Werker der Zukunft: Assistenz im Zeitalter von Industrie 4.0
Worker of the future: Assistance in the age of industry 4.0

Mario Aehnelt, Andreas Müller
Fraunhofer IGD, Rostock - {mario.aehnelt, andreas.mueller}@igd-r.fraunhofer.de

Kurzfassung

Mit der vierten industriellen Revolution wandelt sich die Produktion. Fertigungsumgebungen werden komplexer und viele Prozesse funktionieren automatisiert. Das erfordert eine nahtlose und flexible Einbindung des Menschen in die digitale Fertigung. Insbesondere in der manuellen Montage führt die steigende Variantenvielfalt zu einer Komplexität, die sich nur noch durch die Unterstützung technischer Assistenzsysteme sicher beherrschen lässt. Der Beitrag stellt die Herausforderungen komplexer manueller Montage- und Wartungsprozesse vor, um darauf aufbauend eine Vision für den Werker der Zukunft zu entwerfen. Diese Vision wird anschließend mit zwei Lösungsansätzen aus der Fraunhofer-Forschung illustriert.

Abstract

Due to the fourth industrial revolution, the production is changing. Manufacturing environments become more complex and processes operate automatically. This requires a seamless and flexible integration of people in the smart factory. Especially in the area of manual assembly, the increasing variety leads to a complexity which can be controlled only by support of technical assistance systems. The paper develops a vision for the worker of the future, based on the challenges of complex manual assembly- and maintenance processes. This vision will be illustrated with current developments and examples of the Fraunhofer-research which combine intelligent and visual assistance approaches.

1 Motivation

Mit der vierten industriellen Revolution wandelt sich die Produktion. Fertigungsumgebungen werden komplexer und viele Prozesse funktionieren automatisiert. Das erfordert eine nahtlose und flexible Einbindung des Menschen in die digitale Fertigung. Intelligente Assistenzsysteme sind hier der Schlüssel zu mehr Flexibilität und zu einer optimalen Zusammenarbeit des Menschen mit automatisieren Maschinen. Insbesondere die manuelle Montage von komplexen Anlagen erfordert vom Werker ein hohes Maß an Konzentration und Flexibilität. So werden heute dort deutlich mehr Informationen verarbeitet bzw. erzeugt, als noch vor wenigen Jahren. Die stetig steigende Variantenvielfalt führt dabei zu einer Komplexität, die sich nur noch durch die Unterstützung technischer Assistenzsysteme sicher beherrschen lässt. Dies betrifft konstruktive Veränderungen genauso wie während der Montage erzeugte Prozess- und Qualitätsdaten. In diesem Beitrag werden zwei Lösungsansätze für die Unterstützung des Werkers in der Montage bzw. Wartung vorgestellt: der intelligente Werkstattwagen sowie die dreidimensionale Arbeitsanweisung. Beide Ansätze nutzen Konzepte zur visuellen Anleitung mittels sensorisch-gestützter Assistenz bzw. durch Augmented Reality. Der Fokus liegt dabei auf der industriellen Anwendbarkeit und der Reduzierung der Kosten für die Erstellung von Inhalten und Modellen für diese Form der geführten Assistenz. In dem folgenden Abschnitt werden jedoch zunächst die Herausforderungen für den Werker der Zukunft skizziert.

2 Der Werker der Zukunft

Die fortschreitende Digitalisierung und Automatisierung der Produktion führt einen tiefgreifenden digitalen Wandel herbei, dessen Auswirkungen sich auf alle Produktionsbereiche erstrecken. Mit Blick auf die aktuellen Entwicklungen in der Produktion lassen sich bezogen auf das Thema der Assistenzsysteme bereits heute folgende Trends identifizieren:

- Die vollständige Digitalisierung der Wertschöpfungsketten führt zu einem digitalen Abbild aller Produktionsprozesse und Ressourcen. Dieses Abbild wird auch produktionswichtige Eigenschaften des Menschen enthalten, um eine effektive Steuerung zu gewährleisten.
- Die Automatisierung des Arbeitsprozesses führt zu neuen mechanischen und kognitiven Assistenzsystemen, die immer näher an den Arbeitsbereich des Werkers heranrücken und technikgestütztes, kooperatives Arbeiten ermöglichen.
- Die weiterhin steigende Variabilität und Komplexität der Produkte führt zu einem radikalen Umdenken, bezogen auf Prozesse und Hilfsmittel zur Anleitung des Werkers und zur Qualitätssicherung des Arbeitsprozesses.
- Neue technologische Entwicklungen aus der Forschung und dem Consumer-Markt erreichen die Produktion. Die Bedienungsschnittstellen des Werkers zur Steuerung von Arbeitsmaschinen oder der Arbeitsumgebung werden damit intelligenter und natürlicher.

In diesem Zusammenspiel aus äußeren Einflüssen und Veränderungen von innen heraus, wandelt sich der Arbeitsplatz des Werkers grundlegend. Führte der Einzug der Digitalisierung zu einer Ablösung von Arbeitspapieren durch digitale Arbeitsplatzsteuerungen, so wird die aktuelle digitale Evolution eine noch engere Verzahnung manueller Arbeitsprozesse mit automatisierten Produktionssteuerungen und Produktion vor- sowie nachgelagerten Fachabteilungen bewirken. Der Werker der Zukunft erlebt dadurch eine Wandlung seiner eigenen Arbeit, die sich stärker auf Daten und Informationen stützt und weniger auf Intuition. Er wird zum Informationsarbeiter und damit zur wichtigen Schnittstelle zwischen der digitalen und der real-physischen Produktion.

Dadurch steigen aber auch die Anforderungen an den Werker der Zukunft. Der sichere Umgang mit vielfältigen mechanischen und digitalen Assistenzsystemen sowie die kritische Auseinandersetzung mit autonomen Entscheidungen oder Empfehlungen der Maschine wird ein wesentlicher Bestandteil des Arbeitsalltages. Dementsprechend sind nicht nur produktionstechnische Fähigkeiten und Erfahrungen gefordert, sondern auch Offenheit, Akzeptanz und schnelle Lernfähigkeit gegenüber informationstechnologischen Assistenzsystemen und digitalisierten Arbeitsprozessen.

Gleichzeitig verändern sich die Anforderungen bezogen auf die Erhebung von Daten am Arbeitsplatz. Eine genaue Erfassung von Arbeitsschritten, Arbeitszeiten und Ergebnissen ist die Grundvoraussetzung für den Einsatz cyberphysischer Assistenzsysteme, die den Werker situationsabhängig unterstützen. Hier müssen Datenhoheit, Datenschutz sowie Datennutzung voll umfänglich rechtlich und informationstechnisch geklärt sein, um somit eine Vertrauensbasis für den Einsatz dieser Technologien zu schaffen.

3 Visuelle Assistenz für den Werker der Zukunft

Durch die steigende Komplexität und Vielfalt der Informationen am Produktionsarbeitsplatz oder auch während einer Wartung sinkt die Entscheidungsfähigkeit des Werkers und die Wahrscheinlichkeit für Fehler steigt. Insgesamt kann festgestellt werden, dass durch eine Zunahme des Automatisierungsgrades die Übersicht über einzelne Vorgänge insbesondere im Störungsfall reduziert wird [1,2]. Darin verbirgt sich eine weitreichende Gefahr für die Qualität der Arbeitsabläufe und Arbeitsergebnisse. Aus diesem Grund ist es notwendig die fehlende Übersicht durch eine gezielte Informationsassistenz wiederherzustellen. Im Folgenden werden zwei Lösungen vorgestellt, die sich insbesondere auf die Informationsvermittlung am mobilen Produktions- bzw. Wartungsarbeitsplatz konzentrieren. Sie reduzieren die Informationsmenge auf das für den aktuellen Arbeitsschritt erforderliche Maß, unterstützen durch eine visuelle Darstellung der Arbeitsaufgabe und führen kleinschrittig durch den gesamten Arbeitsprozess.

Der **intelligente Werkstattwagen** nutzt Methoden und Technologien der künstlichen Intelligenz, um situativ angemessen zu assistieren. Die **dreidimensionale Arbeitsanweisung** verwendet Verfahren und Technologien der Augmented Reality zur Visualisierung komplexer Arbeitsabläufe. Diese sollen nun näher vorgestellt werden.

3.1 Der intelligente Werkstattwagen

Mit der variantenreichen Produktion von Kleinserien oder Einzelstücken wird der einzelne Arbeitsplatz und damit der Mitarbeiter vor neue Herausforderungen gestellt. Während die technische Ausführung einzelner Montageschritte Routine bleibt, hat das herzustellende Produkt jedoch viele zu berücksichtigende Besonderheiten. Hier erweist sich die Flexibilität des Montagearbeiters als entscheidender Vorteil gegenüber aufwändig zu automatisierenden Montagestationen. Durch genaue und aktuelle Arbeitsanleitungen wird der Montagearbeiter dabei unterstützt, eine hohe Qualität zu sichern. Bei einer hohen Variantenzahl können diese allerdings nicht mehr individuell von Hand erstellt werden. Hier müssen intelligente Technologien helfen. Der Plant@Hand Werkstattwagen verbindet aus diesem Grund das bewährte Konzept des personalisierten Werkstattwagens mit vorausschauender Informationsunterstützung für den Mitarbeiter [3].

Ein Assistenzsystem im Werkstattwagen erkennt dazu die Arbeitsaktivitäten des Montagearbeiters und leitet ihn kleinschrittig durch den Montageprozess. Vergleichbar mit einem Navigationsgerät eines Autos übernimmt es selbständig die Planung und Kontrolle der Montagereihenfolge. Dabei lässt sich das Assistenzsystem individuell an unterschiedliche Unternehmen und Produktionssituationen anpassen. Der Werker kann entweder weitgehend frei arbeiten, während das Assistenzsystem den eingeschlagenen Weg lediglich im Hintergrund kontrolliert und bei Fehlern interveniert, oder er bekommt strikte Vorgaben und muss die Arbeitsanweisungen des Assistenzsystems streng befolgen.

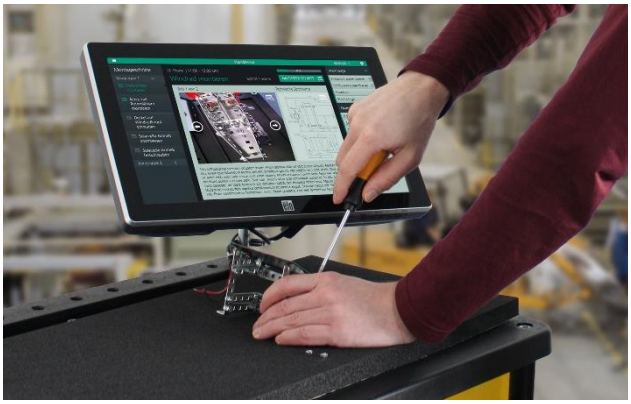

Abbildung 1: Montageaufgaben werden kleinschrittig durch ein System mit künstlicher Intelligenz geplant und ihre Ausführung kontrolliert.

Die technische Voraussetzung für diese Form der Montageassistenz sind Sensoren am Werkstattwagen, die die Verwendung von Material, Werkzeugen und Bauteilen erkennen. Mit Hilfe dieser Informationen kann das Assistenzsystem schließen, welche Hilfestellung bzw. Assistenz der Werker in seiner aktuellen Situation benötigt.

Zu jedem geplanten Arbeitsschritt werden so Informationen zur Erklärung und Visualisierung der auszuführenden

Tätigkeiten bereitgestellt, zum Beispiel als Animation des Konstruktionsmodells. Ein digitales Abbild der realen Arbeitsumgebung hilft während der Montage die aktuelle Situation einzuschätzen und angemessen darauf zu reagieren. Werden zum Beispiel Qualitätsprobleme festgestellt, können automatisiert die entsprechenden Arbeitsschritte zu ihrer Behebung eingeplant werden. Auf diese Weise lassen sich Montagefehler frühzeitig erkennen und beheben. Das intelligente Assistenzsystem des Plant@Hand Werkstattwagen vereinfacht die Feinsteuerung an manuellen Arbeitsplätzen und bietet gerade an mobilen Einsatzorten eine unaufdringliche Unterstützung des Menschen.

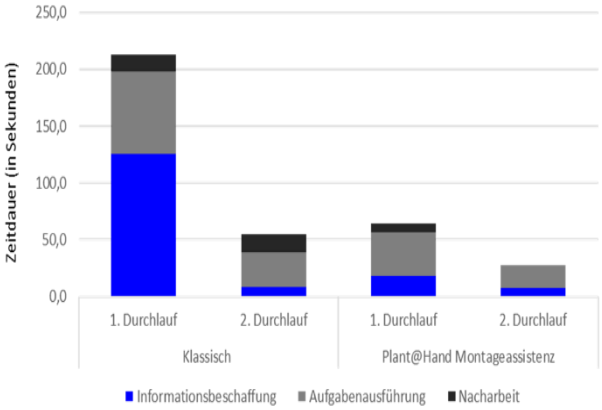

Abbildung 2: Der Einsatz des intelligenten Werkstattwagens reduziert die für Informationsbeschaffung (blau) benötigte Zeit, insbesondere bei unbekannten Arbeitsaufgaben.

Der intelligente Werkstattwagen wurde im Rahmen einer Evaluation im Vergleich zu einer klassischen Montageanleitung getestet (siehe Abbildung 2). Hier wurden die Vorteile des Technologieeinsatzes deutlich:

- Das Assistenzsystem hat zu einer deutlichen Reduzierung der Fehlerrate um 75% geführt.
- Der Wirkungsgrad der durchgeführten Montageaufgaben konnte insbesondere in der Unikatfertigung um 35% gesteigert werden.
- Die Bearbeitungsdauer der Montageaufgaben wurde um 70% reduziert.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass durch den Einsatz des visuellen Informationsassistenzsystems im intelligenten Werkstattwagen die Zeitdauer für kognitive Arbeitsprozesse des Montagearbeiters reduziert wird.

3.2 Die dreidimensionale Arbeitsanweisung

Durch das korrekte Verstehen komplexer Aufgaben wird eine fehlerfreie und qualitätssichere Ausführung der Montage sichergestellt. Aus diesem Grund setzt die Plant@Hand Montageassistenz Verfahren zur Visualisierung von 3D-Modellen ein. Dadurch werden dem Werker komplexe Abläufe und Arbeitsschritte interaktiv und visuell eindeutig vermittelt [4]. Die dreidimensionale Arbeitsanweisung nutzt hierfür die Daten der Konstruktion und

Abbildung 3: Einsatz der dreidimensionalen Arbeitsanweisungen auf einem Tablet zur Erklärung bzw. Anleitung von Montage- und Wartungsaufgaben.

Arbeitsvorbereitung, um somit das Wahrnehmen, Verstehen und Ausführen von Arbeitsschritten durch den Werker zu unterstützen. Kleinteilige Anweisungen werden so als Bilder, Texte oder Animationen auf einem Ausschnitt des Konstruktionsmodells der Montageobjekte dargestellt, um möglichst einfach Sachverhalte und Abläufe zu illustrieren und erklären. Der Werker kann diese Ansicht seinen Wünschen entsprechend durch Drehen oder Zoomen verändern. Dadurch werden wichtige Details erkennbar, die bisher in zweidimensionalen Unterlagen nicht sichtbar waren. Diese Ansicht lässt sich dann im Zusammenspiel mit mobilen Geräten zum Beispiel Tablet oder Smartphone mit dem Bild der realen Anlage als Augmented Reality kombinieren. Auf diese Weise werden unter anderem Einbauten virtuell an der Position visualisiert, an der sie während der Montage befestigt werden müssen (siehe Abbildungen 3 und 4). Das Ganze wird mit Erklärungen zu den Besonderheiten jedes Arbeitsschrittes kombiniert.

Abbildung 4: Augmented Reality ermöglicht die Bereitstellung von Informationen und die Vermittlung von Wissen direkt an der Maschine.

Zur Erstellung der dreidimensionalen Arbeitsanweisungen gibt es zwei technische Möglichkeiten. Sie können entweder manuell erstellt oder automatisiert aus dem vorhandenen Montagewissen des Assistenzsystems erzeugt werden. Beide Verfahren lassen sich miteinander kombinieren. Die manuelle Inhaltserstellung lässt sich hier durch technisch weniger kundige Mitarbeiter umsetzen. Sie erfolgt mithilfe eines Editors, der gemäß einer WYSIWYG-Philosophie die einfache Bedienung in den Vordergrund stellt. Der Ersteller kann mit diesem Werkzeug neue Folien erstellen, auf diesen Text hinterlegen und Bilder oder Videos importieren sowie ein 3D-Modell mit Hilfe von sogenannten Aktionen verändern beziehungsweise ergänzen. Durch Aktionen können Teile ein- oder ausgeblendet, farbig hervorgehoben, durch Label textuell annotiert, durch 3D-Hilfsobjekt (z.B. Pfeile) ergänzt oder animiert werden. Die Animationen können dabei aus dem 3D-Modell ausgelesen oder mit Hilfe des Editors manuell erstellt werden. Rückmeldungen, wie zum Beispiel Optimierungsvorschläge oder Fehleranzeigen, werden vom Werker direkt in der dreidimensionalen Arbeitsanweisung mit dem örtlichen Bezug zum Bauteil bzw. Arbeitsschritt vermerkt. Diese Informationen lassen sich anschließend für Konstruktionsänderungen, Prozessverbesserungen und durch andere Werker in ähnlichen Arbeitsschritten nachnutzen. Eine semantische Analyse stellt hierbei automatisch Querbezüge zwischen Rückmeldungen und anderen Daten der Montage her.

Im Rahmen einer Evaluation wurde das beschriebene Konzept zum Einsatz von Augmented Reality für das Training und Anleiten von Arbeitsaufgaben überprüft [5,6]. Hier konnte eine große Akzeptanz seitens der Anwender und eine unmittelbare Steigerung ihrer Motivation festgestellt werden. Insbesondere das Verstehen komplexer und nichtsichtbarer Zusammenhänge wurde durch den Einsatz der dreidimensionalen Arbeitsanweisung erleichtert.

4 Zusammenfassung

Im Zuge von Industrie 4.0 wandelt sich die Arbeitswelt grundlegend. Diese Veränderung wirkt sich in besonderem Maße auf den Menschen aus, da dieser in einer immer stärker digitalisierten und automatisierten Arbeitsumgebung zum Einsatz kommt. Kognitive bzw. cyber-physische Assistenzsysteme unterstützen den Werker der Zukunft dabei, die Komplexität der Arbeitsaufgaben zu beherrschen und Fehler zu vermeiden.

Der Beitrag hat zwei Ansätze zur visuellen Assistenz des Werkers im Arbeitsprozess vorgestellt, den intelligenten Werkstattwagen sowie die dreidimensionale Arbeitsanweisung. In beiden Lösungen werden moderne und erprobte technologische Verfahren zur schrittweisen Anleitung des Werkers eingesetzt. Durch Evaluationen konnte hier die Effektivität der vorgestellten Ansätze nachgewiesen werden.

5 Literatur

[1] Fast-Berglund, Åsa; Fässberg, Tommy; Hellman, Filip; Davidsson, Anna; Stahre, Johan: Relations between complexity, quality and cognitive automation in mixed-model assembly. In: Journal of manufacturing systems 32 (3), S. 449–455. 2013

[2] Wickens, C. D.; Li, H.; Santamaria, A.; Sebok, A.; Sarter, N. B.: Stages and Levels of Automation. An Integrated Meta-analysis. In: Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting 54 (4), S. 389–393. DOI: 10.1177/154193121005400425. 2010

[3] Aehnelt, Mario; Bader, Sebastian: Mobile Informationsassistenz für die Montage. In: R. Weidner und T. Redlich (Hg.): Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen. Hamburg: Verlag der Universität der Bundeswehr Hamburg, S. 370–380. 2014

[4] Fehling, Christian Dominic; Hagenhofer, Thomas: Die Erweiterung von Lernräumen durch Augmented Reality am Beispiel des Social Augmented Learning. DeLFI 2015: 241-252. 2015

[5] Fehling, Christian Dominic; Müller, Andreas: Enhancing Vocational Training with Augmented Reality. In: Proceedings of the 16th International Conference on Knowledge Management and Knowledge Technologies and Data-Driven Business (i-KNOW 2016). 18. – 19. October 2016, Graz, Austria. 2016

[6] Hagenhofer, Thomas, Goertz, Lutz: Digitales Lernen im Vergleichstest. Online verfügbar unter http://www.social-augmented-learning.de/digitales-lernen-im-vergleichstest/ (2016-09-01)