beschichtungsparametern abgedeckt. Zur optimalen Anbindung der Pistolen an den Roboter gehört auch eine 3D Datei der eingesetzten Pistolen, um dem Roboterintegrator eindeutig die nötigen Informationen zur Festlegung des Tool Center Points (TCP) mitzugeben. Als TCP wird in der Robotik das letzte Element der kinematischen Kette (Aneinanderreihung aller bewegten Teile und Gelenke des Roboters) bezeichnet. Es ist der ausschlaggebende Punkt, für den die Positionierungsanforderungen gelten; bei Beschichtungsrobotern somit der Punkt des Pulveraustrittes, dem Mundstück.

Bei Roboteranwendungen ist es zwingend notwendig, dass die Objekte absolut genau und optimal positioniert am Förderer hängen, damit das Ablaufprogramm zusammen mit der Pulverbeschichtung reproduzierbare Resultate liefert. Die Wiederholgenauigkeiten des Roboters liegen je nach Hersteller im Bereich von +/- 0.05 bis 2mm.

Damit die Beschichtungsprogramme im Automatikbetrieb abgefahren werden können, muss eigens für den Roboter ein Encoder installiert werden, welcher die Fördergeschwindigkeit aufnimmt und mit dem Ablaufprogramm synchronisiert. Generell werden die Objekte stationär oder im Durchlauf beschichtet. Idealerweise passt sich ein erstelltes Programm der Fördergeschwindigkeit an.

Weiterhin ist zu beachten, dass der Einsatz von Robotern Sicherheitsrichtlinien unterliegt. Für die Beschichtungsbranche gelten zusätzlich die Richtlinie RL 2014/34 EU (Geltungsbereich für die Europäische Union) für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen.

#### **Gema Produkte zur Robotereinbindung**

Das Gema Portfolio an Applikationsgeräten für die Roboteranbindung deckt eine Vielfalt an Anwendungsfällen und Kombinationen ab. Die Pistolen sind geeignet für organisches oder Emaille-Pulver und können mit Pumpen- oder Injektor-Technologie eingesetzt werden. Sämtliche Beschichtungspistolen für den Einsatz



*Bild 1: Pistole mit winkliger Versetzung zur Anbindung am Roboterarm*



*Bild 2: Pistole mit 45° Winkelmundstück für axiale Anbindung an den Roboterarm*

mit Robotern beruhen auf der neuesten Pistolentechnologie. Sie punkten durch ihre Robustheit, Beschichtungsqualität, einer grossen Auswahl an Düsen und Mundstücken und bilden einen wichtigen Schlüssel, um komplexe Beschichtungsanforderungen zu meistern. Die hohe Transfereffizienz, d.h. wieviel Pulver am zu beschichtenden Bauteil haften bleibt, dieser neuen Generation an Pistolen erhöhen die Produktivität des Systems entscheidend und das geringe Gewicht eignet sich auch für Roboter mit niedriger Nutzlast. Es gilt für jegliche roboterunterstützte Beschichtungsaufgabe die Vorzüge professioneller Beschichtungsgeräte zu nutzen. Insbesondere bei Stand-alone Anlagen ohne nachgeschalteter Handbeschichtung kann Unzuverlässigkeit der Gerätschaften massive Sorgen bereiten. Qualitatives und zuverlässiges Beschichtungsequipment führt schlussendlich zusammen mit den Vorteilen eines Roboters zum Erfolg.

Die meisten Roboter haben heutzutage eine innere Verlegung (Bild 3) von Schlauch-, Pneumatik- und Stromleitungen. D.h. diese werden zentral innerhalb des Roboterarms geführt (Hohlarmroboter).

Dadurch erhält der Roboter eine völlige Beweglichkeit. Kollisionen zwischen Bauteil und Schlauchverlegung müssen bei der Programmierung nicht berücksichtigt werden und erlauben somit ein konturnahes Abfahren der Teile und Eindringen in Kavitäten. Mögliche Farbkontaminationen bei Farbwechselanwendungen werden durch die einfachere Reinigung der äusseren Roboterflächen ebenfalls vermieden.

Ein auf den Roboterarm zugeschnittener Adapter verbindet die Pistolen mit dem Roboter, wobei der Pistolenflansch sich entfernen lässt und dadurch die Anbindung wartungsfreundlich wird. (Bild 4)

Die Pistolen werden entweder von der OptiSpray Applikationspumpe oder vom klassischen OptiFlow Pulverinjektor mit Pulver versorgt.

Sind hochstehende Beschichtungsergebnisse über lange Zeiträume gefragt, ist die Pumpentechnologie die richtige Antwort, um konstante und reproduzierbare Qualität zu erreichen. Dabei haben lange Schlauchlängen und Biegungen im Roboterarm keinen Einfluss auf den Pulverausstoss.

Pumpen kennen keinen Verschleiss durch Pulverabrieb und somit keine Änderungen der ausgestossenen Pulvermenge über die Zeit. Die Pumpentechnologie zeichnet sich zudem durch ein äusserst präzises und schnelles Ansprechverhalten aus, sodass das Starten und Stoppen des Pulverausstosses zugleich mit dem Triggern erfolgt. Auch die Ausstossmenge lässt sich äusserst genau einstellen. Für maximalen Pulverausstoss können zwei solcher Pumpen eine Pistole versorgen und so die Produktivität steigern. (Bild 5)

Die kostengünstigeren Injektoren, die auf dem einfachen Venturiprinzip basieren, liefern gegenwärtig dank präzisen Luftströmen konstante Pulverausstösse und somit gleichbleibende Schichtdicken an den Bauteilen. Weiterentwickelte und fortschrittliche Injektorgeometrien reduzieren heutzutage den Verschleiss erheblich und ermöglichen den Austausch von Verschleissteilen werkzeuglos innert weniger Sekunden, was bei konsequenter Handhabung zu zuverlässigen und konstan-

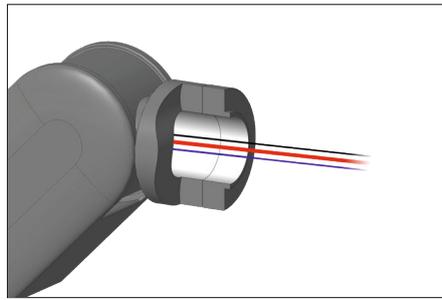


Bild 3: Roboter mit Hohlarml

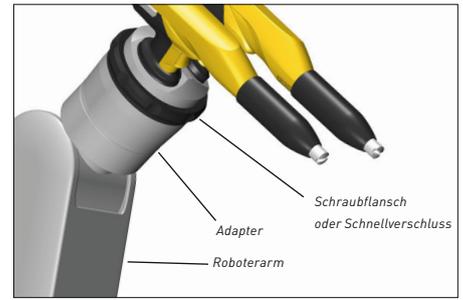


Bild 4: Pistolanbindung an einen Hohlarmlroboter; mit oder ohne Schnellverschluss



Bild 5: OptiSpray Dichtstromfördertechnologie für die höchsten Ansprüche und konstante Beschichtungsergebnisse



Bild 6: Bewährte und optimierte Pulverversorgung mit OptiFlow Injektortechnologie



Bild 7: Organisches Pulver



Bild 8: Emaillepulver



Bild 9: Einfache Pistole



Bild 10: Doppelpistole



Bild 11: Beschichtungskabine



Bild 12: Aussenabreinigungsstation für die Pistole

ten Beschichtungsergebnissen führt.

(Bild 6)

Pistolen und Pulverförderung (Pumpen wie Injektoren) sind für Applikationen mit organischen- oder Emaillpulver erhältlich. Die Bauteile für die Applikation von Emaillpulver sind eigens dafür entwickelt, um dem abrasiven Charakter dieses Pulvers entgegenzuwirken. (Bild 7 und 8)

Je nach Fördergeschwindigkeit oder benötigter Flächenleistung drängt sich eine Einfach- oder Doppelpistolenkonfiguration auf. Ein Applikator deckt je nach Teilekomplexität und Schichtstärkenanforderungen eine Flächenleistung von 0.5 bis 1.5m<sup>2</sup>/min ab. Als Planungswert kann eine durchschnittliche Flächenleistung von 1m<sup>2</sup>/min erwägt werden. (Bild 9 und 10)

Der Roboter benötigt für einen grossen Bewegungsraum entsprechend grosse Kabinenöffnungen. Dies ist bei der Auslegung des Lufthaushaltes der Kabine zu berücksichtigen. Andererseits erfordern überragende Beschichtungsergebnisse gleichmässig ruhige Luftstromströmungen in Beschichtungskabinen.

Die MagicCylinder und MagicCompact Kabinenreihe mit der patentierten EquiFlow-Technologie bieten die idealen Beschichtungsbedingungen und sind zudem äusserst geeignet für Schnellfarbenwechsel. Eine frei platzierbare Pistolenabblaseung unterstützt dabei die Aussenreinigung der Pistole und des Roboterarms. (Bild 11 und 12)

### Kommunikationsschnittstelle Roboter - Pistole

Die Aufgabe eines Roboters besteht in erster Linie darin, das Beschichtungsgerät in Position zu bringen. Die nötigen Bewegungen dazu erfolgen von einer Robotersteuerung aus. Die Beschichtungstechnologie mit all seinen Parametern und Programmen wird über eine separate Pistolensteuerung kontrolliert. Somit ist zur Synchronisation von Bewegung und Sprühen eine Schnittstelle zwischen den Steuerungen nötig.

Im einfachsten Fall, d.h. bei einer klaren Trennung zwischen Roboter- und Pistolenaufgaben koordiniert die Robo-

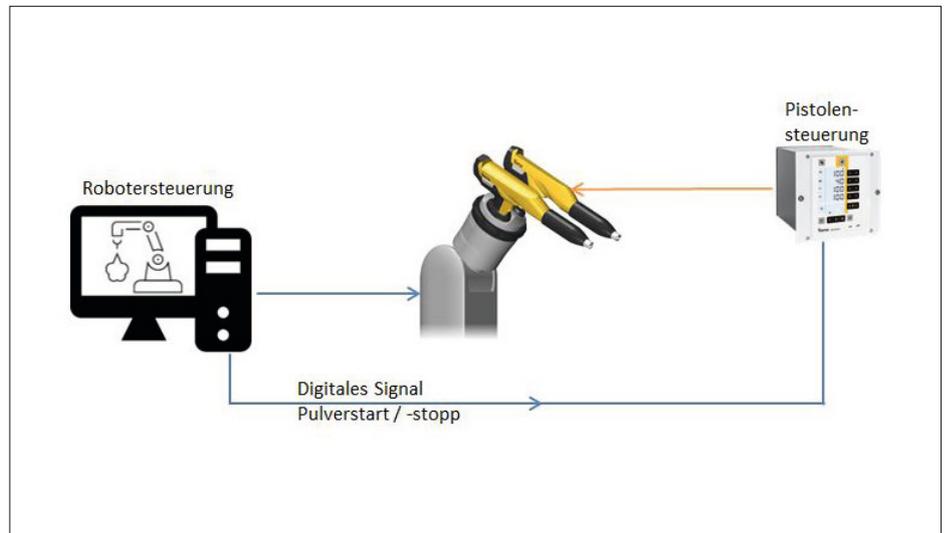


Bild 13: Klare und einfache Trennung von Steuerungsaufgaben zwischen Roboter und Pistole.

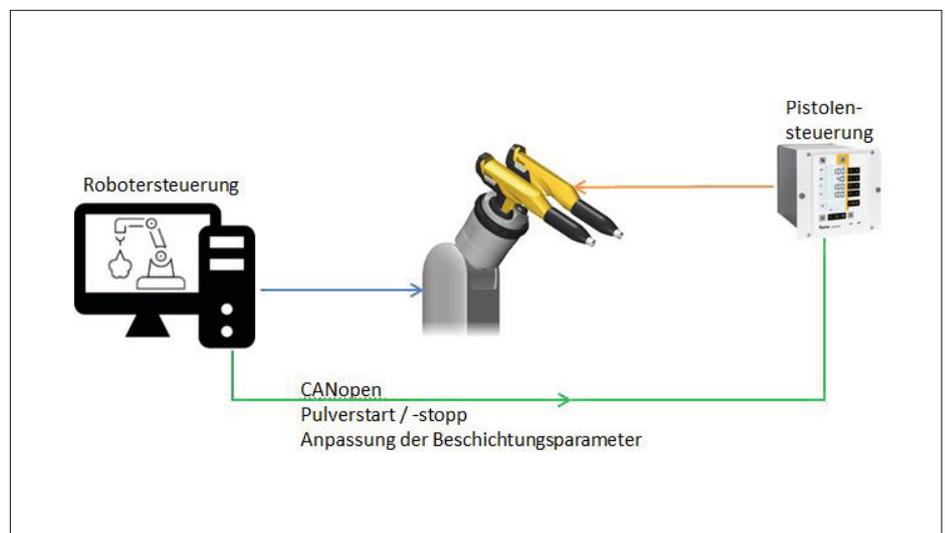


Bild 14: Direkter Zugriff des Roboters auf die Pistolensteuerung über das serielle CAN-Bussystem.

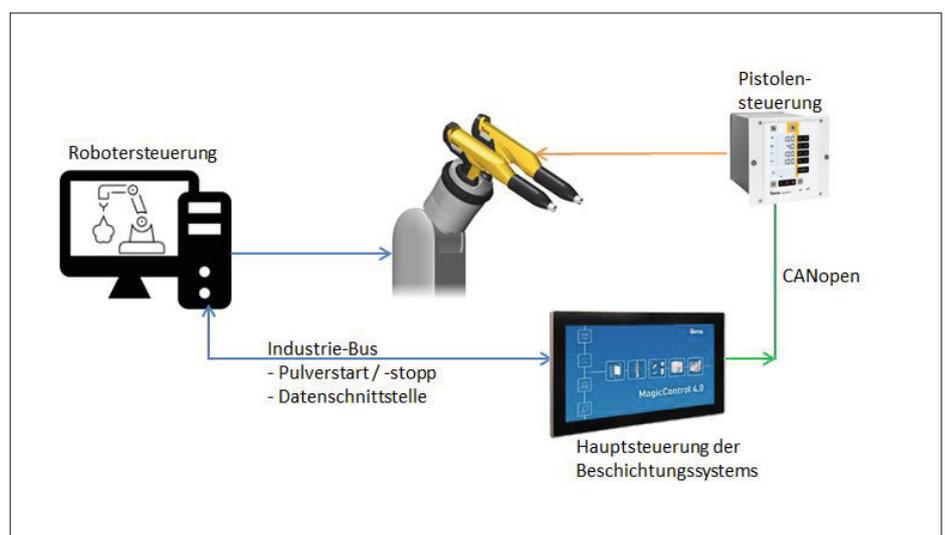


Bild 15: Einbindung der Teilebeschichtung in eine übergeordnete Anlagensteuerung

tersteuerung einerseits die roboterseitigen Aufgaben und andererseits den Zeitpunkt der Beschichtungsstart- und Stopfbefehle, durch ein einfaches digitales Signal an die Pistolensteuerung. Letztere verwaltet die Pistolenparameter bzw. die hinterlegten pistolenseitigen Programme. (Bild 13)

Verfügt die Robotersteuerung (oder eine dazugeschaltete) externe Steuerung über eine Can-Bus Schnittstelle, so erfolgt die Vernetzung zwischen Roboter- und Pistolensteuerung über das CANopen Kommunikationsprotokoll. Folgedessen kann von der Robotersteuerung direkt auf die Beschichtungsparameter oder gespeicherten Programme der Pistolensteuerung zugegriffen werden. Die nötigen Kommunikationsobjekte sind dabei Teil der Robotersteuerung. (Bild 14)

Bei einem höheren Automatisierungsgrad erfolgt die Kommunikation bidirektional zwischen Roboter (bzw. übergeordneter Anlagensteuerung) und der



Bild 16: Point-to-Point Handbediengerät



Bild 17: Self-Teaching Tools



Bild 18: Offline 3D

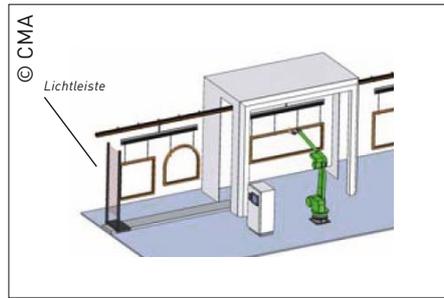


Bild 19: Automatische Programmgenerierung

Gema MagicControl Steuereinheit über einen gängigen Industrie-Bus (Profinet, Ethernet etc.). Hierbei werden Beschichtungsstart- und Stopfbefehle, pistolenseitige Programme, weitere Informationen wie Farbquittierung kommuniziert und ausgetauscht. (Bild 15)

Zukünftig wird durch die zunehmende Digitalisierung und vernetzte Produktion und auch den Ansätzen der Industrie 4.0 weitere Nutzen für den Anwender generiert. Dabei ist es wichtig, dass bereits heute die gängigen Kommunikationsprotokolle in den Steuerungen integrierbar sind.

### Programmiermethoden

Je nach Roboterhersteller, Werkstückform, Seriengröße und Qualitätsanforderungen bieten sich verschiedene Programmier-, Editier- und Nachteachingmethoden für Roboter an.

### Point-to-Point (PTP) oder Teach-In

Das traditionelle Programmieren über Koordinaten im Raum geschieht über die Tastatur oder durch Anfahren des Roboterarms an ausgewählte Stellen am Bauteil. Grundgeometrien (z.B. Kreise) vereinfachen und unterstützen dabei die Programmierung. Für die Bedienung und Bewegung des Roboters werden herstellerabhängig ein entsprechendes Programmiergerät wie Joystick, Koordinateneingabe oder intuitive Gestensteuerung genutzt. (Bild 16)

### Self-Teaching

Unter diesem Prozess wird die handwerkliche Fertigkeit eines Beschichters mit moderner Technologie zur Bewegungserfassung verbunden. Der Bediener setzt den Bewegungsablauf einmal manuell um, indem er den Roboterarm

führt und den gewünschten Beschichtungsablauf simuliert. Während des manuellen Bewegungsablaufs sind die Motoren der Robotermechanik freigeschaltet und durch ein Ausgleichssystem ausbalanciert, damit der Roboter leicht zu führen ist. Für die Bedienung des Roboters ist ein Handlinggerät am Roboter angeschraubt. Bei einer anderen Methode zeichnet ein einer klassischen manuellen Beschichtungspistole nachempfundenes Gerät die manuellen Lackierbewegungen auf und setzt diese in ein Roboter-Beschichtungsprogramm um. Ein Laserlicht visualisiert dabei die Beschichtung auf dem Bauteil. (Bild 17) Der gespeicherte Bewegungsablauf kann im Nachhinein mit individueller Geschwindigkeit vom Roboter nachgefahren werden. Das Programm lässt sich weiter optimieren oder in Unterprogramme unterteilen.

### Offline 3D

Bei dieser Technik erfolgt die Programmierstellung des Roboters am PC-Arbeitsplatz. Die Programmiersoftware erlaubt den Import des zu beschichtenden Bauteiles als 3D-File. Mit der offline Programmierungssoftware können Bewegungen und Sprühbahnen erstellt und sogleich reell simuliert werden. Dabei kann der Pulverauftrag grafisch dargestellt werden. (Bild 18) Weitere Offline-Programmiertechnologien, z.B. Interaktion zwischen Programmierer und 3D-Bauteil mittels Virtual Reality Brillen oder Datenhandschuhen, finden in Zukunft ihren Weg in die Automation.

### Automatische Programmgenerierung

Diese Methode eignet sich ausschließlich für Flachteile und rahmenförmige Bauteile wie Fenster, d. h. bei denen der Roboter keine Tiefenzustellungen ausführt. Auf Basis eines 2D-Scans (Lichtleiste) des Bauteiles generiert die Software den Bewegungsablauf aufgrund der erfassten Bauteilgeometrie im laufenden Betrieb. Somit ist keine Programmierung nötig. (Bild 19)

## Nach-Teach

Oft bestehen Unterschiede zwischen der realen Produktionsumgebung bzw. zu beschichtenden Bauteil und der programmierten Simulation. Diese Fehler müssen durch das sogenannte Nachteachen korrigiert werden. Dazu werden die programmierten Punkte angefahren und ggf. mit Hilfe des Teach-In-Verfahrens manuell nachgebessert.

Eventuelle Programmkorrekturen können auch offline ohne Produktionsunterbruch durchgeführt werden. Zudem kann am PC die Simulation hinsichtlich Zykluszeiten und weiteren Aspekten bearbeitet und optimiert werden. Je nach Branche und Fertigungsprozess kommt die eine oder andere Programmiermethode in Frage. Die Antwort auf die Aspekte wie Vorhandensein von 3D-Daten, Wieder- oder nicht wiederkehrende - Kleinserien, vertretbarer Programmieraufwand pro Teil oder Bediener Know-how geben bereits die Richtung vor.

## Beschichtungsroboter

Die heutzutage gängigen Beschichtungsroboter bestehen aus 6 Achsen, um möglichst flexibel die Beschichtungsflächen zu erreichen. Bei einer siebten Achse bewegt sich der komplette Roboter auf einer bodennahen Linearachse.

Mittlerweile haben alle namhaften Roboterhersteller eigens für die Beschichtungsindustrie entwickelte Modelle im Angebot. Dabei unterscheiden sich diese für den Anwender durch Programmiermethoden, Reichweiten und Traglast am Roboterarm.

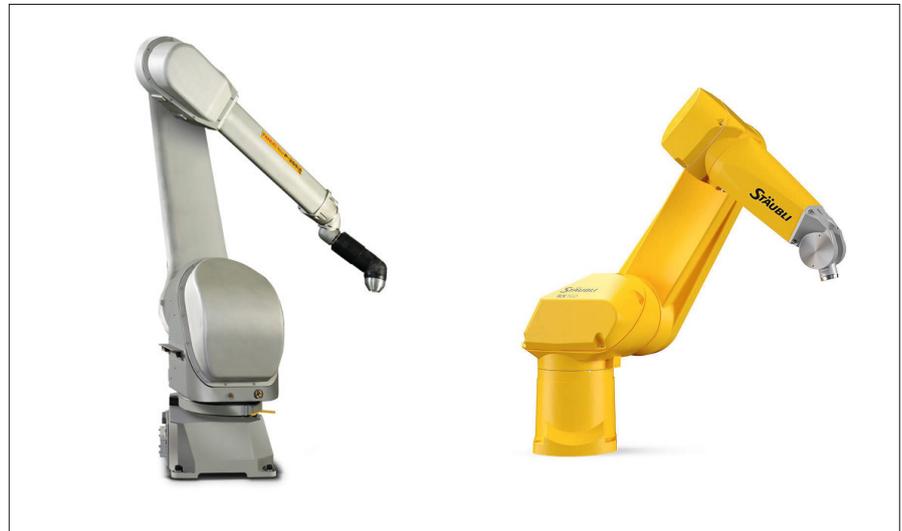
Ein Beschichtungsroboter braucht Platz. Der Roboterarm muss sich im maximal nutzbaren Bereich bewegen können und der Umgebungsbereich des Roboters muss aus sicherheitstechnischen Gründen vor Zutritt gesichert sein. Nicht zu vergessen ist der Platzbedarf für die Steuerung. Dabei kann von einem Schaltschrank je Roboter ausgegangen werden.

Beispiele von Roboterspezifikationen einiger gängiger Typen:



ABB IRB 580

CMA GR650



250-FANUC P

60 Staubli RX1



Yaskawa Motoman MPX 2600

KUKA Dürr KR AGILUS KR 10 R1100

## Kosten

Die Beschaffungskosten können auf den ersten Blick trügerisch niedrig erscheinen, wenn rein der Roboter evaluiert wird. Oft notwendige Optionen wie Handbediengeräte oder ATEX Ausführung, Programmiersoftware und Einbindung in die Haus-IT-Struktur sowie Integration und Schulungen bilden weitere zu berücksichtigende Kostenpunkte. Höhere Grundinvestitionen sind erforderlich, aber durch die Automatisierung eines Beschichtungsprozesses erhöht sich die Produktionsleistung bei gleichzeitig sinkenden Kosten, wie auch sinkenden Qualitätsanstrengungen, was über die Jahre hinweg Vorteile bietet. Teilevielfalt, -geometrie und Durchsatz sowie die Qualitätsanforderungen prägen entscheidend die Kosten-Nutzen-Rechnung.

## Fazit Roboterbeschichtung

Der Einsatz von Pulverbeschichtungsrobotern wird in Zukunft nicht nur im Rahmen der gegenwärtigen Automatisierung verstärkt zunehmen. Qualitätsvorteile, Flexibilität, Reproduzierbarkeit und somit Wirtschaftlichkeit des Beschichtungsprozesses sind die Treiber für die Verbreitung. Volumenmärkte mit hohen und konstanten Qualitätsanforderungen sind die typischen Anwender der roboterunterstützten Pulverapplikation. Trotz alledem müssen die Kosten und Nutzen für solche Investitionen genau abgewogen werden. Es gibt keine Standardlösung, welche die Vielfalt an Anwendungen abdeckt. Zu gross ist das individualisierbare Produktportfolio der einzelnen Roboterlieferanten und -integratoren; und vieles hängt vom zu beschichtenden Objekt ab.

Die Hersteller von Robotern haben zahlreiche Wege gefunden, um den Programmieraufwand tief zu halten und somit die investierte Zeit zur Programmierung in Relation zu sich wiederholenden Beschichtungsaufträgen eines bestimmten Teils gerechtfertigt.

Die wichtigste Rolle bei der Roboterbeschichtung spielt weiterhin die Zuverlässigkeit und Effizienz der Beschichtungsgeräte, und da bietet Gema einiges.

Eine hohe Transfereffizienz des versprühten Pulvers erhöht zusammen mit den Vorteilen des Roboters die gesamte



Bild 25: CMA Roboter für die Pulverbeschichtung

Beschichtungsleistung. Eine gleichmässige Pulverförderung mit einer gezielt anwendbaren Applikationstechnologie prägt das Beschichtungsbild und entscheidet schlussendlich über die Qualität. Somit ist ein vielseitiges Produktportfolio seitens der elektrostatischen Beschichtungsgeräte, welches gespickt ist mit hilfreichen Features essentiell, um diese in einen jeglichen Robotertyp zu integrieren und die Beschichtungsbedürfnisse der Abnehmer zu erfüllen. Um von einem Beschichtungsroboter letztendlich zu profitieren, muss die effizienteste Applikationstechnologie benutzt werden – und da ist Gema zu Hause.

Roman Mlakar, Product Management  
Gema Switzerland GmbH  
August 2018