

Digitale Befundung und Zertifizierung in der Luftfahrtindustrie

Ein innovativer Ansatz am Beispiel der Lufthansa Technik AG

Sven Borchert und Wanja Wellbrock, Lumics GmbH & Co. KG, Hamburg

Die Befundung und Dokumentation der Reparaturprozesse samt abschließender Zertifizierung der betroffenen Bauteile spielt im Bereich Aviation aufgrund sehr hoher Sicherheitsanforderungen eine zentrale Rolle. Die Dokumentation aller Arbeitsschritte inklusive verwendeter Materialien, sämtlicher Prozessparameter der eingesetzten Maschinen und Anlagen sowie der erhaltenen Testergebnisse führt in Kombination mit der Gewährleistung einer ständigen Nachverfolgbarkeit aller Teile und Prozesse zu einem sehr hohen Aufwand, der in ineffizienten Durchlaufzeiten und somit hohen Kosten resultiert. Das Projekt „Aufbau einer Plenum-Fertigung“ bei der Lufthansa Technik AG in Hamburg setzt genau an diesem Problem an und verdeutlicht, wie durch eine umfassende Digitalisierung und Automatisierung der zugrundeliegenden Prozessschritte eine Reduzierung der Durchlaufzeit um knapp 70 % erreicht werden kann.

Digitalisierung wird in Wissenschaft und Unternehmenspraxis als einer der entscheidenden Megatrends für die Zukunft hervorgehoben [1-4]. Vereinzelt wird der Einfluss der Digitalisierung auf das unternehmerische Handeln sogar mit einer sechsten Kondratieff-Welle gleichgesetzt [5-7], was hervorhebt, dass die Produktionsprozesse aktuell und in naher Zukunft einem grundlegenden Wandel unterliegen werden und hiermit erhebliche Produktivitätsvorteile in Bezug auf Durchlaufzeit sowie Personal- und Maschineneinsatz verbunden sind [8-11]. Das Potenzial einer Digitalisierung von Geschäftsprozessen wird in diesem Beitrag anhand des Befundungs-, Dokumentations- und Zertifizierungsprozesses in der Luftfahrtindustrie am Beispiel der Plenum-Fertigung bei der Lufthansa Technik AG in Hamburg verdeutlicht.

Ausgangssituation und Zielsetzung des Projekts

Im Rahmen eines Insourcing-Projekts vom OEM wurde die Unternehmensberatung Lumics GmbH & Co. KG durch die Lufthansa Technik AG beauftragt, in einer gemeinsamen Kooperation die gesamte Planung des Reparaturprozesses im Bereich Plenum ausgehend von der Lay-outplanung bis zum finalen Produktionsstart

unter dem Gesichtspunkt einer möglichst digitalen Ausprägung durchzuführen. Als Teil der Air-conditioning-Unit dient das Plenum der Luftversorgung in der Kabine. Das Plenum als Komponente setzt sich aus den beiden Bauteilen Housing und Diffusor sowie mehreren Einzelteilen bis hin zu Schrauben und Unterlegscheiben zusammen. Die Komplexität ist relativ gering, sodass der Fokus innerhalb des Projekts primär auf die Digitalisierung und nicht auf den Reparaturprozess an sich gelegt werden konnte.

Als Ziel des Projekts wurde eine Kostenreduktion um 30 %, eine Verkürzung der Durchlaufzeit von 19 auf sechs Tage sowie eine Reduktion der Ausschussrate von 50 % auf fünf Prozent definiert. Die gesetzten Ziele können ausschließlich durch eine umfassende Automatisierung der einzelnen Reparaturschritte sowie der hiermit verbundenen Befundungs-, Dokumentations- und Zertifizierungsprozesse erreicht werden. Insbesondere die individuelle Befundung jedes einzelnen Bauteils sowie die Ableitung des erforderlichen Reparaturaufwands stellen bisher ein großes Problem dar. Pro Bauteil existieren unterschiedliche Reparaturaufträge samt Kundenangebot, was die

Digitalization of Reporting, Documentation and Certification Processes

Due to high safety requirements of the aviation industry, the appraisal and documentation of all repair processes, including the final certification of the affected components play a central role. The documentation of all parts of the workflow including materials and machine process parameters as well as the obtained test results leads to inefficient processing times and high costs. To address this problem, Lufthansa Technik AG Hamburg launched the project "Installation of a plenum production" and illustrates how an extensive digitalization and automation of the underlying processes can lead to a reduction in processing time of up to 70%.

Keywords:

digitalization, aviation, MRO, process design, certification



Dr. Sven Borchert arbeitet als Principal bei der Unternehmensberatung Lumics GmbH & Co. KG am Standort Hamburg. Seine Kernkompetenzen liegen im Bereich Lean & Change Management, Fabrikplanung, Value Engineering und Supply Chain Management.



Dr. Wanja Wellbrock arbeitet als Senior Consultant bei der Lumics GmbH & Co. KG am Standort Frankfurt. Seine Kernkompetenzen liegen im Bereich Supply Chain Management, Prozessorientierung, Logistik und Beschaffungswirtschaft.

sven.borchert@lumics-consulting.de
www.lumics-consulting.de

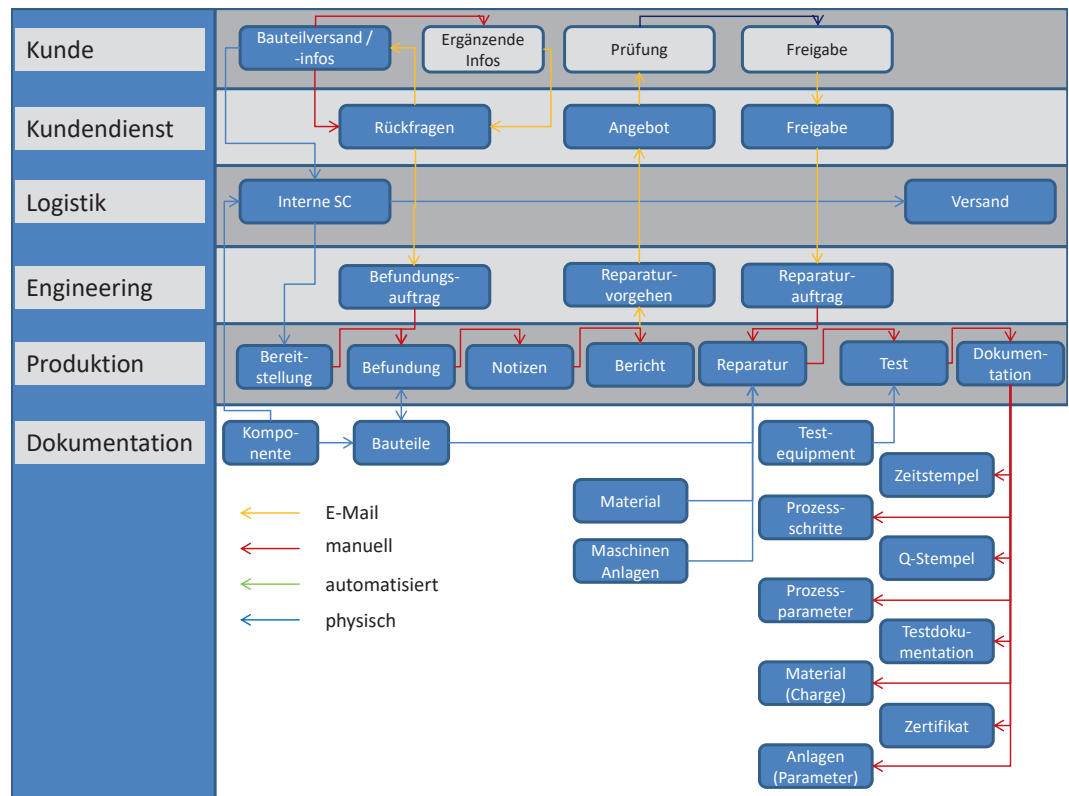


Bild 1: Bestehende Informationsströme in der Plenum-Fertigung.

Komplexität deutlich erhöht. Trotz teilweise stark differierender Schadensbilder wird als Projektziel ein ganzheitlicher Informationsstrom angestrebt. Basierend auf einer Optimierung der physischen Reparaturprozesse wird eine automatische Konfiguration der Angebote bzw. Reparaturaufträge sowie eine automatisierte Erfassung der relevanten Prozessinformationen für einen vernetzten und weitgehend autonomen Zertifizierungs- und Dokumentationsprozess sichergestellt.

Ursprüngliches Prozessdesign

Bei der Einsteuerung von Bauteilen in die Fertigung werden bisher weder spezifische Bauteil-, Prozess-, Material- oder Maschineninformationen berücksichtigt. Die Teile werden nach dem Push-Prinzip in die Fertigung eingeschleust, wodurch teilweise auch eine Weiterleitung stattfindet, ohne dass alle für den Prozessstart erforderlichen Informationen vorliegen. Die fehlenden Daten werden im Nachgang von den Kunden abgefragt und manuell in die technische Dokumentation eingepflegt. Neben diesem Beispiel besteht eine Vielzahl weiterer organisatorischer und informatorischer Schnittstellen, die in Bild 1 grafisch dargestellt sind. Alleine von der Bereitstellung des Teils durch den Kunden bis zum Start der Befundung sind fünf verschiedene Organisationseinheiten eingebunden. Die Anzahl an Schnittstellen erhöht sich zudem nochmals durch fehlende Bauteil-, Kunden- und Logistik-

informationen, die wiederum vielfältige Rückfragen erforderlich machen.

Bild 1 zeigt zudem, dass die Informationsströme entweder manuell oder durch E-Mail-Verkehr abgewickelt werden. Eine automatisierte oder zumindest teilautomatisierte Informationsverarbeitung findet bisher in keinem Prozessschritt statt. Bauteile und Materialien werden genauso wie Maschinen und Anlagen nicht automatisch erkannt und eine automatisierte Weitergabe wichtiger Daten ist ebenfalls nicht implementiert. Ergänzend kommt hinzu, dass existierende Informationen nicht genutzt werden, um Zwischenprodukte wie bspw. Kundenangebote vollautomatisch zu generieren. Durch die Vielzahl nicht vernetzter Schnittstellen sind vereinzelt sogar zusätzliche Zwischenprodukte ohne jeden eigenen Mehrwert notwendig. Beispielhaft ist die Definition des Reparaturvorgehens durch das Engineering auf Grundlage des Befundungsberichts der Produktion zu nennen. Bei einem vollständig digitalisierten Prozessablauf kann das Angebot zukünftig direkt auf Grundlage des Befundungsberichts generiert werden, sodass der Zwischenschritt „Definition des Reparaturvorgehens“ obsolet wird.

Digitalisierung des Gesamtprozesses als innovativer Ansatz

Als Reaktion auf die beschriebenen Probleme orientiert sich das zukünftige Prozessdesign an

einer konsequenten Automatisierung und Digitalisierung der Erfassung, Speicherung, Weiterleitung und Verarbeitung aller relevanten Informationen für den Plenum-Fertigungsprozess, wobei folgende Verbesserungen im Mittelpunkt stehen:

- Reduktion der manuellen Einbindung von Organisationseinheiten
- Reduktion relevanter Schnittstellen
- Eliminierung, Parallelisierung oder Verkürzung einzelner Prozessschritte
- Verringerung manueller Tätigkeiten innerhalb der Informationserfassung und -verarbeitung
- Selbstauskunft und gegenseitige Interaktion zwischen Maschinen/Anlagen sowie Materialien und Prozessen.

Das Zielbild der Informationsströme innerhalb der Plenum-Werkstatt wird in Bild 2 grafisch dargestellt. Mit Ausnahme der physischen Prozesse (u. a. Bereitstellung, Befundung und Reparatur) sind alle Prozesse (bspw. Erstellung Reparaturauftrag, Berichtsgenerierung oder Angebotserstellung) miteinander verknüpft und automatisiert. Nicht betrachtet wird hierbei die externe Schnittstelle zum Kunden, da hier anders als in der Automobilindustrie noch kein standardisiertes Vorgehen vorliegt.

In den folgenden Abschnitten werden anhand der einzelnen Prozessschritte die vorgenommenen Optimierungen im Detail dargestellt.

Neuausrichtung der Produktionsplanung und steuerung

Die Produktionssteuerung wird im Rahmen des Projekts von einer Push- in eine Pull-Orientierung umgewandelt. Die Basis hierfür ist die elektronische Fertigmeldung eines Reparaturauftrags, der automatisch zu einer Plananpassung und zum Abruf weiterer zu bearbeitender Bauteile führt. Die Auswahl der einzusteuern den Bauteile ist neben den verschiedenen Teilmustern auch an die zusätzlich benötigten Informationen wie bspw. Flugzeugkennung oder Flugstunden gekoppelt. Anhand einer Vollständigkeitsüberprüfung wird sichergestellt, dass bei der Einspielung in das ERP-System Bauteile nicht weitergeleitet werden, bei denen relevante Daten fehlen. Die Rückfrage nach fehlenden Daten erfolgt derzeit noch per E-Mail, in einem zweiten Schritt ist allerdings die Errichtung einer standardisierten Schnittstelle zum Datenaustausch geplant.

Da je nach Flugzeugmuster zwei unterschiedliche Fertigungslinien bestehen, werden die Durchlaufzeiten zur Optimierung der Auf-

tragseinstellung auf Basis der Belegung der Arbeitsplätze und Anlagen ermittelt, die jeweils eine Selbstauskunft über ihren Belegungszustand an das Steuerungssystem liefern. Als weitere Steuerungsgröße wird die Qualifikationsmatrix der Mitarbeiter anhand der Anmeldezeiten im System in die tagesgenaue Planung integriert.

Zusammenlegung von Reparaturauftrag und Befundung

Wurde im alten Prozessdesign noch jeweils ein separater Befundungs- und Reparaturauftrag angelegt, werden diese nun zu einem einzigen Auftrag zusammengefasst. Die Komponentendaten werden hierfür automatisch von der Lufthansa Technik Logistics Services (LTLS) übernommen und in den Auftrag eingespeist. Die erforderlichen Schritte, Zeiten und Kosten für die anschließende Reparatur sind ebenfalls im System hinterlegt und werden entsprechend der Flugzeugmuster/Bauteile für den jeweiligen Auftrag übertragen.

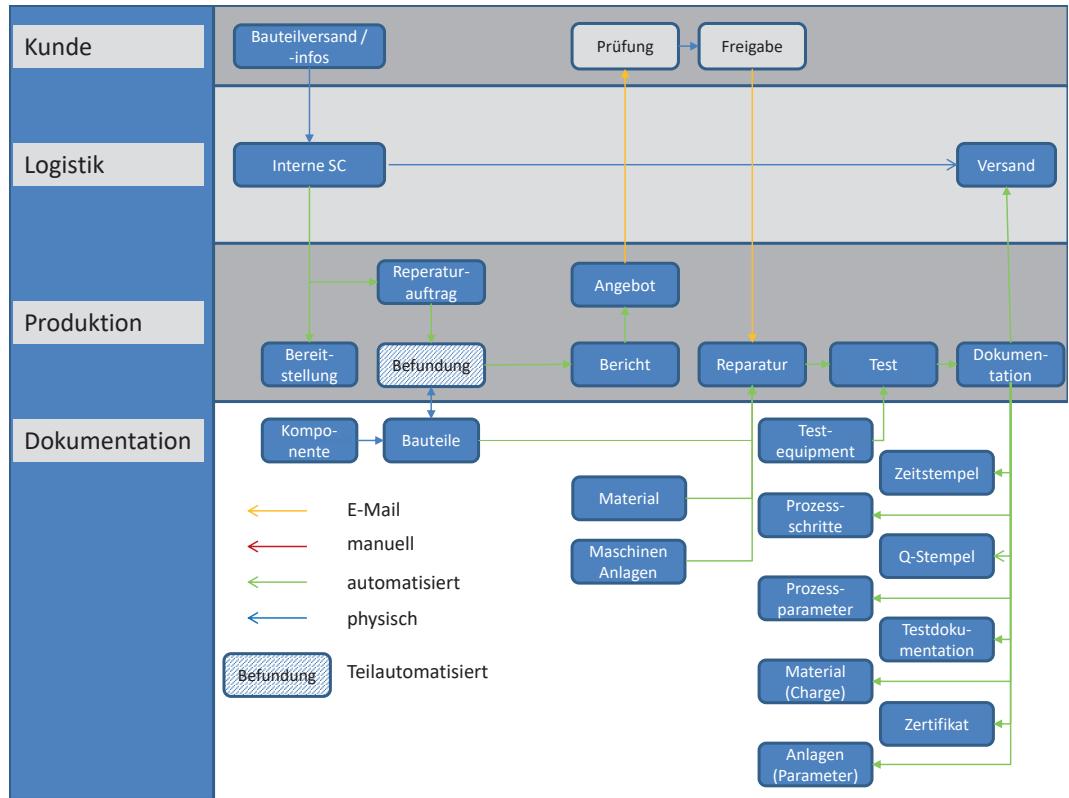
Im Vorfeld der Befundung werden Schadensbilder und Fehlerklassen ermittelt. Für die einzelnen Schadensstellen und den zugrundeliegenden Grad des Schadens werden anschließend Reparaturkategorien definiert und je Kategorie das Reparaturverfahren festgelegt, welches wiederum mit einer definierten Reparaturzeit je Prozessschritt sowie den notwendigen Materialverbräuchen, der Arbeitszeit und Betriebsmittelstunden als Durchschnittswert verbunden ist. Die Befundung erfolgt in einem geführten Prozess, indem anhand des jeweiligen Schadens die zugrundeliegende Reparaturkategorie ausgewählt wird und der Anwender ausschließlich aus hinterlegten Fehlerbeschreibungen selektieren kann.

Der Reparaturauftrag selbst wird anhand der getroffenen Auswahl anschließend automatisch vervollständigt und mit den entsprechenden Informationen aus dem Reparaturmanual verknüpft, wodurch der Auftrag zeitgleich inklusive Planzeiten und Kosten in SAP vermerkt wird.

Automatische Angebotserstellung

Basierend auf dem Reparaturauftrag, in dem alle entscheidungsrelevanten Informationen hinterlegt sind, wird anschließend vollständig automatisiert ein Kundendienstreport samt Angebot erstellt. Hierzu wird in SAP abgefragt, ob es sich um ein Pool- oder ein Kundenbauteil handelt. Ergänzend werden weitere Vertragsinformationen, wie bspw. im Rahmenvertrag vereinbarte Reparaturkosten, automatisch für

Bild 2: Zielbild der Informationsströme in der Ple-num-Fertigung.



Literatur:

- [1] Bankewitz, M.; Aberg, C.; Teuchert, C.: Digitalization and boards of directors: a new era of corporate governance? In: Business and Management Research 5 (2016) 2, S. 58.
- [2] Pfeiffer, S.: Industrie 4.0 und die Digitalisierung der Produktion – Hype oder Megatrend. In: APuZ – Aus Politik und Zeitgeschichte 65 (2015) 31/32, S. 6-12.
- [3] Hamidian, K.; Kraijo, C.: Digitalisierung – Status quo. In: Keuper, F.; Hamidian, K.; Verwaayen, E.; Kalinowski, T.; Kraijo, C. (Hrsg): Digitalisierung und Innovation. Planung – Entstehung – Entwicklungsperspektiven. Wiesbaden 2013.
- [4] Wellbrock, W.: Innovative Supply-Chain-Management-Konzepte. Branchenübergreifende Bedarfsanalyse sowie Konzipierung eines Entwicklungsprozessmodells. Wiesbaden 2015.
- [5] Böhm, J.: Digitale Transformation – Trend oder industrielle Revolution. URL: <http://www.computerwoche.de/a/digitale-transformation-trend-oder-industrielle-revolution,3312556>, Abrufdatum 27.12.2016.
- [6] Hansen, J.: Diese 16 Megatrends werden unsere Zukunft maßgeblich beeinflussen. URL: <http://www.zukunftstark.org/megatrends/>, Abrufdatum 27.12.2016.
- [7] Klös, H.-P.: Digitalisierung lässt eine neue Ökonomie wachsen. URL: <http://www.iwkoeln.de/press/interviews/beitrag/hans-peter-kloes-im-randstadkorrespondent-digitalisierung-laesst-eine-neue-oekonomie-wachsen-239547?highlight=kondratieff%252Bdigitalisierung>, Abrufdatum 27.12.2016.

die Abrechnung bzw. Angebotserstellung berücksichtigt. Wenn es sich um ein Poolbauteil handelt, kann die Reparatur unmittelbar erfolgen; bei einem Kundenbauteil ist hingegen zuerst ein Schadensbericht samt Angebot an den Kunden zu versenden. Durch die digitale Kennzeichnung der Schadensstelle inklusive entsprechender Fotos kann der Kunde die Angebotsgrundlage unmittelbar einsehen.

Dokumentation der Arbeitsschritte sowie der Material- und Maschinendaten

Im Rahmen des Reparaturprozesses sind eine Reihe von Arbeitsschritten ausgehend von der Demontage über Reinigungs-, Schleif-, Lackier- und Härtingsprozesse bis hin zu ergänzenden unterschiedlichen Reparaturverfahren sowie Teileaustausch zu durchlaufen. Um die flugrechtlichen Regularien zu erfüllen, ist jeder einzelne Schritt durch den Bearbeiter zu dokumentieren. Im neuen Prozessdesign können die Reparaturbeschreibungen anhand der Befundergebnisse automatisch in die Dokumentation übernommen werden. Lediglich in Ausnahmefällen ist es erforderlich, dass der Mitarbeiter weitergehende Erläuterungen zur Reparatur in den Bericht einpflegt. Durch die Nutzung mitarbeiterindividueller ID-Karten wird zudem gewährleistet, dass nur Mitarbeiter mit einer entsprechenden Qualifikation den Reparaturschritt dokumentieren. Hierfür wird an den Arbeitsstationen ein Kar-

tenlesegerät eingesetzt, welches gleichzeitig auch die Zeiterfassung je Reparaturschritt vornimmt.

Zusätzlich zu den Reparaturschritten sind auch alle Material- und Maschinendaten zu erfassen, zu dokumentieren und den betroffenen Bauteilen zuzuordnen. In einem ersten Schritt werden hierfür Quick Response Codes (QRC) auf den Materialien und Anlagen angebracht bzw. die Maschinendaten direkt ausgelesen und über das Intranet mit den Aufträgen verknüpft. In einem zweiten Schritt soll die Verknüpfung von Bauteil-, Material- und Maschinendaten ohne zusätzliche QRC-Erfassung durch eine vollständige Ausstattung mit Radio-Frequency Identification (RFID) sichergestellt werden. Für Materialien mit einem Verfallsdatum wird zudem eine automatische Warnmeldung zum Ablauf der Verwendbarkeit generiert. Insgesamt wird die Informationskette somit über den gesamten Prozess ohne eine manuelle Datenerfassung sichergestellt. Als weiterer positiver Effekt wird die Transparenz in der internen Supply Chain erhöht, wodurch Fertigungsstillstände aufgrund verbrauchter oder abgelaufener Materialien vermeidbar sind.

Automatisierung der Testdokumentation

Im Rahmen der Testphase sind in einem definierten Zeitraum unterschiedliche Messwerte

(bspw. der Druckabfall bei Undichtigkeit) zu erfassen und zu dokumentieren. Neben dem Bauteil werden stets auch das verwendete Testequipment sowie der durchführende Mitarbeiter dokumentiert. Im neuen Prozessdesign erfolgt die Identifizierung des Testequipments über ein Kartenlesegerät, wobei der elektronische Reparaturauftrag weiterhin das zentrale Objekt darstellt, dem alle Informationen zuzuordnen sind. Da das Testequipment als Messgerät einer regelmäßigen Kalibrierung unterliegt, erfolgt auch hier eine automatische Warnmeldung kurz vor Ablauf der Gültigkeit, ergänzt um eine selbstständige Einplanung zur erneuten Zertifizierung in elektronischer Form anhand einer zentralen Equipment-Datenbank. Im Rahmen der Auftragsplanung wird somit immer die aktuelle Verfügbarkeit der Testvorrichtungen berücksichtigt.

Zertifizierung als finaler Prozessschritt

Durch die Zertifizierung wird die finale Einsetzbarkeit der Komponenten im Flugzeug dokumentiert. Alle erforderlichen Informationen bzgl. Komponenten-, Mitarbeiter-, Material- und Maschinendaten sowie der durchgeführten Arbeitsschritte werden im Zertifikat zusammengefasst. Hierfür sind sämtliche Fertigungs- und Reparaturschritte genauso wie der erreichte Gesamtzustand des reparierten Bauteils durch einen zugelassenen Mitarbeiter zu beschreiben, sodass anschließend die Airworthiness bestätigt werden kann. Für diesen Schritt wird bei der Lufthansa Technik AG das System eStamp in den Prozess integriert, mit dem der ehemals physische Stempelprozess durch einen elektronischen Prozess ersetzt wird. Als Basis für das Tool dient die Hinterlegung des Qualifizierungsniveaus aller Mitarbeiter inklusive der jeweils erforderlichen Mindestausprägung für die einzelnen Fertigungsschritte in SAP. Anhand des elektronischen Mitarbeiterausweises erfolgt anschließend ein automatischer Abgleich, ob der jeweilige Mitarbeiter für die Ausführung des Bearbeitungsschritts und der zugehörigen Zertifizierung freigegeben ist. Durch diese Vorkehrung entfällt das manuelle Abstempeln und Zertifizieren durch die Mitarbeiter entlang des gesamten Reparaturprozesses, sodass das finale Zertifikat direkt nach Prozessabschluss vorliegt und ein unmittelbarer Einbau im Flugzeug ermöglicht wird.

Produktionscontrolling als Steuerungsinstrument

Das Produktionscontrolling ist im Sinne einer Steuerung des Gesamtprozesses konsequent

an den vom Management vorgegebenen Zielen ausgerichtet [12]. Im Mittelpunkt stehen vor allem die Reparaturkosten, die Durchlaufzeit sowie die Anzahl eingelasteter Komponenten. Die Verfolgung erfolgt auf Komponenten-, Tages-, Wochen- und Monatsbasis. Durch die konsequente Integration aller Prozesse in SAP sowie die Digitalisierung der zugrundeliegenden Informationsströme sind alle Daten direkt online vorhanden und werden vom System selbstständig verarbeitet, sodass im neu eingeführten elektronischen Leistungsdialog [13, 14] stets alle Daten in Echtzeit verfügbar sind.

Fazit und Ausblick

Als Ergebnis des neuen Prozessdesigns konnte die zugrundeliegende Durchlaufzeit von 19 auf sechs Tage reduziert und die Reparaturkosten durchschnittlich um 30 % gesenkt werden. Durch die Digitalisierung und Automatisierung der Informationsprozesse konnte der Kostensatzen pro Reparaturstunde zudem durch den Entfall administrativer Aufgaben im Ist um 35 % gesenkt werden. Das zugrundeliegende Projekt stellt somit einen entscheidenden Beitrag zur rentablen und zukünftig wettbewerbsfähigen Durchführung von Komponentenreparaturen in der Luftfahrtindustrie dar.

Durch die komplette Digitalisierung der Informationsflüsse liegen zudem Verbrauchsinformationen bzgl. Teile und Materialien in Echtzeit vor. Anhand vordefinierter Mindestbestände und Wiederbeschaffungsmengen führt dies beim Einkauf zu einer automatischen Generierung von Bedarfsmeldungen, ohne dass ein Mitarbeiter des Reparaturbereichs aktiv eingreifen muss.

Neben den bereits erwähnten geplanten Ausbauschritten des Prozessdesigns wird derzeit auch die Nutzung von Big Data überprüft [15, 16]. Anhand von Flugstunden, den jeweiligen Start- und Landeorten, Temperaturen und weiteren Parametern können detaillierte Aussagen zum Bauteilzustand, der zu erwartenden Reparaturen und somit auch zur Auftragsplanung, Materialbeschaffung sowie sinnvollen Belegung von Maschinen und Anlagen ermittelt werden. Für die gesamte Flotte der Lufthansa-Gruppe wird eine präventive Instandhaltung angestrebt, was wiederum den zugrundeliegenden Reparaturprozess deutlich erleichtert und vor allem vorhersehbarer macht [17-19].

Schlüsselwörter:

Digitalisierung, Luftfahrtindustrie, MRO, Prozessdesign, Zertifizierung

[8] Horvath, S.: Geschäftsmodellinnovationen durch Digitalisierung – Neue Herausforderungen an den Controllern. In: Burr, W.; Stephan, M. (Hrsg): Technologie, Strategie und Organisation. Wiesbaden 2017.

[9] Picot, A.; Hopf, S.; Sedlmeir, J.: Digitalisierung als Herausforderung für die Industrie – Das Beispiel der Automotive Branche. In: Burr, W.; Stephan, M. (Hrsg): Technologie, Strategie und Organisation. Wiesbaden 2017.

[10] Zollenkop, M.; Lässig, R.: Digitalisierung im Industriegütergeschäft. In: Schallmo, D.; Rusnjak, A.; Anzengruber, J.; Werani, T.; Jünger, M. (Hrsg): Digitale Transformation von Geschäftsmodellen. Grundlagen, Instrumente und Best Practices. Wiesbaden 2017.

[11] Kieviat, A.: Digitalisierung der Wertschöpfung. Auswirkungen auf das Lean Management. In: Künzel, H. (Hrsg): Erfolgsfaktor Lean Management 2.0. Wettbewerbsfähige Verschlinkung auf nachhaltige und kundenorientierte Weise. Wiesbaden 2016.

[12] Wildemann, H.: Produktionscontrolling. Controlling von Verbesserungsprozessen in Unternehmen. München 2001.

[13] Ferstl, G. R.: Lean als Garant für Nachhaltigkeit. Ein Erfahrungsbericht. In: Künzel, H. (Hrsg): Erfolgsfaktor Lean Management 2.0. Wettbewerbsfähige Verschlinkung auf nachhaltige und kundenorientierte Weise. Wiesbaden 2016.

[14] Rauschenberger, H.: Leistungserziehung und Leistungsdialog. In: Becker, K.; von der Groeben, A.; Lenzen, K.-D.; Winter, F. (Hrsg): Leistung sehen, fördern, werten. Tagungsdokumentation. Bad Heilbrunn 2002.

[15] McAfee, A.; Brynjolfsson, E.: Big data. The management revolution. In: Harvard Business Review 90 (2012) 10, S. 60-68.

[16] Mayer-Schönberger, V.; Cukier, K.: Big data. A revolution that will transform how we live, work, and think. Boston New York 2013.

[17] Brücher, C.: Rethink big data. Heidelberg u. a. 2013.

[18] Mensen, H.: Planung, Anlage und Betrieb von Flugplätzen. Berlin u. a. 2007.

[19] Mensen, H.: Handbuch der Luftfahrt. Berlin u. a. 2003.