Verbesserte Ergonomie durch Mensch-Roboter-Kollaboration als sozio-technisches System

Daniel Rücker, Kristin Paetzold und Rüdiger Hornfeck

Einleitung

Motivation

In dieser Veröffentlichung soll untersucht werden, ob vorhandene Methoden aus dem Bereich der sozio-technischen Systeme (STS) genutzt werden können, um Mensch-Roboter-Kollaborationen (MRK) hinsichtlich ihrer Ergonomie zu optimieren.

MRK gilt als wichtige Disziplin in der zukünftigen Gesellschaft, die in vielen Bereichen mit dem Menschen in Kontakt treten wird (Pollmann et al., 2018). Sie deckt dabei ein sehr breites Spektrum ab: von der Fertigung in der Industrie, über die Servicerobotik, hin zu Unterhaltungsindustrie und dem Gesundheitssystem, insbesondere der Altenpflege (Bauer et al., 2008). Neuartige Anwendungsgebiete wie z.B. Nanoroboter (Kant, 2017) werden dabei noch hinzukommen. Dadurch entstehen sehr unterschiedliche Anforderungen, wobei dem Menschen eine hohe Bedeutung zukommen muss. Ein Roboter wird als System entwickelt, der Mensch hingegen legt jedoch ein, hauptsächlich durch dem MRK-Entwickler unbekannte Erfahrungen geprägtes, wenig beeinflussbares Verhalten an den Tag. Zwar kann einem Menschen ein bestimmtes Verhalten in einer MRK beigebracht werden, jedoch erscheint es sinnvoll, die bereits vorhandenen Fähigkeiten und Bedürfnisse bei der Entwicklung zu berücksichtigen, um das Potenzial einer MRK bestmöglich auszuschöpfen (Behymer & Flach, 2016), (Adams, 2002), (Charalambous et al., 2017).

Es stellt sich also die Frage, wie man die Fähigkeiten und Bedürfnisse des Menschen bestmöglich berücksichtigen kann. Unserer Meinung nach kann hier eine Kombination der STS und der Ergonomie für die Entwicklung von MRKs einen Beitrag leisten.

Der Ansatz der STS berücksichtigt die Beziehungen und Abhängigkeiten zwischen dem technischen und dem sozialen Subsystem, sowie der Umwelt. Somit fließt die menschliche Beteiligung der MRK von Beginn an systematisch in die Entwicklung mit ein (Charalambous et al., 2017).

Die Disziplin der Ergonomie als Lehre der Mensch-Arbeit liefert dabei nicht systematische Aspekte, sondern inhaltliche Aspekte, die über den STS-Ansatz einfließen können. Dabei umfasst der englische Begriff *ergonomics* nicht nur biomechanische Faktoren, was im Deutschen oft fälschlicherweise als einziger Untersuchungsgegenstand der Ergonomie betrachtet wird, sondern auch kognitive und organisatorische Faktoren. Deswegen stützen wir uns hier auf den englischen Begriff.

Während STS sich damit beschäftigt, *wie* der Mensch in die Entwicklung einzubinden ist, kann mit der Ergonomie beschrieben werden, *was* einzubinden ist.

Forschungsfrage

Zusammengefasst ergibt sich damit die folgende Frage, die von dieser Veröffentlichung beantwortet werden soll:

"Welche Methoden des sozio-technischen Systemansatzes gibt es, und wie können diese für die Entwicklung Ergonomie-optimierter MRK-Anwendungen angepasst werden?"

Hypothesen

Es gibt eine Reihe von Hypothesen, auf die wir unsere Arbeit stützen, die im Folgenden benannt und kurz diskutiert werden. Dies soll dabei helfen, die Handlungsgrundlage der vorgestellten Forschung transparent darzustellen, um die Relevanz für den Leser schneller zu entscheiden.

STS kann für MRK eingesetzt werden.

Seinen Ursprung hat der STS-Ansatz im Gebiet der Arbeitsorganisation großer Menschengruppen, deren Arbeit stark durch den Einsatz von Technologie geprägt ist. Heutzutage wird dieser Ansatz verstärkt für die Entwicklung von Software eingesetzt. Obwohl diese beiden Einsatzgebiete keine große Überlappung mit MRK verzeichnen, so ist der Grundgedanke, das Zusammenwirken einer Anzahl Menschen mit einer Anzahl Maschinen und Technologien systematisch zu entwickeln, auch auf MRK anwendbar.

Methoden für STS können Ergonomiefaktoren einbeziehen.

Da es neben dem technischen auch ein soziales Subsystem in einem STS gibt, ist die Berücksichtigung von Ergonomiefaktoren grundsätzlich möglich. Obwohl üblicherweise unter dem sozialen Subsystem eine Organisation aus mehreren Individuen verstanden wird, kann auch eine genauere Betrachtung einzelner oder mehrerer Individuen durch den Einsatz von Ergonomiefaktoren vorgenommen werden.

Durch die Verwendung oder Adaptierung bereits bestehender Methoden, sowie Maßnahmen zur Erstellung von Methoden, wird eine hohe Relevanz der resultierenden Methode erwartet.

Das Verwenden bestehender Methoden hat den Vorteil, dass der Autor der bestehenden Methode bereits Überlegungen angestellt hat, was eine sinnvolle Vorgehensweise für den jeweiligen Kontext ist. Weitere Überlegungen, die man zusätzlich anstellt, helfen dabei, die bestehende Methode noch weiter zu verfeinern. Wird die Methode integriert, stützt sie sich auf die Abwägungen des Methoden-Autors. Bei einer Adaptierung besteht hingegen die Möglichkeit, dass zugrundeliegende Mechanismen aufgelöst werden, sodass hier eine zusätzliche Evaluation durchgeführt werden muss. Unabhängig von der Vorgehensweise ist eine abschließende Evaluation der resultierenden Methode unerlässlich.

Definitionen

Definition Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK)

Wir stützen uns beim Begriff Mensch-Roboter-Kollaboration auf die Definition von (Bütepage & Kragic, 2017). Diese beschreiben die umfassendere

Mensch-Roboter-Interaktion als ein Feld, welches sich in drei Unterbegriffe unterteilen lässt: Instruktion, Kooperation und Kollaboration. Alle drei Begriffe eint, dass sie einen Informationsaustausch zwischen Mensch und Roboter, sowie eine geteilte Arbeitsumgebung beinhalten. Kooperation und Kollaboration haben darüber hinaus gemeinsam, dass Mensch und Roboter dasselbe Ziel verfolgen. Das erste Alleinstellungsmerkmal der Kollaboration ist, dass Teilaufgaben, die von Mensch und Roboter gleichzeitig bearbeitet werden, Wechselbeziehungen aufweisen, bzw. miteinander verflochten sind. Das zweite Alleinstellungsmerkmal ist nach dieser Definition gegenseitiges Lernen, Anpassen und Vertrauen der beiden Kollaborationspartner untereinander. Obwohl diese Definition ursprünglich für ein Kollaborationsszenario aus einem Menschen und einem Roboter formuliert wurde, so verliert unserer Meinung nach die Definition in einem n:n-Szenario nicht ihre Gültigkeit. Um die in der Motivation erwähnte große Bandbreite der MRK abdecken zu können, verstehen wir unter dem Begriff MRK sowohl 1:1- als auch n:n-Systeme sowie 1:n- bzw. n:1-Systeme.

Definition sozio-technische Systeme (STS)

Als Definition für STS stützen wir uns auf die Definition von (Baxter & Sommerville, 2011), die wiederum (Badham et al., 2000) zitieren. Demnach verfügt ein STS über die folgenden fünf Charakteristika (Baxter & Sommerville, 2011):

- STS sollten aus Teilsystemen mit Wechselbeziehungen bestehen
- STS sollten sich an Ziele der externen Umgebung anpassen, bzw. diese verfolgen
- STS haben eine interne Umgebung bestehend aus separaten, aber verflochtenen technischen und sozialen Systemen
- STS besitzen Zielgleichheit. Anders gesagt können die Ziele auf verschiedene Arten erreicht werden. Dies impliziert, dass während der Systementwicklung Gestaltungsentscheidungen getroffen werden müssen.
- Die Leistungsfähigkeit des Systems stützt sich auf die verbundene Optimierung des technischen und sozialen Subsystems. Die Konzentration auf eines dieser Systeme bis hin zum Ausschluss des anderen führt wahrscheinlich zu einer verschlechterten Systemleistung und -nutzen

Auch wenn dies keine umfassende Definition eines STS liefert, so ist doch zu berücksichtigen, dass ein solches System aufgrund seiner Diversität nur auf einer sehr abstrakten Ebene und auf der Basis von Aussagen und Prinzipien, und damit nicht allumfassend hierarchisch beschrieben werden kann. Daher wurde sich auf diese vielzitierte Quelle gestützt.

Definition Ergonomie und Ergonomiefaktoren

Wir verwenden die Definition der International Ergonomics Association (IEA) (International Ergonomics Association, 2019) für die im Englischen synonym zu verwendenden Begriffen *human factors* und *ergonomics* (zusammengefasst HFE):

„Ergonomics (or human factors) is the scientific discipline concerned with the understanding of interactions among humans and other elements of a system, and the profession that applies theory, principles, data and methods to design in order to optimize human well-being and overall system performance.

Practitioners of ergonomics and ergonomists contribute to the design and evaluation of tasks, jobs, products, environments and systems in order to make them compatible with the needs, abilities and limitations of people.

Ergonomics helps harmonize things that interact with people in terms of people's needs, abilities and limitations." (International Ergonomics Association, 2019)

Weiterhin unterteilt die IEA HFE in drei Gebiete: physikalische Ergonomie, kognitive Ergonomie und organisationelle Ergonomie. Jedem dieser Bereiche werden eine Vielzahl von Ergonomiefaktoren zugeordnet. In (Rücker et al., 2018) untersuchten die Autoren bisherige Veröffentlichungen auf benannte Ergonomiefaktoren und stellten einen Katalog solcher Faktoren zusammen.

Diskussion relevanter Quellen

Principles for sociotechnical Systems

In (Cherns, 1976) beschrieb Cherns 9 Prinzipien, die bei der Erstellung von STS beachtet, bzw. eingesetzt werden sollten. Diese Quelle gilt als eine sehr grundlegende Quelle im Bereich STS. 1987 nahm sich Cherns diese Prinzipien noch einmal vor, und passte sie den zwischenzeitlichen Entwicklungen

an (Cherns, 1987). Ebenfalls als sehr grundlegend wird die Veröffentlichung von Clegg (Clegg, 2000) angesehen, der sich im Jahr 2000 diese Prinzipien noch einmal vornahm und sie nach eigener Argumentation stringent von den ursprünglichen Prinzipien ableitete. Wiederum auf dieser Basis gab es eine Überarbeitung (Waterson & Eason, 2019).

Auch wenn diese Veröffentlichungen keine Methoden bereitstellen, so sind die Prinzipien grundsätzlich als Referenz zu betrachten und können während jeder Phase der Systementwicklung Unterstützung bieten.

Work Domain Analysis

Bei der *Work Domain Analysis* (WDA) handelt es sich um eine Methode aus dem System der *Cognitive Work Analysis* (Vicente, 1999). Durch die Beschreibung des Systems auf verschiedenen Abstraktionsebenen soll sie helfen, das System zu erkunden, und somit eine bessere Beschreibung des Systems zu gewährleisten. Die resultierende Abstraktionshierarchie (AH) besteht aus den folgenden fünf Ebenen (Read et al., 2015):

- *Functional Purpose*: Die Existenzberechtigung des Systems, bzw. die Zwecke, die das System erfüllen soll.
- *Values & Priority Measures*: Kriterien, die bewerten können, ob die *functional purposes* erfüllt werden.
- *Purpose Related Functions*: Die Funktionen, die zur Erfüllung der *functional purposes* nötig sind.
- *Object Related Processes*: Beschreiben die Prozesse, die die Umsetzung der *purpose related functions* unterstützen.
- *Physical Objects*: Die tatsächlich einsetzbaren, bzw. zu verwendenden Objekte und Individuen.

In (Read et al., 2015) beschreiben die Autoren eine solche AH, die die Entwicklung eines STS als eigenes STS darstellt. In (Missen et al., 2017) ist eine solche AH beispielhaft für einen Spielplatz entwickelt worden und veranschaulicht dadurch den Vorgang der WDA.

"A Sociotechnical Method for Designing Work Systems" (Waterson et al., 2002)

Diese Veröffentlichung beschreibt eine sehr abstrakte Methode zur Entwicklung eines STS, sodass sie sich dafür eignet, um weitere Methoden in sich zu aufzunehmen. Die Methode gliedert sich in die folgenden Abschnitte:

- *Formation of overall view of the system:* Hier wird der Anwender der Methode aufgefordert, mehrere mögliche Alternativen für das System über die Beschreibung mehrerer Gesichtspunkte zu entwickeln. Zur Bewertung wird eine Anzahl sogenannter *decision criteria* vorgeschlagen. Nach der Bewertung soll eine Präferenzreihenfolge festgelegt werden.
- *Specification of requirements*: Dieser Schritt wird nicht weiter erläutert, es wird auf den Einsatz externer Methoden verwiesen.
- *Specification and analysis of tasks*: Dieser Schritt wird nicht weiter erläutert, es wird lediglich erwähnt, dass zu diesem Zeitpunkt eine Aufteilung in Teilaufgaben möglich sein sollte.
- *Initial mandatory allocations*: Hier werden die *allocations* für Aufgaben mit eindeutiger Zuordnung vorgenommen.
- *Provisional allocation between human and machine*: Auf der Basis von sogenannten *decision criteria* wird ermittelt, welcher der Kollaborationspartner eine Aufgabe übernehmen sollte, bzw. ob die Aufgabe gemeinsam gelöst werden soll, und anschließend der Grund für die Entscheidung benannt.
- *Provisional allocation between humans*: Nach der Beschreibung des Status Quo werden alternative *allocations* entwickelt, wobei die Beschreibungen deutlich knapper ausfällt als bei der p*rovisional allocation between human and machine*, und nur auf sogenannten *user roles* basieren.
- *Provisional dynamic allocations*: Unter diesem Punkt wird die Möglichkeit gegeben, eine *allocation* während des Systembetriebs änderbar zu machen. Dabei sollen die Rahmenbedingungen festgehalten werden, unter denen eine solche Änderung erlaubt ist, die sich auf die in den vorangegangenen Phasen durchgeführte Untersuchung der *allocations* stützen. Es wird auch explizit darauf hingewiesen, dass dieses Vorgehen derzeit nur als Empfehlung

einzustufen ist, da das Verständnis der zugrundeliegenden Zusammenhänge den Autoren noch zu dürftig ist.
- *Global examination of allocations*: In diesem Schritt werden die *provisional allocations* gegenüber dem Systemüberblick, den verwendeten *decision criteria* sowie allgemeinen Rahmenbedingungen, wie z.B. Personalaufwand gegenüber verfügbaren Personal auf Widersprüche, überprüft.
- *Proposed allocations*: Zuletzt sollen alle alternativen *allocations*, alle Präferenzen, die Rollen der beteiligten Menschen und Maschinen benannt, sowie alle *design decisions* und deren *rationale* dokumentiert werden.

Es bleibt relativ offen, welche Schritte notwendig sind, um von den *proposed allocations* zur konkreten Umsetzung des Systems zu kommen. Es bedarf also weiterer Methoden, um konkrete Aufgabenbeschreibungen für Mensch und Roboter zu generieren.

"Protos: Foundations for Engineering Innovative Sociotechnical Systems" (Chopra et al., 2014)

In dieser Veröffentlichung stellen Chopra et al. eine Methode vor, nach der *Requirements Engineering* für STS durchgeführt werden kann. Die Autoren liefern sehr genaue Definitionen für die verwendeten Begriffe, sodass die Methode nachvollzogen werden kann. Sie verwenden außerdem mathematische Ausdrücke, um die Zusammenhänge zwischen den eingesetzten Größen auszudrücken, sodass der Prozess stets nachvollziehbare und überprüfbare Ergebnisse liefert, die auf wohlbeschriebenen Annahmen und Definitionen basieren.

Eine Besonderheit ist dabei, dass Anforderungen über diese Methode iterativ in Verbindlichkeiten übersetzt werden. Dabei werden die *requirements* als *needs* einzelner Stakeholder formuliert, und durch Umformulierungen, weitere Operationen sowie Annahmen der Reihe nach in ein Konstrukt aus *commitments* übersetzt. Die Autoren definieren das standardmäßige Ende eines *design paths*, also der Erstellung eines Systemdesigns so, dass sich für alle verbliebenen Anforderungen die jeweiligen Stakeholder der Erfüllung dieser Anforderung verpflichten. Dabei ist anzumerken, dass sich diese Anforderun-

gen im Verlauf eines *design paths* abändern, und somit eine triviale Verpflichtung aller Stakeholder zu all ihren Anforderungen direkt zu Beginn eines *design paths* nicht identisch mit dem Ergebnis eines *design paths* ist.

Diese *commitments* liefern eine Abstraktion, die zunächst flexibler ist als eine feste Zuweisung einzelner Aufgaben zu Mensch bzw. Roboter, allerdings auch die Formulierung einzelner Tätigkeiten unterstützt. Auf diese Weise kann für jedes *commitment* eine Liste von einzelnen Tätigkeiten entstehen, die wiederum genutzt werden kann, später den tatsächlichen Ablauf einer MRK zu regeln. Für diese Überführung von *commitments* in Tätigkeiten sind weitere Methoden erforderlich, da dies von Chopra et al. nicht mehr behandelt wird.

"Tomorrow's Human–Machine Design Tools: From Levels of Automation to Interdependencies" (Johnson et al., 2018)

Die Autoren argumentieren, dass die Aufgabenaufteilung in einer Mensch-Maschine-Interaktion (MMI) nicht aus binären Entscheidungen besteht, in denen klar ist, welche Teilaufgabe welchem Interaktionspartner zugewiesen werden sollte. Stattdessen beschäftigen sie sich mit den Wechselbeziehungen zwischen Mensch und Maschine während einzelner Teilaufgaben. Dabei wollen die Autoren die Effektivität von Maschinen für MMI nicht durch erhöhte Automatisierung steigern. Stattdessen wollen sie auf Basis einer *Interdependence Analysis* (IA) die Maschine zu einem besseren Teamplayer machen, indem die Maschine die Wechselbeziehungen zum Menschen besser berücksichtigt, und hierdurch bedingt die Effektivität der Maschine steigern.

Zentraler Bestandteil der Methode sind die dem *coactive design* entliehenen drei grundsätzlichen Arten von Wechselbeziehungen: *observability*, *predictability* und *directability*. *Observability* macht eine Information oder ein Wissenselement über sich selber, das Team, die Aufgabe oder die Umgebung anderen Beteiligten zugänglich. *Predictability* meint, dass eine Aktion so vorhersehbar sein sollte, dass Andere sich bei der Planung ihrer Vorgehensweise darauf verlassen können. *Directability* bedeutet, dass sich Akteure gegenseitig beeinflussen können sollen.

Neben diesen drei Größen werden die Wechselbeziehungen zwischen Mensch und Maschine auf zwei unterschiedliche Weisen in einer Tabelle verdeutlicht.

Zum einen durch vier Spalten, je zwei für Mensch und Maschine. Diese jeweils zwei Spalten drücken aus, ob der jeweilige Akteur eine bestimmte Tätigkeit durchführen kann oder nicht, sowie ob der Partner ihn dabei unterstützen kann oder nicht.

Zum anderen kann ein Feld aufgezeichnet werden, in dem für jede Aufgabe spaltenweise die einzelnen Komponenten der Maschine, sowie der Mensch als eigene Spalte angelegt wird. In diesen Spalten kann nun im Vergleich zum Abschnitt mit den vier Spalten für jedes Subsystem der Maschine und den Menschen entschieden werden, ob es der Aufgabe zuträglich ist, ob die Gefahr einer gegenseitigen Schwächung von Mensch und Maschine entstehen könnte, oder ob ein Informationsverlust entstünde. Basierend auf der möglichen Beteiligung der verschiedenen Systeme an der Bewältigung einer Aufgabe können nun verschiedene Workflows miteinander verglichen werden. Dabei können die ausgefüllten Spalten darüber informieren, wie sich eine Beteiligung des jeweiligen verwendeten Systems auswirken könnte. In ihrer Methode gehen die Autoren jedoch nicht darauf ein, wie die übergeordnete Aufgabe einer MMI heruntergebrochen werden soll, es werden nur die Begriffe *tasks* und *capacities* verwendet, wobei *tasks* in *capacities* heruntergebrochen werden.

Vorstellung und Diskussion eines vorläufigen, integrierten STS-Ansatzes zur Entwicklung von Ergonomie-optimierter MRK

Im Folgenden formulieren wir aus den diskutierten Methoden einen integrierten Ansatz zur Entwicklung einer MRK, die über den Ansatz der STS zur optimierten Ergonomie des zu entwickelnden Systems führen soll. Dabei soll dieser Ansatz in der vorliegenden Veröffentlichung lediglich als eine Diskussionsgrundlage für das weitere Vorgehen dienen, der Anspruch auf Vollständigkeit wird nicht erhoben.

Um zunächst einen Gesamtüberblick über das zu entwickelnde System zu gewinnen, sollen zum einen eine AH auf Basis der WDA und der erste Abschnitt der Methode von (Waterson et al., 2002) verwendet werden. Vorteile

der AH sind, dass ein Ansatz zum Erforschen des Systems vorliegt, der die verschiedenen Abstraktionsstufen eines Systems als verschiedene Blinkwinkel einsetzt. Weiterhin wird die Möglichkeit geboten, Ergonomiefaktoren z.B. über die *Values & Priority Measures* einfließen zu lassen. Außerdem können die *Values & Priority Measures* eine gute Grundlage für die Formulierung von Anforderungen bilden. Demgegenüber regt der erste Methodenschritt von Waterson et al. durch die Aufforderung zur Definition einzelner Aspekte des Systems auf andere Weise dazu an, sich Gedanken über Grundeigenschaften des Systems zu machen. Auch bereits an dieser Stelle können Ergonomiefaktoren als *decision criteria* eingebunden werden, sodass diese bereits von Anfang an in die Systementwicklung einfließen.

Auf Basis dieser grundlegenden Beschreibung wird eine Anforderungsanalyse durchgeführt, die der prinzipiellen Vorgehensweise von (Chopra et al., 2014) folgt. Ziel ist dabei die Formulierung von *commitments*. Obwohl die Methode in erster Linie für STS entwickelt wurde, die mehrere Individuen beinhaltet, so bietet sie aufgrund ihrer allgemeingültigen Formulierungen genug Flexibilität, auch ein System aus einem Menschen und einem Roboter zu betrachten. Um diese *commitments* aus den *requirements* zu entwickeln, kann die vorgeschlagene Vorgehensweise der *design paths* eingesetzt werden.

Als nächstes müssen auf der Basis dieser *commitments* Aufgaben formuliert, und wiederum diese in Teilaufgaben heruntergebrochen werden, wobei dies für das breite Spektrum der MRK kaum in einer einzigen Methode zu bewerkstelligen ist. Als fundamentaler Ansatz hierfür kann die *Hierarchical Task Analysis* (Stanton, 2006) dienen, ebenfalls kann die AH bei der Formulierung unterstützen. Wichtig ist dabei, dass die Aufgaben soweit aufgespalten werden, dass eine Teilaufgabe nur vom Menschen oder nur vom Roboter erledigt werden kann, sodass kein Wechsel des Bearbeiters nötig wird. Dies ist wichtig, damit in der IA eine klare Zuordnung der jeweiligen Teilaufgabe möglich ist.

Eindeutig zuordenbare Aufgaben können nun entweder Mensch oder Roboter zugewiesen werden.

Für jede Aufgabe kann jetzt eine IA der zugehörigen Teilaufgaben auf Basis von (Johnson et al., 2018) durchgeführt werden. Dies liefert eine Reihe von Workflows, die miteinander verglichen werden können. Hier können auch die

Ergonomiefaktoren einfließen, in der Form, dass sowohl für einzelne Teilaufgaben als auch für den gesamten Workflow eine Bewertung anhand verschiedener Ergonomiefaktoren erfolgen kann. Da es auch hier keine offensichtliche Zuordnung gibt, muss der Entwickler des Systems die relevanten Ergonomiefaktoren anhand der jeweiligen Teilaufgabe sowie der Beschreibung der Ergonomiefaktoren individuell auswählen.

Dieser ausgewählte Workflow muss nun noch einmal gegen die entwickelten *commitments* sowie gegen die zugrundeliegende AH auf Widersprüche oder Abweichungen abgeglichen werden.

Zusammenfassung und Ausblick

In der vorliegenden Veröffentlichung haben wir uns mit der Frage beschäftigt, ob der Ansatz der sozio-technischen Systeme dazu genutzt werden kann, Mensch-Roboter-Kollaboration hinsichtlich ihrer Ergonomie zu optimieren. Dazu haben wir nach der Motivation des Handlungsbedarfs die genannten Begriffe definiert und die Ergebnisse unserer Recherche bestehender STS-Methoden vorgestellt, die unserer Meinung nach in Frage kamen. Dabei identifizierten wir die Veröffentlichungen von (Waterson et al., 2002), (Chopra et al., 2014) und (Johnson et al., 2018) als essenzielle Bestandteile für einen prototypischen STS-Ansatz zur Ergonomie-Optimierung von MRK. Diesen Ansatz diskutierten wir im Anschluss genauer und erläuterten dabei die Schnittstellen zwischen den einzelnen Methoden. Darüber hinaus diskutierten wir, inwiefern der vorgeschlagene Ansatz bei der Ergonomie-Optimierung helfen kann.

Im nächsten Schritt muss dieser prototypische Ansatz ausformuliert und evaluiert werden. Mit den ermittelten Methoden und dem ausgearbeiteten Ansatz kann anhand eines beispielhaften Anwendungsszenarios untersucht werden, inwiefern die einzelnen Schritte des Ansatzes aufeinander angepasst werden müssen, welche Probleme bei der Entwicklung einer MRK mittels diese Ansatzes auftreten und wie sie gelöst werden können.

Literaturverzeichnis

Adams, J. A. (2002). Critical considerations for human-robot interface develop-ment. In Proceedings of 2002 AAAI Fall Symposium (S. 1-8).

Badham, R., Clegg, C. & Wall, T. (2000). Socio-technical theory. Handbook of Ergonomics. New York, NY: John Wiley.

Bauer, A., Wollherr, D. & Buss, M. (2008). Human–Robot Collaboration: A Survey. International Journal of Humanoid Robotics, 05 (01), 47-66.

Baxter, G. & Sommerville, I. (2011). Socio-technical systems: From design meth-ods to systems engineering. Interacting with Computers, 23 (1), 4-17.

Behymer, K. J. & Flach, J. M. (2016). From Autonomous Systems to Sociotech-nical Systems: Designing Effective Collaborations. She Ji: The Journal of De-sign, Economics, and Innovation, 2 (2), 105-114.

Bütepage, J. & Kragic, D. (2017, 29. Mai). Human-Robot Collaboration: From Psy-chology to Social Robotics. Verfügbar unter http://arxiv.org/pdf/1705.10146v1

Charalambous, G., Fletcher, S. R. & Webb, P. (2017). The development of a Human Factors Readiness Level tool for implementing industrial human-robot collaboration. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 91 (5-8), 2465-2475.

Cherns, A. (1976). The Principles of Sociotechnical Design. Human Relations, 29 (8), 783-792.

Cherns, A. (1987). Principles of Sociotechnical Design Revisted. Human Relations, 40 (3), 153-161.

Chopra, A. K., Dalpiaz, F., Aydemir, F. B., Giorgini, P., Mylopoulos, J. & Singh, M. P. (2014). Protos: Foundations for engineering innovative sociotechnical systems. In 2014 IEEE 22nd International Requirements Engineering Conference (RE). Proceedings : August 25-29, 2014, Karlskrona, Sweden (S. 53-62). Pisca-taway, NJ: IEEE.

Clegg, C. W. (2000). Sociotechnical principles for system design. Applied ergo-nomics, 31 (5), 463-477.

International Ergonomics Association. (2019). Definition and Domains of Ergonom-ics | IEA Website. Zugriff am 05.03.2019. Verfügbar unter https://www.iea.cc/whats/index.html

Johnson, M., Bradshaw, J. M. & Feltovich, P. J. (2018). Tomorrow's Human–Machine Design Tools: From Levels of Automation to Interdependencies. Jour-nal of Cognitive Engineering and Decision Making, 12 (1), 77-82.

Kant, V. (2017). Nanotechnology and HFE: critically engaging human capital in small-scale robotics research. Cognition, Technology & Work, 19 (2-3), 419-444.

Missen, L., Stevens, N. J. & Salmon, P. M. (2017). A Sociotechnical Systems Analysis Approach to Playground Design. Proceedings from Contemporary Er-gonomics & Human Factors 2017, 35-42.

Pollmann, K., Janssen, D., Vukelic, M. & Fronemann, N. (2018). Homo Digitalis. Eine Studie über die Auswirkungen neuer Technologien auf verschiedene Le-bensbereiche für eine

menschengerechte Digitalisierung der Arbeitswelt (Fraun-hofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation -IAO-, Stuttgart, Hrsg.), Stuttgart. Verfügbar unter urn:nbn:de:0011-n-4941891

Read, G. J. M., Salmon, P. M., Lenné, M. G. & Stanton, N. A. (2015). Designing sociotechnical systems with cognitive work analysis: putting theory back into practice. Ergonomics, 58 (5), 822-851.

Rücker, D., Hornfeck, R. & Paetzold, K. (2018). Investigating Ergonomics in the Context of Human-Robot Collaboration as a Sociotechnical System. In J. Chen (Hrsg.), Advances in Human Factors in Robots and Unmanned Systems. Pro-ceedings of the AHFE 2018 International Conference on Human Factors in Ro-bots and Unmanned Systems, July 21-25, 2018, Loews Sapphire Falls Resort at Universal Studios, Orlando, Florida, USA (Advances in Intelligent Systems and Computing, volume 784, Bd. 784, S. 127-135). Cham: Springer.

Vicente, K. J. (1999). Cognitive work analysis. Toward safe, productive, and healthy computer-based work. Mahwah, NJ: Erlbaum.

Waterson, P. & Eason, K. (2019). Revisiting the Sociotechnical Principles for System Design (Clegg, 2000). In S. Bagnara, R. Tartaglia, S. Albolino, T. Alex-ander & Y. Fujita (Hrsg.), Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018) (Advances in Intelligent Systems and Com-puting, volume 824, Bd. 824, S. 366-374). Cham, Switzerland: Springer.

Waterson, P. E., Older Gray, M. T. & Clegg, C. W. (2002). A sociotechnical meth-od for designing work systems. Human factors, 44 (3), 376-391.

Kontakt

Daniel Rücker, M.Sc.
Prof. Dr.-Ing. Rüdiger Hornfeck
Technische Hochschule Nürnberg
Institut für Chemie-, Material- und Produktentwicklung
90489 Nürnberg
https://www.th-nuernberg.de/cmp

Prof. Dr.-Ing. Kristin Paetzold
Universität der Bundeswehr München
Institut für Technische Produktentwicklung
85577 München
https://www.unibw.de/produktentwicklung