

Simulationsgestützte arbeitswissenschaftliche Bewertung von MRK-Arbeitsplätzen

Tatjana Seckelmann,
 André Barthelmey,
 Marcus Kaiser und
 Jochen Deuse, Dortmund

Motivation

Unabhängig davon, ob eine Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK) in einer Simulation [1] oder manuell geplant wurde, muss vor der Umsetzung sichergestellt werden, dass die Investition einen Nutzen einbringt. Dieser kann anhand der Kostenersparnis oder auch der ergonomischen Verbesserung gemessen werden [2], gleichzeitig darf dieser nicht zu Lasten der Arbeitssicherheit erreicht werden.

Die meisten für eine arbeitswissenschaftliche Bewertung erforderlichen Eingangsgrößen liegen innerhalb des Planungsprozesses für MRK-Systeme bereits explizit oder implizit vor. Da das Ziel die möglichst effiziente, bestenfalls vollständig automatisierte, Bewertung ist, sollte eine vollständige Integration in ein Planungswerkzeug für die Human- und Robotersimulation erfolgen.

Entwicklung und Integration in ein Simulationstool

Für die Entwicklung der arbeitswissenschaftlichen Bewertung müssen zunächst die wichtigsten Kriterien sowie deren Relevanz identifiziert werden, um darauf aufbauend den Ablauf der Bewertung zu definieren.

Um während der Planung eines MRK-Systems das beste Lösungsszenario auszuwählen, ist eine arbeitswissenschaftliche Bewertung erforderlich. Wirtschaftlichkeit, Ergonomie, Sicherheit sowie die organisatorischen Auswirkungen sind dabei die wichtigsten Bewertungskriterien. Innerhalb des Beitrags werden die Entwicklung eines auf diesen Kriterien basierten Bewertungsverfahrens und dessen Integration in ein Simulationswerkzeug sowie die Validierung anhand eines industriellen Anwendungsfalls dargestellt.*)

Außerdem ist die jeweilige Berechnungslogik innerhalb der Kriterien sowie die Berechnung des Gesamtergebnis der arbeitswissenschaftlichen Bewertung zu definieren. Des Weiteren ist festzulegen, wie das Bewertungsverfahren in ein geeignetes Simulationswerkzeug integriert werden kann.

Kriterienauswahl und Ablauf der Bewertung

Die Hauptmotivation für die Umsetzung von MRK bilden wirtschaftliche und ergonomische Faktoren [3]. Darüber hinaus

müssen aus Gründen des Arbeitsschutzes sicherheitskritische Situationen bei einer Neugestaltung eines Arbeitsplatzes zwingend verhindert werden. Zusätzlich müssen die Veränderungen der organisatorischen Rahmenbedingungen innerhalb des Unternehmens Berücksichtigung finden. Demnach muss eine arbeitswissenschaftliche Bewertung von MRK-Szenarien die soziotechnischen Kriterien Ergonomie, Wirtschaftlichkeit, Sicherheit und Organisation betrachten und diese aggregieren, um eine aussagekräftige Bewertung eines Szenarios zu gewährleisten.

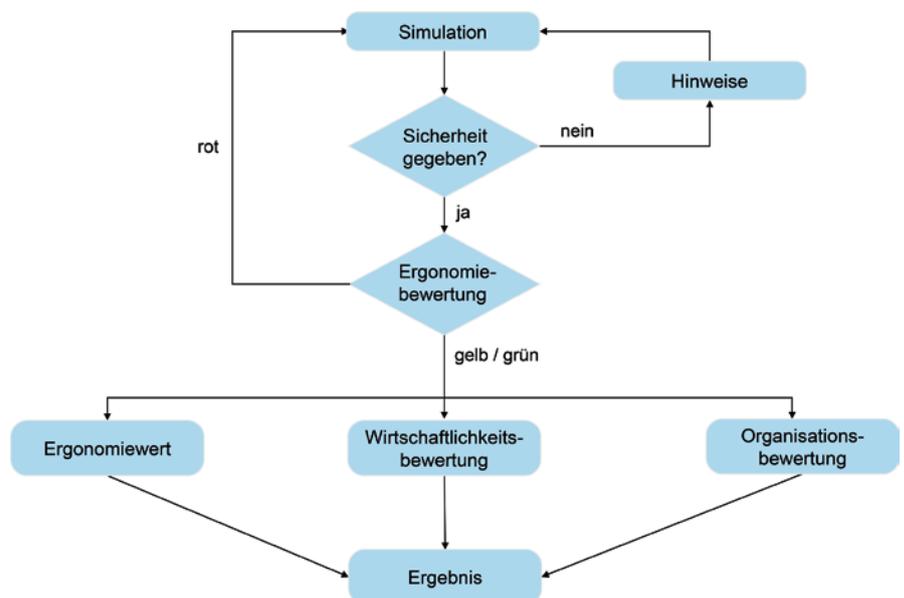


Bild 1. Bewertungsprozess

*) Hinweis

Bei diesem Beitrag handelt es sich um einen von den Mitgliedern des ZWF-Advisory Board wissenschaftlich begutachteten Fachaufsatz (Peer-Review).

Zum Ausschluss von Gefährdungen, ist es erforderlich, dass Ergonomie und Sicherheit als K.o.-Kriterien ausgeprägt werden und somit zum Verwerfen bzw. zu einem Änderungsbedarf des MRK-Planungsszenarios führen können. Aufgrund dieser zentralen Bedeutung müssen Kollisionen, Gefährdungssituationen oder ungünstige Belastungen, bspw. nach ISO/TS 15066 [4], DIN EN 349 [5] und EAWS [6] erkannt und bewertet werden.

Bei einer positiven Bewertung der Einzelkriterien kann das Gesamtergebnis, das sich aus den normierten Ergebnissen der Ergonomie, Wirtschaftlichkeit und Organisation zusammensetzt, berechnet werden. Dazu müssen zunächst die Einzelergebnisse der Kriterien normiert werden. Da MRK-Szenarien aus arbeitswissenschaftlicher Sicht sowohl besser, schlechter und theoretisch auch gleichwertig sein können, muss eine Relation um den Nullpunkt geschaffen werden. Dies gelingt durch eine Skala von -10 bis 10.

Aufgrund von sehr unterschiedlichen Stellenwerten der Kriterien in Abhängigkeiten der individuellen Unternehmensstrategien und Branchen wird eine individuelle Gewichtung erforderlich. Somit ergibt sich für die Bewertung und den Vergleich von MRK-Planungsszenarios der in Bild 1 dargestellte Prozess.

Sicherheit

Aufgrund der Aufhebung trennender Schutzeinrichtungen sowie dem unmittelbaren Zusammenwirken von Mensch und Roboter stellt die Gewährleistung der Sicherheit des Mitarbeiters eine besondere Herausforderung an die MRK dar [7]. Es existiert auf dem Markt verschiedenste Peripherie, um nahezu alle Anwendungsfälle abzusichern und den allgemeinen und im Unternehmen geltenden Normen und Richtlinien gerecht zu werden.

Im Rahmen des Kriteriums Sicherheit muss identifiziert werden, ob das Szenario nach geltenden Normen sicher ist. Dies muss über Abfragen, der in der ISO/TS 15066 und DIN EN 349 dargelegten möglichen Gefährdungen erfolgen. Mit dem Ergebnis kann somit der nötige Aufwand zur Absicherung des Arbeitsplatzes bestimmt werden. Wird der Aufwand vertretbar eingeschätzt, kann eine Bewertung der quantitativen Kriterien Ergonomie, Wirtschaftlichkeit und Organisation, erfolgen (vgl. Bild 1). Andernfalls muss der Anwender den Hinweis erhalten, dass im geplanten Szenario die Sicherheit für den Menschen nur mit hohem Aufwand

Tabelle 1. MRK-Berichtsinhalte des ema-Prototyps

Mensch	Roboter
① Auslastung & Platzbedarf	① Auslastung & Platzbedarf
② Berechnung der auftretenden Kräfte an kollidierendem Körperteil	② Visualisierung von Bewegungs- & Sicherheitsräumen gemäß ISO/TS 15066
③ Bewertung auftretender Kollisionen mit Roboter (nach ISO/TS 15066)	③ Visualisierung und Bewertung von Risikobereichen (nach DIN EN 349)
	③ Auswertung von Quetsch- und Scherstellen nach DIN EN 349
	③ Berechnung der empfohlenen Maximalgeschwindigkeit (nach ISO/TS 15066)
	④ Darstellung von Geschwindigkeitsverläufen, Sensoraktivitäten und Arbeitshöhen

sicherzustellen ist. Unerfahrene Anwender sind jedoch aufgrund der fehlenden Expertise im Bereich Robotik häufig nicht ohne Weiteres in der Lage zielführende Änderungen vorzunehmen, so dass sie eine Orientierungshilfe benötigen.

In dem Bewertungsfahren ist diese Abschätzung durch die beiden Bausteine MRK-Bericht und Entscheidungsfragen umgesetzt. In die innerhalb des Planungsprozesses genutzte Software ema Work Designer der Firma imk automotive wurde ein MRK-Bericht als weiteres Simulationsergebnis integriert, der für die Roboter und Werker die in Tabelle 1 spezifizierten und in Bild 2 visualisierten Zusatzinformationen liefert:

Da im MRK-Bericht lediglich die simulierten Verrichtungen betrachtet werden, müssen die in der ISO/TS 15066 und DIN EN 349 dargelegten möglichen weiteren Gefährdungen gesondert bewertet werden, um individuelle sicherheitskritische

Aspekte zu erfassen. Neben allgemeinen Anforderungen (z. B. ein jederzeit erreichbarer Not-Aus-Schalter, Beschaffenheit der gehandhabten Gegenstände) müssen in Abhängigkeit des grundsätzlichen Schutzprinzips weitere Anforderungen erfüllt sein, die in der Bewertung mithilfe von Entscheidungsfragen abgefragt werden. Im Folgenden werden auszugswise die Fragen für den sicherheitsbewerteten überwachten Stillstand dargestellt:

- Hält der Roboter an, wenn der Mensch den gemeinsamen Arbeitsraum betritt?
- Können die eingesetzten Sensorsysteme sicher den Austritt des Menschen aus dem Arbeitsraum detektieren? Wenn nein:
- Ist ein Quittierungsschalter vorhanden, der nicht innerhalb des Arbeitsraumes ausgelöst werden kann?
- Ist der Arbeitsraum gut einsehbar?



Bild 2. MRK-Berichte des ema-Prototyps

ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb downloaded from www.hanser-elibrary.com by TU Dortmund on December 9, 2019. For personal use only.

Über die prozentuale Anzahl der positiv beantworteten Fragen wird der Aufwand für die Absicherung des Szenarios abgeschätzt. Der Nutzer kann anschließend eigenständig entscheiden, ob er mit dem Szenario und der Bewertung fortfahren möchte, oder ob er zunächst Anpassungen bei der Planung vornimmt. Die Bewertung kann trotzdem fortgeführt werden, es wird jedoch nicht der volle Aufwand zur Absicherung des Szenarios erfasst. Empfohlen wird im Planungsprozess zu der Simulation zurückzukehren und Planungsänderungen vorzunehmen. Unerfahrene Anwender erhalten durch Hinweise eine Orientierungshilfe über zielführende Änderungen. Wird der Aufwand vertretbar eingeschätzt folgt die Bewertung der quantitativen Kriterien (vgl. Bild 1).

Ergonomie

Ergonomie ist bei der Gestaltung von Montagearbeitsplätzen ein wichtiger Aspekt. Werden bestehende Arbeitsplätze verändert, zum Beispiel durch den Einsatz von Leichtbaurobotern, muss verhindert werden, dass sich die ergonomischen Bedingungen für den Menschen verschlechtern. Des Weiteren sind Ergonomieverbesserungen einer der Gründe, weshalb MRK eingesetzt wird, so dass in der Bewertung erfasst werden sollte, wie sich durch den Einsatz die Ergonomie verbessert [8]. Die Ergonomic Assessment Worksheet (EAWS)-Analyse ist eine verbreitete Methode zur Bestimmung der ergonomischen Belastung [7]. Aus dem EAWS-Wert für das MRK-Szenario muss mit dem EAWS-Wert für das manuelle Szenario ein normierter Ergonomiewert im Sinne der arbeitswissenschaftlichen Bewertung bestimmt werden.

Eine Verschlechterung des EAWS-Wertes ist als negativ und eine Verbesserung als positiv zu bewerten. Bei einem gleichbleibenden Wert kann keine direkte Aussage bzgl. der Ergonomie getroffen werden. Neben der Veränderung muss der absolute EAWS-Wert des MRK-Szenarios berücksichtigt werden. EAWS-Werte kleiner als 10 sind im Allgemeinen sehr gut zu bewerten, für EAWS-Werte des orangenen und grünen Bereichs gilt dann für die Normierung ein linearer Zusammenhang (vgl. Gl. 2). Aus den beiden normierten Werten wird dann für den endgültigen Wert der Mittelwert gebildet (vgl. Gl. 3). Gleichung 1 erfasst die Veränderung der EAWS-Werte vom manuellen System zum MRK-Szenario.

$$\begin{aligned}
 \text{Ergonomiewert}_{v,norm} &= f(\text{EAWS}_{man}, \text{EAWS}_{MRK}) \\
 &= \begin{cases} \frac{1}{4} \cdot (\text{EAWS}_{man} - \text{EAWS}_{MRK}) + \frac{3}{4} & \text{für } \text{EAWS}_{man} - \text{EAWS}_{MRK} > 0 \\ 0 & \text{für } \text{EAWS}_{man} - \text{EAWS}_{MRK} = 0 \\ -10 & \text{für } \text{EAWS}_{man} - \text{EAWS}_{MRK} < 0 \end{cases} \quad (1)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Ergonomiewert}_{Abs,norm} &= f(\text{EAWS}_{MRK}) \\
 &= \begin{cases} -\frac{1}{2} \cdot \text{EAWS}_{MRK} + 15 & \text{für } \text{EAWS}_{MRK} > 10 \\ 10 & \text{für } \text{EAWS}_{MRK} \leq 10 \end{cases} \quad (2)
 \end{aligned}$$

$$\text{Ergonomiewert}_{Ges,norm} = \frac{\text{Ergonomiewert}_{v,norm} + \text{Ergonomiewert}_{Abs,norm}}{2} \quad (3)$$

Das dargestellte Ergebnis dieser Analyse bildet das Teilergebnis für das Kriterium Ergonomie, welches automatisch in die Berechnung des Gesamtergebnisses der arbeitswissenschaftlichen Bewertung einfließt.

Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit bildet das wichtigste unternehmerische Ziel. Praktisch jeder Investitionsentscheidung im industriellen Umfeld liegt eine Wirtschaftlichkeitsberechnung zu Grunde. Dazu werden verschiedene Verfahren genutzt und an unternehmensspezifische Anforderungen angepasst. Für die Investitionsentscheidung im Bereich von Arbeitssystemen sind die Kapitalwertmethode [9] und die Amortisationszeitrechnung [10] etablierte Verfahren. Zugeschnitten auf Arbeitssysteme ist beispielsweise die Platzkostenrechnung nach Lotter [10]. Zudem werden in der Produktionsforschung aktuell speziell auf die Bedürfnisse von MRK ausgerichtete Ansätze entwickelt.

Eine Kombination von Kapitalwertmethode und Amortisationszeitrechnung bietet sich besonders an, da sie mit der zeitlichen (Break-even-Point) und der monetären Betrachtung (Netto-Barwert zum Zeitpunkt der Investition) unterschiedlich ausgerichtet sind und darüber hinaus in der Praxis die stärkste Verbreitung und Akzeptanz aufweisen.

Um dem Anwender eine möglichst schnelle und effiziente Wirtschaftlichkeitsberechnung zu ermöglichen, muss eine vollständig automatische Berechnung sowohl der Amortisationszeit, als auch des Kapitalwerts implementiert werden. Allerdings müssen Unternehmen gleichzeitig in die Lage versetzt werden, ihre bevorzugte Berechnungsmethode zu wählen und an ihre individuellen Anforderungen anpassen zu können.

Bei der Amortisationszeitrechnung handelt es sich bei diesen Anforderungen bspw. um die Berücksichtigung von Energie- oder Lohnkosten der Kostenstelle. Ebenso zählen Aspekte, wie bspw. vorhersehbare Schwankungen des Produktionsvolumens oder der aktuelle Kalkulationszinsfuß dazu.

Aufgrund der großen Unterschiede in den finanziellen Möglichkeiten, der Risikobereitschaft und der mit den Arbeitssystemen erzielbaren Gewinnen verschiedener Unternehmen und Unternehmensbereiche, ist es nicht möglich, eine generisch anwendbare Skala für die Kapitalwerte an fixen Beträgen zu verankern. Hierbei muss die Möglichkeit geschaffen werden, eine Skala individuell auszuprägern.

Mit der Integration in das Simulationswerkzeug kann die automatisierte Berechnung sowohl der Amortisationszeit als auch des Kapitalwerts erfolgen. In der genutzten Software wurde dies möglich, da die erforderlichen Werte zur Berechnung des theoretischen Erlöses, wie Zykluszeit und Schichtmodell für die Simulation angelegt werden und damit bereits vorhanden und nutzbar sind. Ebenso besteht die Möglichkeit Kosten für die innerhalb des Simulationsszenarios genutzten Ressourcen zu hinterlegen.

Als händische Eingaben für die Wirtschaftlichkeitsberechnung sind daher nur die unternehmens- und MRK-spezifischen Werte, wie z.B. der Kalkulationszinsfuß sowie Schulungs- und Akzeptanzförderungskosten erforderlich.

Arbeitsorganisatorisch

Darüber hinaus ist die Auswirkung des MRK-Szenarios auf die Arbeitsorganisation ein nicht zu vernachlässigendes Kriterium bei dessen Bewertung [11]. Die Beseitigung von verschwenderischen Ak-

ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb downloaded from www.hanser-elibrary.com by TU Dortmund on December 9, 2019 For personal use only.

wissenschaftlichen Bewertung. Bild 3 zeigt den ausgewählten Teilarbeitsplatz und die Ergebnisse der Bewertung.

Nach der Überprüfung der K.o.-Kriterien und Berechnung der normierten Teilergebnisse für die Kriterien Ergonomie (+5), Wirtschaftlichkeit (+3) und Organisation (+0) konnte das Gesamtergebnis (+2,85) mittels der gewählten Gewichtungen bestimmt werden und somit die Verbesserung aus arbeitswissenschaftlicher Sicht nachgewiesen werden.

■ Zusammenfassung

Die arbeitswissenschaftliche Bewertung ist ein zentrales Element der Planung von MRK-Arbeitssystemen. Sie stellt sicher, dass die Einführung von MRK nicht allein aus Selbstzweck erfolgt, sondern einen tatsächlichen Mehrwert bietet. Nur so kann die neue Technologie die erforderliche Akzeptanz erzeugen, um langfristig innerhalb der Unternehmenskultur verankert zu werden. Im Projekt KoMPI wurde nachgewiesen, dass diese Bewertung unter Berücksichtigung der zentralen Betrachtungsaspekte mit der Verwendung geeigneter Werkzeuge weitestgehend automatisiert und intuitiv durchgeführt werden kann.

Die Berechnungen sind simpel und für den Anwender leicht nachvollziehbar. Zur Durchführung ist an wenigen Stellen weiterhin manueller Aufwand erforderlich, der es jedoch auch ermöglicht, die Bewertung individuell zu gestalten und dem unternehmenseigenen Fokus anzupassen.

■ Literatur

1. Busch, F.: Ein Konzept zur Abbildung des Menschen in der Offline-Programmierung und Simulation von Mensch-Roboter-Kollaborationen. 1. Aufl.. Shaker Verlag (Schriftenreihe Industrial Engineering, 17), Herzogenrath 2016
2. Stankiewicz, L.; Thomas, C.; Busch, F.; Deuse, J.; Kuhlenkötter, B.: Individualisierte Roboterassistenz zur Kompensation altersbedingter Einschränkungen des Muskel-Skelett-Systems an manuellen Montagearbeitsplätzen. In: VerANTWORTung für die Arbeit der Zukunft. 61. GfA-Frühjahrskongress. Karlsruhe, 25.–27.02.2015. Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (GfA). GfA-Press, Dortmund 2015, S. 1–6
3. Oubari, A.; Pischke, D.; Jenny, M.; Meißner, A.; Trübswetter, A.: Mensch-Roboter-Kollaboration in der Produktion. ZWF 113 (2018), S. 560–564
DOI: 10.3139/104.111971
4. DIN 2017, 2016: DIN ISO/TS 15066:2017–04, Roboter und Robotikgeräte – Kollaborierende Roboter (ISO/TS_15066:2016). Beuth Verlag, Berlin 2017
5. DIN 2008: DIN EN 349:2008–09, Sicherheit von Maschinen – Mindestabstände zur Vermeidung des Quetschens von Körperteilen; Deutsche Fassung EN_349:1993 + A1:2008. Beuth Verlag, Berlin 2008
6. Schaub, K. G.; Mühlstedt, J.; Illmann, B.; Bauer, S.; Fritzsche, L.; Wagner, T. et al.: Ergonomic Assessment of Automotive Assembly Tasks with Digital Human Modelling and the „Ergonomics Assessment Worksheet“ (EAWS). JHFMS 3 (2012) 3/4, S. 398
DOI: 10.1504/IJHFMS.2012.051581
7. DGUV (Hrsg.): Kollaborierende Robotersysteme. Planung von Anlagen mit der Funktion „Leistungs- und Kraftbegrenzung“. 2017
8. Busch, F.; Thomas, C.; Deuse, J.; Kuhlenkötter, B.: A Hybrid Human-Robot Assistance System for Welding Operations. Methods to ensure Process Quality and Forecast Ergonomic Conditions. In: Shixin Jack Hu (Hrsg.): Proceedings of the 4th CIRP Conference on Assembly Technologies and Systems (CATS 2012). Technologies and Systems for Assembly Quality. Ann Arbor, USA, 20.–22.05.2012. College International pour la Recherche en Productique (CIRP), 2012, S. 151–154
9. Kruschwitz, L.; Husmann, S.: Finanzierung und Investition. 6., überarb. und verb. Aufl., Oldenbourg, München 2010
10. Lotter, B.; Wiendahl, H.-P.: Montage in der industriellen Produktion. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 2012
DOI: 10.1007/978-3-642-29061-9
11. Hengstebeck, A.; Weisner, K.; Deuse, J.; Roßmann, J.; Kuhlenkötter, B.: Betriebliche Auswirkungen industrieller Servicerobotik am Beispiel der Kleinteilemontage. In: Wischmann, St.; Hartmann, E. A. (Hrsg.): Zukunft der Arbeit – Eine praxisnahe Betrachtung. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 2018, S. 51–61
DOI: 10.1007/978-3-662-49266-6_4
12. Deuse, J.; Wischniewski, S.; Fischer, H.: Renaissance des Industrial Engineering – Methoden für die Umsetzung Ganzheitlicher Produktionssysteme. wt Werkstattstechnik online 96 (2006) 1/2, S. 57–60
13. Weßkamp, V.; Seckelmann, T.; Barthelmey, A.; Kaiser, M.; Lemmerz, K.; Glogowski, P. et al.: Development of a Sociotechnical Planning System for Human-robot Interaction in Assembly Systems Focusing on Small and Medium-sized Enterprises. In: Proceedings of the 52nd Conference on Manufacturing Systems. Ljubljana, Slovenia, 12.–14.06.2019. College International pour la Recherche en Productique (CIRP), 2019

■ Die Autoren dieses Beitrags

Tatjana Seckelmann, M.Sc., geb. 1992, hat 2013 im Rahmen eines dualen Maschinenbaustudiums die Berufsausbildung zur Mechatronikerin bei der Firma Eickhoff Maschinenfabrik GmbH erfolgreich abgeschlossen und im Anschluss das Studium mit der Vertiefung Konstruktion und Automatisierungstechnik an der Ruhr-Universität Bochum abgeschlossen. Seit 2018 ist sie am Institut für Produktionssysteme (IPS) an der TU Dortmund beschäftigt. Ihre Arbeitsschwerpunkte liegen in den Bereichen Automatisierungstechnik, Mensch-Roboter-Kollaboration und Industrial Engineering.

Dipl.-Wirt.-Ing. André Barthelmey, geb. 1985, studierte Wirtschaftsingenieurwesen mit der Vertiefung Produktionsmanagement an der TU Dortmund. Seit 2013 ist er am Institut für Produktionssysteme (IPS) an der TU Dortmund beschäftigt. Seine Arbeitsschwerpunkte liegen in den Bereichen Digitale Fabrik, Mensch-Roboter-Kollaboration und Industrial Engineering.

Marcus Kaiser M.Sc., geb. 1990, studierte an der technische Universität Chemnitz „Automobilproduktion und -technik“ und schloss sein Masterstudium im Jahr 2017 ab. Seitdem arbeitet er bei der imk automotive GmbH in der digitalen Produktionsplanung, mit den Schwerpunkten Simulation und MRK.

Prof. Dr.-Ing. Jochen Deuse, geb. 1967, leitet seit 2005 den Lehrstuhl für Arbeits- und Produktionssysteme und seit 2012 das aus dem Lehrstuhl hervorgegangene Institut für Produktionssysteme der TU Dortmund. Seit April 2019 ist er neben seiner Tätigkeit am IPS auch als Professor an der Faculty of Engineering and Information Technology, School of Mechanical and Mechatronic Engineering, im Bereich Advanced Manufacturing/ Industry 4.0 an der University of Technology Sydney tätig. Er promovierte 1998 am Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre (WZL) der RWTH Aachen. Anschließend war er in leitender Funktion für die Bosch-Gruppe im In- und Ausland tätig.

■ Summary

Simulation-supported Evaluation of HRI-workplaces in the Field of Macro and Micro Ergonomics. In order to identify the best application scenario during the planning phase of a HRI system, a concluding macro and micro ergonomic evaluation is necessary. Therefore economy, micro ergonomics, safety and the organizational impact structures are the most important evaluation criteria. The article describes the development of an evaluation procedure based on these criteria and its integration into a simulation tool, as well as the application within an industrial use case.

Bibliography

DOI 10.3139/104.112189

ZWF 114 (2019) 11; page 744–748

© Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG
ISSN 0032–678X