

## **Teilhabe durch Robotik: Ergonomische und sichere Arbeitsplätze für schwerbehinderte Produktionsmitarbeiter in der Mensch-Roboter-Kollaboration**

David KREMER<sup>1</sup>, Sibylle HERMANN<sup>1</sup>, Matthias SCHNEIDER<sup>2</sup>, Christian HENKEL<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO  
Nobelstraße 12, D-70569 Stuttgart*

<sup>2</sup> *Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA  
Nobelstraße 12, D-70569 Stuttgart*

**Kurzfassung:** Im Forschungsprojekt AQUIAS werden Szenarien der Arbeitsteilung für die Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK) mit schwerbehinderten Mitarbeitern entwickelt, um Arbeitsqualität und gesunde Arbeitsbedingungen in der Produktion zu fördern. Für die Düsenmontage der Firma ISAK gGmbH erarbeitete das interdisziplinäre Projektteam mehrere MRK-Arbeitsplatzentwürfe. Dabei wurden die Gestaltungskriterien der Technischen Machbarkeit, Sicherheit, Ergonomie, Arbeitsqualität, Inklusion und Wirtschaftlichkeit gegeneinander abgewogen.

**Schlüsselwörter:** Mensch-Roboter-Kollaboration, Inklusion, Arbeitsqualität

### **1. Problemstellung**

Ein für die Mensch-Maschine-Arbeitsteilung unmittelbar relevantes Anwendungsfeld intelligenter Technologien stellt die Servicerobotik dar (Weidner, Kong & Wulfsberg 2013; Echterhoff, Böhner & Siebler 2006). Die immer engere Kooperation zwischen Servicerobotik und Mensch führt zu neuen Gestaltungsfragen der Arbeitsteilung (Gombolay et al. 2014; Adams 2009; Koppenborg et al. 2013; Bubeck, Maidel & Lopez 2014). Die Bedeutung von Servicerobotern im deutschen, europäischen und globalen Markt wächst in jüngster Zeit stark (World Robotics 2017; Wendel 2014). Die Mensch-Roboter-Kollaboration wird als wichtiger Stellhebel für die skalierbare Montageautomation sowie als Baustein der Industrie 4.0 gesehen (VDI 2017; BMWi 2013). Ein Schwerpunkt der Forschung zu Assistenz- und Robotiksystemen liegt im Bereich der Unterstützung von älteren und kranken Personen im Alltag und in medizinischen Einsatzfeldern. Die Servicerobotik bietet jedoch auch im Anwendungsfeld der Produktion das Potenzial, leistungsgewandelte Mitarbeiter zu integrieren (Prasch 2010).

Die Aufgabengestaltung in hybriden Arbeitssystemen beeinflusst die Vollständigkeit von Tätigkeiten, die Lern- und Persönlichkeitsförderlichkeit der Arbeit sowie den Kompetenzerhalt der Beschäftigten (Weiland, T. 2013; Zeller, B.; Achtenhagen, C.; Föst, S. 2012). Um eine einseitige Technikdominanz in der Gestaltung der zukünftigen Arbeitsprozesse zu verhindern, sollte der Lösungsraum zur Erzielung hoher Arbeitsqualität und gesunder Arbeitsbedingungen systematisch erweitert und genutzt werden. Hierfür sind alternative Szenarien der Aufgabengestaltung zielführend, die eine Variation der Arbeitsteilung ermöglichen (Kremer, D.; Bauer, W.; Hermann, S. 2015; Dworschak, B.; Zaiser, H. 2014).

## 2. Ansatz und Ergebnisse

Der für das Projekt ausgewählte Ausgangsarbeitsplatz befindet sich in der Düsenmontage der Firma ISAK gGmbH (Abbildung 1). Auf einer Handhebelpresse werden zwei Düsenelemente vom Mitarbeiter lagerichtig positioniert und durch Drücken des Handhebels zusammengefügt (Aufgabe 1). Anschließend führt der Mitarbeiter die zusammengefügten Düsen durch eine Schiene, um die Maßhaltigkeit der Düsen zu prüfen (Aufgabe 2).

Im Folgenden werden die vier Hauptentwürfe für den Mensch-Robotik-Arbeitsplatz und ihre wichtigsten Merkmale vorgestellt, die im Planungsprozess des interdisziplinären Projektteams entstanden.

Entwurf 1 zeigt einen Arbeitsplatz, an dem bis zu drei Mitarbeiter mit dem Automatischen Produktionsassistenten APAS der Robert Bosch GmbH zusammenarbeiten können (Abbildung 2). Die Kollaborationsnähe zwischen Mensch und Roboter ist in Hinblick auf die räumliche und zeitliche Aufgabenintegration bewusst hoch gewählt. Die Düsenelemente werden vom Mitarbeiter auf zwei Leisten mit Positionierungslöchern aufgesteckt, die V-förmig vor ihm angeordnet sind. Ist eine Leiste vollständig vom Mitarbeiter bestückt, erhält der Roboter über einen Anforderungsknopf vom Mitarbeiter das Signal, die Düsen zusammen zu fügen. Nach dem Arbeitsgang des Roboters entnimmt der Mitarbeiter die gefügten Düsen und schiebt diese wie gewohnt zur Maßhaltigkeitsprüfung durch die Prüfschiene, die mittig in seinem Greifraum angeordnet ist.

Ziel dieses Entwurfs war neben der hohen Kollaborationsnähe, den Geschwindigkeitsvorteil des Roboters zu nutzen, indem drei Mitarbeiter einem Roboter zugeordnet sind. Weiterhin ermöglicht dieser Entwurf, dass schwerbehinderte Mitarbeiter mit nur einem funktionsfähigen Arm auch nur eine Leiste bestücken müssen, da der Sitznachbar die andere Leiste auf der beeinträchtigten Seite mit übernehmen und so das Defizit seines Kollegen ausgleichen kann.

### Aufgabe 1

- Lagerichtige Positionierung von zwei Düsenelementen auf Handhebelpresse
- Zusammendrücken der zwei Elemente mittels Handhebelpresse



### Aufgabe 2

- Prüfen der Maßhaltigkeit der zusammengefügten Düsenelemente mittels Prüfschiene
- Aussondern von fehlerhaften Teilen



**Abbildung 1:** Ausgewählter Ausgangsarbeitsplatz für einen Mitarbeiter mit den manuellen Teiltätigkeiten Fügen und Prüfen der Düsenelemente.



**Abbildung 2:** Erster Entwurf des MRK-Arbeitsplatzes: Arbeitsplatz für bis zu 3 Mitarbeiter mit V-förmig angeordneten Leisten für die Düsenbestückung

Nachteilig erwies sich bei diesem Entwurf, dass der Roboter – bedingt durch die Nähe zum Mitarbeiter – im abgesicherten Modus mit 0,5 m/Sekunde nicht die erforderliche Geschwindigkeit erreicht, um drei Mitarbeiter gleichzeitig bedienen zu können. Die Mitarbeiter hätten oft Wartezeiten gehabt, da der Roboter ihre Leisten erst mit Verzögerung nach ihrem Arbeitsgang abgefahren hätte. Außerdem erwies sich beim Test mit einem Cardboard-Modell die Nähe des Greifarms zum Mitarbeiter aus psychischer Sicht als zu hoch, was Akzeptanzprobleme nach sich gezogen hätte.

Der zweite Entwurf des MRK-Arbeitsplatzes bot für diese Herausforderungen folgende Lösung (Abbildung 3). Hier ist vor dem Mitarbeiter ein Drehteller angebracht, der auf separaten Bearbeitungsfeldern die parallele Bearbeitung zweier Werkstückträger durch einen Mitarbeiter und den Roboter erlaubt. Auf jedem Werkstückträger



**Abbildung 3:** Zweiter Entwurf des MRK-Arbeitsplatzes: Arbeitsplatz für bis zu 3 Mitarbeiter mit geteiltem Drehteller und der rechts im 90-Grad-Winkel angebrachten Prüfschiene



sind die zu bearbeitenden Düsen auf Haltepositionen aufgesteckt. Durch Drehen des Drehtellers um 180 Grad gibt der Mitarbeiter dem Roboter ein elektronisches Signal, dass der fertig bestückte Werkstückträger vom Roboter bearbeitet werden kann.

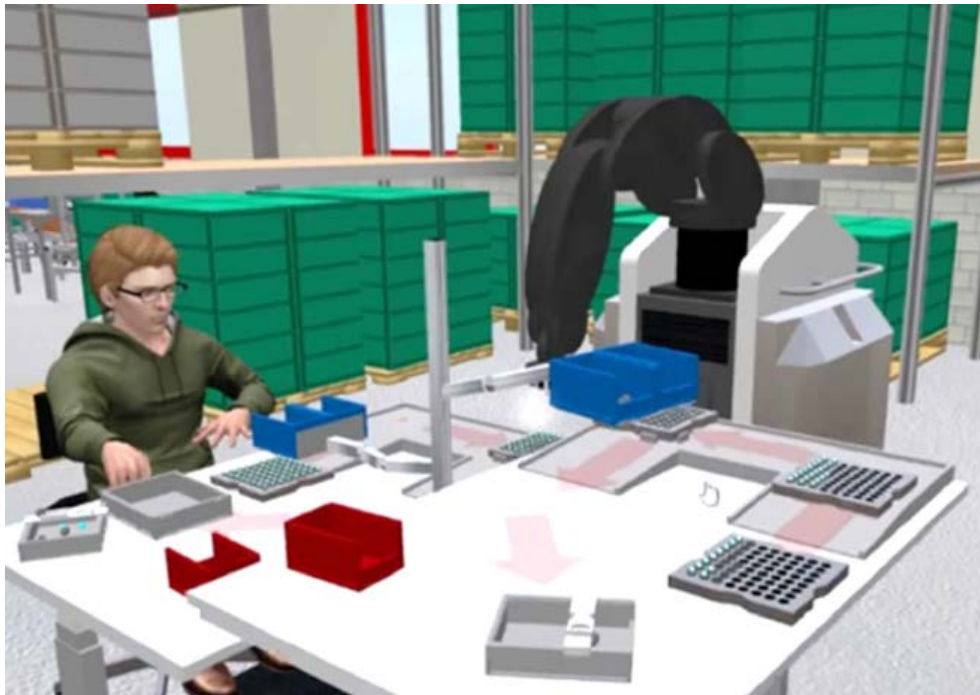
Als Nachteil dieses Entwurfs erwies sich, dass aus Platzgründen die Prüfschiene seitlich vom Drehteller angebracht ist, was eine 90-Grad-Drehung des Mitarbeiters zu Beginn jedes Prüfdurchlaufs erfordert. Dies hätte ergonomische Nachteile mit sich gebracht und auch den positiven Aspekt der räumlichen Trennung von Gutteilen und Fehlteilen überwogen. Trotz der verringerten Taktkopplung hätte auch hier der Roboter bei voller Besetzung des Arbeitsplatzes mit drei Mitarbeitern nicht die erforderliche Geschwindigkeit beim Zusammenfügen der Düsenelemente erreicht, sondern hätte die Ausbringungsmenge der drei Mitarbeiter indirekt beschränkt. Im dritten Entwurf wurde deshalb die Zahl der Mitarbeiter, die gleichzeitig am MRK-Arbeitsplatz arbeiten können, auf zwei begrenzt.



**Abbildung 4:** *Dritter Entwurf des MRK-Arbeitsplatzes: Arbeitsplatz für bis zu 3 Mitarbeiter mit V-förmig angeordneten Leisten für die Düsenbestückung*

Im dritten Entwurf (Abbildung 4) wurde eine Rollenbahn als Zuführung eingesetzt, auf der die Werkstückträger mittels Gefälle erst vom Mitarbeiter zum Roboter, und nach automatischer Bearbeitung zurück zu den Mitarbeitern gelangen. Die Länge der Rollenbahn erlaubt mehr Werkstückträger als in den vorhergehenden Entwürfen, was mehr Puffer und eine geringere Taktkopplung zwischen Mitarbeiter und Roboter bedeutet. Die größere Entfernung zwischen Mensch und Maschine versprach außerdem ein verringertes Risiko für Akzeptanzprobleme.

Ein Nachteil dieses Entwurfs bestand darin, dass das Anheben der Werkstückträger (ca. 800 g) auf die Rollenbahn auf Dauer für die Mitarbeiter ergonomisch zu belastend wäre. Ein alternativer Lifter zur Überbrückung der Höhendifferenz hätte zusätzliche Kosten verursacht. Durch das Gefälle der Rollenbahn bestand außerdem das Risiko, dass der Werkstückträger zu stark gegen das Ende der Rollenbahn prallt und durch das ruckartige Stoppen sich die Düsen von ihren Positionen lösen können. Zuletzt mutete der Arbeitsplatz durch die Rollenbahn sehr technisch an und wies eine geringe Kollaborationsnähe zwischen Mensch und Roboter auf.



**Abbildung 5:** *Vierter Entwurf des MRK-Arbeitsplatzes: Arbeitsplatz für bis zu zwei Mitarbeiter mit höhenverstellbaren Tischen und flexibler Anordnung von Material und Werkzeugen*

Der vierte Entwurf des Arbeitsplatzes für die Mensch-Roboter-Kollaboration sieht zwei parallele Arbeitstische vor, die unabhängig voneinander höhenverstellbar sind. An diesem Arbeitsplatz kommt der Roboter dem Mitarbeiter auf zweifache Art und Weise entgegen: Zum einen vertikal, denn der Mitarbeiter kann die Höhe des Arbeitstisches jederzeit – auch mitten im Betrieb – nach seinen Bedürfnissen verändern, solange sich der Greifarm auf der gegenüberliegenden Tischfläche befindet. Auch horizontal vereinfacht der Roboter dem Mitarbeiter die Arbeit, denn er holt den Werkstückträger von der Übergabeposition am Rand des Tisches ab, zieht ihn zu sich und schiebt ihn nach automatischer Bearbeitung zum Mitarbeiter zurück. Dadurch können behinderungsbedingte Einschränkungen der manuellen Reichweite, wie sie bei Schwerbehinderten oft auftreten, teilweise ausgeglichen werden.

Der vierte Entwurf des MRK-Arbeitsplatzes wurde für die Umsetzung im Pilot bei der Firma ISAK ausgewählt, da er neben der ergonomischen Anpassung weitere Vorteile bietet. Die Zuführung und die sonstigen Aufbauten wurden bewusst auf ein Minimum reduziert, um Kosten und Komplexität möglichst gering zu halten. Anders als bei den vorhergehenden Entwürfen kann der Mitarbeiter hier sein Arbeitsgerät, Materialbehälter und individuelle Arbeitshilfen nach seinen Bedürfnissen räumlich flexibel und zentral in seinem Greifraum anordnen und pro Arbeitsaufgabe (Bestücken, Prüfen) ändern. Weiterhin erlaubt dieser Entwurf, dass auch Mitarbeiter mit nur einem gesunden Arm diese Tätigkeit in der Düsenmontage ausführen können. Am Ausgangsarbeitsplatz mit der Handhebelpresse war dies dagegen nicht möglich. Insofern trägt der vierte und finale Entwurf des Arbeitsplatzes für die Mensch-Roboter-Kollaboration nicht nur zu verbesserter Ergonomie und Arbeitsqualität, sondern auch zur Inklusion weiterer schwerbehinderter Mitarbeiter in die Produktion bei.

### 3. Literatur

- Adams, J. A. (2009): Multiple robot-single human interaction: effects on perceived workload and performance. *Behaviour and Information Technology* 28(2): p. 183-298.
- Bubeck, A.; Maidel, B.; Lopez, F.G. (2014): Model driven engineering for the implementation of user roles in industrial service robot applications. In: *International Conference on System-Integrated Intelligence - Challenges for Product and Production Engineering (SysInt)*, Bremen, 2014.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Hrsg.) (2013): *Industrielle Servicerobotik. Technologieprogramm AUTONOMIK, Band 4*, Berlin.
- Dworschak, B.; Zaiser, H. (2014): Competences for Cyber-Physical Systems in Manufacturing – first Findings and Scenarios. In: Bauer, W. et al. (Hrsg.): *Disruptive Innovation in Manufacturing Engineering towards the 4th Industrial Revolution : 8th International Conference on Digital Enterprise Technology, DET 2014, March 25-28 2014, Stuttgart, Germany*, Elsevier, 2014.
- Echterhoff, G.; Bohner, G.; Siebler, F. (2006): »Social Robotics« und Mensch-Maschine-Interaktion. Aktuelle Forschung und Relevanz für die Sozialpsychologie. *Zeitschrift für Sozialpsychologie*, 37 (4), 2006, S. 219-231.
- Gombolay, M. C.; Gutierrez, R. A.; Sturla, G. F.; Shah, J. A. (2014): Decision-Making Authority, Team Efficiency and Human Worker Satisfaction in Mixed Human-Robot Teams. In: *Proceedings of the Robots: Science and Systems (RSS)*.
- Koppenborg, M.; Lungfiel, A.; Naber, B.; Nickel, P. (2013): Auswirkungen von Autonomie und Geschwindigkeit in der virtuellen Mensch-Roboter-Kollaboration. In: *Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg.): Chancen durch Arbeits-, Produkt- und Systemgestaltung*. Dortmund: GfA-Press, S. 417-420.
- Kremer, D.; Bauer, W.; Hermann, S. (2015): Wie verändern sich Arbeitsaufgaben in zunehmend digital unterstützten Arbeitsprozessen? Ein Ansatz zur Entwicklung von Szenarien für die veränderte Arbeitsteilung zwischen Mensch und intelligenter Produktionstechnik. 61. GfA-Frühjahrskongress 2015 »Verantwortung für die Arbeit der Zukunft« der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, 25.-27.02.2015, Karlsruhe, Beitrag C.3.12.
- Prasch, M. G. (2010): *Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter in die variantenreiche Serienmontage*. Dissertation an der Technischen Universität München, Verlag Herbert Utz.
- VDI (2017): VDI-Fachkonferenz „Assistenzroboter in der Produktion - Serviceroboter im Industrielltag“, 05.-06.12.2017, Aschheim  
<https://www.vdi-wissensforum.de/weiterbildung-automation/assistentzroboter-in-der-produktion/>  
Zuletzt abgerufen am 08.11.2017
- Weidner, R.; Kong, N.; Wulfsberg, J.P. (2013): Human Hybrid Robot: a new concept for supporting manual assembly tasks. In: *Production Engineering* 7(6), p. 675-684.
- Weiland, T. (2013): *Arbeitsorganisation und Qualifikation in der Industrie 4.0. Ermittlung der Anforderungen an Management, Mitarbeiter und Arbeitsumfeld in der Produktion*, GRIN Verlag.
- Wendel, A. (2014): Servicerobotik auf dem Vormarsch. In: *VDMA Themen-Supplements, Vol. Servicerobotik - bringt Automation in Schwung*, No. 2014/05, p. 24-25, VDMA Verlag, 5/2014.
- World Robotics 2017 (2017): *Executive Summary World Robotics 2017 Industrial Robots*  
[https://ifr.org/downloads/press/Executive\\_Summary\\_WR\\_2017\\_Industrial\\_Robots.pdf](https://ifr.org/downloads/press/Executive_Summary_WR_2017_Industrial_Robots.pdf)  
[http://www.worldrobotics.org/uploads/media/Executive\\_Summary\\_WR\\_2017.pdf](http://www.worldrobotics.org/uploads/media/Executive_Summary_WR_2017.pdf)  
Zuletzt abgerufen am 08.11.2017
- Zeller, B.; Achtenhagen, C.; Föst, S. (2012): Qualifikationsentwicklungen durch das Internet der Dinge in der industriellen Produktion. In: Abicht, L.; Spöttl, G. (Hrsg.): *Qualifikationsentwicklungen durch das Internet der Dinge*, FreQueNz-Buchreihe „Qualifikationen erkennen – Berufe gestalten“, Bd. 15 (hrsg. von H.-J.-Bullinger), Bielefeld, S. 193-267.



Gesellschaft für  
Arbeitswissenschaft e.V.

**ARBEIT(s).WISSEN.SCHAF(F)T**  
Grundlage für Management & Kompetenzentwicklung

64. Kongress der  
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

FOM Hochschule für  
Oekonomie & Management gGmbH

21. – 23. Februar 2018

---

**GfA Press**

---

**Bericht zum 64. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 21. – 23. Februar 2018**

**FOM Hochschule für Oekonomie & Management**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Dortmund: GfA-Press, 2018

ISBN 978-3-936804-24-9

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Jahresdokumentation

Als Manuskript zusammengestellt. Diese Jahresdokumentation ist nur in der Geschäftsstelle 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 Kongressband oder Teile daraus in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) zu vervielfältigen.

Die Verantwortung für die Inhalte der Beiträge tragen alleine die jeweiligen Verfasser; die GfA haftet nicht für die weitere Verwendung der darin enthaltenen Angaben.

**USB-Print:**

Prof. Dr. Thomas Heupel, FOM Prorektor Forschung, [thomas.heupel@fom.de](mailto:thomas.heupel@fom.de)

**Screen design und Umsetzung**

© 2018 fröse multimedia, Frank Fröse

[office@internetkundenservice.de](mailto:office@internetkundenservice.de) · [www.internetkundenservice.de](http://www.internetkundenservice.de)