

Virtuelle Planung der Zusammenarbeit von Mensch und Roboter mittels ema Work Designer – wirtschaftliche und ergonomische Gestaltung von Mensch-Roboter-Interaktionen

Michael SPITZHIRN, Marcus KAISER

*imk automotive GmbH
Amselgrund 30, D-09128 Chemnitz*

Kurzfassung: Hybride Arbeitssysteme, die eine direkte Zusammenarbeit von Mensch und Roboter ermöglichen, bieten hohe wirtschaftliche und ergonomische Potentiale. Digitale Planungssysteme wie der ema Work Designer können helfen die Effizienz der Planung zu erhöhen. Dazu bedarf es geeigneter Methoden und Planungsansätze. Im Beitrag wird eine Planungssystematik zur virtuellen Untersuchung und Gestaltung wirtschaftlicher, ergonomischer und sicherer MRK-Arbeitsprozesse mittels ema Work Designer (ema WD) vorgestellt. Anhand der untersuchten Getriebemontage kann gezeigt werden, dass der Einsatz eines MRK-Roboters die ergonomische Belastung und die Zykluszeit wesentlich reduziert. Im Sinne einer prospektiven Arbeitsgestaltung ermöglicht eine Simulation bereits in der Planungsphase ohne reale Prototypen ergonomische, produktivitäts- und sicherheitsbezogene Potentiale zu identifizieren und zu optimieren. Die 3D-Visualisierung unterstützt zudem die Kommunikation und erhöht die Akzeptanz der geplanten Maßnahmen.

Schlüsselwörter: Digitale Menschmodelle, ema Work Designer, Mensch-Roboter-Interaktion, Mensch-Roboter-Kollaboration, prospektive Arbeitsgestaltung, virtuelle Arbeitsplanung

1. Herausforderungen und Vorteile der Mensch-Roboter-Interaktion

Ein starker internationaler Wettbewerb, eine zunehmende Individualisierung der Produkte mit geringer werdenden Losgrößen, beschleunigte strukturelle Umbrüche infolge der Digitalisierung bei gleichzeitiger Verknappung der Arbeitskräfte (u. a. durch den demographischen Wandel) erfordern neue Konzepte für Arbeitsprozesse (Müller et al. 2019). Arbeitsprozesse sind sowohl wirtschaftlich als auch menschengerecht zu gestalten (Schlick et al. 2018). Dabei bieten hybride Arbeitssysteme, die eine direkte Zusammenarbeit von Mensch und Roboter ermöglichen, hohe wirtschaftliche und ergonomische Potentiale (Bauer et al. 2016; ifaa 2017).

Der Mensch verfügt u. a. über die Fähigkeiten, Informationen schnell aufzunehmen, zu interpretieren und daraus Schlussfolgerungen und Handlungen durchzuführen. Das macht den Menschen in vielen Prozessen unverzichtbar. Die Arbeitserbringung ist jedoch einer höheren Schwankung in der Arbeitsqualität und -quantität unterworfen. Zudem bestehen physiologische und mentale Leistungsbegrenzungen, die die Einsetzbarkeit limitieren. Roboter unterliegen keiner Ermüdung und können ergonomisch ungünstige und schwere Arbeiten ausführen. Zudem zeichnen sie sich durch eine höhere Kontinuität und Ausführungsgenauigkeit aus. Durch eine Kombi-

nation der beiden Partner Mensch und Roboter können die jeweiligen Vorteile genutzt und Schwächen kompensiert werden (Bauer et al. 2016).

Im Beitrag wird eine Planungssystematik zur virtuellen Untersuchung und Gestaltung wirtschaftlicher, ergonomischer und sicherer MRK-Arbeitsprozesse mittels ema Work Designer (ema WD) vorgestellt. Dabei werden die einzelnen Schritte zur Realisierung am Beispiel einer Getriebemontage illustriert.

2. Virtuelle Planung von Mensch-Roboter-Interaktionen

2.1 Planungssystematik zur virtuellen Planung von Mensch-Roboter-Interaktionen

Bei der Planung von MRK-Arbeitsplätzen sind wirtschaftliche, technische, ergonomische sowie sicherheitsrelevante Fragestellungen einzubeziehen (Müller et al. 2019). Ebenso ist auf eine frühzeitige Beteiligung der späteren Anwender zu achten, um eine hohe Akzeptanz und damit verbundene Nutzung zu gewährleisten (Bauer et al. 2016). Hierzu kann der Einsatz von ema als Planungswerkzeug und Diskussionsgrundlage in Form der integrierten Auswertungen (EAWS, MRK-Bericht etc.) und deren 3D-Visualisierung einen wesentlichen Mehrwert bieten (Ullmann et al. 2019). Zur Planung von MRK-Arbeitsplätzen im ema wurden die Ausarbeitung von Glogowski et al. (2017) und Müller et al. (2019) angepasst und weiterentwickelt.

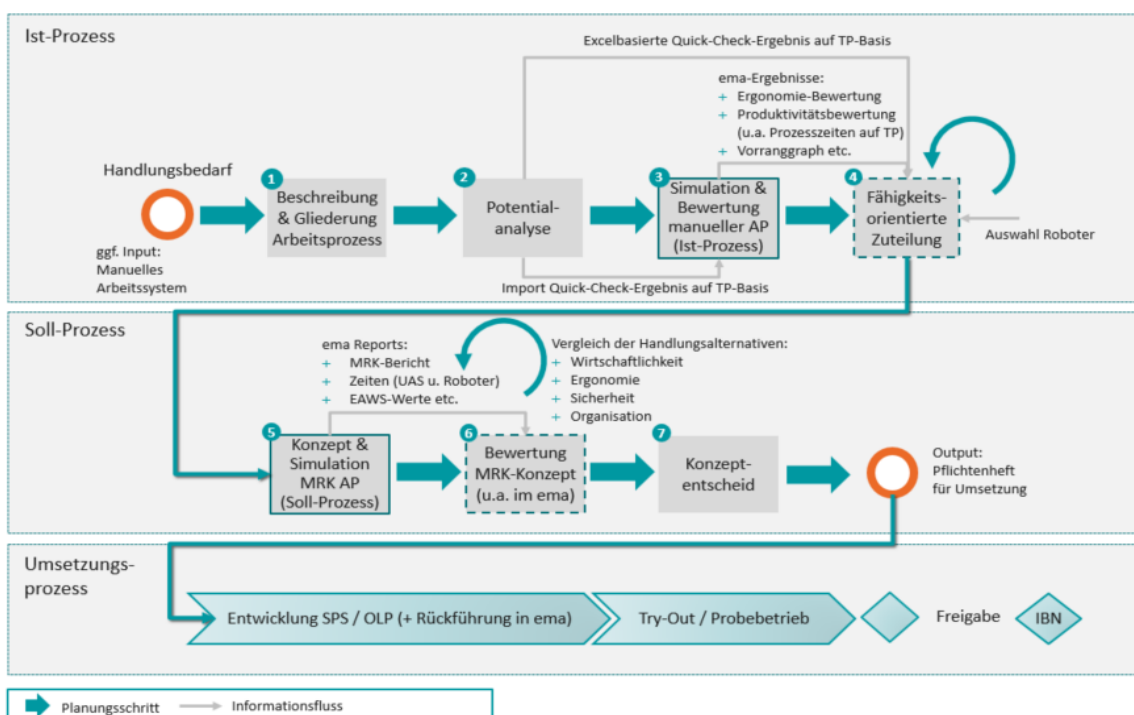


Abbildung 1: MRK-Planungsprozess in Anlehnung an Glogowski et al. (2017) & Müller et al. (2019)

2.2 Ziel und Arbeitssystembeschreibung Getriebemontage

Anhand der Montage eines Sternradgetriebes wird die Vorgehensweise zur Untersuchung von MRK-Arbeitsprozessen illustriert. Dabei wird eine Abstraktion des Prozesses vorgenommen. Das Getriebe besteht vereinfacht aus 10 einzelnen Komponenten (Unterteil, Oberteil, Antriebs-/Abtriebswelle, 4 Lagerdeckel und 2 Ringschrauben). Die Montage erfolgt in 7 Teiltätigkeiten.

Die Analyse des Ist-Arbeitsprozesses zeigt, dass ein hoher Handlungsbedarf hinsichtlich der zeitlichen (Montagezeit= 73 s) und ergonomischen Gestaltung (roter Arbeitsplatz nach EAWS mit 59,5 Pkt.) besteht. Durch die angestrebte alternsgerechte Gestaltung des Arbeitsprozesses sollen die muskuloskelettalen Risiken (Bandscheibenvorfälle etc.) reduziert (max. gelber, bevorzugt grüner Arbeitsplatz nach EAWS) und damit auch eine höhere Einsatzflexibilität erreicht werden (Fritzsche et al. 2019; Bauer et al. 2016). MRK-Systeme weisen insb. bei mittleren Stückzahlen, mäßiger Variantenvielfalt und gelegentlicher Umstellung in der Produktionslinie Vorteile gegenüber reinen manuellen Arbeitsprozessen oder Vollautomatisierung auf (ifaa 2017).

2.3 Erstellung und Bewertung des Ist-Prozesses sowie fähigkeitsorientierte Zuteilung

Zur Überprüfung der Automatisierbarkeit (MRK-Potential) der aktuell manuell ausgeführten Tätigkeiten im Arbeitsprozess können Instrumente wie der Quick Check (Emer et al. 2019) eingesetzt werden. Zur Bewertung des MRK-Potentials werden u.a. die Eigenschaften der Bauteile (Gewicht, Empfindlichkeit und Handhabbarkeit etc.), deren Zu- und Abführung (Aktionsradius, Ordnungszustand etc.) und das Verbesserungspotential (Ergonomie, Zeitbedarf) genutzt. Anhand des Ergebnisses kann eine erste Auswahl präferierter Stationen bzw. Takte in einer Fertigungslinie oder möglicher automatisierbarer Tätigkeiten bei einer Station durchgeführt werden.

Im nächsten Schritt ist der manuelle Prozess im ema WD abzubilden. Hierzu kann eine umfangreiche CAD-Bibliothek mit einer herstellerübergreifenden Auswahl an Robotern (KUKA, Universal Robots, Yaskawa etc.) und anderen prozessrelevanten Objekten wie Tische, Regale etc. genutzt werden. Auf Basis eines anthropometrischen Menschmodells können verschiedene Leistungsvoraussetzungen der Arbeitskraft wie z. B. geschlechtsspezifische perzentilierte Körpermaße (P05, P50, P95) sowie weitere Leistungsmerkmale angepasst sowie individuelle Mitarbeiterprofile abgebildet werden. Mittels ema-Verrichtungsbibliothek (Abb. 2 Nr.1) lassen sich die Arbeitsprozesse (z. B. Aufnehmen und Platzieren des Getriebes) mit einer parametrisierten Tätigkeitsbeschreibung (Abb. 2 Nr.2) unter Angabe von Rahmenbedingungen (z. B. zu handhabende Objekte, Zielposition in Abb. 2 Nr.3) realitätsnah und zeitlich effizient simulieren.

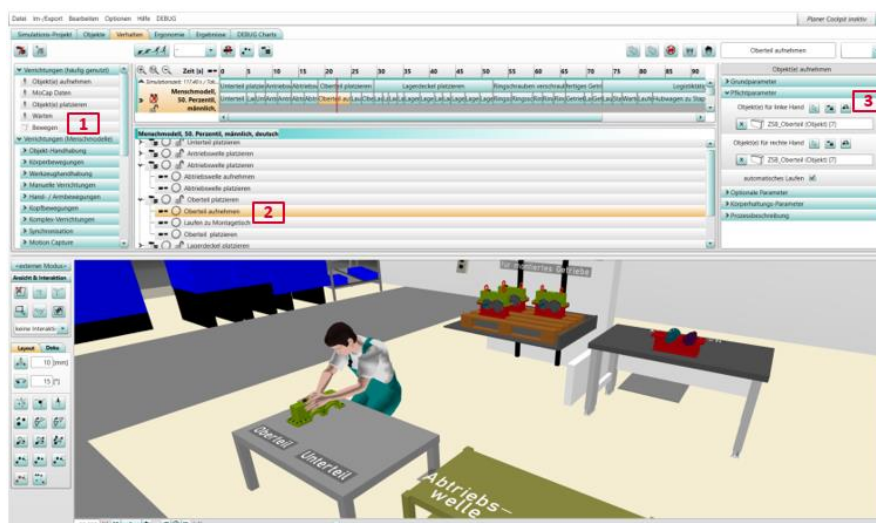


Abbildung 2: Simulierter Ist-Prozess einer Getriebemontage mittels ema-Verrichtungsbibliothek

ten Roboters wird im ema durch die Bereitstellung von Informationen zu den Robotern wie auch die Möglichkeit der Anzeige und Vergleich der Bewegungsbereiche unterstützt. Wie Abbildung 4 zeigt, ist aufgrund der Anforderungen der Arbeitsaufgabe der FANUC CR 35iA als LBR im Prozess einsetzbar, da dieser eine Traglast von 35 kg ermöglicht. Alternativ könnte auch ein Industrieroboter mit geeigneter Sicherheitstechnik ausgestattet und genutzt werden.

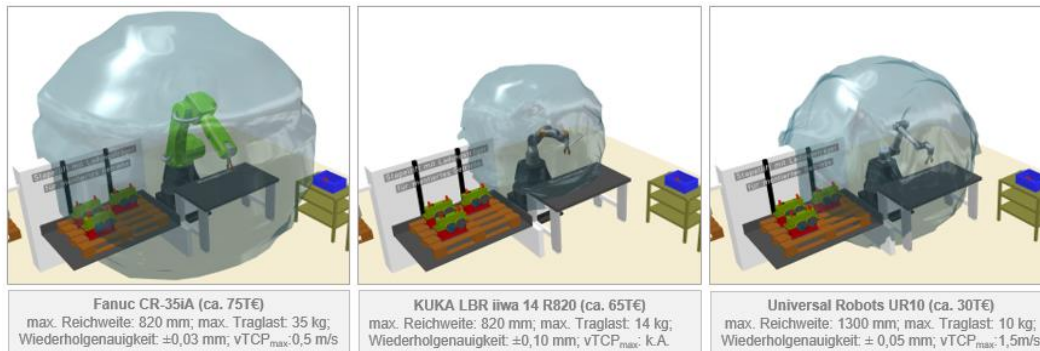


Abbildung 4: Vergleich der Bewegungsräume und Eigenschaften der Roboter Fanuc CR-35iA, Kuka LBR iiwa 14 R820 und Universal Robots UR10 im ema WD

Im weiteren Schritt ist der MRK-Prozess detailliert auszugestalten. Dazu gehört u.a. die Festlegung des MRK-Levels (Koexistenz bis Kollaboration) und des Betriebsmodus (Handführung, sicherheitsgerichteter Halt etc.) sowie notwendiger Sicherheitstechnik am Roboter und der Peripherie (Bauer et al. 2016; Müller et al., 2019). Durch die Integration von Sensoren im ema kann eine ereignisgesteuerte Simulationsanpassung wie das Verlangsamen oder Stoppen des Roboters beim Eintritt des Menschen in einen vorab definierten Sensorbereich bewirkt werden. Die Sensoreigenschaften können u. a. hinsichtlich Sensortyp (kreis- / geradlinig etc.), Reichweite, Öffnungswinkel und Latenzzeit spezifiziert werden. Der MRK-Betriebsmodus nimmt Einfluss auf die erlaubten Kollisionen. Zusätzlich sind die Kosten für die notwendige Greifertechnik (plus ggf. Greiferwechselsystem) sowie Änderungen im Prozess (Teilebereitstellung etc.) zu beachten. Auf Basis der Planung kann eine erste Abschätzung der zu erwartenden Anschaffungskosten erfolgen.

Im nächsten Schritt ist eine Bewertung des Nutzens im Verhältnis der Kosten für die Umgestaltung durchzuführen. Dabei können verschiedene Gestaltungsvarianten im ema simuliert und einander gegenübergestellt werden. Dazu sind die einzelnen Roboterverrichtungen zu simulieren. Bereits bestehende manuell simulierte Pick & Place Tätigkeit können per Drag & Drop vom Menschen auf den Roboter übertragen werden (siehe Abb. 2 Nr. 2). Weiterhin steht prototypisch eine ROS-Schnittstelle zur Verfügung, die eine genauere Roboterbahnplanung ermöglicht. Bei der Beurteilung des Sicherheitsrisikos kann der Planer Kollisionsinformationen (Kollisions- und Kontaktkräfte, involvierte Körperteile des Menschen etc.) erhalten. Zusätzlich können zur Gestaltung von MRK-Applikationen Informationen zur benötigten Zeit (Simulationszeit), der Auslastung und dem Platzbedarf sowie Robotergeschwindigkeit und Höhenangaben der einzelnen Gliederung des Roboters eingeholt werden. Ebenso können Spezifikationen hinsichtlich einer sicheren Robotergeschwindigkeit oder den Bewegungsräumen durchgeführt werden.

Im Anschluss kann eine Kosten-Nutzenbewertung verschiedener Planungsalternativen sowie des Soll-Ist-Vergleich durchgeführt werden. Anhand der Ergebnisse ist die bevorzugte Variante auszuwählen. Abschließend erfolgen eine Gefährdungsbeurteilung sowie die Integration der Lösung im Anwendungsfeld.

3. Diskussion

Die Planungsmethodik ermöglicht eine ergonomische, produktive und sichere Planung von MRK-Prozessen. Sie erspart jedoch keine sicherheitstechnische Abnahme im Feld, da die berechneten Kollisionskräfte unter Realbedingungen evaluiert werden müssen. Bei der Roboterbahnplanung werden die Grenzen der Roboterbewegung eingehalten. Eine Einbeziehung von Kollisionsobjekten oder dem realen Roboterverhalten (Abbrems- / Beschleunigungsverhalten) ist vom Benutzer in Form von Zwischenpositionen und geeigneter Parameterwahl umzusetzen, was entsprechende Expertise voraussetzt. Um eine realistischere und kollisionsfreie Simulation und Ansteuerung von Robotern, Sensoren und Umgebung zu ermöglichen wird aktuell an der Integration des Robot Operating System (ROS) gearbeitet.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Mit Hilfe der MRK-Planungssystematik kann eine effiziente und abgesicherte Planung von MRK-Prozessen bereits im Planungsprozess erfolgen. Dabei können anhand einer Arbeitsprozesssimulation unter Beachtung der Fähigkeiten des Roboters und des Menschen sowie den Anforderungen des Arbeitsprozesses ergonomische, produktive und sichere MRK-Prozesse geplant und gestaltet werden. Die integrierten Bewertungsmethoden (EAWS, UAS, MRK-Bericht etc.) sowie die 3D-Visualisierung des Prozesses unterstützt die Planung, Kommunikation und Akzeptanz der geplanten Maßnahmen. Damit kann die Anzahl notwendiger Iterationsschleifen wesentlich verringert werden. Dabei wird beständig an der Verbesserung der Planungsroutinen (u. a. durch die Integration des Robot Operating System (ROS)) sowie der nutzerorientierten Erweiterung der Planung von MRK-Arbeitsprozessen gearbeitet.

5. Literatur

- Bauer W, Bender M, Braun M, Rally P, Scholtz O (2016) Leichtbauroboter in der manuellen Montage – einfach einfach anfangen. – Erste Erfahrungen von Anwenderunternehmen. Fraunhofer IAQ.
- Ermer AK, Seckelmann T, Barthelmey A, Lemmerz K, Glogowski P, Kuhlenkötter B, Deuse J (2019) A Quick-Check to Evaluate Assembly Systems' HRI Potential. Tagungsband des 4. Kongresses Montage Handhabung Industrieroboter. Berlin: Springer Vieweg.
- Fritzsche, L., Hölzel, C. & Spitzhirn, M. (2019) Weiterentwicklung der Kosten-Nutzen-Bewertung für Ergonomiemaßnahmen anhand von Praxisbeispielen der Automobilindustrie. In Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg.). GfA in Dresden, pp. 1-6, Beitrag A.7.2. Dortmund: GfA-Press.
- Glogowski P, Lemmerz K, Schulte L, Barthelmey A, Hypki A, Kuhlenkötter B et al. (2017) Task-based Simulation Tool for Human-Robot Collaboration within Assembly Systems. In T. Schüppstuhl J, Franke K Tracht, Montage Handhabung Industrieroboter. Berlin, Heidelberg: Springer, 155-163.
- Ifaa (2017) Mensch-Roboter-Kollaboration. Zahlen, Daten, Fakten.
- Müller R, Franke J, Henrich D, Kuhlenkötter B, Raatz A, Verl A (2019) Handbuch Mensch-Roboter-Kollaboration. München: Carls Hanser Verlag.
- Schlick C, Bruder R, Luczak H (2018) Arbeitswissenschaft. Heidelberg: Springer-Verlag.
- Ullmann S, Spitzhirn M, Fritzsche L (2019) Virtuelle Arbeitsgestaltung – Vorstellung des ema Work Designer, ASU Arbeitsmed Sozialmed Umweltmed 54, 10.

Danksagung: Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt wurde durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Programm „Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen“ gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut.



Gesellschaft für
Arbeitswissenschaft e.V.

Digitale Arbeit, digitaler Wandel, digitaler Mensch?

66. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

TU Berlin
Fachgebiet Mensch-Maschine-Systeme

HU Berlin
Professur Ingenieurpsychologie

16. – 18. März 2020, Berlin

GfA-Press

Bericht zum 66. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 16. – 18. März 2020

**TU Berlin, Fachgebiet Mensch-Maschine-Systeme
HU Berlin, Professur Ingenieurpsychologie**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.
Dortmund: GfA-Press, 2020
ISBN 978-3-936804-27-0

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,
- 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.

Screen design und Umsetzung

© 2020 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de