

Planungsunterstützung für den Einsatz von Mensch-Roboter-Kooperation in der Endmontage

Rainer MÜLLER, Ortwin MAILAHN

*ZeMA - Zentrum für Mechatronik und Automatisierungstechnik gGmbH
Eschbergerweg 46, D-66121 Saarbrücken*

Kurzfassung: Das Aufgabengebiet der Endmontage ist bis heute in vielen Unternehmen vorwiegend durch die Verrichtung manueller Tätigkeiten geprägt. Durch die zunehmend am Markt verfügbaren sensitiven Roboter, welche die Kriterien und Anforderungen für eine sichere Zusammenarbeit mit dem Menschen erfüllen, können in Zukunft Aufgaben an den Roboter übergeben werden, die bislang nicht automatisierbar waren. Die Planung und Evaluierung solcher Prozesse gestaltet sich in der Umsetzung oft schwierig. Im Rahmen dieses Beitrags wird eine neuartige Planungsmethode für den Einsatz von Mensch-Roboter-Kooperation vorgestellt. Diese basiert auf der Analyse von Produkt, Prozess und Betriebsmittel, um mit Hilfe bestehender Tool Chains, die in ein Planungstool eingebettet werden, Aufgabenzuweisungen sinnvoll vorzunehmen. Ziel ist es, den Planungsprozess für die Montageplanenden nachvollziehbar und einfach zu gestalten und den Menschen bei diesem Prozess bestmöglich zu unterstützen.

Schlüsselwörter: Mensch-Roboter-Kooperation, Aufgabenzuweisung, Aufgabenteilung, Montageplanung, Tool Chain, Planungsoptimierung

1. Einleitung

Der Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit produzierender Unternehmen an Hochlohnstandorten, ist vor dem Hintergrund globalisierter Märkte eine fortwährende Herausforderung. Höchste Qualitätsanforderungen, schnelle Reaktionsfähigkeit auf Marktveränderungen, Beherrschung von Variantenvielfalt sowie die Senkung der Herstellkosten stellen die wesentlichen Strategien dar, um am Markt bestehen zu können (Müller et al. 2013). Die Montage weist gegenüber anderen Bereichen der Produktion bis heute einen hohen Anteil manueller Tätigkeiten auf (Westkämper 2001). Insbesondere im Bereich der Großbauteilmontage bestehen große Rationalisierungspotenziale (Müller, Vette & Quinders 2012). Diese bestehen jedoch nicht darin, einen größtmöglichen Anteil der Prozesse zu automatisieren, wie das in den 90er Jahren der Fall war (Lay 2001). Gegenwärtige Montagekonzepte verfolgen das Ziel der „angepassten Automatisierung“ (Lotter 2002). Durch die zunehmend am Markt verfügbaren sensitiven Roboter, welche die Kriterien und Anforderungen für eine sichere Zusammenarbeit mit dem Menschen erfüllen, können in Zukunft zunehmend Aufgaben an den Roboter übergeben werden, die bislang nicht automatisierbar waren (VDMA 2016). Die Treiber können vielfältige Zielsetzungen haben, wie z.B. Ergonomie, Qualität, Mangel an Arbeitskräften, Rationalisierung. Die Entscheidung für oder wider einen automatisierten Prozess muss demnach nicht mehr Stationsweise erfolgen, sondern kann bis auf die Teillaufgaben

heruntergebrochen, entsprechend der spezifischen Fähigkeiten von Mensch bzw. Roboter, erfolgen (Beumelburg 2005). Auf diese Weise lassen sich Aufgaben, je nach Verfügbarkeit der Ressourcen, bedarfsgerecht zuordnen und das System kann flexibel auf Veränderungen der Produktionssituation reagieren (Thiemermann 2005). Um Planern, die im Rahmen von Neuplanungen oder durch veränderte Randbedingungen vor der Herausforderung eines möglichst effizienten Ressourceneinsatzes stehen, eine zuverlässige Orientierung zu geben, ist eine fähigkeitsorientierte Montageablaufplanung erforderlich (Beumelburg & Spingler 2002). Vor dem Hintergrund von Industrie 4.0 empfiehlt sich eine durchgängige Verwendung von Planungsdaten. In diesem Beitrag werden diese zum einen für die Modellierung und Simulation von Planungsalternativen genutzt und bilden zum anderen die Basis für Optimierungsrechnungen. Am Zentrum für Mechatronik und Automatisierungstechnik (ZeMA) in Saarbrücken wird die hier beschriebene Methode gegenwärtig am Beispiel von Montageprozessen aus der Luftfahrtindustrie erprobt.

2. Grundlagen und Stand der Technik

Dem Stand der Technik entspricht auch heute noch die überwiegend strikte Trennung der Arbeitsräume von Mensch und Roboter. Durch die Marktverfügbarkeit einer neuen Robotergeneration, die durch eine Reduzierung der kinetischen Energie, der zweikanaligen Überwachung der Steuerung sowie unterschiedlichen Sensor-konzepten zur Kollisionsvermeidung, für die direkte Zusammenarbeit mit dem Menschen geeignet sein sollen, hat das Konzept der Mensch-Roboter-Kooperation (MRK) an Dynamik gewonnen. Thiemermann beschrieb 2005 die in Abbildung 1 dargestellten Potenziale, die durch MRK gehoben werden können (Thiemermann 2005).

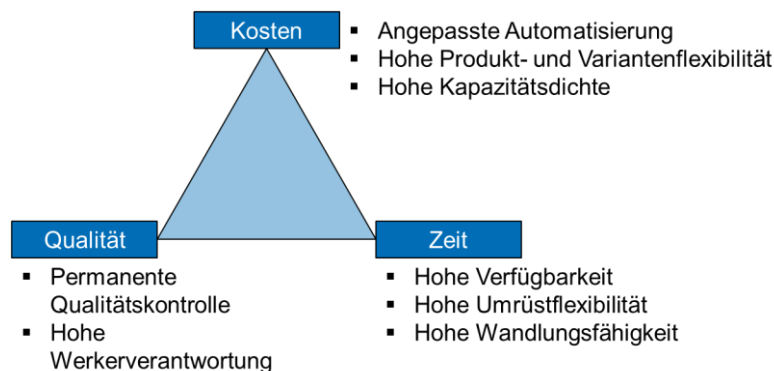


Abbildung 1: Potenziale der Mensch-Roboter-Kooperation (Thiemermann 2005)

Eine ganze Reihe von Herstellern ist inzwischen mit unterschiedlichsten Modellen am Markt vertreten. Einige der prominentesten Vertreter sind die preisgünstigen UR 3, UR5 bzw. UR10 der Firma Universal Robots oder Franka der Firma Franka Emika, der zweiarmige YuMi der Firma ABB, der mit einer kapazitiven Haut ausgestattete APAS der Firma Bosch sowie der CR-35iA von FANUC und der LBR iiwa von Kuka, die über hoch sensitive Kraft-Momenten-Sensoren in der Basis bzw. in den Achsen verfügen. Da Industrieroboter nach DIN EN ISO 10218 jedoch immer eine unvollständige Maschine darstellen und erst in Kombination mit Peripheriegeräten, wie Greifern, Werkzeugen, Sensoren etc. vor dem Hintergrund eines definierten

Anwendungsszenarios beurteilt werden können, hängt die Umsetzung von MRK ganz entscheidend davon ab, ob die notwendigen Sicherheitsbedingungen erfüllt werden können (DIN 10218 2011). Die erst kürzlich erschienene DIN EN ISO 15066 bietet gegenwärtig die Vorgabe für die Risikobeurteilung und liefert technische und biomechanische Grenzwerte sowie Vorgaben für die technische Dokumentation einer MRK. Hierbei werden die Besonderheiten von Robotern berücksichtigt, die speziell für die Zusammenarbeit mit dem Menschen entwickelt wurden (DIN 15066 2016).

Bezüglich der Art der Zusammenarbeit von Mensch und Roboter werden nach Thiernemann drei MRK-Betriebsformen unterschieden (Thiernemann 2005): Autark, synchronisiert, kooperierend. Eine Sonderform stellt die gleichzeitige Durchführung einer gemeinsamen Aufgabe, die Kollaboration dar. In der Literatur wird dieser Begriff häufig auch übergreifend für die MRK genutzt.

Die Entscheidung, wer welche Arbeitsanteile zu verrichten hat, wird in der Planung getroffen. Aktuelle Forschungsanstrengungen haben das Ziel die in der Montageplanung generierten Informationen durchgängig zu nutzen. Hierfür werden Beschreibungsmodelle entwickelt, die die virtuelle Planungswelt mit dem realen Montagesystem verknüpfen (Müller et al. 2015). In der Planung wird auf Grundlage dieses Beschreibungsmodells die Kompatibilität von Produkt und Betriebsmittel zur Durchführung der erforderlichen Montageprozesse sichergestellt, indem Produkthanforderungen und Fähigkeiten von Betriebsmitteln beschrieben werden und dadurch ein Abgleich möglich wird (Kluge 2011). Dieser Vergleich kann sinnvoll um die Fähigkeiten der Ressource Mensch erweitert werden. In Bezug auf den Menschen ist jedoch immer darauf zu achten, dass die Ressourcen im Rahmen der ergonomisch vertretbaren Grenzen genutzt werden.

Einen Planungsansatz, der bereits die Fähigkeiten von Mensch und Roboter berücksichtigt, wurde 2005 von Beumelburg veröffentlicht (Beumelburg 2005). Aus der heutigen Perspektive fehlt diesem Ansatz jedoch eine durchgängige Nutzung von einmal erhobenen Daten. Zudem müssen aufgabenspezifische Zeit- und Ergonomiewerte heute nicht mehr aus der Erfahrung mit bereits bestehenden Systemen abgeleitet werden, sondern können flexibel modelliert und simuliert werden. Somit können auch Wechselwirkungen zwischen Mensch und Roboter, z.B. die Ergonomie betreffend, berücksichtigt werden. Eine Bewertung und Optimierung von alternativen Montagevarianten muss daher nicht auf ordinaler Skalenebene erfolgen, sondern kann multidimensional kardinalskaliert erfolgen.

Der wichtigste Aspekt, den Planungsmethoden für MRK berücksichtigen müssen, ist jedoch die Absicherung der Zusammenarbeit von Mensch und Roboter. Da diese aufgabenspezifisch in die Bewertung einer MRK-Planung mit einbezogen werden muss, ist die Modellierung und Simulation solcher Prozesse erforderlich.

Im Folgenden wird eine Planungsmethode vorgestellt, die den genannten Herausforderungen Rechnung trägt.

3. Entwurf einer Methode für die MRK-Planung

In der industriellen Praxis kommen verschiedene Planungssystematiken, z.B. von Bullinger, Eversheim, Feldmann und Lotter, zum Einsatz (Bullinger 1986, Eversheim 1989, Feldmann et al. 2004, Lotter 2012). Lotter beschreibt elf Schritte, von der Anforderungsliste über die Produktanalyse und die Montageablaufanalyse bis zur Bewertung und Auswahl, um zu einer optimierten Gesamtlösung zu gelangen (Lotter 2012). Vereinfacht lässt sich die Montageplanung in drei Betrachtungsbereiche

gliedern (Produkt, Prozess und Betriebsmittel), deren Analyseergebnisse im Anschluss bewertet und ggf. angepasst werden müssen (Müller 2016). Für die MRK-Planung muss diese Systematik um Aspekte der manuellen Montage sowie der Interaktion zwischen Mensch und Roboter erweitert werden. Neben aktuellen Normen und Richtlinien umfasst dies die arbeitswissenschaftlichen Themenfelder Arbeitssicherheit, Ergonomie, Arbeitswirtschaft, Arbeitsorganisation und Arbeitsumgebung (Schlick, Bruder & Luczak 2010).

Die MRK-Planungsmethode umfasst sieben Schritte:

- Produktanalyse
- Pre-Assessment
- Modellierung & Simulation
- Optimierung des Flexible Job Shop Scheduling Problem (FJSSP)
- Pareto-optimale Montagevorranggraphvarianten
- Sortieren der Lösungen nach Präferenzen
- Assessment durch den Planer

Die Planung beginnt mit der Analyse der Produktdaten, die von der Entwicklung bereitgestellt werden. Die kleinste Betrachtungseinheit ist das Bauteil. Mehrere Bauteile bilden eine Baugruppe, in denen der Orientierungszustand der Bauteile und das Füge- / Bearbeitungsverfahren festgelegt sind. Mehrere Baugruppen bzw. Bauteile ergeben ein Produkt. Auch hier müssen Orientierungszustand der Baugruppen / Bauteile und Füge- / Bearbeitungsverfahren definiert sein. Aus diesen Informationen lässt sich eine Strukturstückliste erstellen, die um die notwendigen Fähigkeiten zur Montage des Produkts angereichert ist.

Im nächsten Schritt wird ein Pre-Assessment durchgeführt. Im Rahmen des Pre-Assessments werden die erforderlichen Fähigkeiten, die die Produktanalyse ergeben hat, den verfügbaren Fähigkeiten gegenübergestellt. Die erforderlichen Fähigkeiten ergeben sich aus den Fähigkeiten, die die Bauteile anfordern, ergänzt um Prozesswissen, welches u.a. Normen, Richtlinien und Grundsätze widerspiegelt. Die verfügbaren Fähigkeiten ergeben sich dabei jeweils aus den Fähigkeiten von Mensch oder Roboter, ergänzt um die Eigenschaften der Werkzeuge, die diese verwenden können. In diesem Schritt wird auch geprüft, ob die Fähigkeitspaare grundsätzlich den arbeitswissenschaftlichen Anforderungen an Arbeitssicherheit und Arbeitsumgebung genügen.

Der dritte Schritt umfasst die Modellierung der Fähigkeitspaare. Modelliert werden sinnvolle Aufgabenzuweisungen sowie sinnvolle Vorranggraphvarianten. Für neue Prozessteile wird, wenn es im Rahmen des Pre-Assessments als zulässig erachtet wurde, sowohl die Aufgabenausführung durch den Menschen, durch den Roboter, als auch in Kooperation modelliert. Sind Prozessteile bekannt und kommen häufiger vor, wird auf bestehende Modelle zurückgegriffen, um den Modellierungsaufwand zu senken. Durch die Simulation der Tätigkeiten werden die Prozesszeiten bestimmt. Arbeitet man bei der Robotersimulation mit virtuellen Steuerungen, so entsprechen die ermittelten Zeiten der Realität. Die Modellierung manueller Tätigkeiten basiert auf Verfahren vorbestimmter Zeiten. Diese können mit realen Leistungsparametern gewichtet werden. Aus einer solchen Simulation lässt sich zudem die ergonomische Belastungssituation des Menschen über den Tätigkeitszeitraum ermitteln.

Für die Optimierung des FJSSP müssen durch den Planenden Zielgrößen vorgegeben werden, die den Algorithmus entsprechend beeinflussen. Das Ergebnis sind pareto-optimale Montagevorranggraphvarianten, die in einem Toleranzbereich die Zielkriterien des Planenden erfüllen.

Diese Lösungen können nun nach den Präferenzen des Planenden sortiert werden. Die beste Lösung wird dann im siebten Schritt in einem ausführlichen Assessment vor dem Hintergrund der arbeitswissenschaftlichen Themenfelder geprüft.

4. Implementierung der Methode für die MRK-Planung

Die Implementierung der beschriebenen Methode erfolgt am ZeMA entlang der in Abbildung 2 dargestellten Tool Chain aus dem Hause Siemens. Die Produktdaten werden mit NX generiert und für die Produktanalyse an Teamcenter übergeben. In Teamcenter können die erforderlichen Fähigkeiten den verfügbaren Fähigkeiten gegenübergestellt werden. Zudem können dort auch die Fähigkeiten von Sicherheitssystemen sowie weiterer Einrichtungen inkl. ihrer Kosten hinterlegt werden. Der Planende bekommt browserbasierte Planungsassistenz, um auf Basis der verfügbaren Daten ein Pre- Assessment durchzuführen.



Abbildung 2: Tool Chain auf Basis von Siemens Tecnomatix

Für die Modellierung und Simulation bieten sich mehrere Toolkombinationen an. Die in Abbildung 2 dargestellten Alternativen unterscheiden sich vor allem in Bezug auf dem Modellierungsaufwand und die Durchgängigkeit der Datennutzung. Die Optimierung des FJSSP erfolgt in Plant Simulation. Hier kann bereits auf einen integrierten genetischen Algorithmus zurückgegriffen werden. Dieser wird um weitere Algorithmen ergänzt, um der Herausforderung der multidimensionalen Optimierung Rechnung zu tragen. Im Ergebnis erhält der Planende nach der Optimierung pareto-optimale Montagevorranggraphvarianten, die den zuvor gewählten Zielkriterien entsprechen. Abschließend wird der Planende bei der finalen Bewertung der Planungsalternativen unterstützt. Hier entscheidet sich dann, welche Variante als Planungsergebnis in die Umsetzung geht.

5. Erste Ergebnisse

Auf Basis des beschriebenen Konzepts wurde eine Oberfläche entwickelt, die Planende bei der Akkumulation der Planungsdaten für den Fähigkeitsvergleich unterstützt und beim Pre-Assessment eine Anleitung gibt. Des Weiteren werden über diese Oberfläche Daten bzgl. getroffener Entscheidungen wieder in die Tool Chain eingepflegt. Ergänzend wurde eine Schnittstelle geschrieben um Simulationsdaten von EasyRob nach IMK ema zu importieren, sodass dort eine „integrierte Simulation“ von Mensch- und Robotertätigkeiten dargestellt werden kann. Bzgl. der

Optimierungsrechnung wurden neben genetischen Algorithmen weitere Algorithmen geprüft, sodass aktuell weitere Berechnungsverfahren implementiert werden.

6. Zusammenfassung und Diskussion

Es lässt sich resümieren, dass die Planung von MRK-Prozessen bislang noch nicht ausreichend unterstützt wird. Eine durchgängige Tool Chain für die Planung und Bewertung ist gegenwärtig nicht verfügbar. In diesem Beitrag wurde ein Ansatz beschrieben, wobei die hierfür getroffenen Annahmen bzgl. der Randbedingungen nicht die vollständige Komplexität der Wirklichkeit abbilden. Die sinnvolle Reduktion der Komplexität und die Auswahl vor allem synchronisierter MRK-Aufgaben als Validierungsszenario könnten Diskussionsaspekte darstellen. Einen weiteren Aspekt bietet die Diskussion bzgl. der Umsetzung der Optimierungsrechnung an. Hier ist aktuell noch einiges an Implementierungsaufwand zu leisten.

7. Literatur

- Beumelburg K (2005) Fähigkeitsorientierte Montageablaufplanung in der direkten Mensch-Roboter-Kooperation. No. 413. Heimsheim: Jost-Jetter Verlag.
- Beumelburg K, Spingler JC (2002) Automatisierungspotential-Analyse: Eine Methode zur technischen und wirtschaftlichen Klassifizierung von Automatisierungspotentialen. In: Wt Werkstattstechnik online, Volume 92, No. 3. Düsseldorf: Springer Verlag.
- Bullinger HJ (1986) Systematische Montageplanung – Handbuch für die Praxis. München: Carl Hanser Verlag.
- Eversheim W (1989) Organisation in der Produktionstechnik. Band 4. Düsseldorf: VDI Verlag.
- Feldmann K, et al. (2004) Montage strategisch ausrichten – Praxisbeispiele marktorientierter Prozesse und Strukturen. Berlin: Springer-Verlag.
- Kluge S (2011) Methodik zur fähigkeitsbasierten Planung von Montagesystemen. No. 510. Heimsheim: Jost-Jetter Verlag.
- Lay G, Schirrmeister E (2001) Sackgasse Hochautomatisierung? In: Mitteilungen aus der Produktionsinnovationserhebung, No. 22. Karlsruhe: Fraunhofer ISI.
- Lotter B, Hartel M (2012) Planung und Bewertung von Montagesystemen. In: Lotter B, Wiendahl HP (Hrsg.) Montage in der industriellen Produktion – Ein Handbuch für die Praxis. Berlin: Springer Vieweg, 407-432.
- Lotter B (2002) Der Wirtschaftlichkeit angepasster Automatisierungsgrad. In: 17. Deutscher Montagekongress. München: iw. b.
- Müller R (2016) Lehrveranstaltung „Montagesystemtechnik“, VL 12 u. 13. Saarbrücken: ZeMA.
- Müller R, et al. (2015) Methodology for planning and operating cyber-physical systems. Wolverhampton: FAIM.
- Müller R, et al. (2013) Wandlungsfähiges Montagesystem für Großbauteile am Beispiel der Flugzeugstrukturmontage. In: Müller R, Reinhart G, Spath D (Hrsg.) Zukunftsfähige Montagesysteme. Wirtschaftlich, wandlungsfähig und rekonfigurierbar. Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 251-259.
- Müller R, Vette M, Quinders S (2012) Handhabung großer Bauteile zur Flugzeugmontage mittels eines Verbunds kinematischer Einheiten unterschiedlicher Struktur. In: VDI-Bewegungstechnik, No. 2175. Aachen: VDI Verlag.
- Norm DIN EN ISO 10218 Teil 1 (2011) Industrieroboter – Sicherheitsanforderungen – Teil 1: Roboter.
- Norm DIN EN ISO 10566 (2016) Robots and robotic devices – Collaborative robots.
- Schlick C, Bruder R, Luczak H (2010) Arbeitswissenschaft. 3. Auflage. Heidelberg: Springer Verlag.
- Thiemermann S (2005) Direkte Mensch-Roboter-Kooperation in der Kleinteilemontage mit einem SCARA-Roboter. No. 411. Heimsheim: Jost-Jetter Verlag.
- VDMA (2016) Sicherheit bei der Mensch-Roboter-Kollaboration. VDMA Positionspapier. Frankfurt am Main: VDMA Robotik + Automation.
- Westkämper E (2001) Modulare Produkte – Modulare Montage. In: Wt Werkstattstechnik online, Volume 91, No. 8. Düsseldorf: Springer Verlag.



Gesellschaft für
Arbeitswissenschaft e.V.

Soziotechnische Gestaltung des digitalen Wandels – kreativ, innovativ, sinnhaft

63. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

FHNW Brugg-Windisch, Schweiz

15. – 17. Februar 2017

GfA Press

Bericht zum 63. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 15. – 17. Februar 2017

FHNW Brugg-Windisch, Schweiz

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Dortmund: GfA-Press, 2017

ISBN 978-3-936804-22-5

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.

USB-Print: Dr. Philipp Baumann, Olten

Screen design und Umsetzung

© 2017 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de