

LÖSUNGSANSÄTZE FÜR EINE VERNETZTE PRODUKTION VON HUBSCHRAUBERSTRUKTUREN MIT GERINGEN STÜCKZAHLEN – FORSCHUNGSPROJEKT IPRO

S. Gubernatis, R. Freitas
Airbus Helicopters Deutschland GmbH, Deutschland

Zusammenfassung

Die Ansätze der vernetzten Fertigung zielen auf eine kosten- sowie ressourceneffiziente Produktion. Dies deckt sich mit den Zielen der industriellen Hubschrauberproduktion, dennoch sind in der Praxis bislang kaum Beispiele für Umsetzungen zu finden. Eine Ursache hierfür liegt in den produktspezifischen Randbedingungen der Hubschrauberindustrie, welche eine wirtschaftlich sinnvolle Umsetzung von vernetzten Produktionslinien erschweren.

Hohe Automatisierungsgrade und fertigungsoptimiertes Design sind übliche Ausprägungen in vernetzten Produktionslinien. Bei den klassischen Entwicklungsabläufen in der Hubschrauberindustrie ist das Design hingegen üblicherweise durch die Leistungsanforderungen des Systems oder des Bauteils dominiert. Programm- und bauteilspezifische Designlösungen, in denen Fertigungshürden häufig nicht ganz vermieden werden können, sind die Folge. Die geringen Stückzahlen der Hubschrauberindustrie verhindern, dass automatisierte Fertigungslinien für spezifische Einzelbauteile wirtschaftlich aufgebaut werden können. Auch die Nutzung von bestehenden Produktionsanlagen muss bei der Einrichtung neuer Herstellungsketten berücksichtigt werden.

Lange Produktlebenszyklen und schwankende Produktionszahlen verlangen zudem nach einer agilen Produktion mit der Möglichkeit, Auslastungen zwischen verschiedenen Programmen zu verschieben, ohne an Effizienz einzubüßen.

Eine vernetzte Produktionslinie muss daher ermöglichen, dass verschiedenartige Bauteile mit geringen Einrichtaufwänden gefertigt und dass auch teilautomatisierte oder manuelle Prozessschritte eingebunden werden können. Als vernetzte Fertigung wird hier verstanden, dass die Informationen des Prozessablaufs, der Bauteile und der Fertigungsanlagen zentral verfügbar sind und der Fertigungsprozess mit Hilfe dieser Informationen gesteuert wird. Im LuFo V-1 Forschungsprojekt IPro – Integrierte Gesamtprozesskette für Hubschrauber-Oberdeckstrukturen in CfK – werden hierzu einige Lösungsansätze verfolgt und hier vorgestellt. Eine modulare Prozesskette für die CfK-Fertigung in RTM-Technologie wird mit einer übergeordneten Prozesssteuerung verbunden, welche die Ansteuerung der flexiblen Einzelprozessschritte in frei definierbarer Reihenfolge und eine Einbindung manueller Prozesse ermöglicht. Die Adaption und Übertragung von bauteilspezifischen Maschinenprogrammen durch die übergeordnete Prozesssteuerung ermöglicht, dass Prozessoptimierungen wie eine Verschnittminimierung auftragspezifisch erfolgt und gesammelte Daten aus Inspektionsschritten berücksichtigt. Die Flexibilität der Einzelprozessschritte und der Steuerung ermöglicht die programmübergreifende Nutzung der Produktionslinie.

1. AKTUELLE SITUATION DER AUTOMATISIERTEN FERTIGUNG BEI GERINGEN STÜCKZAHLEN

Die aktuelle Produktion von Hubschrauberstrukturen ist geprägt von einem großen Anteil manueller Fertigungsschritte. Dies gilt sowohl für die Einzelteilfertigung als auch für Montageprozesse. Hierfür gibt es mehrere Gründe:

Die Stückzahlen in der Hubschrauberindustrie bewegen sich in der Regel in einer Größenordnung von 50 bis in seltenen Fällen 100 Hubschrauber eines Modells pro Jahr. Für diese Stückzahlen sind die Investitionskosten für den Aufbau von vollständig automatisierten Fertigungsstraßen wirtschaftlich häufig nicht gerechtfertigt. Die Auslastung von Anlagen, welche auf eine Fertigung von einem einzelnen Bauteil spezialisiert sind, ist selten gegeben.

Bei den klassischen Entwicklungsabläufen in der Hubschrauberindustrie ist das Design üblicherweise durch die Leistungsanforderungen des Systems oder des Bauteils dominiert. Programm- und bauteilspezifische Designlösungen, in denen Fertigungshürden häufig nicht ganz vermieden werden können, sind die Folge. Dies bedeutet zum einen, dass die Erhöhung der Bauteilstückzahlen durch die Verwendung von Gleichteilen nicht immer eine Option darstellt, da die Eigenschaften bezüglich Gewicht, Bauraum oder Funktion über Gebühr eingeschränkt würden. Des Weiteren ist die Automatisierung von Fertigungshürden meist nur mit speziell angepassten Werkzeugen und hohem Aufwand möglich, was sich wiederum entsprechend negativ auf die Anwendungsbreite, die Entwicklungs- und Investitionskosten und somit auf die Wirtschaftlichkeit auswirkt.

Als Hemmnis für eine vollständig automatisierte Fertigung von Hubschrauberbauteilen aus Verbundwerkstoffen besteht zudem, dass die technologische Reife nicht für alle Prozessschritte gegeben oder nachgewiesen ist. Dies resultiert folgerichtig aus den genannten wirtschaftlichen Hürden, da entsprechende automatisierte Fertigungsschritte nicht entwickelt wurden. Der Entwicklungsaufwand muss bei dem Aufbau einer voll automatisierten Fertigungskette noch geleistet werden. Zudem muss auch das mit der Entwicklung verknüpfte Risiko getragen werden.

Ein weiterer Grund für die geringe Anwendung automatisierter Prozessketten ist die über die lange Laufzeit von Hubschrauberprogrammen schwankende Produktionsrate. Anlagen müssen daher auf eine Kapazität ausgelegt sein, welche nur wenige Jahre genutzt wird. In den anderen Produktionszeiträumen liegen somit unrentable Überkapazitäten vor, wenn die Anlagen nicht für andere Programme genutzt werden können.

Automatisierte Fertigung wird im Hubschrauberbau daher hauptsächlich für Einzel- bzw. Teilprozesse eingesetzt, welche für viele Bauteile und Hubschrauberprogramme mit der gleichen Anlagentechnik eingesetzt werden können.

Ein Beispiel hierfür ist das Erstellen von ebenen Zuschnitten aus textilen Halbzeugen oder Prepregmaterialien mit einem CNC-gesteuerten Cutter. Bei diesem Prozessschritt ist das weite Anwendungsspektrum mit unterschiedlichen Materialien, unterschiedlichen Bauteilgeometrien und in mehreren Programmen gegeben. Die Vorgabe der ebenen Geometrie per Datei ermöglicht einen sehr geringen Einrichtaufwand für neue Geometrien. Das Absortieren der Zuschnitte hingegen ist ein manueller Prozess.

Ein weiterer Prozessschritt, der häufig automatisiert durchgeführt wird, ist das Befräsen von ausgehärteten Bauteilen. Auch dieser Prozessschritt wird bei Bauteilen aus allen Programmen und mit unterschiedlichen Materialien durchgeführt. Das Programmieren der Bahn für jedes einzelne Bauteil und damit der Einrichtaufwand ist hierbei aufwändig, der Vorteil bezüglich Prozessdauer und Präzision gegenüber manuellen Alternativen jedoch besonders groß.

Ein drittes Beispiel für einen automatisierten Teilprozess ist das Setzen von Bohrlöchern und Nieten. Durch die Vielzahl an Verbindungen pro Bauteil ist die Anlagenauslastung auch für geringe Stückzahlen gegeben. Dieser Prozess wird häufig durch manuelle Arbeiten komplettiert. Dies kann wirtschaftliche und technische Gründe haben, beispielsweise die Erreichbarkeit einzelner Nietpositionen mit den automatisierten Werkzeugköpfen.

2. MOTIVATION DER VERNETZTEN FERTIGUNG FÜR HUBSCHRAUBERSTRUKTUREN

Ein wesentliches Ziel der Fertigungsentwicklung ist die Reduktion von Herstellkosten für Hochleistungsstrukturen, ohne dabei die Leistungsfähigkeit der Strukturen einzuschränken.

Ungeachtet der genannten Hürden für eine automatisierte Fertigung bietet diese das Potential, die wiederkehrenden

Kosten für die Herstellung von Hochleistungsstrukturbauteilen zu senken. Es wird daher ein Ansatz benötigt, der die Flexibilität bietet, die Investitionskosten für Anlagen und Prozesseinrichtung durch die Einbindung manueller Schritte zu reduzieren und zudem auf ein breites Bauteilspektrum zu verteilen.

Wie in Kapitel 1 beschrieben, sind einzelne Prozessschritte bereits als Inselösung automatisiert. Ein Beispiel hierfür ist das Erstellen von ebenen Zuschnitten aus textilen Halbzeugen auf einem CNC-Cutter. Auch hierbei werden die Investitionskosten für die Anlage auf ein großes Bauteilspektrum verteilt.

Eine Prozesskette aus nicht verknüpften Prozessinseln lässt jedoch einige Potentiale bzgl. Kosten und Flexibilität ungenutzt:

Durch die Fertigung oder Bearbeitung verschiedener Bauteile an einer Anlage werden entsprechend unterschiedliche Maschinenprogramme verwendet. Die Auswahl der korrekten Programme muss an jeder Anlage oder Prozessstation manuell geschehen. Dies bedeutet einen erhöhten Betreuungsaufwand und stellt zudem eine mögliche Fehlerquelle dar.

Ein Ineinandergreifen von aufeinander folgenden Prozessschritten (z.B. Zuschnitterstellung und Absortieren) ist bei Inselösungen nicht möglich. Der Abschluss eines Prozesses muss von dem Bediener registriert werden, anschließend wird der Folgeprozess gestartet. Dies erhöht die Stillstandzeiten innerhalb der Prozesskette. Zudem ist ein entsprechender Betreuungsaufwand notwendig, welcher mit Personalkosten einhergeht.

Eine flexible Positionierung von Zwischenprodukten (z.B. Zuschnitten) ist nicht möglich, wenn mehrere automatisierte Prozesse in der Prozesskette zum Einsatz kommen.

Sollen Zuschnitte durch ein Transportsystem absortiert werden, müssen aufgrund der fest programmierten Bahnen die Zuschnitte immer auf der gleichen Stelle sein. Werden Lagenpakete vor dem Zuschneiden lokal miteinander verbunden (z.B. durch Nähen oder lokale Binderaktivierung), so müssen die Positionen der Fixiernähte zu den später eingebrachten Schnittlinien passen und in den jeweiligen Maschinenprogrammen implementiert sein.

Beides führt dazu, dass eine flexible Zusammensetzung von Batches mit einer auftragsspezifisch durchgeführten Verschnittoptimierung nicht möglich ist (oder nur durch unverhältnismäßig hohen, neuen Einrichtaufwand).

Eine Vernetzung der Produktionsinseln ermöglicht durch eine zentrale Verfügbarkeit der Prozessinformationen die genannten Optimierungen und schafft zudem eine hohe Agilität bezüglich der Fertigungskadenz der verschiedenen gefertigten Strukturen.

Eine zentrale Verfügbarkeit der Herstelldaten der Bauteile vereinfacht zudem die Zuordnung von Inspektions- und Qualitätssicherungsdaten, sowie von Bauteilvarianten im Konfigurationsmanagement.

Aus diesen Gründen wird eine vernetzte Produktion in der Fertigung von Hubschrauberstrukturen angestrebt.

3. VORAUSSETZUNGEN FÜR EINE VERNETZTE FERTIGUNG

Es stellt sich daher die Frage, welche Voraussetzungen erfüllt sein müssen, damit eine vernetzte Produktion eine Aussicht auf Umsetzung hat.

Zum einen bestehen technische Voraussetzungen, welche aus den grundlegenden wirtschaftlichen Anforderungen resultieren.

Wie in den voranstehenden Kapiteln erwähnt, ist eine wichtige Grundvoraussetzung, dass die Investitionshöhe gering ist. Dies kann erreicht werden durch:

- Die Verringerung der Investitionshöhe durch weniger neue Anlagen
- Die Verteilung der Investition auf ein großes Bauteilspektrum

Die Verringerung der Investitionshöhe bedeutet zum einen, dass es möglich sein muss, nur Teile der Prozesskette zu automatisieren. Die vernetzte Prozesskette muss daher manuelle Prozessschritte einbinden können. Zum Zweiten ist die Nutzung und damit die Einbindung von bestehenden Anlagen notwendig. Diese Anlagen müssen trotz der Einbindung in die Prozesskette für die Herstellung von Bauteilen im nicht vernetzten Modus weiterhin verwendbar sein. Dies bedeutet, dass die Teilsysteme der vernetzten Prozesskette steuerungstechnisch autark sein müssen.

Die Verteilung der Investition auf ein großes Baueilspektrum verlangt eine hohe Flexibilität der Anlage. Die geforderte Flexibilität bezieht sich einerseits auf Abmaße und Geometrie der Bauteile, andererseits auf die bearbeiteten Prozessschritte. Werkzeuge oder Funktionsköpfe, welche auf einzelne spezifische Besonderheiten eines Bauteils angepasst sind, sind entsprechend nachteilhaft.

Die Flexibilität für verschiedene Bauteile führt zudem zu der Anforderung, dass Einrichtaufwände für den automatisierten Prozessablauf für die einzelnen Bauteile gering sein müssen. Diese Aufwände müssen in den Kosten berücksichtigt und können verständlicherweise nicht verteilt werden.

Bauteile müssen nachträglich beziehungsweise zeitlich versetzt in die vernetzte Fertigung aufgenommen werden können. Ein programmübergreifendes Bauteilspektrum dient der besseren Auslastung und damit der Verteilung der Investitionskosten. Allerdings starten neue Programme oder Upgrades zu versetzten Zeitpunkten. Auch diese Anforderung setzt geringe Einrichtaufwände voraus. Es muss zeitlich möglich sein, die Einrichtung der neuen Bauteile ohne Einschränkung der bestehenden Fertigung zu erledigen.

Zudem muss die übergeordnete Steuerung der Prozesskette die Aufnahme von neuen Bauteilen ermöglichen. Die Optimierungen, die durch die Vernetzung ermöglicht werden, müssen durch das System automatisch durchgeführt werden, ohne dass eine manuelle Änderung der bestehenden Maschinenprogramme erforderlich wird.

Die Prozesskette muss graduell um neue Teilschritte erweiterbar sein. Diese Anforderung hat mehrere

Hintergründe. Für Teilprozesse, welche bei der Einrichtung der vernetzten Prozesskette aufgrund fehlender Auslastung nicht rentabel automatisierbar waren, kann sich eine neue Finanzierungsmöglichkeit ergeben, wenn zusätzliche Bauteile mit diesem Teilprozess gefertigt werden sollen, beispielsweise durch ein Upgrade oder neues Programm.

Durch die langen Laufzeiten der Programme können zudem technische Neuerungen für die Fertigung der Bauteile zur Verfügung stehen. Dies kann sich in einer vorher nicht gegebenen Machbarkeit oder verringerten Investitionskosten für einen Teilprozess manifestieren.

Um diese zusätzlichen Chancen nutzen zu können, besteht die genannte Anforderung. Die Erweiterung der übergeordneten Steuerung um einen neuen Teilprozess soll die Programmierung für die bestehenden Prozesse nicht beeinflussen. Zudem sollte das System so aufgesetzt sein, dass der Aufwand für die Aufnahme des neuen Prozesses gering ist.

Des Weiteren bestehen einige Anforderungen an die beteiligten Systeme bzw. Anlagen, um eine vernetzte, teilautomatisierte Fertigung technisch zu ermöglichen.

Aus den wirtschaftlichen Anforderungen folgt, dass die Prozesskette sich aus autarken Teilsystemen zusammensetzt. Um eine Vernetzung zu ermöglichen, müssen diese Teilsysteme einige Voraussetzungen erfüllen.

Die Teilsysteme müssen Informationen über ihren Zustand und den Status des Prozessablaufs bereitstellen. Als Mindestanforderung müssen Bereitschaft der Anlage und der Abschluss der Prozessdurchführung gemeldet werden. Auch Fehlermeldungen müssen für die übergeordnete Steuerung verfügbar sein. Zusätzliche Informationen machen den Prozess deutlich robuster. So sollten eine Rückmeldung über erfolgreiche Kommunikationsschritte, detaillierte Anlagenzustände – beispielsweise einzelner Aktuatoren –, der Status des Prozessablaufs und der Zugriff auf Prozessparameter gegeben sein.

Zudem müssen sich die autarken Teilsysteme von außen ansteuern lassen. Dies betrifft den Start des Prozessablaufs, aber insbesondere auch die Auswahl und die Beeinflussung des durchzuführenden Prozesses. Die Möglichkeit, neue Maschinenprogramme durch die übergeordnete Steuerung zu übertragen, bietet zusätzliche Vorteile.

Es besteht zudem die technische Grundanforderung, welche allgemein für automatisierte Prozesse besteht. Die Teilprozesse, welche für eine automatisierte Durchführung ausgewählt werden, müssen hinreichend robust sein, um ständige Unterbrechungen des Prozesses zu vermeiden und manuelle Eingriffe und Korrekturen zu minimieren.

Es bestehen zudem technische Anforderungen, welche aus organisatorischen und regulatorischen Gründen existieren.

In der vernetzten Produktionskette werden die Daten zur Qualitätssicherung zentral gesammelt. Die von den Anlagen aufgenommenen Daten zur Prozessüberwachung und erstellte Inspektionsergebnisse müssen daher an das übergeordnete System übertragen werden. Dabei muss eine Zuordnung der Daten zu den

produzierten Zwischenerzeugnissen erfolgen. Darüber hinaus muss eine Nachverfolgbarkeit gegeben sein, welches Vor- oder Zwischenprodukt in die nachfolgende Fertigung des nächsten übergeordneten Zwischen- oder Endprodukt geflossen ist, um eine korrekte Zuweisung aller fertigungsbegleitend erstellter QS-Daten auf das finale Bauteil zu gewährleisten.

4. MODULARE, VERNETZTE FERTIGUNG IN FORSCHUNGSPROJEKT IPRO

Das Forschungsprojekt IPrO – Integrierte Gesamtprozesskette für Hubschrauber-Oberdeckstrukturen zielt auf eine auf das Gesamtsystem bezogene optimierte Struktur aus Faserverbundwerkstoffen. Dies soll durch ein enges Zusammenspiel der Entwicklung von Architektur, Fertigung und Prüfung erreicht werden, wobei eine disziplinübergreifende, objektive Bewertung die Identifikation der optimalen Variante ermöglicht.

Die Weiterentwicklung der Fertigungstechnologie soll ermöglichen, eine kosteneffiziente Herstellung und Prüfung von Bauteilen zu erreichen und zusätzlich die Freiheitsgrade der Architektur zu erhöhen, um neuartige Konzepte mit großem Potential für Gewichts- oder Kosteneinsparungen umsetzen zu können.

Ein Antritt zur kosteneffizienten Fertigung ist die Vernetzung der Prozesskette, um die in Kapitel 2 beschriebenen Potentiale auch für geringe Stückzahlen nutzbar zu machen. Es wurde untersucht, welche Voraussetzungen unter den gegebenen Randbedingungen bestehen, wie im vorigen Kapitel beschrieben. Aus diesen Anforderungen wurde der Ansatz für eine modular aufgebaute, vernetzte Prozesskette abgeleitet, der gemeinsam mit Projektpartner iSAM AG im Projekt erarbeitet und umgesetzt wird.

Der Kern des Ansatzes besteht darin, die vernetzte Prozesskette aus autarken Modulen in frei wählbarer Reihenfolge zusammenzusetzen, die Prozessoptimierung, die Ansteuerung der Module und die Auswahl, Erstellung oder Adaption der Maschinenprogramme jedoch von einem übergeordneten, zentralen Leitrechner aus zu koordinieren.

Die Arbeiten im Forschungsprojekt IPrO bauen auf Erkenntnissen aus dem früheren Forschungsprojekt LoCAR – Low Cost Advanced Rotor System auf. In diesem Projekt wurde mit Projektpartner iSAM AG ein Leitrechner entwickelt, der einen großen Teil der Prozesskette der Preformfertigung optimiert und steuert. Die Reihenfolge der Prozessschritte war hierbei jedoch nicht frei.

Im Folgenden ist beschrieben, wie die vernetzte Prozesskette im Forschungsprojekt IPrO aufgebaut wird.

4.1. Zusammenstellung der Prozesskette aus autarken Modulen

Eine zentrale Neuerung ist, dass die Teilprozesse frei sortiert werden können. Prozessstationen können zudem auch mehrfach durchlaufen werden. Um dies zu ermöglichen, ist in der Software jeder Teilprozess als

unabhängiges Modul vorgesehen, welches die Kommunikation mit der zugehörigen Anlage durchführt, die Definition und das Interface für die notwendigen Prozessparameter bereitstellt und über eine standardisierte Schnittstelle mit den übrigen Modulen der Leitrechnersoftware interagiert. In einem Softwaremodul, dem Bauteildesigner, werden für ein Bauteil oder Zwischenprodukt die Vorprodukte benannt und die Prozesskette aus den verfügbaren Prozessmodulen zusammengesetzt.

Jedem Prozessmodul dieser Kette werden anschließend spezifisch für das definierte Bauteil Prozessparameter zugewiesen. Dazu gehören entweder vordefinierte Maschinenprogramme oder die notwendigen Daten, um diese durch den Leitrechner erstellen zu können.

Im einfachsten Fall wird ein Roboterprogramm hinterlegt, welches bei der Durchführung des entsprechenden Prozessschrittes übertragen, ausgewählt und gestartet wird.

In anderen Fällen adaptiert der Leitrechner Roboterprogramme, indem einzelne Positionsdaten für ein vorgefertigtes Programm überschrieben werden. Anschließend wird das Roboterprogramm neu übertragen, ausgewählt und gestartet. Dies ist beispielsweise für die Anpassung der „Pick-Positionen“ beim Transport von verschnittoptimierten – und damit neu positionierten – Zuschnitten notwendig.

Einige Maschinen verarbeiten direkt Geometrieinformationen, etwa als dxf-Datei. So können diese als Basis für das Maschinenprogramm hinterlegt sein. Ist eine batchweise Verarbeitung möglich, können mehrere dxf-Dateien eines Auftrags zu einer neuen dxf-Datei zusammengestellt werden, beispielsweise für eine Verschnittoptimierung beim Cutter.

Für andere Maschinen ist eine Übersetzung der Geometrieinformationen in ein anderes Format notwendig. Entsprechende Code-Generatoren werden im Leitrechner hinterlegt, wenn eine Beeinflussung der Maschinenprogramme notwendig ist.

Welche zusätzlichen Prozessparameter für ein Prozessmodul definiert werden, ist abhängig von den Anforderungen der zugehörigen Anlage und dem Prozessablauf. Der Parametersatz ist in dem Softwaremodul für das jeweilige Prozessmodul hinterlegt.

Die Anlagen werden mit den üblichen Maschinenprogrammen betrieben. Es findet daher kein Eingriff in die eigentliche Steuerung der Maschinen statt. Dadurch bleiben diese Anlagen auch außerhalb der vernetzten Prozesskette nutzbar.

Die Vorprodukte können Ausgangsmaterialien oder beliebige andere Bauteile sein. Durch die freie Auswahlmöglichkeit von definierten Bauteilen als Vorprodukt kann die Gesamtprozesskette in kleine Teilketten zerlegt werden. Ob die Vorprodukte innerhalb oder außerhalb der vernetzten Prozesskette gefertigt werden, ist für den Folgeprozess unerheblich. Dies schafft die Möglichkeit, Gesamtprozessketten sukzessive aufzubauen und nachträglich zu ergänzen, ohne dass bereits bestehende Teile beeinflusst werden. So können auch Zwischenprodukte, die anfangs außerhalb der vernetzten Prozesskette gefertigt werden, zu einem späteren Zeitpunkt einfach in diese integriert werden.

Dies bedeutet, dass autark funktionierende Teilprozessketten entstehen. In Aufträgen werden im Leitrechner alle zu fertigenden Bauteile (d.h. auch alle Zwischenprodukte) festgelegt, so dass über diese Information eine teilprozessübergreifende Optimierung möglich ist.

4.2. Kommunikation der Prozessmodule über einen zentralen Leitrechner

Die Steuerung des Gesamtprozessablaufs durch den Leitrechner bedingt eine beidseitige Kommunikation zwischen dem Leitrechner und den beteiligten Anlagen. Die Kommunikationsaufgaben des Leitrechners sind dabei:

- Übertragen der Maschinenprogramme
- Senden von Start- und Stoppbefehlen
- Setzen von Variablen, um Prozessparameter zu definieren oder Aktuatoren anzusteuern.

Die Anlagen

- bestätigen den Empfang von Dateien und Befehlen
- melden ihren Status inklusive Fehlermeldungen
- melden den Prozessstatus, mindestens dessen Abschluss
- stellen den Zustand der Variablen zur Verfügung
- übertragen aufzuzeichnende QS-Daten oder das QS-Protokoll

Um die Kommunikation zu ermöglichen, wird zwischen Leitrechner und den Anlagen bevorzugt eine TCP/IP Verbindung aufgebaut. Hierüber können sowohl Dateien als auch Einzelbefehle übertragen werden. Es besteht zudem über die Protokolle eine Rückmeldung über den Kommunikationserfolg.

Um die Maschinenvariablen abzufragen und zu setzen, wird bevorzugt das OPC-Format gewählt. Dadurch wird eine standardisierte Kommunikation zwischen dem Leitrechner und den Prozessmodulen erreicht. Die Anlagensteuerungen müssen auf diese Kommunikation eingerichtet werden und die benötigten Zustände als OPC-Variable bereitstellen. Diese Umrüstung ist in der Regel gering. Auch bestehende Anlagen können somit mit wenig Aufwand in die vernetzte Fertigung eingebunden werden.

Einige ältere Anlagen bieten eine Verbindung über TCP/IP nicht an. In einem solchen Fall muss über eine serielle Schnittstelle kommuniziert werden. Im Softwaremodul für den entsprechenden Teilprozess am Leitrechner wird diese Kommunikation eingerichtet. Die Rückmeldung über Prozessstatus ist jedoch in diesem Fall nicht immer gegeben und muss durch periodische Überprüfung des Anlagenstatus (idle / not idle) umgangen werden oder notfalls durch einen Bediener manuell erfolgen, was einen großen Nachteil für die Effizienz bedeutet. Alternativ kann eine Kommunikation über einen vorgelagerten Anlagen-PC erfolgen. Dieser Weg bietet sich an, wenn die Kommunikation dadurch deutlich einfacher einzurichten ist. Es bedingt jedoch, dass der Anlagen-PC den notwendigen Zugriff auf die Anlage ermöglicht, beispielsweise um Prozesse zu starten, und die geforderten Daten bereitstellt.

Eine Kommunikation zwischen zwei PC wird zudem zwischen dem Leitrechner und den Auswerte-PC von QS-Daten eingerichtet. Dies ist notwendig, wenn nicht die

prozessbegleitend aufgezeichneten Parameter direkt zur Qualitätssicherung genutzt werden, sondern eine nachgelagerte Auswertung, beispielsweise von Bilddaten, erfolgt. Um die Datenmengen gering zu halten, wird bevorzugt nur das Protokoll übertragen. Bei einer Archivierung von größeren Datenmengen in einem externen Archivsystem wird der Bauteilbezug mit hinterlegt, sodass eine spätere Zuordnung zum Bauteil möglich ist. Eine Übertragung der großen Datenmengen an den Leitrechner findet nicht statt. Die Archivierung kann aber durch ihn getriggert werden.

4.3. Einbindung manueller Prozesse in die vernetzte Fertigung

Um die gestellten Anforderungen zu erfüllen, muss der Leitrechner ermöglichen, manuelle Prozesse in die vernetzte Fertigung mit aufzunehmen.

Es wird daher auch ein Prozessmodul für manuelle Prozessschritte programmiert, welche in die Prozesskette eines Bauteils eingefügt werden kann. Auch hierfür existieren Basisparameter des allgemeinen Informationsaustausches. Der Leitrechner benötigt insbesondere die Rückmeldung über den Prozessstatus. Diese muss der Bediener manuell geben. Als wichtigste Rückmeldung muss der Prozessabschluss gemeldet werden, damit der Folgeprozess durch den Leitrechner angestoßen werden kann. Zusätzliche Rückmeldungen über den Start, das Erreichen von Zwischenschritten (z.B. die Freigabe von Lagerpositionen) und Unterbrechungen durch Prozessfehler können den Ablauf des Gesamtprozesses und die Information darüber verbessern. Die Rückmeldung kann in einer Benutzeroberfläche des Leitrechners eingegeben werden. Beim Aufbau in der Produktionsumgebung kann die Rückmeldung auch direkt vom Arbeitsplatz aus erfolgen, entweder von einem PC mit der entsprechenden Oberfläche oder durch Betätigen eines dafür eingerichteten Schalters.

Der Leitrechner übernimmt auch bei manuellen Prozessen die Ansteuerung des Prozessstarts. In diesem Fall wird die Information über den anstehenden Prozessschritt dem Bediener angezeigt. Für manuelle Prozesse können im Leitrechner Bedieneranweisungen und Hilfestellungen hinterlegt sein. Dies kann sowohl die Anzeige von Prozessdokumenten wie Fertigungsplänen, Zeichnungen oder simple Erinnerungen, Informationen oder Anweisungen als Text sein. Die Anzeige von Bedieneranweisungen an einem Arbeitsplatz verlangt einen Bildschirm, was eine Eingabe von Prozessrückmeldungen über dieses Interface nahelegt.

Zur Nachverfolgbarkeit der Bauteile wird während des Prozessschrittes die Bauteilidentität mit einem Scanner eingelesen und so an die Datenbank vom Leitrechner übertragen. Um die in der Vernetzung erforderliche durchgehende Informationsverfügbarkeit und die Dokumentation sicherzustellen, werden im Prozessablauf diese Rückmeldeschritte verpflichtend gestaltet und der Prozessfortschritt daran geknüpft.

4.4. Nachverfolgbarkeit der Bauteile

Die Zuordnung der korrekten Qualitätssicherungsdaten muss für jedes gefertigte Bauteil gewährleistet sein. Hierfür ist eine durchgängige Nachverfolgbarkeit der Bauteile im Fertigungsprozess notwendig.

Um dies zu ermöglichen, wird jedem gefertigten Bauteil in der Datenbank eine eindeutige Identifikationsnummer verliehen. Die erforderlichen, zuzuordnenden Daten beinhalten sowohl die prozessbegleitend aufgezeichneten Parameter und Inspektionsdaten, als auch die QS-Daten der Vorprodukte. In einer vollständig automatisierten Prozesskette ist die Nachverfolgbarkeit der Daten aus den im Leitrechner verfügbaren Informationen möglich.

Die Aufteilung der Prozesskette in unabhängige Teilprozesse, die Möglichkeit, innerhalb oder außerhalb der vernetzten Prozesskette hergestellte Vorprodukte zu nutzen und die Integration von manuellen Prozessschritten führen dazu, dass die Nachverfolgbarkeit der Vorprodukte zum finalen Bauteil mit den Informationen aus der Prozesssteuerung allein nicht möglich ist.

Für eine Nachverfolgbarkeit muss eine Verknüpfung der Vorprodukte mit dem finalen Bauteil erreicht werden.

Während einer Prozessdurchführung werden Qualitätssicherungsdaten gesammelt. Die Prozessdurchführung ist im Leitrechner mit der Identifikationsnummer des Bauteils in der Datenbank verknüpft. Dem entstandenen Bauteil wird zum Prozessabschluss eine Identifikationsmarkierung zugewiesen. Dies kann beispielsweise ein Barcode oder ein RFID-Tag sein. Durch den Scan der Identifikationsmarkierung als Teil des vom Leitrechner gesteuerten Fertigungsprozesses wird die Verknüpfung der Markierung mit der Bauteil-ID und damit zu den QS-Daten hergestellt. Analog wird es für neue angekommene Eingangsmaterialien durchgeführt. Die Markierung verbleibt bis zur Verwendung als Vorprodukt für einen folgenden Teilprozess bei dem Bauteil.

Beim Start der Fertigung eines nachfolgenden Bauteils in einem neuen Teilprozess werden die Identifikationsmarkierungen aller Vorprodukte gescannt. Dadurch werden die bestehenden QS-Daten aller Vorprodukte nun auch mit der Bauteil-ID in der Datenbank des neu entstehenden Bauteils verknüpft.

Bei der Durchführung manueller Prozesse kann der Leitrechner die Position des Bauteils nicht nachverfolgen. Bei der Fertigung mehrerer Bauteile des gleichen Typs innerhalb eines Auftrags kann es dabei zum Verlust der Zuordnung zur Bauteil-ID führen. Manuelle Prozesse werden deswegen wie ein Übergang zwischen Teilprozessen gehandhabt. Bei Prozessstart wird dem Zwischenprodukt eine Markierung, vorzugsweise ein RFID-Tag, gegeben und diese als erste Tätigkeit des manuellen Prozesses gescannt. Die Markierung verbleibt bei dem Bauteil bis zur Verwendung im nächsten Prozessschritt, zu dessen Start die Markierung wieder ausgelesen wird. Die Wiederverwendung der Markierungen ist nach der Auflösung des Bauteilbezugs möglich. Während manuellen Prozessschritten erstellte QS-Daten können, wenn sie in im Dateiformat vorliegen,

an der Bedienoberfläche während der Prozessdurchführung eingefügt werden. Als Papierdokument vorliegende QS-Daten können ebenfalls durch Scan einer am Dokument verbleibenden Markierung mit dem Bauteil verknüpft werden.

4.5. Status der Arbeiten

Eine vernetzte Prozesskette nach dem beschriebenen Ansatz wird im laufenden Forschungsprojekt IPrO aufgebaut. Im Folgenden ist der Stand der Arbeiten beschrieben.

4.5.1. Leitrechner

Die Leitrechnersoftware wird von Projektpartner iSAM AG entwickelt und basiert auf den Arbeiten aus dem Forschungsprojekt LoCAR, welche in [1] veröffentlicht wurden.

In der Software wurde die fest definierte Abfolge der Zwischenprodukte aufgelöst. Diese Abfolge bestand aus 2D Tailored Reinforcement, 2,5D Intermediate Preform, 3D Subpreform, 3D Final Preform. In der neuen Software wird jedes Zwischenprodukt als eigenständiges Bauteil im Leitrechner geführt und bekommt eine Prozesskette, ausgehend von den letzten Vorprodukten, zugewiesen. Die so definierten Bauteile können wiederum als Vorprodukt für weitere Bauteile / Prozessketten genutzt werden, was eine hohe Flexibilität bei der Zusammenstellung von Prozessketten mit sich bringt.

Diese Auftrennung in Herstellungsprozesse der Zwischenprodukte bringt die Möglichkeit mit sich, die Fertigung bei einem beliebigen Zwischenprodukt zu starten. Vorher wurden für ein Bauteil automatisch alle benötigten Vorprodukte mit gefertigt. Wurden Zwischenprodukte außerhalb der betrachteten Prozesskette gefertigt, wurden diese als externe Bauteile definiert und an definierter Stelle in den Prozess eingeschleust. Die Notwendigkeit einer Unterscheidung von externen und internen Bauteilen entfällt durch die neue Logik. Wird die Fertigung eines Vorprodukts nachträglich in die vernetzte Fertigungskette aufgenommen, muss nun dem Bauteil nur die entsprechende Prozesskette zugewiesen werden. Im jeweiligen Auftrag wird ausgewählt, ob das Zwischenprodukt gefertigt werden soll oder (aus Prozesssicht) bereits verfügbar ist. Bei bestehender Unterscheidung von externen und internen Bauteilen müsste über die Neudefinition des gefertigten Bauteils hinaus auch das Folgeprodukt angepasst werden. Zudem müssten vom Folgeprodukt mehrere Versionen geführt werden, um die Flexibilität zu erhalten, das Vorprodukt zu fertigen oder extern zuzuführen.

Eine weitere Änderung der Leitrechnersoftware betrifft die Definition der Teilprozessketten. Im LoCAR-Leitrechner war jedem Zwischenprodukt eine Prozesskette aus allen verfügbaren Prozessschritten dieses Teilprozesses zugeordnet. Im Softwaremodul Bauteildesigner wurden die für das einzelne Bauteil erforderlichen Prozessschritte und deren Reihenfolge (mit einigen Restriktionen) ausgewählt. In der aktuellen Software können die verfügbaren Prozessmodule frei ausgewählt und zusammengestellt werden (Siehe BILD 1). Eine

Vorauswahl besteht nicht mehr, da es auch keine Aufteilung in vordefinierte Zwischenprodukte gibt.

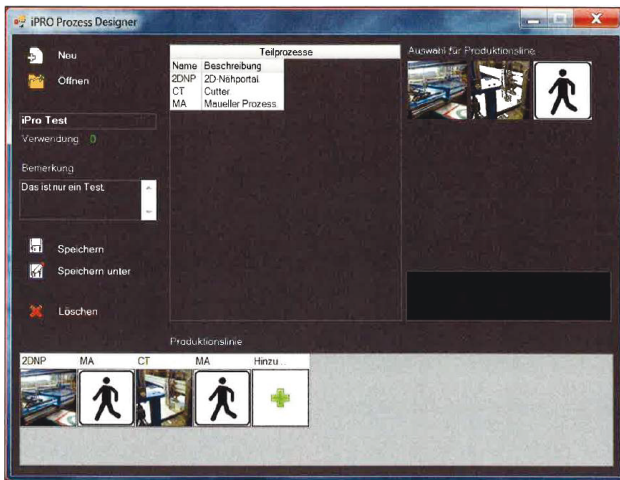


BILD 1 Softwaremodul Bauteildesigner (iSAM AG)

Die Prozessmodule sind in Bibliotheken ausgelagert. Dies erleichtert die Einbindung von neuen Prozessschritten, da nur die entsprechende Bibliothek programmiert und eingerichtet werden muss. Eine Implementierung in die vordefinierten Prozessketten muss nicht vorgenommen werden. Ebenso ist kein Eingriff in das Hauptprogramm notwendig, um Bedienoberflächen oder ähnliches zu erweitern, da diese Bestandteile nun in den Prozessbibliotheken angeordnet sind.

4.5.2. Beispiel für prozessübergreifend optimierte, ineinandergreifende Prozessschritte

Die Vernetzung der Prozessinseln ermöglicht durch die Adaption der Einzelprozesse eine auftragspezifische Optimierung, die sich auf den Gesamtprozess überträgt. Als Beispiel hierfür ist das automatisierte Absortieren von verschnittoptimierten Zuschnitten beschrieben.

Die Positionierung der Zuschnitte wird aus dem Cutter in den Leitreechner verlagert. Die Geometrie jedes Zuschnittes ist in den Bauteildaten für diesen Prozessschritt als dxf-Datei hinterlegt. Der Leitreechner erstellt aus allen Zuschnittgeometrien eines Auftrags eine verschnittoptimierte Anordnung. Diese Positionierung kann für die Erstellung und Adaption der Maschinenprogramme für unterschiedliche Prozessschritte genutzt werden. Sie ermöglicht auch die Überlagerung mit abweichenden Geometrieinformationen anderer Prozesse, zum Beispiel einem Nahtmuster zur Fixierung von Lagenstapel vor dem Zuschnitt. Als Ankerpunkt für die Überlagerung dient der Koordinatenursprung in der jeweiligen dxf-Datei. Dazu werden die Dateien entsprechend eingerichtet. Die Information über die Position des Ursprungs der Zuschnitte wird auch zur Adaption des Transportprogramms zum Absortieren genutzt.

Für das automatisierte Absortieren mit einem robotergeführten Funktionskopf wurde ein Basisprogramm erstellt. Dieses besteht aus der Anfahrt eines sicheren Vorpunktes, einem Programmabschnitt für das Greifen

von der Absortierposition, der sicheren Bahn zu einem Punkt über dem Stapelwerkzeug, einem Abschnitt zum Ablegen des Zuschnitts und der Rückkehr zur Ausgangsposition. Nur die Abschnitte zum Aufnehmen und Ablegen werden an das Bauteil angepasst. Da jeder Zuschnitt eine spezifische, aber feste Ablegeposition hat, wird diese fest in das entsprechende Roboterprogramm für den Transport einprogrammiert. Der Abschnitt des Roboterprogramms zum Absortieren wird vom Leitreechner angepasst. Er beinhaltet den Greifpunkt und einen Vorpunkt, der sich senkrecht zur Cutterebene über dem Greifpunkt befindet und eine senkrechte An- und Abfahrt bewirkt. Die Koordinaten dieser Punkte werden im Roboterprogramm vom Leitreechner überschrieben und das Programm neu übertragen. Das Roboterprogramm führt den sogenannten Tool Center Point (TCP) des Funktionskopfes. Im Leitreechner ist in den Bauteildaten für diesen Prozessschritt hinterlegt, wie groß der Versatz dieses Punktes zum Koordinatenursprung der Zuschnittgeometrie ist und welches Greifmuster genutzt wird (d.h. welche Einzelgreifer aktiviert werden). Dieser Versatz wird bei der Berechnung des Greifpunktes berücksichtigt. Damit eine zusätzliche Umrechnung der Maschinenkoordinatensysteme nicht notwendig wird, wird im Roboterprogramm für das Absortieren ein lokales Werkzeugkoordinatensystem verwendet, das entsprechend des Koordinatensystems des Cutters eingerichtet ist.

Somit wird durch die Vernetzung ein automatisiertes Absortieren von Zuschnitten mit adaptierter Anordnung ermöglicht.

Die Vernetzung der Teilprozesse ermöglicht zudem eine Minimierung von Stillstandzeiten. Über die Reduzierung der Stillstandzeit durch einen direkten Start des Folgeprozesses hinaus, besteht die Möglichkeit, den Transportprozess bereits vor Abschluss des Schneidprozesses zu starten und den Funktionskopf in die kollisionssichere Vorposition zu fahren. Hier wird im Roboterprogramm ein Halt einprogrammiert. Die Fortsetzung des Programms wird durch eine Variable gesteuert. Meldet der Cutter den Abschluss des Schneidprozesses, der immer in einer kollisionssicheren Position des Schneidkopfes endet, setzt der Leitreechner die entsprechende Variable und gibt die Fortsetzung des Roboterprogramms damit frei.

Die Anordnung von Bauteilen durch den Leitreechner ermöglicht, Inspektionsdaten der Halbzeugprüfung zu berücksichtigen. Während des Abrollens wird das Eingangsmaterial optisch auf Defekte untersucht. Eine entsprechende Inspektionseinheit wird im Forschungsprojekt RoCK – Robuste CfK Gesamtprozesskette untersucht und aufgebaut. Die Position und Größe von Defekten wird detektiert und diese Information an den Leitreechner übertragen. Die Verschnittoptimierung berücksichtigt diese Defektflächen als nicht verfügbar. Die Zuschnitte werden so angeordnet, dass sich die Defekte außerhalb der Bauteilbereiche befinden. Dies vermindert die Fertigung von Ausschuss. Es verhindert zudem, dass der Prozess angehalten und die defekten Materialabschnitte manuell in voller Rollenbreite entfernt werden müssen.

5. FAZIT

Die Vernetzung von Prozessinseln zu einer zusammenhängenden Prozesskette bietet das Potential für deutliche Optimierungen der Fertigung und damit zur Erhöhung der Kosteneffizienz. Der Aufbau der Prozesskette aus autarken Prozessmodulen ermöglicht die Nutzung bestehender Anlagen und erhält die Flexibilität der einzelnen Prozesse für ein breites Anwendungsspektrum. Die Integration manueller Prozessschritte führt dazu, dass eine vernetzte Prozesskette graduell eingeführt und erweitert werden kann. Dadurch werden die Hürden für eine Einführung einer vernetzten Fertigung verringert. Die Vorteile einer solchen Prozesskette entfalten sich bei automatisierten Prozessen am stärksten. Eine Verringerung der Aufwände zur Einrichtung neuer Bauteile in solchen Prozessen, z.B. bei der Generierung von Roboterbahnen oder durch eine automatisierte Detektion von Bauteilpositionen, würden der Ausweitung automatisierter Prozesse auf ein breiteres Bauteilspektrum Vorschub leisten und eine Einführung vernetzter Prozessketten zusätzlich begünstigen.

6. LITERATUR

- [1] S. Gubernatis et al., „Integration einer 2D-3D Preformprozesskette – Vom ebenen Halbzeug zur montierten Preform“, Aachen-Dresden International Textile Conference 2012, 29.11.2012, Dresden

7. DANKSAGUNG

Diese Arbeit entstand im Rahmen des Forschungsprojektes IPrO – Integrierte Gesamtprozesskette für Hubschrauber-Oberdeckstrukturen. Das Forschungsprojekt IPrO wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie im Zuge des Luftfahrtförderprogramms LuFo V-1 gefördert (Förderkennzeichen 20H1309A). Die Arbeiten zur vernetzten Fertigung bauen auf Ergebnissen zur Verkettung von Prozessen mit einem Leitrechner auf, welche im BMWi geförderten LuFo IV-3 Projekt LoCAR – Low Cost Advanced Rotor System erarbeitet wurden (Förderkennzeichen 20H0910A). Die Inspektion von Faserhalbzeugen wird im BMWi geförderten LuFo IV-4 Projekt RoCK – Robuste CfK Gesamtprozesskette untersucht (Förderkennzeichen 20W1110F). Die Autoren bedanken sich ausdrücklich für diese Unterstützung, welche die Forschungsarbeiten auf diesem Themenfeld ermöglichen.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages