

Ein Modell der Aufgabenallokation in der Mensch-Roboter-Interaktion

Alina TAUSCH

*Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin,
Fachbereich 2 – Produkte und Arbeitssysteme
Friedrich-Henkel-Weg 1-25, D-44149 Dortmund*

Kurzfassung: „Die optimale Mensch-Maschine-Funktionsteilung“ ist nach Hacker und Sachse (2014, S. 74) „die allen übrigen Teilaufgaben vorgeordnete Aufgabe“ – und dennoch sind in der Mensch-Roboter-Interaktion ihr Prozess und ihre Auswirkungen auf den Menschen kaum untersucht. Gerade in der Zusammenarbeit von Mensch und Roboter jedoch, deren Stärken die flexible Verbindung menschlicher und robotischer Teiltätigkeiten, die Adaptierbarkeit der Aufgabenausführung und die Nähe zum Roboter sind, muss man sich fragen, wie der Prozess der Aufteilung von Aufgaben sinnvoll und menschengerecht gestaltet werden kann. Zu diesem Zweck wird in der Doktorarbeit ein Modell des Allokationsprozesses und der damit verbundenen psychischen Einflussfaktoren und Auswirkungen entwickelt, das in experimentellen Studien überprüft werden soll.

Schlüsselwörter: Mensch-Roboter-Interaktion (MRI), Aufgabenallokation, Funktionsteilung, Levels of Automation (LOAs), Modellbildung

1. Gestaltung der Aufgabenallokation in der Mensch-Roboter-Interaktion

In der Zusammenarbeit von Mensch und Roboter ist die Aufgabenallokation der entscheidende Prozessschritt, der nicht nur die Arbeitsaufgaben des Menschen festlegt, sondern auch Chancen für die Beteiligung des Menschen an Planungs- und Entscheidungsfunktionen bietet. Der Aufgabenzuteilungsprozess wird bisher üblicherweise im Vorfeld der Tätigkeitsausübung von Seiten der Produktionsplanung übernommen. Der Werker wird in diesen Prozess nicht eingebunden und führt die ihm zugeteilten Aufgaben aus. Über neue Möglichkeiten wie einfachere Steuerbarkeit kollaborativer Roboter oder algorithmische Entscheidungsunterstützung kann der Werker jedoch in den Allokationsprozess einbezogen werden. Er kann vom reinen Monteur zum Maschinenbediener werden und Verantwortung für einen vollständigen Arbeitsauftrag und dessen Ausführung mit einem oder mehreren Robotern übernehmen.

Um Allokationsprozesse so gestalten zu können, dass sie zu Akzeptanz und Zufriedenheit beim Menschen und damit letztlich auch zu guter Arbeitsleistung führen, ist Forschung notwendig, die vor allem die Auswirkungen verschiedener Konfigurationen von Allokationsprozessen auf menschliches Erleben und Verhalten betrachtet. Bis dato gibt es zum einen Forschung zur Interaktion von Mensch und Roboter, in der es beispielsweise um Themen wie die Gestaltung der Morphologie und ihre Auswirkungen auf Vertrauen geht. Auf der anderen Seite gibt es Forschung zu Aufgabenallokation, die sich vor allem mit der Entwicklung von Algorithmen für die „optimale“ Mensch-Maschine-Funktionsteilung befasst, dabei jedoch Aspekte wie Vertrauen

oder Auswirkungen auf Erleben und Verhalten der Betroffenen Großteils außer Acht lässt.

Dabei stellen zentrale Theorien der Arbeitswissenschaften wie die Handlungsregulationstheorie (siehe z. B. Hacker & Sachse 2014) heraus, dass jede psychische Erscheinung der Regulation von Tätigkeiten dient und damit bestimmt, wie wir uns verhalten (sollen). Bewegungen, Handlungen und Tätigkeiten werden durch eine Vielzahl motivationaler, volitiver, emotionaler, motorischer und kognitiver Vorgänge reguliert (Hacker & Sachse 2014). Das bedeutet, dass auch das Arbeitsverhalten des Menschen in der Zusammenarbeit mit einem Roboter ganz entscheidend davon geprägt wird, wie sich die Arbeit und ihre Bedingungen psychisch auf den Menschen auswirken.

Daher stellt die hier vorgestellte Doktorarbeit die Betrachtung psychischer Auswirkungen von Aufgabenallokation in der Mensch-Roboter-Interaktion in den Fokus. Auf Basis einer detaillierten Betrachtung des Allokationsprozesses und seiner Bestandteile sollen Auswirkungen auf Kognition, Emotion und Verhalten des Menschen untersucht werden, sodass letztlich Empfehlungen abgeleitet werden können, was für einen sinnvollen und menschengerechten Allokationsprozess von Bedeutung ist.

1.1 Mensch-Roboter-Interaktion

Die Veränderung von Anforderungen an die Produktion von Gütern lässt auch eine gänzlich neue Form der Arbeitsgestaltung entstehen: die der Mensch-Roboter-Interaktion. Wo früher Mensch und Roboter verschiedene Aufgaben an unterschiedlichen Orten in der Fabrik zu bewältigen hatten, getrennt von hohen Schutzzäunen und ohne Kontakt zueinander, wird heute in modularen, flexibleren Produktionsstrecken diese Trennung zunehmend aufgehoben (siehe z. B. Onnasch et al. 2016). Neue Schutzmechanismen erfordern keine räumliche Trennung mehr, einfachere Programmierbarkeit oder das Teachen durch Handführung ermöglichen Veränderbarkeit der ausgeführten Aufgaben und geringe Größe und Gewicht der Leichtbauroboter machen diese örtlich flexibel und modular einsetzbar. Das bedingt auch eine Veränderung des Automatisierungsbegriffs weg von starrer Ausführung vorprogrammierter Handlungen in Endlosschleifen ohne äußere Einwirkungen hin zu einer flexibleren Automatisierung mit einer gewissen Autonomie, aber auch einer stetigen Interaktion mit dem Menschen im Arbeitssystem – dem kollaborierenden Betrieb (siehe Technische Regel DIN ISO/TS 15066:2017-04). Ein wesentliches Merkmal der Mensch-Roboter-Kollaboration ist nach Onnasch et al. (2016) die fortlaufende und im Arbeitsprozess integrierte Zuteilung von Teilaufgaben auf Mensch und Roboter.

Goodrich und Schultz (2007) definieren den Bereich der Mensch-Roboter-Interaktion (MRI) in ihrem Literaturüberblick eingangs als Forschungsbereich, der sich dem Verständnis, der Gestaltung und der Evaluation von robotischen Systemen widmet, die durch den Menschen oder mit dem Menschen genutzt werden. Diese Interaktion erfordert Kommunikation zwischen Mensch und Roboter, die je nach Anwendungskontext sehr unterschiedlich sein kann (Goodrich & Schultz 2007).

Für das vorliegende Forschungsprojekt ist vor allem der Bereich der menschlichen Supervision unter räumlicher Nähe (Sheridan 2016) entscheidend, da diese in der Industrie Anwendung findet und noch nicht hinreichend analysiert ist. Roboter können hier eingesetzt werden, um den Menschen von bestimmten, häufig ergonomisch ungünstigen, Aufgaben zu befreien und sie effizienter durchzuführen (Sheridan, 2016) oder um mehr Präzision und Geschwindigkeit zu erreichen. Gerade unter Unsicherheitsbedingungen wie sich ständig wandelnden Produktionsvorgaben

und -prozessen mit unvorhergesehenen Problemen sind Mensch und Maschine als Team wesentlich stärker als alleine (Cummings 2014). Themen aus diesem Bereich, die neben Sicherheitsaspekten laut Sheridan (2016) vorrangig erforscht werden müssen, sind die Planung von Aufgaben, das Teachen, Anzeigefunktionen, Kontrolle und die Überwachung der Automatisierung durch einen Supervisor.

1.2 Aufgabenallokation in der MRI

Der Bereich der Aufgabenallokation tangiert die meisten dieser zu erforschenden Themen. Offen ist vor allem die Frage, wer für die Aufgabenplanung zuständig ist. Ist es der Mensch, der die Funktionszuteilung auf Basis seiner aktuellen psychischen und physischen Möglichkeiten und seiner Vorlieben übernimmt und sich somit seinen optimalen Arbeitsplatz schafft? Ist es der komplexe Algorithmus, der auf Basis zur Verfügung stehender Daten Empfehlungen ausspricht, wie Aufgaben belastungs-, aber auch leistungsoptimiert verteilt werden sollten? Die vielfältigen Möglichkeiten zum Einsatz von menschlicher Arbeit in Kombination mit Robotern und Assistenzsystemen machen Aufgabenallokation in der Mensch-Roboter-Interaktion zu einer echten Herausforderung. Wie Mary Cummings, Automatisierungs-Forscherin an der Duke University, in einem Artikel schreibt: „Last, role and function allocation is as much art as science“ (Cummings 2014, S. 8). Wie kann also ein solcher Allokationsprozess gestaltet werden und wer zeichnet verantwortlich für die Zuteilung von Arbeitsaufgaben auf Mensch, Roboter und gegebenenfalls weitere technische Systeme?

Alami et al. (2005) stellen ein Rahmenmodell für die Aufgabenallokation durch einen Roboter in einem Mensch-Roboter-Interaktions-Kontext auf: Der Steuerungskern des Roboters selektiert dabei Aufgaben, konkretisiert sie und gibt Anweisungen für die Ausführung einer Aufgabe an die ausführenden Teile des Roboters. Er bestimmt somit auch, wer im Team für die Ausführung zuständig ist. Lässt man den Roboter auf einem hohen Eigenständigkeitslevel Aufgaben planen, wird die Machbarkeit vor der eigentlichen Aufgabenbearbeitung festgestellt, der Arbeitsaufwand zwischen Mensch und Roboter aufgeteilt und eine mögliche Handlungsabfolge illustriert und somit erklärt. Die Aufgabenplanung des Roboters muss dabei nicht nur sicher und machbar sein, sondern auch sinnvoll, sozial akzeptiert und verständlich für den Menschen (Alami et al. 2005).

Denkbar ist auch eine Beteiligung des Menschen an der Allokation in unterschiedlichem Ausmaß oder die alleinige Entscheidung durch den Menschen. Eine Untersuchung bei Teilnehmern der DARPA-Challenge (ein Wettbewerb der Robotik-Community zur Entwicklung und Testung von Mensch-Maschine-Systemen) hat gezeigt, dass die dominante Strategie zur Umsetzung das „execution approval“ war, also die prozessbegleitende Überprüfung kleiner Aufgabensets durch den menschlichen Supervisor (Murphy 2015). Den Menschen aus dem Bereich der Entscheidungsfindung vollständig auszuschließen, bietet sich also in den meisten Fällen nicht an, zumal Haftungs- und Verantwortungsfragen noch nicht hinreichend geklärt sind. Seine Involvierung ist besonders dann wichtig, wenn der Mensch Wissen über Faktoren hat, die nicht explizit im System abgebildet sind und wenn Entscheidungen wichtige Konsequenzen haben (Gombolay et al. 2015). Gleichzeitig zeigen aber auch diverse Arbeitsgestaltungsmodelle wie das von Hackman & Oldham (1975) die Relevanz von Autonomie und Entscheidungsfreiheiten des Menschen für motivationale Bereiche sowie für Arbeitsverhalten auf. Entscheidungsspielraum, als Facette des Tätigkeitsspielraums, könnte also entscheidend sein für Bereiche wie Arbeitszufrie-

denheit und -leistung. Hinzu kommt, dass für die Zulassung kollaborativer Robotersysteme derzeit in der Regel deren völlige Autonomie ausgeschlossen wird und die Anbringung beispielsweise von Zustimmungsschaltern ein Teil der aktuell gültigen Technischen Regel ist (ISO / TS 15066).

2. Klassifikation der Voraussetzungen von Werkereinbindung in Allokationsentscheidungen

Für die Beantwortung der zentralen Frage, wie der Allokationsprozess menschengerecht unter Einbindung der Werker erfolgen kann, müssen zunächst Voraussetzungen für diese Einbindung identifiziert werden.

Zur ersten Annäherung an das Thema wurden teilstrukturierte Telefoninterviews mit acht MRI-ExpertInnen aus Praxis, Forschung und Interessenvertretung geführt. Die ExpertInnen wurden unter anderem zu ihrer Wahrnehmung der Zusammenarbeit von Mensch und Roboter und den Voraussetzungen für eine kollaborative Zusammenarbeit befragt.

Gefragt nach der Art der zukünftigen Zusammenarbeit von Mensch und Roboter sprechen drei Experten (W_2 , U, B_2^1) von einem aufgabenteiligen Szenario als wahrscheinlichste Variante. Für ein solches Szenario ist die Verteilung von Aufgaben unerlässlich. Drei der Experten (B_1 , B_2 , K) nennen explizit eine Einbindung der Werker in die Verteilung von Aufgaben als möglich und beschreiben verschiedene Formen der Ausgestaltungen: das Heranziehen des Roboters durch den Werker nur bei konkretem Unterstützungsbedarf (B_1), die Vorgabe von verschiedenen Möglichkeiten der Aufgabenzuteilung durch die Produktionsplanung, aus denen der Werker wählen kann (B_2) und die Individualisierung der eigenen Arbeit nach einer gewissen Vorplanung (K). Die zentrale Frage, die bleibt, ist: „... wie viel Freiheit wollen wir den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern lassen am Arbeitsplatz zu gestalten, um daraus aber einen besseren Arbeitsplatz zu generieren, der am Ende produktiver ist als ein Taktzeit-optimal gestalteter Arbeitsplatz?“ (K).

Eine weitere sich daraus ergebende Frage ist, unter welchen Gegebenheiten diese Freiheitsgrade denkbar und möglich sind. Die Voraussetzungen, die die Experten nennen, wurden vorläufig klassifiziert in die Bereiche Sicherheit, Machbarkeit, Akzeptanz, Interaktionsqualität, Gestaltung der Einführung von MRI, Aufgabenbedingungen, unternehmerische Überlegungen, Produktionsalternativen und die Beantwortung ethischer Fragen. Im weiteren Forschungsverlauf soll ein Fokusgruppen-Interview mit Beschäftigten einer Produktionsstrecke mit geplantem Robotereinsatz geführt werden. Hier soll, nicht aus Experten-, sondern aus Anwendersicht, identifiziert werden, welche Voraussetzungen gegeben sein müssen, um den Mitarbeitern eine direkte Interaktion mit dem Roboter und eine (Mit-)Entscheidung über dessen Tätigkeiten zu ermöglichen. Eine Verbindung dieser praktischen Erkenntnisse mit denen der Experteninterviews und Literaturrecherche soll ein Klassifikationsschema der Anforderungen für Werkereinbindung in Allokationsentscheidungen in verschiedenen Bereichen ergeben.

3. Modellbildung

Neben den Voraussetzungen, die für eine kollaborative Zusammenarbeit von Mensch und Roboter gegeben sein müssen, ist auch die Gestaltung des Allokationsprozesses selbst entscheidend für eine funktionierende Mensch-Roboter-Interaktion.

Als Basis für die weitere Untersuchung der Aufgabenallokation und ihrer Auswirkungen wurde, abgeleitet aus Theorie und Forschungsergebnissen, ein Prozessmodell erstellt, dessen vereinfachte Darstellung sich in Abbildung 1 findet. In ihm wird die Aufgabenzuteilung in vier Prozessschritte geteilt: den Entscheidungsprozess, der in einem Aufteilungsergebnis resultiert, auf Basis dessen dann Mensch(en) und Roboter ihre jeweiligen Tätigkeiten, zusammen oder getrennt, ausführen können, um schließlich gemeinsam den Arbeitsauftrag zu absolvieren.

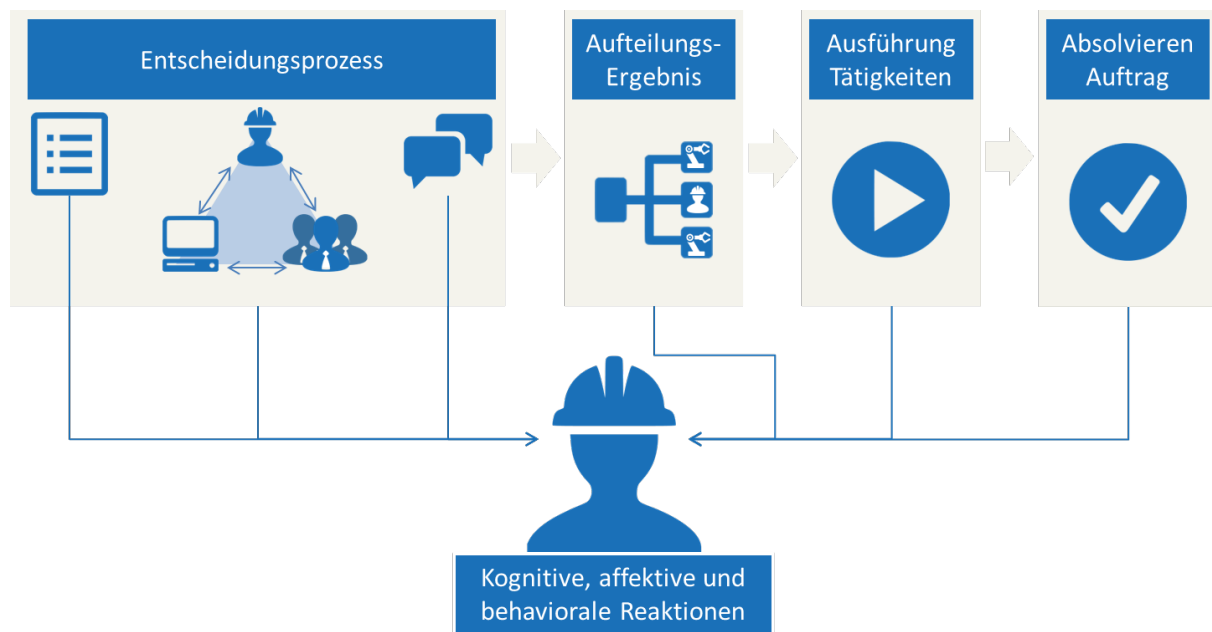


Abbildung 1: Modell der Aufgabenallokation in der Mensch-Roboter-Interaktion und ihrer Auswirkung auf den Menschen.

Im Entscheidungsprozess spielt der Entscheidungseinfluss verschiedener Akteure sowie deren Entscheidungskriterien und die Entscheidungskommunikation eine Rolle. All diese Aspekte der Allokation haben direkte oder indirekte Auswirkungen auf affektive, kognitive und behaviorale Reaktionen des Menschen, der von der Aufgabenaufteilung betroffen ist.

4. Untersuchung des Modells über Online- und Laborexperimente

Aufbauend auf diesem Modell wird ein Fragebogen entwickelt, der die psychischen Auswirkungen der verschiedenen Schritte des Allokationsprozesses erfasst. Dieser Fragebogen soll in einem Online-Experiment getestet und im Anschluss entsprechend der Ergebnisse optimiert werden. Nachfolgend sind Laborexperimente geplant, bei denen Probanden mit einem kollaborativen Roboter gemeinsam eine Produktionsaufgabe ausführen sollen. Vor Beginn der Aufgabe findet die Aufgabenallokation statt, die je nach Versuchsbedingung stärker oder weniger stark durch ein

technisches System unterstützt wird. Dabei wird sich am „Levels of Automation-Modell“ von Parasuraman et al. (2000) orientiert, das Automatisierung in zehn Stufen von völliger Maschinen-Autonomie bis zur solitär menschlichen Entscheidung beschreibt. Untersucht wird vor allem, ob der Grad des Einflusses durch den Probanden einen positiven Einfluss auf die Wahrnehmung des Allokationsprozesses und -ergebnisses hat.

5. Literatur

- ¹Interviewpartner: Dr. Mikko Börkircher (Metall NRW) (B₁); Prof. Dr. Hans Buxbaum (HS Niederrhein) (B₂); Prof. Dr. Bernd Kuhlenkötter (RUB) (K); Prof. Dr. Linda Onnasch (HU Berlin) (O); Daniela Tieves-Sander (IG Metall) (T); Dr. Matthias Umbreit (BG Holz Metall) (U); Dr. Eckhard Wellbrock (thyssenkrupp System Engineering) (W₁); Dr. Marc-André Weber (ifaa) (W₂)
- Alami R, Clodic A, Montreuil V, Sisbot EA, Chatila R (2005) Task planning for human-robot interaction. In Bailly G & Crowley JL (Hrsg) Proceedings of the 2005 joint conference on Smart objects and ambient intelligence innovative context-aware services usages and technologies. New York: ACM, 81.
- Cummings, M (2014) Man versus Machine or Man + Machine? IEEE Intelligent Systems, 29 (5):62-69.
- Deutsches Institut für Normung (2017) Roboter und Robotikgeräte - Kollaborierende Roboter. DIN ISO/TS 15066:2017-04.
- Gombolay MC, Gutierrez RA, Clarke SG, Sturla GF, Shah JA (2015) Decision-making authority, team efficiency and human worker satisfaction in mixed human-robot teams. Autonomous Robots 39 (3):293-312.
- Goodrich MA & Schultz AC (2007) Human-Robot Interaction: A Survey. Foundations and Trends in Human-Computer Interaction 1(3):203-275.
- Hacker W & Sachse P (2014) Allgemeine Arbeitspsychologie: Psychische Regulation von Tätigkeiten (3., vollständig überarb. Aufl.). Göttingen: Hogrefe.
- Hackman JR & Oldham GR (1975). Development of the Job Diagnostic Survey. Journal of Applied Psychology 60 (2):159-170.
- Murphy RR (2015) Meta-analysis of Autonomy at the DARPA Robotics Challenge Trials. Journal of Field Robotics 32 (2):189-191.
- Onnasch L, Maier X, Jürgensohn T (2016) Mensch-Roboter-Interaktion - Eine Taxonomie für alle Anwendungsfälle. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Hrsg).
- Parasuraman R, Sheridan TB & Wickens CD (2000) A model for types and levels of human interaction with automation. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans 30 (3): 286-297.
- Sheridan, TB (2016) Human-Robot Interaction. Status and Challenges. Human Factors, 58 (4):525–532.



Gesellschaft für
Arbeitswissenschaft e.V.

Arbeit interdisziplinär analysieren – bewerten – gestalten

65. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

Professur Arbeitswissenschaft
Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme
Technische Universität Dresden

Institut für Arbeit und Gesundheit
Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung

27. Februar – 1. März 2019

GfA-Press

Bericht zum 65. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 27. Februar – 1. März 2019

**Professur Arbeitswissenschaft, Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme,
Technische Universität Dresden;
Institut für Arbeit und Gesundheit, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Dresden**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.
Dortmund: GfA-Press, 2019
ISBN 978-3-936804-25-6

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 Konferenzband oder Teile daraus in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) zu vervielfältigen,
- den Konferenzband 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

© 2019 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de