

Simulationsbasierte Optimierung von manuellen Montagearbeitsplätzen

Tobias RUSCH¹, Sumona SEN², Tobias STELZLE¹,
Alexander ROMMEL¹, Florian KERBER¹

¹ *Technologietransferzentrum Nördlingen, Hochschule Augsburg
Emil-Eigner-Str. 1, D-86720 Nördlingen*

² *Hochschule Niederrhein
Reinarzstraße 49, D-47805 Krefeld*

Kurzfassung: Digitale Tools bieten Möglichkeiten für die verbesserte Gestaltung von teilautomatisierten Arbeitsplätzen, wie sie gerade in der Montage aktueller Standard sind. Mit Hilfe von simulierten Menschmodellen lassen sich komplexe Arbeitsprozesse im Zusammenwirken von Mensch und Arbeitsumgebung hinsichtlich Reduzierung physischer Beanspruchung untersuchen. Die Nutzung von kollaborierender Robotik als physisches Assistenzsystem bietet hohe Potenziale in Produktivität und Ergonomie. Zur Auslegung können kinematische Robotermodelle genutzt werden, die neben Arbeitsplatz und Mensch auch in der Simulation implementiert werden können. Am Anwendungsbeispiel einer manuellen Getriebemontage wird ein Vergleich zwischen Werkbankfertigung und einem digital assistierten, modularen Systemarbeitsplatz in der Simulationssoftware emaWD gezogen.

Schlüsselwörter: Human-Factors, Ergonomie, Mensch-Roboter-Kollaboration, Simulation, Montage, Produktivität

1. Einleitung

Bei der Betrachtung von digitalen Assistenzsystemen in der Montage steht die Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK) aufgrund der direkten Interaktion zwischen Mensch und Maschine oft im Vordergrund (Kleineberg et al. 2017). Dabei wird in den meisten Fällen auf spezielle Anwendungsfälle und Umsetzungen von MRK-Systemen eingegangen, wobei der Roboter aufwändige oder monotone Aufgaben übernimmt (Komenda und Brandstötter 2020). Diese hybride Arbeitsweise verspricht ein hohes wirtschaftliches und ergonomisches Potenzial, da die Vor- und Nachteile der MRK mit den kognitiven und sensomotorischen Fähigkeiten des Menschen ergänzt werden können (Badura et al. 2016), (ifaa 2017). Aufgabenverteilung und Produktivitätsaspekte spielen bei der Etablierung neuer Technologien und der Erreichung höherer Produktivitätsziele eine große Rolle (Eberle 2016). Weitere große Herausforderungen, die heute in der Industrie zunehmend an Bedeutung gewinnen, sind der demografische Wandel und der zunehmende Fachkräftemangel (Manpower Group 2015). Ältere Arbeitnehmer verfügen ein hohes Maß an Erfahrung und sozialer Kompetenz, allerdings nehmen sensorische und körperliche Fähigkeiten wie z. B. der Bewegungsumfang mit dem Alter ab (Kopp et al. 2020). Dies kann dazu führen, dass bestimmte Tätigkeiten nicht mehr oder nur noch mit verminderter Leistung ausgeführt werden können (Bullinger-Hoffmann 2020). Die Folgen abnehmender Fähigkeiten können Verletzungen und Berufskrankheiten sein. Eine höhere Effizienz, größere

Verfügbarkeit der Arbeitskraft bei gleichbleibender Qualität der Arbeitsleistung und die Möglichkeit den Menschen im System zu unterstützen, sind die wesentlichen Ziele der Implementierung von MRK-Systemen (Weidner et al. 2015). Neben diesen physischen Faktoren spielen auch psychologische Faktoren wie Situationsbewusstsein und Aufmerksamkeit bei der Arbeit mit kollaborativen Robotern (Cobots) eine wichtige Rolle für sichere MRK, die es zu berücksichtigen gilt (Sen 2020). Mit Hilfe von Planungswerkzeugen, wie dem ema Work Designer (emaWD), können bei der Simulation der Arbeitsprozesse sowohl menschenorientierte als auch technische und wirtschaftliche Faktoren berücksichtigt werden. Bereits in der Planungsphase können Arbeitsprozesse mit Methoden wie Erreichbarkeitsanalysen, dem Ergonomic Assessment Worksheet (EAWS) oder Method Time Measurement (MTM) (Fritzsche et al. 2019) simuliert und nach wirtschaftlichen und ergonomischen Gesichtspunkten gestaltet werden. Dieser Beitrag zeigt an einem Anwendungsbeispiel, wie durch den Einsatz einer Simulationssoftware im Vorfeld der realen Umsetzung Auswirkungen aus einer Neugestaltung und dem Einsatz eines MRK-System an einem bisher manuellen Arbeitsplatz gemessen werden können (Spitzhirn et al. 2020). Der Anwendungsfall beinhaltet einen Vergleich von manuellen und MRK-Arbeitsplätzen und zeigt, wie sich die vorgestellten Faktoren auf die wirtschaftlichen Aspekte und die Produktivität auswirken.

2. Simulation von Montagearbeitsplätzen

Im Anwendungsbeispiel einer bisher rein manuellen Getriebemontage wird die bisherige Werkbankfertigung mit einem digital assistierten, modularen Systemarbeitsplatz erweitert und in der Simulationssoftware emaWD verglichen. Dies ermöglicht eine detaillierte Analyse der Produktivitätsunterschiede anhand von Zeiteauswertungen auf Basis der MTM sowie die ergonomische Bewertung anhand der EAWS-Betrachtung.

2.1 Anwendungsfall

Betrachtet wird eine Getriebemontage (siehe Abbildung 1), deren Montageprozess, wie bei Rusch et al. (2020) beschrieben, in elementaren Arbeitsschritten vorliegt. Bei der Auswahl des Anwendungsbeispiels wurde darauf geachtet, dass der Montageablauf unterschiedliche Handhabungs- und Fügeverfahren beinhaltet. Die benötigten Montageprozesse finden sich sehr häufig bei industriellen Montagetätigkeiten. Für Mitarbeiter können diese Tätigkeiten sowohl kognitiv als auch physisch stark belastend sein.



Abbildung 1: Einzelteile der betrachteten Getriebemontage

2.2 Gestaltung der Montageplätze

Das Konzept für die Neugestaltung des Arbeitsplatzes entsteht in Anlehnung an das in Sochor et al. (2019) beschriebene Modulkonzept, siehe Abbildung 2 links. Dabei handelt sich um einen höhenverstellbaren Systemarbeitsplatz in L-Form mit rückseitig nachfüllbaren Materialregalen. Darin vorgesehen ist der Einsatz verschiedener kognitiver und physischer Assistenzsysteme zur Unterstützung der Mitarbeiter, unter anderem Pick-by-light und eine digitale Werkerführung über Touchbildschirme und Kameras. In der vorliegenden Simulation wird dabei nur der Einsatz eines kollaborierenden Roboters als physisches Assistenzsystem betrachtet.

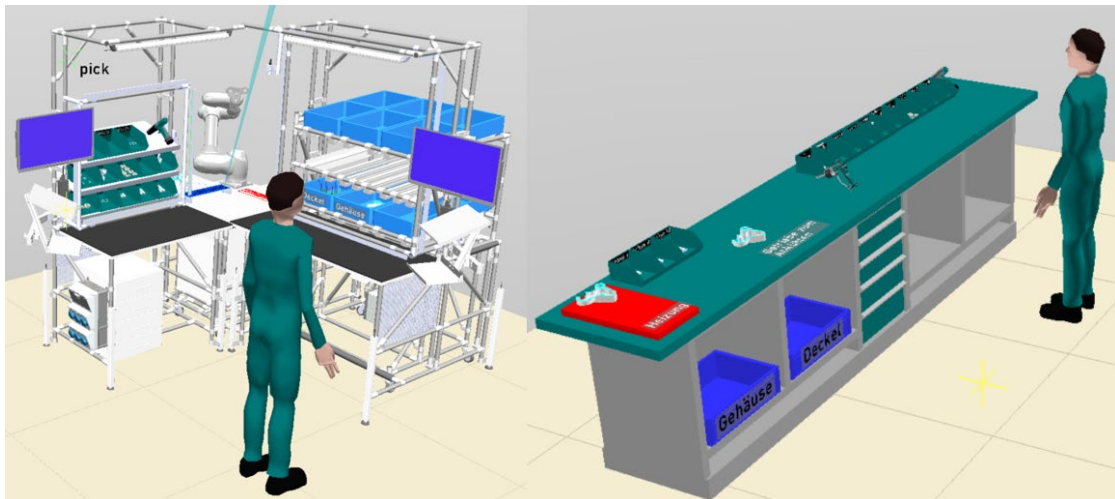


Abbildung 2: Verschiedene Formen der Arbeitsplatzgestaltung dargestellt in der Software emaWD, links: modularer Systemarbeitsplatz mit integrierten Assistenzsystemen, rechts: Werkbankfertigung

Zum Vergleich wird das Prinzip einer manuellen Werkbankfertigung simuliert, siehe Abbildung 2 rechts. Dieser entspricht dem Montagearbeitsplatz eines bekannten Getriebeherstellers. An beiden Arbeitsplätzen werden Getriebe einzeln durch einen Mitarbeiter gefertigt.

2.3 Umsetzung in der Simulationsumgebung

Als Simulationsumgebung wurde die Software emaWD der Fa. IMK ausgewählt. Alle Größenordnungen und Gewichte des Beispielsproduktes und der beiden Arbeitsplätze sind den realen Abmessungen nachempfunden. Für den MRK-fähigen Roboter (kurz Cobot) wurde der im Demonstrator verwendete Roboter „Doosan M1013“ in die Modellbibliothek mit seinem kinematischen Modell aufgenommen. Zur Betrachtung des Menschen wurde ein männliches, 40-jähriges, deutsches Menschmodell nach dem 50. Perzentil ausgewählt. Roboter- und komplexe Menschmodelle lassen sich in der Software sehr einfach gegen andere Modelle austauschen. In emaWD liegt dafür eine sehr umfangreiche Bibliothek vor, die stetig aktualisiert werden kann. Handhabungsprozesse werden bei der Implementierung als einzelne Verrichtungen definiert. Dabei wird auf einen sehr hohen Detaillierungsgrad der einzelnen Prozessschritte geachtet. emaWD bietet dafür Einstellungsmöglichkeiten der Körperbewegungen, d.h. einzelner Hand-, Arm- und Kopfbewegungen. Die Simulation des Greifens von Gegenständen lässt sich akkurat über die Greifform, Greifkraft oder auch die spezielle Handstellung darstellen.

- Montagearbeitsplatz (Strukturknoten) [4667]
- Arbeitsplatzausstattung (3D Knoten) [5]
- Höhenverstellbare Tische/Regale (Strukturknoten) [34894]
- Statische Regale/Füße (Strukturknoten) [34896]
- Linker Arbeitsplatz (Strukturknoten) [34897]
- Ecktisch (Strukturknoten) [34871]
- Kühlung (Strukturknoten) [34873]

3. Simulationsbasierte Ergebnisse

Tabelle 1: Gegenüberstellung der Szenarien Werkbank und modularer Systemarbeitsplatz mit den Ergebnissen aus der Simulation

| <u>Bewertungs- methode</u> | <u>Werkbank</u> | <u>Systemarbeitsplatz</u> | <u>Beschreibung</u> |
|--------------------------------|-----------------|---------------------------|------------------------------------|
| EAWS | 64,5 | 48 | Ergonomie-Punkte gesamt |
| | 15,5 | 13 | Haltung [Pkt] |
| | 49 | 35 | Manuelle Lastenhandhabung [Pkt] |
| APA | 6,91 | 1,07 | Bewegungsbereich [m²] |
| Spaghetti-Diagramm | 32,13 | 11,61 | Laufweg [m] |
| MTM-UAS | 165,99 | 148,33 | Grundzeit [s] |
| Taktzeitdiagramm | 182,2 | 173,68 | Gesamtzeit [s] |

Die erzielten Simulationsergebnisse ermöglichen die Interpretation der Effektivität der umgesetzten Maßnahmen. Im Ergebnisbericht der Software emaWD werden die einzelnen Werte explizit den jeweiligen Prozessschritten zugeordnet. So lassen sich direkte Zusammenhänge von der Maßnahme auf das einzelne Verhalten des Menschen ableiten. Durch die bessere Gestaltung des Arbeitsplatzes und die physische Assistenz des Cobots ergeben sich deutliche Verbesserungen bei der Haltung durch beispielsweise die Höhenverstellung des Tisches, den Laufwegen durch Umgestaltung des Arbeitsplatzes und der Belastung durch Übernahme von Lasten bei der Montage durch den Cobot. Dies führt auch zu einer Reduzierung der Gesamtzeit und Grundzeit des Montageprozesses. Die hier betrachtete Einzelteillfertigung liefert so bereits eindeutige Verbesserungen aus ergonomischer und produktiver Sicht. Eine Erweiterung des Modells mit komplexen Verrichtungen ermöglicht zusätzlich ein zeitlich paralleles Abarbeiten von verschiedenen, voneinander unabhängigen Prozessschritten durch den Menschen und den Cobot. Im Anwendungsfall geschieht dies beispielsweise durch das Auftragen einer Dichtraupe auf den Deckel durch den Cobot während der Mensch die letzten Einzelteile zeitgleich in das Gehäuse montiert. Im Anschluss werden dann Deckel und Gehäuse verbunden. Dies ermöglicht eine deutliche Reduzierung der jeweiligen Wartezeiten. Die Betrachtung einer ganzen Montageschicht lässt somit auch verstärkt Rückschlüsse auf körperliche Langzeitauswirkungen zu.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Der Einsatz der Simulationssoftware emaWD ermöglicht die Darstellung unterschiedlicher Gestaltungsvarianten von Montagearbeitsplätzen. Die Visualisierung der Gestaltungsvarianten unterstützt die Planung sowie die Diskussion und Entwicklung in interdisziplinären Teams und liefert bereits verlässliche Werte über die Auswirkungen einer ergonomischen Gestaltung des Arbeitsplatzes, die dann auch in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für die Investition in einen MRK-Arbeitsplatz einfließen können. In diesem Beitrag wird aufgezeigt, dass die Berücksichtigung ergonomischer Maßnahmen bei MRK-Anwendungen wirtschaftlich sinnvoll sein kann. Berücksichtigt man weitere ergonomische Potenziale wie z.B. den Einsatz von Personen mit verminderter Leistungsfähigkeit oder die Kompensation altersbedingter Kraft- oder Mobilitätsminderungen bei der Implementierung eines MRK-Systems als Assistenzsystem für Mitarbeiter, ergeben sich große wirtschaftliche Spielräume für den Einsatz und die Verbreitung dieser Technologie in der Industrie. Weitere Studien sollten jedoch auch die psychologischen Aspekte, wie das Situationsbewusstsein und die Akzeptanz miteinbeziehen. Neben der unterstützenden Funktion, die MRK-Roboter bieten, ergeben sich somit neue Möglichkeiten, Arbeitsplätze flexibler und attraktiver zu gestalten. Eine differenzierte Betrachtung der jeweiligen physikalischen Anforderungen, z.B. Größe, Reichweite, Kraft, verschiedener Menschen und auch verschiedener möglicher Robotersysteme (z.B. Reichweite, Traglast) erweitert zusätzlich die ergonomischen, sicherheitstechnischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkte bereits in der Planungsphase. Leider ist eine Simulation noch nicht in der Lage, psychologischen Fragestellungen abzubilden. Durch die Vervollständigung des menschlichen Modells oder reale Experimente mit Probanden kann dieses Konzept jedoch in Zukunft weiterentwickelt werden und erlaubt.

5. Literatur

- Badura B, Ducki A, Schröder H, Klose J und Meyer M (2016) Fehlzeiten-Report 2016, Berlin: Springer-Verlag, 2016.
- Bullinger-Hoffmann A (2020) Gestaltung hybrider Mensch-Maschine-Systeme/Designing Hybrid Societies, Leipzig: Springer Vieweg, 2020.
- Eberle P (2016) „Entwicklung eines Modells zur effizienten Fabriklayoutplanung unter synchroner Berücksichtigung ergonomischer und produktivitätsorientierter Gestaltungsfaktoren,“ Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften TU Wien, Wien, 2016.
- Fink K, Rusch T, Merkel L, Sochor R, Kerber F, Reinhart G (2020) Ein Vorgehensmodell zur Prozessevaluierung zur Integration ausgewählter kognitiver und physischer Assistenzsysteme am Montagearbeitsplatz 4.0 im Mittelstand. Digitaler Wandel, digitale Arbeit, digitaler Mensch? GfA, Dortmund (Hrsg) Frühjahrskongress 2020, Berlin.
- Fritzsche F, Ullmann S, Bauer S und Sylaja V (2019) Tasked based digital human simulation with Editor for Manual Work Activities, in DHM and Posturography. London: Elsevier, 2019, 569-575.
- Ifaa - Institut für angewandte Arbeitswissenschaft (2017) Handbuch Arbeits- und Gesundheitsschutz, Berlin: Springer, 2017.
- Komenda T und Brandstötter M (2020) Mensch-Roboter-Arbeitssysteme effektiv gestalten – Potenziale der Mensch-Roboter-Zusammenarbeit zur Flexibilisierung von Arbeitssystemen, WINGbusiness, Bd. 2020, Nr. 2, 2020.
- Kopp T, Schäfer A und Kinkel S (2020) „Kollaborierende oder kollaborationsfähige Roboter? – Welche Rolle spielt die Mensch-Roboter-Kollaboration in der Praxis?,“ in Ind. 4.0 Manag. vol. 36, no. 2, 2020, 19 – 23.
- ManpowerGroup GmbH (2015). Studie Fachkräftemangel. Eschborn.
- Rusch T, Steuer J, König M, Sochor R, Fink K, Stelzle B, Romanelli M, Kerber F (2020) Tool-based automatic generation of digital assembly instructions. 14th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering, CIRP ICME '20.
- Sen S, Buxbaum H und Kremer L (2020) The Effects of Different Robot Trajectories on Situational Awareness in Human-Robot Collaboration, International Conference in Human-Computer Interaction, Copenhagen, 2020.
- Sochor R, Riegel A, Merhar L, Rusch T, Merkel L, Kerber F, Braunreuther S, Reinhart G (2019) Kognitive und physische Assistenz in der Montage. In: Werkstatttechnik online 109 Nr. 3, 122-127.
- Spitzhahn M, Fritzsche F und Bauer S (2020) Digital production planning of manual and semi-automatic tasks in industry using the EMA Software Suite, 2020.
- Weidner R, Redlich T und Wulfsberg J (2015) Technische Unterstützungssysteme, Springer Vieweg, 2015.



Gesellschaft für
Arbeitswissenschaft e.V.

Technologie und Bildung in hybriden Arbeitswelten

68. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und
Fabrikautomatisierung IFF, Magdeburg

02. – 04. März 2022

GfA-Press

Bericht zum 68. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 02. – 04. März 2022

Otto-von Guericke-Universität Magdeburg;

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF, Magdeburg

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Sankt Augustin: GfA-Press, 2022

ISBN 978-3-936804-31-7

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Jahresdokumentation

Als Manuskript zusammengestellt. Diese Jahresdokumentation ist nur in der Geschäftsstelle (s. u.) erhältlich.

Alle Rechte vorbehalten.

© **GfA-Press, Sankt Augustin**

Schriftleitung: Prof. Dr. Rolf Ellegast

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,
- den Kongressband oder Teile daraus in Print- und/oder Nonprint-Medien (Webseiten, Blog, Social Media) zu verbreiten.

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

Geschäftsstelle der GfA

Simone John, Tel.: +49 (0)30 1300-13003

Alte Heerstraße 111, D-53757 Sankt Augustin

info@gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de · www.gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de

Screen design und Umsetzung

© 2022 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de