

Karl-Friedrich Berger,  
Sandra Kiefer (Hrsg.)

# **JAHRBUCH 2020**

Dichten. Kleben. Polymer.

# Klebstoffapplikationen sicher automatisieren

## Prozessintegration einer Multifunktionssensorik für qualitätsgesicherte 2K-Kleb- und Dichtanwendungen

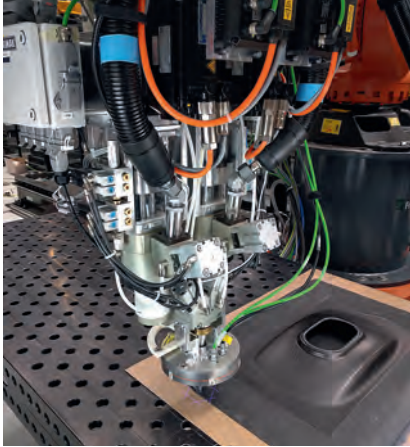
**Automatisierte Kleb- und Dichtprozesse sind in der heutigen Automobilproduktion bereits Stand der Technik. In der Luftfahrtproduktion hingegen – bedingt durch anders gelagerte Sicherheitsanforderungen und weitaus geringere Stückzahlen – gibt es bisher wenig nennenswerte Bestrebungen in diesem Kontext. Einen solchen Beitrag für den Flugzeugbau leistet das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderte, im März 2019 abgeschlossene Forschungsprojekt »MultiBond«, das ein integrales System zur prozessgesicherten 2K-Dosierung mit echtzeitgebundener multifunktionaler Sensorik (Bild 1) verfügbar macht.**

### Kleben und Dichten toleranzbehaf- teter Bauteile flexibel automatisieren

Die Verwendung von Faserverbundwerkstoffen ist mittlerweile für die Luftfahrtindustrie unverzichtbar. Neben der Steigerung der Lebensdauer der betreffenden Flugzeugbauteile ist vor allem die Reduktion von Gewicht und somit der verringerte Treibstoffbedarf im Betrieb ein zentrales Thema. Allerdings stellt die Verarbeitung von Bauteilen aus Faserverbundwerkstoffen eine besondere Herausforderung dar, da sie fertigungsbedingt große Toleranzen im Vergleich zu identischen Bauteilen in herkömmlicher Metallbauweise mitbringen. Hinsichtlich der automatisierten Verarbeitung von Kleb- und Dichtstoffen auf diesen Bauteilen gilt es demnach u.a., den Prozess so flexibel zu gestalten, dass die höchsten Qualitätsanforderungen an die Kleb- und Dichtstoffnaht



**Bild 1: Für automatisierte, hochpräzise Kleb- und Dichtprozesse: konzentrische Multifunktionssensorik arrangiert um die Applikationsspitze (Bild: Fraunhofer IFAM, Stade)**



**Bild 2: Robotergeführtes 2K-Dosiersystem mit multifunktionaler Sensorik** (Bild: Fraunhofer IFAM, Stade)

trotz abweichender Konturmaße stets erfüllt sind.

Würde die Applikation allein mit einem Industrieroboter und einem Dosiergerät erfolgen, müsste aufgrund der variierenden Dimensionen der Bauteile die Bahn der Klebstoffraupen für jedes Bauteil neu programmiert werden – eine rentable Automatisierung wäre unmöglich. Zudem ließen sich Einflüsse während der Applikation nicht berücksichtigen und Aussagen über die Qualität sowie Positionierung der Klebstoffnaht nur nachgelagert machen. Verbunden mit den bereits erwähnten Bauteiltoleranzen würde das zu hohen Ausschüssen und immensen Kosten führen. Aus diesen Gründen erfolgen in der

Luftfahrtindustrie bis heute Klebstoffapplikationen manuell, verbunden mit einem hohen Zeit- und Kostenaufwand.

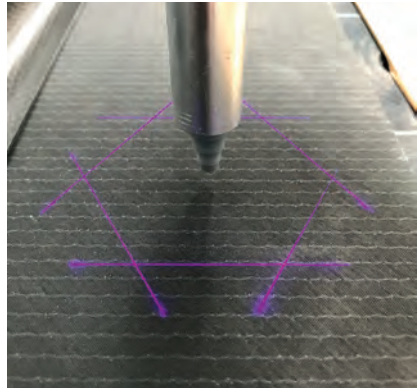
Um den Herausforderungen gerecht zu werden und Kosten zu reduzieren, wurde im Luftfahrtforschungsprojekt »MultiBond« ein klebtechnisches Robotersystem aufgebaut. Das Ziel:

- ein mit einem 2K-Dosiersystem ausgestatteter Standard-Industrieroboter sowie eine multifunktionale Sensorik, die sämtliche Prozesse absichert,
- ein neuartiges Sensorsystem, das die erforderlichen Daten nicht nur für die grobe Erkennung der Bauteilkontur im Vorfeld, für den feinen Toleranzausgleich innerhalb des Prozesses und die Überwachung der Klebstoffapplikation, sondern auch für die sonst nachgelagerte Qualitätssicherung liefert.

### Präzise und flexibel dosieren

Für dieses Anwendungsszenario wurde eigens eine robotergeführte Dosieranlage (**Bild 2**) adaptiert, welche auf einem dem Stand der Technik entsprechenden 2K-System für Epoxidklebstoffe basiert. Die Materialversorgung erfolgt über zwei pumpenbetriebene Fassentnahmesysteme, wodurch die Klebstoffkomponenten getrennt direkt aus 20-l-Hobbocks über beheizte Schlauchleitungen in zwei Dosierkammern gefördert werden. Die beiden Dosierkammern sind Teil von zwei Kolbendosierpum-

pen und verfügen für eine exakt kontrollierbare volumetrische Dosierung über präzise Nadelventile am Ein- und Auslass. Die in der Steuerung integrierte automatische Druckregelung stellt nach Öffnung des Auslassventils stets einen identisch homogenen Materialfluss sicher. Mithilfe eines geeigneten statischen Mischers werden beide Komponenten im korrekten Verhältnis nach Austritt aus den Kolbendosierern vermischt.



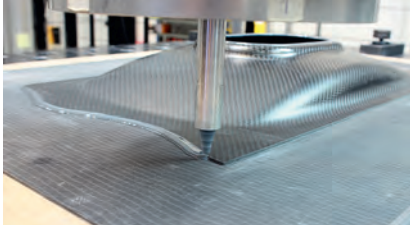
**Bild 3: Projektion des 360°-Multifunktionsensors auf die Bauteiloberfläche** (Bild: Fraunhofer IFAM, Stade)

Um im angestrebten Prozessablauf während der Dosierung die Austragsmenge nicht nur kontrollieren, sondern auch regeln zu können, war es notwendig, eine aktive und hoch dynamische Regelung der Dosierung in das Dosiersystem zu integrieren. Hierfür wurde zum einen der nicht regelbare Bereich nach den Dosierventilen so kompakt wie möglich gestaltet, wodurch eine umgehende Dosiermengenveränderung erfolgen kann. Zum anderen galt es, die erfassten Messwerte der Multifunktionsensorik nach deren Abgleich mit dem Sollwert in Echtzeit der Steuerung des Dosiersystems zur Verfügung zu stellen und in einer entsprechenden Reaktion zu verarbeiten. Die Gewährleistung, dass die Applikation in einem definierten Toleranzbereich erfolgt und letzterer im Prozess robust eingehalten wird, war hierbei das Hauptziel.

### **Flexible Bahnplanung mittels multifunktionaler 360°-Sensorik**

Die im Rahmen des Projekts entwickelte Sensoreinheit ordnet sechs einzelne trigonometrische Sensoren ringförmig um die Applikationsdüse an und ermöglicht so eine 360°-Rundumsicht (**Bild 3**). Diese ist im Prozess von besonderer Bedeutung, da einerseits die zu überwachende Klebstoffapplikation je nach Roboterbahn theoretisch in jede Richtung verlaufen kann und andererseits markante Bauteilkanten in Roboterfahrtrichtung zur Orientierung dienen sollen.

Nach dem händischen Einlegen des Bauteils in den Arbeitsbereich des Roboters wurde eine nur sehr grobe Positionierung angestrebt. Diese Lagetoleranz, im Bereich einiger Millimeter und entsprechender räumlicher Rotationen, galt es vor Prozessstart gegen das hinterlegte CAD-Modell abzugleichen. Hierfür erfolgte mit dem Sensor



**Bild 4: Präzise Klebstoffapplikation auf eine toleranzbehaftete Bauteilkante**

(Bild: Fraunhofer IFAM, Stade)

eine grobe Referenzierung des Bauteils im Raum, indem der Arbeitsplatz systematisch mit dem Sensor abgefahren und dabei die äußeren Bauteilkanten erfasst wurden. Auf Basis dieser Informationen ließ sich die reale Lage des Werkstücks mit den CAD-Daten abgleichen und das offline erzeugte Roboterprogramm an die neue Realität anpassen, um den Prozess zu starten.

Aufgrund der Fertigungstoleranzen bei Faserverbundbauteilen sind die aus dem CAD-Modell bezogenen Daten nicht für die Durchführung von Prozessen mit einem hohen Anspruch an Bahngenauigkeit geeignet, wie z.B. dem gezielten Auftrag von Klebstoffen an einer Bauteilkante. Um solch einen Prozess dennoch vollautomatisiert und ohne manuelle Anpassungen durch einen Bediener zu realisieren, ist es zusätzlich notwendig, die einzigartigen Abweichungen eines jeden Teils zu erfassen und digital zu verarbeiten (**Bild 4**). Anspruch war hierbei jedoch die Vermeidung einer zusätzlichen Messfahrt des Roboters, da sonst keine performante Prozesszeit umsetzbar gewesen wäre.

Aus diesen Gründen wurden die jeweils der Applikationsspitze vorlaufenden Sensoreinheiten nicht nur zur Erfassung der realen Bauteilform genutzt, sondern auch zur Anpassung der Roboterbahn an die aktuellen Gegebenheiten direkt im laufenden Prozess. So war es möglich, mit dem prototypischen Entwicklungssystem die zu erwartenden Fertigungstoleranzen online wirkungsvoll zu kompensieren.

### **Autonomes, mengenangepasstes und qualitätsgesichertes Dosieren**

Im laufenden Applikationsprozess ist die Inline-Überwachung der Klebstoffraupe eine zusätzliche Aufgabe der – vom Roboterpfad aus gesehen – hinter der Auftragsdüse liegenden Sensoren. Hier galt es, die Auftragsmenge kontinuierlich zu überwachen und ein direktes Feedback an das Dosiersystem zu geben, sobald die Klebstoffmenge vom vorgegebenen Sollwert abweichen sollte. Dieser Regelkreis wurde zudem als Teil einer allumfänglichen Qualitätskontrolle in den Applikationsprozess integriert. So lässt sich über die präzise ausgerichteten Triangulationssensoren eine Vielzahl von Qualitätsmerkmalen hinsichtlich der aufgetragenen Klebstoffraupe abfragen. Hierzu gehören neben der gewünschten Homogenität auch das Auftreten von Luftblasen, Welligkeiten oder von anderen optischen Unregelmäßigkeiten an der Klebstoffober-

fläche. Danach wird der Qualitätskreis dann durch einen automatisierten Abgleich mit den Qualitätsanforderungen geschlossen.

### **Echtzeit – die technologische Herausforderung**

Im Verlauf des Entwicklungsprojekts wurde gemeinsam mit den involvierten Industriepartnern für das Gesamtsystem eine eigens entworfene Architektur des gesamten Steuerungssystems erdacht und realisiert, welches vor dem Hintergrund der bestmöglichen Echtzeitfähigkeit Anwendung fand. Dafür wurde die Kommunikation zwischen den Einzelkomponenten mit einem echtzeitfähigen, einheitlichen Datenformat sowie einer geeigneten Programmiersprache realisiert und Hardwarebausteine eingesetzt, die einen hinreichend schnellen Signalaustausch unterstützen. Bei der Optimierung des entstandenen Prototyps stellte sich heraus, dass es sehr wichtig ist, die konstruktiven Totzeitelemente genau zu erfassen und als elementare Eingangsgrößen heranzuziehen. Hierzu gehören vor allem die Größe des unregelmäßigen Volumensstroms des Klebstoffs und der im Prototyp erforderliche Abstand des Sensormessbereichs von der eigentlichen Applikationsspitze.

### **Fazit**

Durch aufeinander abgestimmte Anlagenkomponenten und Echtzeitprogrammierung beherrscht die vom »MultiBond«-Konsortium entwickelte Prototypanlage präzise Kleb- und Dichtprozesse an großen, toleranzbehafteten Bauteilen. Speziell im Kontext der Bearbeitung von Faserverbundwerkstoffen mit ihrem ganz eigenen Toleranzprofil in Verbindung mit den hoch anspruchsvollen Anwendungsszenarien aus dem Bereich der Luftfahrtproduktion bietet dieser Aufwand zur Implementierung einer multifunktionalen 360°-Sensorik entscheidende Vorteile in einer Prozessrealisierung. Die größte Herausforderung stellt für jedes Produktionssystem, welches in Echtzeit Daten verarbeiten soll, jedoch die konsequente Umsetzung eines auf Echtzeitfähigkeit ausgelegten Gesamtsystems dar.

**Das Luftfahrtforschungsprojekt »MultiBond« (FKZ: 20Q1510C) wurde durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.**