

Entwicklung technischer Unterstützungssysteme für die Flugzeugfertigung – Roboter, Exoskelette und Chancen der Digitalisierung

Gaby SOEHNER¹, Ingo KROHNE², Robert A. GOEHLICH³

¹ *Airbus, Innovation & Development Manufacturing Technologies
Airbus-Allee 1, 28199 Bremen, Germany*

² *Airbus, Innovation & Development Manufacturing Technologies
Kreetslag 10, 21129 Hamburg, Germany*

³ *Airbus, Manufacturing Engineering
Kreetslag 10, 21129 Hamburg, Germany*

Kurzfassung: Die Anforderungen bei der Flugzeugfertigung bezüglich Arbeitssicherheit, Qualität und Produktivität sind sehr hoch. Kooperierende Roboter, das Tragen von Exoskeletten und der Einsatz der Digitalisierung können die hochqualifizierten Mechaniker dabei unterstützen. Im Rahmen dieses Artikels werden die Entwicklungen und Potentiale von zukünftigen Systemen betrachtet und Lösungsansätze vorgestellt.

Schlüsselwörter: Ergonomie, Exoskelette, Industrie 4.0, kooperierende Roboter, Mechaniker

Development of Technical Support Systems Applicable in the Aircraft Production – Robots, Exo Skeletons, and Chances of Digitalization

Abstract. Requirements of aircraft production are very challenging concerning working safety, quality, and productivity aspects. Cooperating robots, wearing of exo skeletons, and the use of digitalization processes might support high-skilled technicians. In the scope of this paper the development and associated potentials of future systems are discussed as well as the solution approaches are presented.

Keywords. Ergonomy, exo skeletons, Industry 4.0, cooperating robots, technician

1. Einleitung

Die Flugzeugfertigung (Abb. 1) besteht aus einer Vielzahl von sehr komplexen Prozessen; einige Tätigkeiten werden wiederholt durchgeführt wo ein Potenzial für eine Roboterunterstützung vorhanden ist; während andere Tätigkeiten selten oder in einem geänderten Ablauf vorkommen also eher ein Potenzial für Exoskelette besteht. Die Digitalisierung kann helfen für diese sich oft veränderbaren Prozesse dem Mitarbeiter die richtigen Informationen zeitnah zur Verfügung zu stellen, die für den jeweiligen Anwendungsfall passendste Lösung aus den verfügbaren Robotern und Exoskeletten anzubieten oder zu kombinieren. Darüber hinaus ist es aber auch erforderlich die Erfahrungen eines bestimmten qualifizierten Mechanikers zur

richtigen Zeit und am richtigen Ort zu transportieren durch z.B. *Distance Diagnosis* ähnlich wie im Medizinbereich.

Im folgenden Abschnitt wird der Bedarf von Unterstützungssystemen in der Flugzeugproduktion identifiziert, um im Anschluss beispielhafte Entwicklungen von passenden Robotern, Exoskeletten und Digitalisierungsansätzen vorzustellen.



Abbildung 1: Flugzeugfertigung: A320neo in der Final Assembly Line. (Airbus, 2014)(links), Tragflächenausrüstung im Airbus Werk Bremen (Airbus, 2013)(rechts)

2. Bedarf von Unterstützungssystemen

Bei der Flugzeugproduktion werden einige Tätigkeiten an schwer zugänglichen Bereichen durchgeführt mit teilweise relativ schwerem Werkzeug. Um die Arbeitsbedingungen für die Mitarbeiter in den Fertigungsbereichen zu verbessern, werden Unterstützungssysteme eingesetzt, adaptiert oder entwickelt. Dabei vergleicht AIRBUS bestehende State-of-the-Art Systeme mit Neu- oder Weiterentwicklungen. Insbesondere ergeben sich heute völlig neue Möglichkeiten durch den Einsatz von mit dem Menschen kollaborierenden Systemen. Ergonomen und Fertigungs- und Entwicklungsbereiche arbeiten in den Projekten sehr eng miteinander. Das Unterstützungssystem soll in erster Linie dem Anwender ‚helfen‘ und gleichzeitig, im Sinne der Produktivität, einen wichtigen Beitrag leisten. Die Basis eines jeden Entwicklungsprojektes in diesem Kontext waren und sind Analysen. Hier seien beispielhaft die sog. EMMA – Analyse (Ergonomie- Merkmal-Methode AIRBUS) und die Gemeinschaftsstudie von Airbus und der Helmut-Schmidt-Universität (Goehlich et al., 2016) genannt. Hierbei wurden vier wesentliche Anwendungsfälle identifiziert (Abb. 2 und Abb. 3):

- **Szenario 1:** Arbeiten in gebeugter/ gehockter Haltung bei der Flügelausrüstung
Diese Bedingungen treten vermehrt bei der Systeminstallation unterhalb oder oberhalb der Flügel auf. Die Mitarbeiter arbeiten dabei entweder in gebeugter Haltung (auf dem Flügel) oder Überkopf, d.h. die Arme über Schulterhöhe (unter dem Flügel).
- **Szenario 2:** Heben von Lasten bei der Flügelausrüstung
Bei der Montage der Hochauftriebskomponenten (Landeklappen, Spoiler, etc.) mit den dazu gehörigen Kinematischen Elementen (Aktuatoren, Tracks) an die Wing- Box müssen Lasten von mehreren Mechanikern gehoben, gehalten und/ oder montiert. Der Großteil dieser Arbeiten wird im Stehen ausgeführt.

- **Szenario 3: Überkopfarbeiten bei der Rumpfmontage**
Innerhalb des Rumpfes treten häufig Aufgaben mit ungünstigen ergonomischen Bedingungen auf. Das geringe Platzangebot beeinflusst die Ausführungsbedingung und erschwert die Zugänglichkeit. Die auftretende Last kommt hauptsächlich von zu hebenden Werkzeugen (Bohrwerkzeuge, Nietquetschen, usw.) und nicht von den Bauteilen selbst. Im Passagierdeck werden unterschiedliche Tätigkeiten ausgeführt. Bestimmend sind dabei Bohr- und Nietarbeiten, beispielsweise beim Herstellen der Längs- und Quernähte und dem Setzen von Haltern. Kennzeichnend dafür sind häufige Werkzeugwechsel (Verwendung verschiedener Bohrer, Nietquetschen und Abziehgeräte) und eine hohe Wiederholrate der Arbeitsabläufe in verschiedenen Positionen.
- **Szenario 4: Arbeiten im Knien und Liegen bei der Rumpfmontage**
Die stärksten Beeinträchtigungen hinsichtlich der Zugänglichkeit sind im Cargo-Bereich zu finden. Häufig werden dort kniende Arbeiten mit sowohl schlechter Zugänglichkeit als auch schlechter Einsicht über Kopf ausgeführt. Dazu gehören das Montieren von Haltern, das Nieten von Stringer-Kupplungen während der Strukturmontage, das Aufbringen des Oberflächenschutzes in der Restkonservierungsbox und die anschließende Systeminstallation im Fußbodenrost. Aufgrund des geringen zur Verfügung stehenden Platzes nimmt der Techniker oft eine gebückte Haltung ein bzw. führt die Tätigkeiten kniend aus.



Abbildung 2: Typische Körperhaltungen in der Tragflächenausrüstung (Foto Airbus)



Abbildung 3: Typische Körperhaltungen bei der Rumpfmontage. (Airbus 2016a; Airbus 2016b)

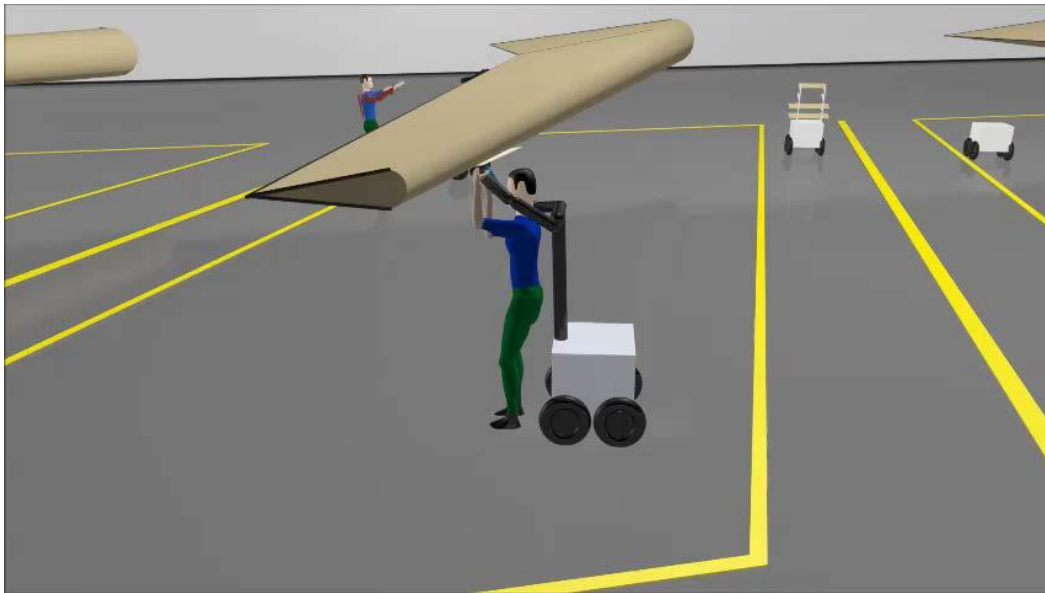


Abbildung 4: Endeffektor-Geführter mobiler LWR (DFKI 2016)

In den durchgeführten Studien wurden dabei die folgenden wesentlichen Unterstützungsbedarfe ermittelt:

- Fixierung und Stabilisierung von Körperhaltungen oder -positionen
- Entlastung der oberen und unteren Extremitäten und des Oberkörpers
- Verbesserung der Erreichbarkeit von Arbeitspunkten
- Führen und Halten von Werkzeugen und Bauteilen oder Komponenten
- Gewichtsneutralisation für den Bewegungsapparat
- Qualitätskontrolle

Jeder der genannten Bedarfe ist an eine mehr- oder weniger komplexe Arbeitsaufgabe gekoppelt. In Abhängigkeit dazu werden die jeweiligen Unterstützungssysteme ausgewählt. Dieses können Roboter, Exoskelette oder eine Vernetzung unterschiedlicher Systeme untereinander und/ oder mit dem Menschen sein.

3. Unterstützung durch Roboter

Ein Ansatz um den steigenden Produktionsraten im Flugzeugbau zu begegnen ist der verstärkte Einsatz von Voll- oder Teilautomatisierungslösungen. Die eingesetzten Methoden und Technologien müssen über ein hohes Maß an Einsatzflexibilität und Anpassbarkeit an verschiedenste Anwendungsfälle verfügen. Diese ermöglicht dann eine effektive und effiziente Nutzung derselben. Zudem müssen einige der eingesetzten Roboterlösungen die Fähigkeit besitzen mit dem Menschen zu kooperieren. Ein Beispiel für die Entwicklung eines kollaborierenden Roboters ist beschrieben in (Saenz 2016). Dieser mobile Manipulator wurde entwickelt um den menschlichen Mitarbeiter zu unterstützen, während er Arbeiten in der Flugzeugproduktion durchführt.

In dem spezifischen Anwendungsfall ‚Flügelausrüstung‘ werden komplexe Systeminstallationen (Kabelbündel, Rohrleitungen, etc.), Applikation von Oberflächenschutz, De- und Montage von Paneelen, sowie die Montage der Hochauftriebskomponenten und deren dazugehöriger Kinematik durchgeführt. Eine Vielzahl dieser Tätigkeiten findet unter erschwerten ergonomischen Bedingungen statt. Eine, in Zusammenarbeit mit dem DFKI – RIC durchgeführte Studie (DFKI 2016) am Beispiel der Paneel Demontage und Montage kommt zu dem Ergebnis, dass durch die Einbringung robotischer Unterstützung in manuelle Fertigungsbereiche, optimierte Arbeitsbedingungen für die Werker geschaffen und so der Fertigungsprozess effektiver und effizienter gestaltet wird. (DFKI 2016). Basierend darauf ist es nun das Ziel zukünftige Mensch- Roboter- Kollaborationen zu entwickeln (Abb. 5).

Konzeptionell soll das Robotersystem verschiedene Stufen der Kooperation erfüllen wofür es mobil und adaptierbar sein muss. In einem unterstützenden, kollaborierenden Modus arbeitet das System zusammen mit dem Werker in dem es zum Beispiel schwere Werkstücke anreicht, positioniert und bis zur finalen Montage fixiert. Dabei werden die kognitiven Fähigkeiten des Menschen genutzt, um den Roboter anzuleiten und zu führen. In einem weiteren Ansatz führt der Roboter einfache nicht wertschöpfende Tätigkeiten autonom oder teil-autonom in enger Kooperation mit dem Menschen durch, welcher kontrollieren oder anweisen kann bzw. sich vom Roboter unterstützen lässt. In einer eher klassischen Anwendung wird der Roboter für eine vollständige Automatisierung von Aufgaben genutzt, allerdings in einer mit Menschen geteilten Arbeitsumgebung. Diese stellt besondere Anforderungen an seine Sicherheit.

4. Unterstützung durch Exoskelette

Ein weiterer Entwicklungsschritt sind Konzepte von tragbaren Robotersystemen oder auch Exoskelett genannten Unterstützungssystemen, welche ihren Ursprung in der Medizin, Agrarindustrie oder militärischen Anwendungen haben. Im zunehmenden Maße finden solche Ansätze, auch aufgrund einer erweiterten Produktpalette, Zugang zu produktionspezifischen Anwendungen und werden dementsprechend von der Industrie getestet. Ein Beispiel hierfür ist eine tragbare Sitzhilfe, wie beschrieben in (Sewart 2015).

Solche tragbaren biomechanischen Systeme dienen zur physikalischen Unterstützung des Mitarbeiters während der Durchführung von Tätigkeiten bei gleichzeitiger Nutzung und/oder Förderung seiner kognitiven Struktur. Aus dem jeweiligen Anwendungsfall heraus ergeben sich deutliche Unterschiede zur Ausführung des tragbaren Systems. Der Lösungsansatz für ein System, das über einen langen Zeitraum getragen werden soll und dazu dient repetitive Tätigkeiten mit kleinen oder mittleren Gewichten zu unterstützen, hebt sich mit Sicherheit von Systemen ab, deren Arbeitsaufgabe im kurzzeitigen Heben hoher Gewichte liegt. Prinzipiell lässt sich jedoch sagen, dass nur aus einer ergonomischen Merkmalanalyse heraus ein Anforderungskatalog für die technische Lösung abgeleitet werden kann. Es ergeben sich somit verschiedene Designlösungen wie z.B. beschrieben in (Weidner et al., 2016/a) oder (Weidner et al., 2016/b).

Auch wenn es Designunterschiede in den zu berücksichtigten Kraftverläufen, erforderlichen Komponenten (z.B. passiv oder aktiv) oder Verbindungselementen etc. gibt, bleiben Gemeinsamkeiten. Grundsätzlich erforderlich ist eine Flexibilität bei

gleichzeitiger Bewegungsfreiheit, die für viele Arbeiten bei der Flugzeugmontage in schwer zugänglichen Bereichen notwendig ist. Dieses stellt besondere Anforderungen an ein biomechanisches System, welches die menschlichen Fähigkeiten (kognitiv) und Fertigkeiten (sensormotorisch) unterstützen soll, da diese auch in absehbarer Zeit unabdingbar für die Bearbeitung der bereits beschriebenen komplexen Anwendungsfälle im Flugzeugbau sind.

In Zusammenarbeit mit dem LaFT der Helmut Schmidt Universität hat Airbus ein leichtes, tragbares System entwickelt, welches den Mitarbeiter primär bei Arbeit in und über Kopfhöhe unterstützen soll. Dabei soll nicht das komplette hinzuhabende Gewicht kompensiert-, jedoch eine signifikante Unterstützung bei dauerhaften oder repetitiven Tätigkeiten mit kleinen und mittleren Gewichten, erreicht werden. Ein Prototyp dieses Arm-Unterstützungssystems wurde bereits in der Fertigung getestet, um auch die Optimierungsvorschläge der potenziellen Anwender in die Entwicklung der kommenden Systemgeneration einfließen zu lassen. Zudem steigert die starke Einbindung der Nutzer in die Entwicklung die Akzeptanz solcher Systeme. Parallel zu dem beschriebenen Ansatz werden aber auch kommerzielle Systeme getestet und Lösungen für weitere Anwendungsfälle (z.B. Handhabung hoher Gewichte) entwickelt.



Abbildung 5: Test des Arm-Unterstützungssystem in der Flugzeugproduktion (Foto Airbus)

5. Entwicklungen von Digitalisierungsansätzen

Neben der reinen Entwicklung von mechanischen Systemen, bestehend aus Robotern, Kinematiken, Endeffektoren oder Exoskeletten, muss für eine ganzheitliche Lösung auch die Thematik der Digitalisierung betrachtet werden. Dabei sind verschiedene Aspekte zu berücksichtigen. Zum einen ist die Datenaufnahme über Sensoren relevant, zum anderen müssen die verschiedenen Informationen aber auch vernetzt werden, um sie übergreifend zur Verfügung zu stellen. Vor dem Hintergrund eines technischen Unterstützungssystems ist dieses nicht nur als Arbeitsfortschrittüberwachung zu sehen, sondern mehr als Arbeiterleichterung durch Bereitstellung der richtigen Informationen zum richtigen Zeitpunkt und dies auf Abruf oder gegebenenfalls sogar automatisch. Eine Vereinfachung des

Informationsaustausches und der Kommunikation ist daher auch zu sehen als eine ergonomische Verbesserung des Arbeitsablaufes.



Abbildung 6: Prinzipdarstellung der modularen technische Unterstützungssysteme (DFKI 2016)

Aus der, in Kooperation mit dem DFKI- RIC durchgeführten Studie entwickelte sich auch das Konzept der modularen technische Unterstützungssysteme (Modular- Tool-Box; Abb. 6). Dieser Ansatz bietet die Möglichkeit verschiedenartige Unterstützungssysteme je nach Arbeitsaufgabe miteinander zu kombinieren. Der Arbeiter steht im Mittelpunkt und wählt den benötigten ‚support on demand‘. Die Mensch- Roboter- Kollaboration ermöglicht die Entlastung des Arbeiters und geht mit einer Steigerung der Produktivität einher. Auch das Arbeiten rein robotischer Teams ist in Zukunft möglich. Tragbare Robotersysteme oder Exoskelette, wie auch entsprechende Systeme zur Bereitstellung von Informationen finden ebenfalls Anwendung. Die rasante Entwicklung im Bereich der Kommunikationstechnologien ermöglicht das Vernetzen der einzelnen Module mit- und untereinander. Die Digitalisierung und Vernetzung von Information führt dann zu einer optimalen Auswahl bzw. Kombination der optimalen technischen Lösung für die jeweilige Arbeitsaufgabe, wobei der Mensch im Mittelpunkt steht, und so unterstützt seine Tätigkeiten effizient und effektiv ausführen kann.

6. Empfehlungen und Ausblick

Ein ganzheitlicher Ansatz unter dem Stichwort ‚Industrie 4.0‘ wird bei Airbus aufgenommen und bereitet so die ‚Future Factory‘ in der Luftfahrtindustrie vor. Dabei ist angestrebt die verschiedenen technologischen Ansätze miteinander zu verknüpfen, um so ein industrielles System zu schaffen welches den zukünftigen Marktanforderungen gerecht wird und dabei die Mitarbeiter optimal einbindet und unterstützt. Dieses ist nicht nur vor dem Hintergrund einer Produktivitätssteigerung zu sehen, sondern auch vor dem des demographischen Wandels, der ebenso Anforderungen an die Arbeitswelt der Zukunft stellt.

7. Literatur

- Airbus (2013) Airbus site Bremen fully-equipped wings, 2016. <http://www.airbus.com/galleries/photo-gallery>
- Airbus (2014) FAL A320neo. Accessed July 14, 2016. <http://www.airbus.com/galleries/photo-gallery>
- Airbus (2016a) Airbus Alabama A320 Assembly_5, 2016. <http://www.airbus.com/galleries/photo-gallery>
- Airbus (2016b) Airbus Alabama A320 Assembly_6, 2016. <http://www.airbus.com/galleries/photo-gallery>
- DFKI (2016) interne Airbus Studie: Modulares Unterstützungssystem im Bereich der Tragflächenausrüstung.
- Goehlich RA, Chromik S, Müller SM, Pommier JW, Weidner R, Yao Z, Wulfsberg JP (2016) Bericht Auto-Pro II: Entwicklung eines Soft-frame Unterstützungssystems. Airbus und Helmut-Schmidt-Universität.
- Saenz J., Penzlin F., Vogel C., Fritzsche M. (2016), "VALERI – A collaborative mobile manipulator for aerospace production". 19th International Conference on Climbing and Walking Robots and Support Technologies for Mobile Machines (CLAWAR 2016) – Workshop on Collaborative Robots for Industrial Applications, London, United Kingdom.
- Sewart L. (2015), "Noonee testing Chairless Chair exoskeleton at Audi production plants", <http://robohub.org/noonee-testing-chairless-chair-exoskeleton-at-audi-production-plants/>
- Weidner R., Argubi-Wollesen A., Berger C., Otten B., Yao Z., Wulfsberg: J. P. (2016/a): "Unterstützungssysteme für Tätigkeiten in und über Kopfhöhe." 62.-GfA-Frühjahrskongress – Arbeit in komplexen Systemen – Digital, vernetzt, human?!, pp. 1 - 6, 2016.
- Weidner R., Rodeck R., Wulfsberg J. P., Schüppstuhl T. (2016/b): Unterstützung manueller, qualitätskritischer Tätigkeiten am Beispiel des Schäftens von CFK-Strukturen, wt Werkstattstechnik, Ausgabe 9, pp. 1-7, accepted.



Gesellschaft für
Arbeitswissenschaft e.V.

Fokus Mensch im Flugzeugbau

Herbstkonferenz der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

Airbus Operations GmbH und
Zentrum für Angewandte Luftfahrt-
forschung (ZAL) in Hamburg

29. und 30. September 2016

GfA Press

**Dokumentation der Herbstkonferenz der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.
vom 29. und 30. September 2016, Hamburg**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.
Dortmund: GfA-Press, 2016
ISBN 978-3-936804-21-8

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Konferenzband

Als Manuskript zusammengestellt. Dieser Konferenzband ist nur in der Geschäftsstelle (s. u.)
erhältlich.

Alle Rechte vorbehalten.

© **GfA-Press, Dortmund**
Schriftleitung: Matthias Jäger

im Auftrag der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Ohne ausdrückliche Genehmigung der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. ist es nicht gestattet,
den Konferenzband oder Teile daraus in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein
anderes Verfahren) zu vervielfältigen.

USB-Print: Marlen Manke

Screendesign und Umsetzung

© 2016 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de