

Arbeitsplätze für die Mensch-Roboter-Kollaboration inklusionsförderlich und wirtschaftlich gestalten

D. Kremer¹, S. Hermann¹

baua: Fokus

Im Projekt AQUIAS wird ein Arbeitsplatz für die Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK) mit schwerbehinderten Produktionsmitarbeitern entwickelt. Der intensive Austausch im Projektteam über die oft gegensätzlichen Gestaltungskriterien aus den Bereichen Inklusion, Arbeitsgestaltung, Ergonomie, Sicherheit, Wirtschaftlichkeit und technische Machbarkeit führte zu einer Reihe von MRK-Arbeitsplatzentwürfen. Der finale Arbeitsplatz wird im Pilot der Inklusionsfirma ISAK gGmbH in der Düsenmontage eingesetzt.

Inhalt

1 Problemstellung	1
2 Ausgangssituation	2
3 Ergebnisse	3
4 Fazit	6
Literatur	7

1 Problemstellung

Ein für die Mensch-Maschine-Arbeitsteilung unmittelbar relevantes Anwendungsfeld intelligenter Technologien stellt die Servicerobotik dar (Weidner, Kong & Wulfsberg 2013; Echterhoff, Bohner & 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 2014; Wendel 2014). Die Mensch-Roboter-Kollaboration wird als wichtiger Stellhebel für die skalierbare Montageautomation sowie als Baustein der Industrie 4.0 gesehen (VDI 2014; 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

¹Fraunhofer IAO, Stuttgart.

Diese Veröffentlichung ist ein Beitrag zum 3. Workshop „Mensch-Roboter-Zusammenarbeit - Gestaltung sicherer, gesunder und wettbewerbsfähiger Arbeit“ am 29./30.03.2017 in der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) in Dortmund. Die gesamte Workshop-Dokumentation finden Sie unter: www.baua.de/dok/8733424

der Beschäftigten (Kremer, Dworschak & Hermann 2015; Weiland 2013; Zeller et al. 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 (Dworschak & Zaiser 2014). Im Projekt AQUIAS wurden alternative Arbeitsplatzentwürfe für die Mensch-Roboter-Kollaboration entwickelt, welche die Gestaltungskriterien aus den Bereichen Inklusion, Arbeitsgestaltung, Ergonomie, Sicherheit, Wirtschaftlichkeit und technische Machbarkeit in unterschiedlicher Art und Weise berücksichtigen.

2 Ausgangssituation

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

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



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

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

3 Ergebnisse

3.1 Erster Entwurf: MRK mit hoher Kollaborationsnähe

Entwurf 1 zeigt einen Arbeitsplatz, an dem 3 Mitarbeiter mit dem Automatischen Produktionsassistenten APAS der Robert Bosch GmbH zusammenarbeiten (Abbildung 2).



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

Die räumliche Nähe ist bewusst hoch gewählt, um eine hohe Kollaborationsnähe zwischen Mensch und Roboter zu gewährleisten. 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 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 nur eine Leiste bestücken müssen, da der Sitznachbar die andere Leiste mit übernehmen und so das Defizit seines Kollegen ausgleichen kann.

Nachteilig erwies sich bei diesem Entwurf, dass der Roboter im abgesicherten Modus – bedingt durch die Nähe zum Mitarbeiter – mit 0,5 m/Sekunde nicht die erforderliche Geschwindigkeit erreicht, um drei Mitarbeiter gleichzeitig bedienen zu können. Die drei Mitarbeiter hätten immer wieder 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.

3.2 Zweiter Entwurf: MRK mit parallelen Arbeitsbereichen für Mensch und Roboter auf einem Drehteller

Der zweite Entwurf des MRK-Arbeitsplatzes bot für diese Herausforderungen folgende Lösung (Abb. 3).



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

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 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 Prüfrolle 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 i.O. und n.i.O.-Teilen 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 beschränkt. Im dritten Entwurf wurde deshalb die Zahl der Mitarbeiter, die gleichzeitig am MRK-Arbeitsplatz arbeiten können, auf zwei beschränkt.

3.3 Dritter Entwurf: MRK mit erhöhtem räumlichen und zeitlichen Puffer zwischen Mensch und Roboter

Im dritten Entwurf (Abb. 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.

Als Nachteil dieses Entwurfs erwies sich, 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.

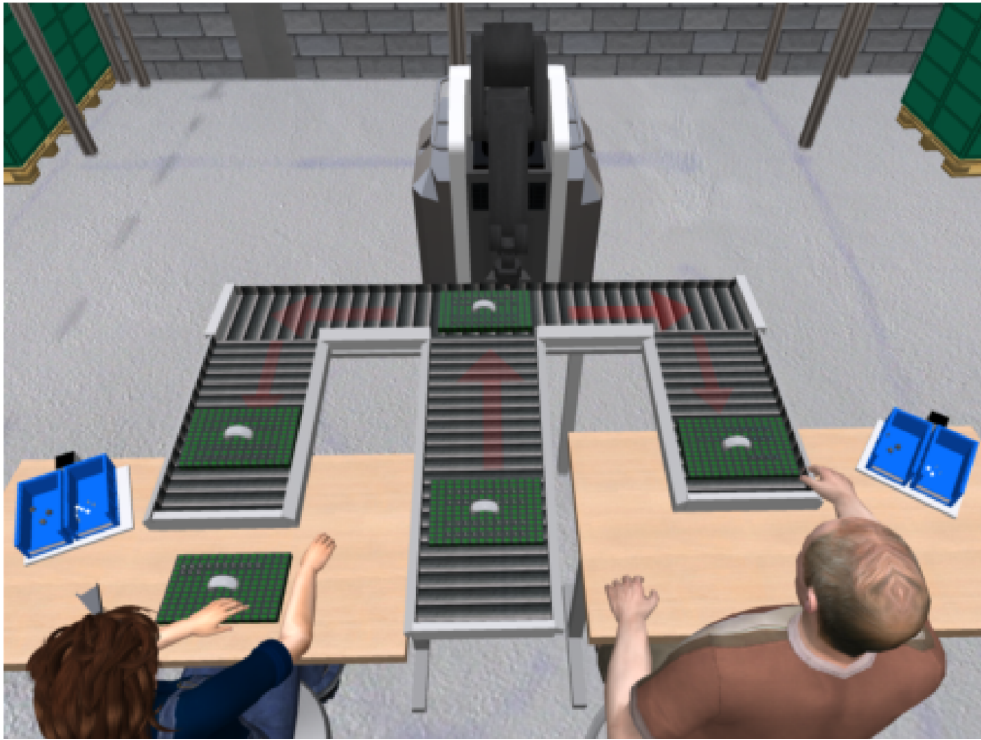


Abb. 4 Dritter Entwurf des MRK-Arbeitsplatzes: Arbeitsplatz für bis zu 2 Mitarbeiter mit passivem Transport-Rollenband.

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.

3.4 Vierter Entwurf: MRK mit individueller ergonomischer Unterstützung

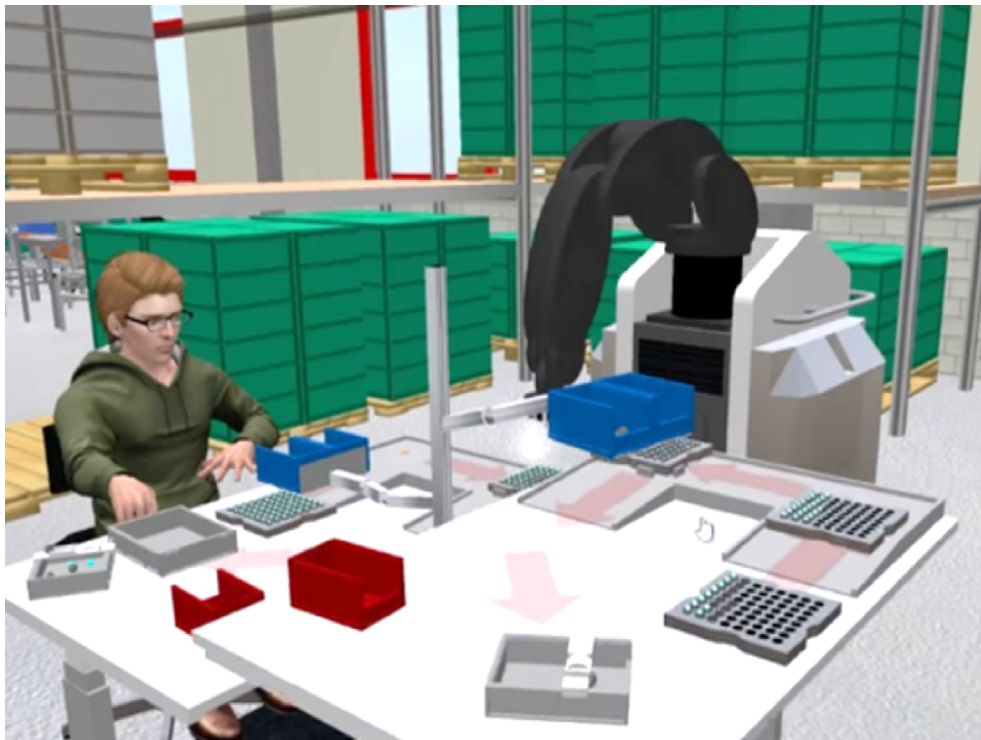


Abb. 5 Vierter Entwurf des MRK-Arbeitsplatzes: Arbeitsplatz für bis zu zwei Mitarbeiter mit höhenverstellbaren Tischen und flexibler Anordnung von Material und Werkzeugen.

Der vierte Entwurf des Arbeitsplatzes für die Mensch-Roboter-Kollaboration (Abb. 5) 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 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.

4 Fazit

Die Einführung von Mensch-Roboter-Kollaboration dient in der Industrie vor allem Rationalisierungszielen. Häufig werden die Investitionskosten für Roboter durch den Wegfall von Mitarbeiterstellen amortisiert. Eine Win-Win-Situation für Mitarbeiter und Unternehmen kann in der Regel aber dann erreicht werden, wenn Roboter belastende Arbeitsschritte übernehmen und dadurch den Mitarbeitern ergonomische Entlastung bieten. Darüber hinaus ist im Sinne der Arbeitsqualität entscheidend, dass durch den Robotereinsatz möglichst keine weiteren Arbeitsaufgaben entfallen, besonders nicht solche, die positive Arbeitsanforderungen wie Lern- oder Kooperationsanforderungen enthalten.

Der im Projekt AQUIAS entwickelte MRK-Pilot war von Anfang an darauf ausgerichtet, die Arbeitsteilung zwischen Mensch und Roboter so zu gestalten, dass ausschließlich ergonomisch belastende Aufgaben vom Mitarbeiter zum Roboter wandern. Dieses Ziel wurde erreicht. Gleichzeitig wurde das Inklusionsziel erreicht, durch MRK auch schwerbehinderte Mitarbeiter in die Produktion zu integrieren: Am MRK-Arbeitsplatz können auch Mitarbeiter mit Beeinträchtigung eines Armes arbeiten, was beim Ausgangsarbeitsplatz nicht möglich war. Schließlich wird das im weiteren Projektverlauf zu entwickelnde Lern- und Informationssystem am MRK-Arbeitsplatz die schwerbehinderten Produktionsmitarbeiter beim Einlernen, Erhaltungslernen und der Qualitätskontrolle unterstützen und dadurch die Lern- und Persönlichkeitsförderlichkeit der Tätigkeit erhöhen.

Die Integration der oft gegensätzlichen Ziele der Arbeitsgestaltung, Inklusion, Ergonomie, Sicherheit, Wirtschaftlichkeit und technische Machbarkeit stellte hohe Anforderungen an das interdisziplinäre Projektteam in AQUIAS. In der Zusammenarbeit von Psychologen, Heilpädagogen, Betriebswirtschaftlern, Informatikern und Ingenieuren im Projektteam mussten kontinuierlich Brücken zwischen den unterschiedlichen Disziplinen und Arbeitswelten geschlagen werden. Der Weg über die unterschiedlichen MRK-Arbeitsplatzentwürfe bis hin zum finalen Design erforderte von den Partnern viel Ausdauer und eine kompetente Moderation. Die funktionsfähige Umsetzung des finalen MRK-Designs in der Produktion der ISAK gGmbH genügt nun den Zielen aller beteiligten Partner und zeigt prototypisch, dass Anforderungen der Arbeitsgestaltung, Inklusion und Sicherheit in der Mensch-Roboter-Kollaboration mit schwerbehinderten Produktionsmitarbeitern erfolgreich umgesetzt werden können.

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.

Bauernhansl, T. (2014). Die vierte industrielle Revolution. Der Weg in ein wertschaffendes Produktionsparadigma. In Bauernhansl, T., ten Hompel, M. & Vogel-Heuser, B. (Hrsg.): *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien, Migration*. Berlin: Springer.

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.

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)*.

Hacker, W.; Sachse, P. (2014): *Allgemeine Arbeitspsychologie: Psychische Regulation von Tätigkeiten*. Göttingen: Hogrefe.

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., Dworschak, B. & Hermann, S. (2015). Auswirkungen einer intelligenten, flexiblen Produktionssteuerung auf die Arbeitsqualität von Mitarbeitern: Ein Ansatz zur Verbindung von Ergebnissen der Qualifikationsfrüherkennung und der Arbeitsgestaltung zu Szenarien für die Industrie 4.0. In *Tagungsband der ininteract conference, 07.-08.05.2015*, Technische Universität Chemnitz, Chemnitz: Verlag aw&I, S. 58-65.

Prasch, M. G. (2010). *Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter in die variantenreiche Serienmontage*. Dissertation an der Technischen Universität München, Verlag Herbert Utz.

Weiland, T. (2013). *Arbeitsorganisation und Qualifikation in der Industrie 4.0. Ermittlung der Anforderungen an Management, Mitarbeiter und Arbeitsumfeld in der Produktion*. GRIN Verlag.