

Mensch-Roboter-Kollaboration in der manuellen Montage – der Arbeitsplatz der Zukunft

Henning PETRUCK¹, Marco FABER¹, Heiner GIESE²,
Marius GEIBEL², Stefan MOSTERT², Marcel USAI¹,
Alexander MERTENS¹, Christopher BRANDL¹

¹ *Lehrstuhl und Institut für Arbeitswissenschaft der RWTH Aachen
Bergdriesch 27, D-52062 Aachen*
² *item Industrietechnik GmbH
Friedenstraße 107-109, D-42699 Solingen*

Kurzfassung: Durch die Integration des Menschen in den Montageprozess in Form der Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK) kann die Flexibilität von Produktionsprozessen bei weiterhin hohem Automatisierungsgrad ermöglicht werden. Allerdings wirft diese Form der Zusammenarbeit Fragen auf, die z.B. Arbeitssicherheit oder Akzeptanz betreffen. Um diese Fragestellungen zu adressieren, wurde ein MRK-Arbeitsplatz entworfen, welcher sich einerseits durch eine klassisch ergonomische Gestaltung hinsichtlich des herkömmlichen Industriebedarfs auszeichnet. Andererseits werden Daten intelligenter Sensorik zur Adaption des Systemverhaltens an die Arbeitsweise der Arbeitsperson genutzt. Dieser Beitrag stellt die ergonomischen und arbeitswissenschaftlichen Konzepte des Arbeitsplatzes sowie deren Umsetzung vor.

Schlüsselwörter: Mensch-Roboter-Kooperation, Montage, Ergonomische Arbeitsplatzgestaltung, Arbeitssicherheit

1. Einleitung

Die Produktion in Hochlohnländern wie Deutschland ist durch einen hohen Grad an aufgabenspezifischer Automatisierung geprägt. Hierdurch entsteht ein hoher Anpassungsaufwand bei neuen Produktversionen oder -varianten. Dies ist bei derzeitig in vielen Branchen vorkommender steigender Variantenvielfalt und kürzer werdender Produktlebenszyklen kritisch zu sehen, und lässt darauf schließen, dass die Produktionssysteme im aktuellen Zustand nicht flexibel genug sind, um sich den ändernden Marktbedingungen schnell anzupassen. Eine Möglichkeit die automatisierte Produktion flexibler zu gestalten, ist die Integration des Menschen in Form der Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK). Durch die Kombination der kognitiven und sensomotorischen Fähigkeiten des Menschen sowie der Präzision, Schnelligkeit und ermüdungsfreien Arbeit des Roboters entsteht eine effektive Zusammenarbeit. Dies gilt auch dann, wenn keine unmittelbare Arbeitskooperation zwischen Mensch und Roboter angedacht ist, sondern diese nebeneinander jeweils unterschiedliche Arbeitstätigkeiten verrichten.

Darüber hinaus können MRK-Arbeitsplätze bei geeigneter Wahl des Roboters und der sensorischen Sicherheitseinrichtungen ohne Schutzzäune und damit mit geringerem Platzbedarf betrieben werden. Dies lässt sich z.B. bei der Klebstoffapplikation bei Audi AG beobachten (Taner 2017). Ein Leichtbauroboter übernimmt hier die Auftragung des Klebstoffes auf das CFK-Dach des Autos, welche dem Menschen, auch

bedingt durch die Ausmaße des Werkstücks, nicht so wiederholgenau möglich ist. Eine direkte Kooperation zwischen Roboter und Mensch gibt es hingegen im Karosseriebau. Hier reicht ein Roboter Kühlmittelausgleichsbehälter an, die durch das bei vielfacher Wiederholung sehr belastende Beugen in Aufbewahrungsboxen aufgenommen wurden, bevor der MRK-Arbeitsplatz eingerichtet wurde (Feigl 2015). Ein weiterer Anwendungsfall in der Industrie ist die Türmontage bei BMW AG, wobei der Roboter das sehr kraftintensive Andrücken von Schall- und Feuchtigkeitsisolierung übernimmt (Hatzel 2013) oder das Heben vom Ausgleichsgehäuse für Vorderachsgetriebe beim gleichen Automobilhersteller (Schmidt 2017).

Die aufgezählten Beispiele verdeutlichen, dass es vielseitige Gründe und Anwendungsfälle für MRK gibt. Aus diesem Grund existiert auch nicht „der eine“ MRK-Arbeitsplatz, vielmehr wird jeder Arbeitsplatz für die individuellen Anforderungen am Arbeitsplatz entwickelt und umgesetzt. Oftmals handelt es sich dabei auch um einen Arbeitsplatz, der lediglich der Ausführung eines einzigen Prozessschrittes dient. In der Forschung gibt es eine Vielzahl von Projekten, die sich mit der MRK beschäftigen, allerdings werden hier oftmals nur einzelne Teilaspekte, wie z.B. neuartige Sicherheitskonzepte für die Zusammenarbeit mit Industrierobotern (Vogel et al. 2016) oder intuitive Roboter-Steuerungskonzepte für Tetraplegiker (Nelles et al. 2016) untersucht. Im Fokus dieser Arbeit steht daher die Entwicklung und Auslegung eines Arbeitsplatzes für den Einsatz in der variantenreichen manuellen Montage, der möglichst vielseitig einsetzbar sein soll und auch bei der Umgestaltung der Produktion keiner vollständigen Neuentwicklung bedarf.

In dem vorgesehenen Szenario assistiert der Roboter der Arbeitsperson, die an einer Arbeitsfläche die Montage vornimmt, indem der Roboter Bauteile und Werkzeuge anreicht. Somit kann sich die Arbeitsperson auf die wertschöpfenden Anteile der Produktion, der Montage, konzentrieren. Dieser Arbeitsplatz erfüllt seinen Zweck in einer variantenreichen hoch automatisierten Produktion, indem Werkstücke für den variantenenthaltenden Anteil der Montage an diesen Arbeitsplatz ausgeschleust werden, da dieser Anteil kaum wirtschaftlich zu automatisieren ist. Bei dem Arbeitsplatz handelt es sich dementsprechend um eine Montageinsel.

2. Anforderungen an einen MRK-Arbeitsplatz in der variantenreichen manuellen Montage

Der Arbeitsbereich des Arbeitsplatzes sollte sich für das vorgestellte Szenario in mehrere Bereiche unterteilen lassen. Zum einen gibt es einen zwischen Mensch und Roboter geteilten Arbeitsbereich, in dem diese beiden interagieren, und die Montage des Produkts stattfindet. Den zweiten Bereich des Arbeitsplatzes stellt die Anbindung an die Logistik der Produktion dar. Sowohl (halb-)fertige Produkte als auch ankommende Komponenten müssen für den An- bzw. Abtransport erfasst und verarbeitet werden. Eine grundsätzliche Anforderung an einen solchen Arbeitsplatz ist die vollständige Erreichbarkeit beider Arbeitsräume durch einen oder mehrere Roboter. Gleichzeitig sollte der Arbeitsraum des Menschen durch die Positionierung des Roboters nicht eingeschränkt werden. Der Arbeitsplatz sollte ohne großen Aufwand für verschiedene Anwendungsfälle genutzt werden können, so soll z.B. der Arbeitsplatz schnell umrüstbar sein, um ihn für den Einsatz für Links- bzw. Rechtshänder zu optimieren.

Durch das Zusammenbringen von Mensch und Roboter treten allerdings auch neue Herausforderungen auf. Der Einsatz eines Roboters hat zur Folge, dass im

Vergleich zu einem herkömmlichen Arbeitsplatz in der manuellen Montage zusätzliche Sicherheitsanforderungen berücksichtigt werden müssen, um die Arbeitssicherheit zu gewährleisten (Faber et al. 2016). Der Mensch steht bei der Entwicklung des Arbeitsplatzes im Fokus. Daher legen wir Wert auf eine ergonomische Gestaltung des gesamten Arbeitsplatzes. Hierbei spielen Prinzipien der Produktionsergonomie, aber auch das Einnehmen gesunder Körperhaltungen eine wichtige Rolle. Für eine ausgeglichene Belastung des Körpers ist eine Höhenverstellung der Arbeitsfläche zu implementieren, um das Verrichten der Arbeit sowohl im Sitzen als auch im Stehen zu ermöglichen.

Neben der physikalischen Ergonomie steht die ergonomische Gestaltung der MRK im Vordergrund. Es ist wichtig die Handlungen des Roboters nachvollziehbar und vorhersehbar zu gestalten, um eine erhöhte mentale Belastung durch scheinbar willkürliche Aktionen des Systems zu vermeiden. Gleichzeitig zu einem für die Arbeitsperson befriedigendem Maß an Kontrolle über das System ist das Vertrauen in die Automatisierung zu schaffen. Dies erfordert eine intuitive und nutzerzentrierte Gestaltung der Interaktion.

3. MRK-Arbeitsplatz „CoWorkAs“

Unter Berücksichtigung der zuvor genannten Anforderungen wurde in Zusammenarbeit zwischen *item Industrietechnik GmbH* und dem *Lehrstuhl und Institut für Arbeitswissenschaft der RWTH Aachen* der *Collaborative Workplace for Assembly (CoWorkAs)* entwickelt. Eine beispielhafte Visualisierung des Arbeitsplatzes befindet sich in Abb. 1. Die wichtigsten Merkmale des Arbeitsplatzes werden im Folgenden beschrieben.

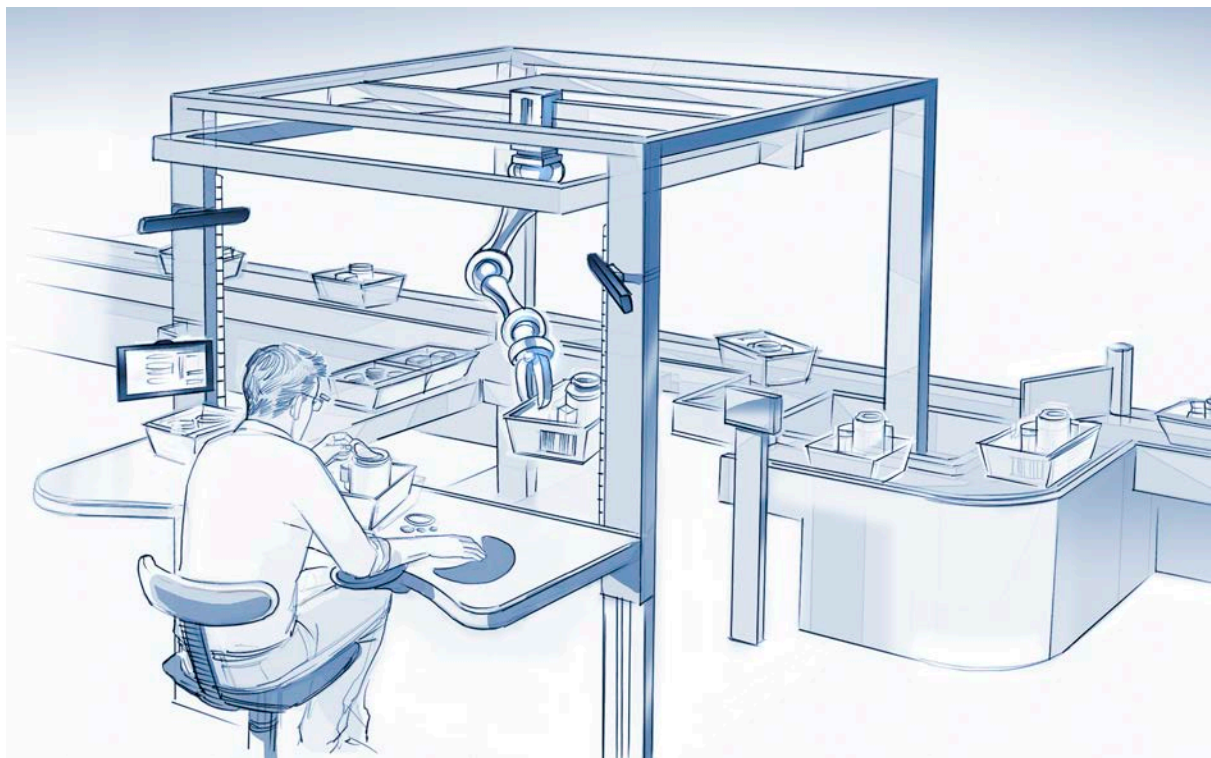


Abbildung 1: Visualisierung Vision „Mensch-Roboter Kollaboration in der variantenreichen Produktion“

Der Grundaufbau des Arbeitsplatzes ist ein aus vier Säulen bestehendes Gerüst, an dessen Vorderseite sich eine große Arbeitsplatte für die Arbeitsperson befindet. Der Innenraum des Gerüsts stellt die gewünschte Anbindung an die Logistik dar. Neben einem Zwischenlager für Bauteile und Werkzeuge findet hier die Aufnahme und Einsortierung von neuen Komponenten statt, die über das Fördersystem angeliefert werden, wodurch der Arbeitsplatz näher an die Förderlogistik der Produktionshalle herangebracht wird. Das Bestücken von Komponenten aus einem Teilelager wird vor das Fördersystem verlagert und muss somit nicht getrennt von der Bestückung für die übrigen Fertigungsprozesse in der Fabrik betrachtet werden.

Für eine größtmögliche Bewegungsfreiheit über beide Arbeitsbereiche hinweg ist der Roboter an einem H-Portal hängend montiert, welches den gesamten Arbeitsplatz überragt und den Bewegungsraum des Roboters um zwei translatorische Achsen in der horizontalen Ebene erweitert. Durch diese Lösung kann der Roboter jederzeit in eine Pose verfahren werden, in der er den Arbeitsraum des Menschen nicht einschränkt. Als Roboter kommt der *Powerball Lightweight Arm LWA 4P* von *SCHUNK* zum Einsatz. Diese Weise der Roboteranbringung an den Arbeitsplatz hat nicht nur den Vorteil, dass ein großdimensionierter Arbeitsraum durch den Roboter erschlossen werden kann, sondern kann auch aus ergonomischer Perspektive von Vorteil sein. Die hängende Montage des Roboterarms erinnert an die Haltung eines menschlichen Arms, da dieser auch vom Schultergelenk herunter „hängt“. Frühere Untersuchungen haben gezeigt, dass die menschenähnliche Gestaltung von Roboterbewegungen einen positiven Einfluss auf die Vorhersagbarkeit von Bewegungen, die mentale Belastung sowie Fehlerraten bei der Umsetzung von kooperativen Tätigkeiten haben (Kuz et al. 2015). Ähnliche Effekte lassen sich auch für die menschenähnliche hängende Roboteranbringung vermuten.

Der Arbeitsplatz zeichnet sich durch seine modulare Profilbauweise aus. Durch diese, können an beinahe jeder Stelle des Arbeitsplatzes weitere Module, wie z.B. Monitor- bzw. Werkzeughalter oder Sensorik, angebracht werden. So entsteht ein nahezu unerschöpflicher Gestaltungsraum, um den Arbeitsplatz in verschiedenster Weise zu verwenden und individuellen Anforderungen anzupassen.

Die Höhenverstellung des Arbeitsplatzes ist durch synchronisierte Motoren in jeder der vier Säulen realisiert, wodurch der gesamte Aufbau inklusive des Roboters und aller direkt am Arbeitsplatz montierten Erweiterungen höhenverstellbar ist und nicht nur die Arbeitsfläche der Arbeitsperson. Dies bietet den Vorteil, dass Roboterbewegungen unabhängig von der Höhe der Arbeitsfläche zu jeder Zeit in gleicher Weise durchgeführt werden können und die Bewegungsfreiheit bei einer hoch eingestellten Arbeitsplatte im Vergleich zu einer niedrig eingestellten Arbeitsplatte nicht eingeengt ist. Die Anbindung an ein auf konstanter Höhe befindliches Fördersystem der automatisierten Produktion kann durch schräg verlaufende und in der Länge variable Transportbänder, deren Neigungsgrad sich bei der Höhenverstellung des Arbeitsplatzes ändert, gelöst werden. Für die Arbeitsperson erlaubt die Höhenverstellung eine Anpassung des Arbeitsplatzes an die individuellen Körpermaße sowie Vorlieben bei der Arbeitsweise hinsichtlich des Arbeitens im Sitzen oder Stehen.

4. Fazit und Ausblick

Mit der Umsetzung des auf Basis der Anforderungen entwickelten Konzepts wurde mit *CoWorkAs* (siehe Abb. 2) ein Referenzarbeitsplatz für den Einsatz in der Forschung und die spätere Übertragung der validierten Konzepte in die Industrie ge-

schaffen. Bei der Entwicklung des Arbeitsplatzes wurde besonderen Wert auf nutzerzentrierte Gestaltung und die ergonomische Ausrichtung des Arbeitsplatzes gelegt. Mit dem Arbeitsplatz, bei dessen Gestaltung alle konstruktiven Anforderungen umgesetzt wurden, wurde ein Grundstein für die Bearbeitung von Fragestellungen bzgl. MRK in der manuellen Montage gelegt. Allerdings sind die Interaktionskonzepte zwischen Mensch und Roboter bisher nur zum Teil umgesetzt. Nach der Implementierung sind diese in Probandenstudien zu untersuchen, um Fragestellungen nach Akzeptanz, Vertrauen in die Automatisierung oder Effektivität der gewählten Funktionen zu beantworten.

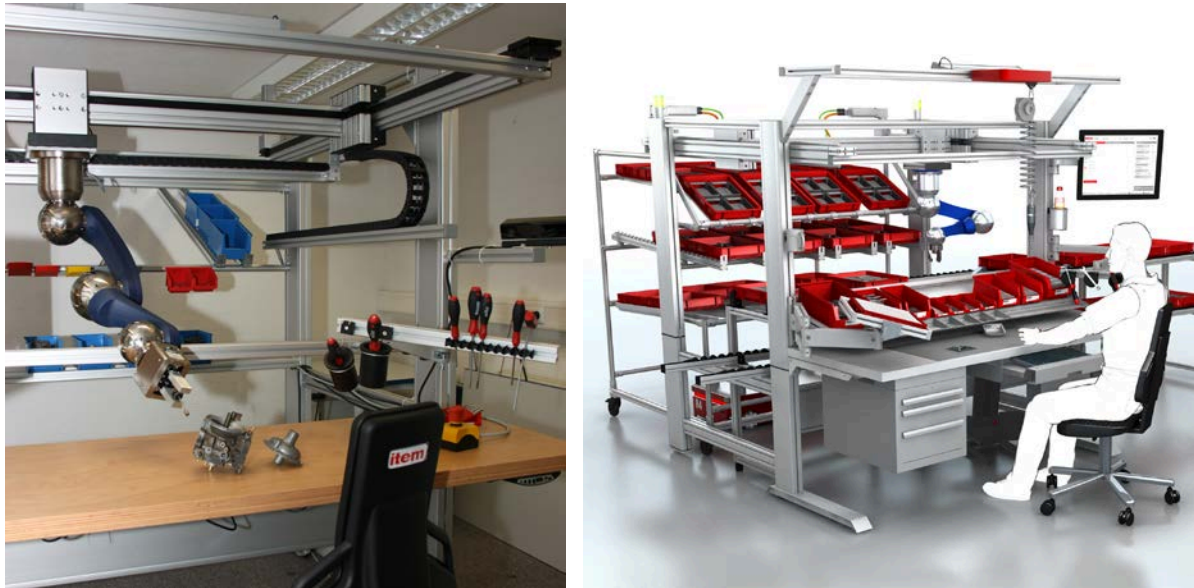


Abbildung 2: Realer Aufbau (links) und 3D-Animation (rechts) des MRK-Arbeitsplatzes „CoWorkAs“

Geplant ist hier u.a. eine Adaption des Systemverhaltens an die Arbeitsperson, um individuelle Eigenschaften, Verhaltensweisen und Arbeitsvorlieben zu berücksichtigen. Diese Adaption, eines der Kernkonzepte dieses Arbeitsplatzes, erfolgt in verschiedenen Dimensionen. Einerseits ist die räumliche Adaption zu nennen, die durch die Adaption der Übergabepositionen zwischen Mensch und Roboter erfolgt. Sobald der Roboter ein Bauteil oder Werkzeug anreicht, richtet er sich nach der Position und Händigkeit des Menschen und führt die Bringbewegung anstelle eines Ansteuerns einer fest definierten Position durch ein Annähern an die Hand durch. Dabei verfährt der Roboter nicht mit Maximalgeschwindigkeit, sondern verlangsamt die Bewegung mit zunehmender Annäherung an den Menschen und stoppt diese rechtzeitig komplett ab, sodass der Mensch den letzten Schritt in Richtung des Roboters durchführen muss. Realisiert wird diese Verlangsamung durch eine distanzabhängige Geschwindigkeit, in diesem Fall die Distanz zwischen dem Greifer des Roboters und dem Menschen. Je weiter der Roboter vom Menschen entfernt agiert, desto schneller bewegt er sich. Die für diese Geschwindigkeitsregelung und für die Adaption der Übergabeposition benötigten Positionen der Körperteile werden, um die Robustheit gegen Verdeckungen zu erhöhen, aus den fusionierten Daten von mehreren Tiefenbildkameras geliefert.

Zum anderen adaptiert sich das System in einem gewissen Rahmen an die Arbeitszeiten der Arbeitsperson, anstatt feste Taktzeiten vorzugeben. Unter der Hypothese, dass so eine Reduktion der mentalen Belastung auftritt, soll der Arbeitsperson erst dann das Bauteil angereicht werden, wenn es auch wirklich benötigt wird. Ein zu

frühes Anreichen kann zu Stress für die Arbeitsperson führen und es kommt zu einer Zeitspanne, in der der Roboter nicht für andere Tätigkeiten genutzt werden kann, andererseits führt ein zu spätes Anreichen zu einer Zwangspause für die Arbeitsperson und Verzögerungen im Produktionsablauf. Für eine Adaption der Taktzeit ist die Vorhersage der benötigten Montagezeit nötig, diese kann z.B. durch einen Abgleich der Vorgabezeiten nach MTM und den tatsächlich benötigten Zeiten vorheriger Arbeitsschritte (Petrucek & Mertens 2017) erfolgen.

Des Weiteren muss der Arbeitsplatz für den Einsatz im produktiven Betrieb angepasst werden. Allerdings wurde herausgestellt, dass dies durch die modulare Bauweise ohne erheblichen Aufwand durchgeführt werden kann. Zusätzlich sind weitere Anwendungsfelder für einen solchen Arbeitsplatz denkbar. In der aktuellen Form, kann nahezu jede Kollaboration, bei der der Mensch an einer Arbeitsfläche arbeitet, mit diesem Arbeitsplatz umgesetzt werden, zusätzlich kann auch diese Arbeitsfläche ersetzt bzw. umgestaltet werden, um die Konzepte des Arbeitsplatzes auch auf andere Einsatzbereiche wie z.B. der Fließbandfertigung zu transferieren.

5. Literatur

- Faber, M.; Kuz, S.; Mertens, A. Schlick, C. M.(2016) Anforderungen an einen sicheren und ergonomischen Arbeitsplatz für die Mensch-Roboter-Kooperation *Arbeit in komplexen Systemen - Digital, vernetzt, human?! 62. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, GfA-Press*
- Feigl, K. (2015) "Neue Mensch-Roboter-Kooperation in der Audi Produktion".
<http://www.presseportal.de/pm/6730/2948444>
- Hatzel, M. (2013) "Neuartige Mensch-Roboter-Zusammenarbeit in der BMW Group Produktion".
<https://www.press.bmwgroup.com/deutschland/article/detail/T0209722DE/neuartige-mensch-roboter-zusammenarbeit-in-der-bmw-group-produktion?language=de>
- Kuz, S., Schlick, C., Lindgaard, G., Moore, D. (2015). Anthropomorphic motion control for safe and efficient human-robot cooperation in assembly system. In *Proceedings of the 19th Triennial Congress of the IEA* (Vol. 9, S. 14)
- Nelles, J., Kohns, S., Spies, J., Brandl, C., Mertens, A., Schlick, C. M. (2016). Analysis of Stress and Strain in Head Based Control of Collaborative Robots—A Literature Review. In *Advances in Physical Ergonomics and Human Factors* (S. 727-737). Springer International Publishing.
- Petrucek, H., Mertens, A. (2017). Predicting Human Cycle Times in Robot Assisted Assembly. In *Advances in Ergonomics of Manufacturing: Managing the Enterprise of the Future : Proceedings of the AHFE 2017 International Conference on Human Aspects of Advanced Manufacturing, July 17-21, 2017, The Westin Bonaventure Hotel, Los Angeles, California, USA*
- Schmidt, J. (2017) MRK-Lösung beim Automobilhersteller. VDI-Z 159 Nr. 4, S. 46-47
- Taner, S. (2017) "Mensch-Roboter-Kooperation: KLARA Ermöglicht Größere Variantenvielfalt In Der Audi-Produktion". <https://www.audi-mediacyber.com/de/pressemitteilungen/mensch-roboter-kooperation-klara-ermoeslicht-groessere-variantenvielfalt-in-der-audi-produktion-9179>
- Vogel, C., Fritzsche, M., Elkmann, N. (2016). Safe human-robot cooperation with high-payload robots in industrial applications. In *The Eleventh ACM/IEEE International Conference on Human Robot Interaction* (pp. 529-530). IEEE Press.

Danksagung: Die Autoren bedanken sich bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG), welche im Rahmen des Exzellenzclusters „Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer“ die vorgestellten Arbeiten fördert.



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

Screen design und Umsetzung

© 2018 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de