

Modellierung interaktiver Prozessfolgen im Kontext der Mensch-Roboter-Interaktion

André HENGSTEBECK¹, Jochen DEUSE^{1,2}

¹ *Institut für Produktionssysteme, Technische Universität Dortmund
Leonhard-Euler-Straße 5, D-44227 Dortmund*

² *Advanced Manufacturing/Industry 4.0,
School of Mechanical and Mechatronic Engineering
University of Technology Sydney, Australia*

Kurzfassung: Fokus der Publikation ist die Entwicklung einer Methodik zur Ableitung interaktiver Mensch-Roboter-Prozesse. Hierfür wird ein auf MTM-UAS basierender Ansatz vorgestellt, mit dem die zu untersuchenden Arbeitsprozesse sowie die zu erzeugenden Mensch-Roboter-Prozesse abgebildet werden können. Weiterhin werden die Eigenschaften verschiedener Formen der Mensch-Roboter-Interaktion aufgezeigt. Durch die Ableitung von Zuordnungsregeln wird die Prozesssprache mit den Interaktionsformen verknüpft. Hiermit wird ein Fundament zur Generierung interaktiver Prozessfolgen geschaffen. Abschließend erfolgt die Anwendung und Bewertung der Methodik anhand eines Fallbeispiels aus dem Bereich der manuellen Maschinenbestückung, wodurch der forschungs- und anwendungsseitige Mehrwert unterstrichen wird.

Schlüsselwörter: Mensch-Roboter-Interaktion, Prozessmodellierung, hybride Arbeitssysteme

1. Einleitung

Auf dem Gebiet der Mensch-Technik-Interaktion gingen innerhalb der vergangenen Jahre weitreichende Forschungsergebnisse hervor. Besonders prägnant ist dies im Bereich der Robotik zu erkennen. Neue Leichtbauroboter, die sich für einen Einsatz im unmittelbaren Umfeld des Menschen eignen, wurden entwickelt, was den Weg für intensivere Untersuchungen der Mensch-Roboter-Interaktion (MRI) eröffnete (Goodrich & Schultz 2007). Trotz der umfassenden Potentiale der verschiedenen Interaktionsformen (z. B. Kollaboration) haben diese den Weg in die industrielle Praxis weitgehend noch nicht gefunden. Eine Ursache hierfür ist darin begründet, dass die Planung entsprechender Lösungen anwenderseitig bis dato umfangreiche Vorkenntnisse erforderte und mit einem hohen personellen und zeitlichen Aufwand verbunden war (Hirsch-Kreinsen 2014). Zur Erreichung einer anwendergerechten und transparenten Entscheidungsfindung sind die Modellierung der interaktiven Mensch-Roboter-Prozesse und die Identifikation der Auswirkungen auf die verschiedenen Interaktionsformen unabdingbar.

2. Stand der Forschung zur Beschreibung manueller Arbeitsvorgänge

Durch Verfahren zur Modellierung von manuellen Arbeitsvorgängen können reale sowie theoretisch geplante Arbeitsabläufe transparent dargestellt werden. Ein Großteil

dieser Methoden ist den Systemen vorbestimmter Zeiten zuzuordnen. Wichtige Ansätze aus diesem Bereich sind Methods Time Measurement (MTM), Work-Factor (WF) sowie die Maynard Operation Sequence Technique (MOST) (Deuse & Busch 2012; Kuhlang et al. 2014; Quick et al. 1962; Zandin 2003).

Weiterführende Arbeiten fokussieren die Verknüpfung dieser Verfahren mit automatisierungsbezogenen Fragestellungen. Zwei etablierte Ansätze orientieren sich an MTM bzw. MOST, indem die jeweiligen Elementarbewegungen hinsichtlich roboterseitig ähnlicher Bewegungen analysiert wurden. Die entwickelten Methoden wurden unter den Bezeichnungen Robot Time and Motion (RTM) (Paul & Nof 1979) bzw. Robot-MOST (Genaidy et al. 1990) international bekannt.

Hinsichtlich bestehender Modellierungsansätze ist festzuhalten, dass diese sich nur in unzureichendem Maße für die Abbildung automatisierter und interaktiver Arbeitsvorgänge eignen, was jedoch eine zentrale Prämisse der Forschungsidee darstellt. Einige weiterführende Verfahren (Genaidy et al. 1990; Paul & Nof 1979) umfassen zwar äquivalente Roboterbewegungen, aber auch hier bleiben kollaborative Bewegungsfolgen und automatisierungsrelevante Eigenschaften unberücksichtigt. Für eine ganzheitliche Planung interaktiver Mensch-Roboter-Systeme ist das Schließen dieser Forschungslücke unabdingbar.

3. Modellierung interaktiver Arbeitsvorgänge

Zur Modellierung interaktiver Mensch-Roboter-Bewegungsfolgen erfolgte die Entwicklung der einzelnen Bewegungselemente sowie der jeweiligen Handhabungsobjekte. Durch den Modellierungsansatz wird eine Beschreibung der zu untersuchenden Ist-Prozesse sowie der resultierenden, interaktiven Mensch-Roboter-Prozesse ermöglicht (Hengstebeck 2020).

3.1 Definition von Bewegungselementen

In Bezug auf die Bausteinbildung wurde MTM-UAS als Entwicklungsgrundlage ausgewählt. Ein Hauptgrund hierfür ist, dass dieses Prozessbausteinsystem auf Anwendungsfälle der Serienfertigung ausgerichtet ist, die sich durch ein definiertes Produktspektrum mit einer begrenzten Anzahl an Varianten sowie längerzyklische Wiederholungen der Arbeitsabläufe auszeichnen (Bokranz & Landau 2012). Derartige Szenarien sind häufig in der industriellen Montage zu finden, die großes Potential zur Umsetzung von Mensch-Roboter-Arbeitssystemen bietet.

Zunächst wurden zwölf nicht-interaktive Handlungsbausteine erarbeitet. Neben der Bezeichnung und einer eindeutigen Kodierung wurden für jeden Baustein der Ablauf (Beginn, Inhalt und Abschluss der Bewegung) sowie die charakteristischen Unterscheidungsmerkmale erläutert. Einige Bausteine lassen sich in verschiedene Varianten aufteilen (z. B. einfaches, genaues und hochgenaues Aufnehmen), um die aus dem Grundvorgang hervorgehenden, automatisierungsrelevanten Eigenschaften zu berücksichtigen.

Durch das Zusammenwirken von Mensch und Roboter (Bauer et al. 2016; Beer et al. 2014; Onnasch et al. 2016; Thiemermann 2005) ergeben sich neue, interaktive Bewegungen, sodass weiterhin sieben Interaktionsbausteine entwickelt wurden (s. Tabelle 1). Diese sind von elementarer Bedeutung, da eine vollständige Beschreibbarkeit interaktiver Prozesse erst hiermit erreicht werden kann. In Summe bilden die erarbeiteten Bausteine den ersten Teil der Prozessmodellierungssprache.

Tabelle 1: Beispielhafte Darstellung interaktiver Handlungsbausteine

	Kode	Beginn	Inhalt	Ende	Aktiver Funktionsträger		Merkmale
					Mensch	Roboter	
Einfache Führung	KFE	Mit der Bewegung der Hand zum Endeffektor.	Alle erforderlichen Bewegungen, um mit der Hand die Kontrolle über den Endeffektor zu erlangen und mit diesem das gegriffene Objekt in einer Entfernung von bis zu 50 cm zu platzieren.	Nach dem Loslassen des Endeffektors.	X		Anfügen oder Einfügen mit Spiel > +/- 0,3mm, vorhersagbarer Position, ohne Kraftaufwand
Genauere Führung	KFG				X		Anfügen oder Einfügen mit Spiel ≤ +/- 0,3mm, nicht vorhersagbarer Position oder

3.2 Definition von Handhabungsobjekten

Zur Bewertung der Ausführungseignung reicht die Untersuchung der Aktionen nicht aus. Vielmehr sind auch die Eigenschaften der Handhabungsobjekte zu berücksichtigen (z. B. Gewicht, Formstabilität). In der Fachliteratur wurden viele dieser Kriterien bereits untersucht (Beumelburg 2005; Ross 2002). Für den Anwendungskontext (frühe Phasen der Arbeitssystemplanung) ist die Berücksichtigung aller Kriterien allerdings nicht zielführend, sodass eine Auswahl getroffen wurde.

In Summe bilden die nicht-interaktiven und interaktiven Bewegungselemente sowie die Handhabungsobjekte einen vollständigen Wortschatz, mit dem Mensch-Roboter-Prozesse beschrieben werden können. Wie in Abbildung 1 dargestellt, kann hierfür eine Vorranggraphbasierte Beschreibung verwendet werden. Im Vergleich zu konventionellen Ansätzen (Müller 2002) werden zur Beschreibung der hybriden Prozessfolgen insbesondere auch die Interaktionsbausteine eingesetzt.

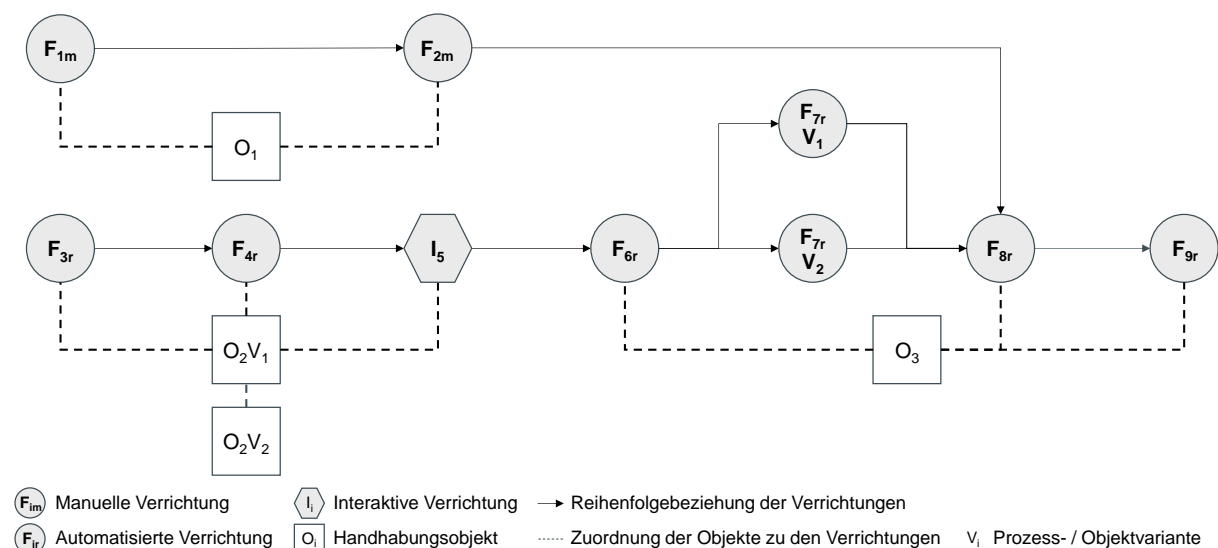


Abbildung 1: Vorranggraph zur Darstellung interaktiver Mensch-Roboter-Prozesse

4. Ableitung von Anforderungen an die Stufen der MRI

In Bezug auf die Untersuchung der Interaktionseignung konkreter Prozessfolgen bietet die pauschale Bewertung eines Handlungsbausteins als „automatisierbar“ bzw. „nicht automatisierbar“ keinen hinreichenden Mehrwert, da diese Bewertung sich von Robotersystem zu Robotersystem sehr stark unterscheiden kann. Zur Auflösung dieser Problematik wurde eine Morphologie entwickelt, die relevante Eigenschaften industrieller Robotersysteme zusammenführt und diese den fünf Stufen der MRI (Onnasch et al. 2016) zuordnet (s. Abbildung 2).

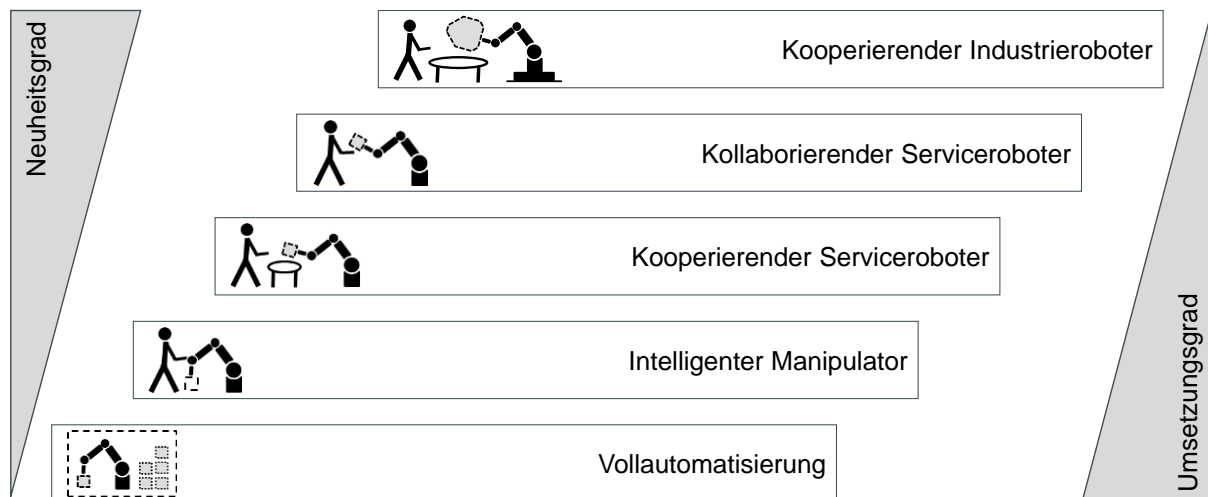


Abbildung 2: Stufenkonzept der MRI

Für die Verknüpfung der Prozesssprache mit den Eigenschaften der verschiedenen MRI-Stufen wurde ein Regelwerk definiert. Dies betrifft zunächst die Zuordnung zwischen den Handlungsbausteinen und den Anforderungen an die jeweiligen Stufen (z. B. erfordert der Baustein „Einfaches Aufnehmen“ keinen Einsatz von Sensorik). Weiterhin wurden Zuordnungsregeln zwischen den Eigenschaften der Handhabungsobjekte und den Stufen der MRI erarbeitet (z.B. gilt zur Automatisierung Objektgewicht < Traglast).

Auf Basis der Prozesssprache und der Zuordnungsregeln können Arbeitsprozesse hinsichtlich der Eignung der einzelnen MRI-Lösungen untersucht werden. Betriebliche Endanwender sind somit imstande, auf Basis einer formellen Beschreibung der Arbeitsprozesse sowie der entsprechenden Handhabungsobjekte individuelle Anwendungsszenarien einheitlich zu erfassen und die Eignung der fünf Stufen der MRI zu bewerten, um somit eine geeignete Stufe auszuwählen und ein konkretes Umsetzungskonzept zu entwickeln.

5. Diskussion am Beispiel der industriellen Kleinteilemontage

Die Validierung der vorgestellten Methodik erfolgte bei einem mittelständischen Unternehmen aus den Bereichen der Elektroinstallationstechnik und Gebäudesystemtechnik. Eine Kernkompetenz des Unternehmens bildet die Fertigung unterschiedlicher Steckdosenvarianten. Hierfür wurde vor einigen Jahren eine vollautomatisierte Montageanlage entwickelt.

Entlang der Montageanlage befinden sich zwanzig Materialbunker, die über eine automatisierte Zuführung mit der Anlage verbunden sind. Diese sind zur Gewährleistung einer kontinuierlichen Versorgung regelmäßig mit Einzelteilen aufzufüllen. Das Material wird in Behältern gelagert, die in der Ausgangssituation vollständig manuell von Mitarbeitern zu den Bunkern geliefert, dort ausgeschüttet und wieder abtransportiert werden. Das Ziel bestand in der Untersuchung des Einsatzpotentials einer roboterbasierten Assistenz mittels des vorgestellten Ansatzes.

Tabelle 2: Untersuchungsergebnis für das Anwendungsszenario

	Voll-automatisierung	Intelligentes Werkzeug	Kooperierender Serviceroboter	Kollaborierender Serviceroboter	Kooperierender Industrieroboter
Roboterart	Industrieroboter	Industrieroboter	Leichtbauroboter	Leichtbauroboter	Industrieroboter
Traglast	> 15 kg	> 15 kg	≤ 15 kg	≤ 15 kg	> 15 kg
Reichweite	> 1500 mm	> 1500 mm	≤ 1500 mm	≤ 1500 mm	> 1500 mm
Bewegung	Aktiv	Passiv	Aktiv	Kollaborativ	Aktiv
Absicherung	Schutzzaun	Kein Schutzzaun	Kein Schutzzaun	Kein Schutzzaun	Kein Schutzzaun
Sensorik	Mehrere einfache	Mehrere einfache	Mehrere einfache	Mehrere einfache	Mehrere einfache
Endeffektoren	1	1	1	1	1
Greiferart	Zweibacken	Zweibacken	Zweibacken	Zweibacken	Zweibacken
Werkzeugart	Nicht vorhanden	Nicht vorhanden	Nicht vorhanden	Nicht vorhanden	Nicht vorhanden
Mobilität	Mobil	Mobil	Mobil	Mobil	Mobil
Automatisierung	92,9 %	86,2 %	46,0 %	48,8 %	90,9 %

Hiervon ausgehend erfolgten eine Prozessmodellierung sowie die Ermittlung der MRI-Anforderungsprofile (s. Tabelle 2). Neben den genannten Kriterien wurde auch der Automatisierungsgrad ermittelt (Anteil automatisierter Tätigkeiten am Gesamtprozess). Es ist zu erkennen, dass die servicerobotischen Lösungen vergleichsweise geringe Automatisierungsgrade aufweisen, da einige Handhabungsschritte aufgrund der limitierten Traglasten weiterhin manuell auszuführen sind. Die übrigen Stufen der MRI weisen Ergebnisse mit einer hohen Ähnlichkeit auf. Zur Umsetzung wurde ein „Kooperierender Industrieroboter“ (s. Abbildung 3) ausgewählt, da ein direktes Zusammenreffen mit dem Menschen nicht ausgeschlossen werden konnte und daher erhöhte Sicherheitsanforderungen zu gewährleisten sind.



Abbildung 3: Simulationsbasierte Darstellung des Arbeitsraums

Anhand der Validierung wurde die Funktionalität der Methodik vollumfänglich nachgewiesen. Sinnvolle Erweiterungen bestehen z.B. in der Integration in einen ganzheitlichen Planungsprozess oder der Überführung in ein Softwarewerkzeug. Eine weitere Möglichkeit besteht in der Verknüpfung von Lösungsvorschlägen mit industriell umgesetzten Best Practices.

6. Fazit

Ausgehend von der entwickelten Systematik und dem weiteren Forschungsbedarf kann der Transfer industrieller Serviceroboter in die Praxis maßgeblich unterstützt werden. Die Erschließung der technischen Potentiale der Mensch-Roboter-Interaktion trägt entscheidend dazu bei, direkten Mitarbeitern eine umfassende technische Assistenz für den langfristigen Erhalt der Leistungsfähigkeit zu bieten und gleichzeitig eine erhöhte Effizienz der Arbeitsprozesse zu erreichen. Auf diese Weise kann der Wandel der Automatisierung vom potentiellen Bedrohungsszenario, das sich im Rahmen der CIM-Bewegung in den Köpfen vieler Menschen festgesetzt hat, zum „Kollegen Roboter“ in Zukunft gelingen.

7. Literatur

- Bauer W, Bender M, Braun M, Rally P, Scholtz O (2016) Leichtbauroboter in der manuellen Montage - einfach einfach anfangen. IRB Mediendienstleistungen, Stuttgart.
- Beer JM, Fisk AD, Rogers WA (2014) Toward a Framework for Levels of Robot Autonomy in Human-Robot Interaction. *Journal of Human-Robot Interaction* 3:74–99.
- Beumelburg K (2005) Fähigkeitsorientierte Montageablaufplanung in der direkten Mensch-Roboter-Kooperation. Jost-Jetter, Heimsheim.
- Bokranz R, Landau K (2012) Handbuch Industrial Engineering: Band 1: Konzept. Schäffer-Poeschel, Stuttgart.
- Deuse J, Busch F (2012) Zeitwirtschaft in der Montage. In: Lotter B, Wiendahl H-P (eds) Montage in der industriellen Produktion: Ein Handbuch für die Praxis. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, pp 79–107.
- Genaidy AM, Duggal JS, Mital A (1990) A comparison of robot and human performances for simple assembly tasks. *International Journal of Industrial Ergonomics* 5:73–81.
- Goodrich MA, Schultz AC (2007) Human-Robot Interaction: A Survey. *Foundations and Trends in Human-Computer Interaction* 1:203–275.
- Hengstebeck A (2020) Modellierung interaktiver Mensch-Roboter-Prozesse zur Planung hybrider Arbeitssysteme. Shaker, Herzogenrath (in Veröffentlichung).
- Hirsch-Kreinsen H (2014) Wandel von Produktionsarbeit - "Industrie 4.0". *WSI Mitteilungen* 67:421–429.
- Kuhlang P, Finsterbusch T, Busenbach M, Britzke B, Mühlbradt T, Kille, Knut (2014) Die Arbeit (auch) vom Menschen her denken: Modellierung produktiver Arbeit - Eine Kernaufgabe bei Industrie 4.0. In: Kersten W, Koller H, Lödding H (eds) Industrie 4.0: Wie intelligente Vernetzung und kognitive Systeme unsere Arbeit verändern. Gito, Berlin, pp 13–36.
- Müller R (2002) Planung hybrider Montagesysteme auf Basis mehrschichtiger Vorranggraphen. Shaker, Aachen.
- Onnasch L, Maier X, Jürgensohn T (2016) Mensch-Roboter-Interaktion - Eine Taxonomie für alle Anwendungsfälle. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund.
- Paul RP, Nof SY (1979) Work methods measurement - a comparison between robot and human task performance. *International Journal of Production Research* 17:277–303.
- Quick JH, Duncan JH, Malcolm JA (1962) Work-factor time standards. McGraw-Hill, New York.
- Ross P (2002) Bestimmung des wirtschaftlichen Automatisierungsgrades von Montageprozessen in der frühen Phase der Montageplanung. Utz, München.
- Thiemermann S (2005) Direkte Mensch-Roboter-Kooperation in der Kleinteilemontage mit einem SCARA-Roboter. Jost-Jetter, Heimsheim.
- Zandin KB (2003) MOST work measurement systems. Marcel Dekker, New York.



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