

## Ergebnisse eines Scoping Reviews zur Mensch-Maschine-Interaktion

Swantje ROBELSKI, Sascha WISCHNIEWSKI, Lars ADOLPH

*Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin  
Friedrich-Henkel-Weg 1-25, D-44149 Dortmund*

**Kurzfassung:** Der Erkenntnisstand und die Studienlage zum Thema Mensch-Maschine-Interaktion in Produktion und Industrie wurden im Rahmen eines Scoping Reviews betrachtet. Durch einen umfangreichen Selektionsprozess wurde die Literaturlage auf 102 Studien reduziert, die in das Scoping Review eingeschlossen wurden. Insgesamt zeigt sich, dass bei Aspekten der Funktionszuweisung noch immer viele offene Fragen bestehen. Die Analyse der Studien zur Schnittstellengestaltung bestätigt die Wirksamkeit ergonomischer Gestaltungen im Hinblick auf Nutzerzufriedenheit und Leistungsvorteile. Die Studienlage zur Bedienung und Überwachung von Maschinen und Systemen ist vielschichtig und verdeutlicht die Bedeutung von verschiedenen Systemeigenschaften sowie der Passung von Arbeitsaufgabe und Arbeitsmittelgestaltung.

**Schlüsselwörter:** Mensch-Maschine-Interaktion, Funktionsteilung, Schnittstellengestaltung, Scoping Review

### 1. Hintergrund und methodisches Vorgehen

Insbesondere vor dem Hintergrund ihrer volkswirtschaftlichen Bedeutung ist die menschengerechte Gestaltung von Produktionsarbeit essentiell für einen Wirtschaftsstandort wie Deutschland. Dies wird besonders deutlich, betrachtet man die Beschäftigtenzahlen im sekundären Sektor: Mit einem Viertel der Erwerbstätigen stellt das produzierende Gewerbe die zweitgrößte Beschäftigtengruppe dar (Statistisches Bundesamt, 2015). Die Gestaltung der Mensch-Maschine-Interaktion nimmt daher im Zuge der vergangenen und aktuellen Technisierung eine zentrale Rolle ein. Eine Untersuchung der Europäischen Agentur für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit verweist sogar darauf, dass die Komplexität neuer Technologien, Arbeitsprozesse und Mensch-Maschine-Schnittstellen einen möglichen Risikofaktor darstellt, der zu erhöhter emotionaler und mentaler Belastung führen kann (Flaspöler et al., 2009). Zur Überprüfung dieser Annahme entstand ein Scoping Review, das die Frage verfolgt in wie weit sich die Mensch-Maschine-Interaktion im Kontext von Produktionsarbeit auf verschiedene abhängige Variablen auswirkt. Zu diesen Kriteriumsvariablen gehören Aspekte der (psychischen) Gesundheit, Befinden, Arbeitszufriedenheit und Motivation sowie Leistung.

Das Ziel eines Scoping Reviews liegt darin, den Kenntnisstand in einem Themengebiet möglichst umfassend zu beschreiben (Arksey & O'Malley, 2005). Daher wurden in den Datenbanken Ebscohost und Pubmed Literaturrecherchen mit einem komplexen Suchstring durchgeführt. Dieser ist aus vier Bestandteilen zusammengesetzt: 1) ein Set an Begriffen wie *human-machine-interaction*, *man-machine-systems*, *supervisory control* etc. dient dazu, die Mensch-Maschine-Interaktion zu erfassen; 2) die Kriteriumsvariablen aus den bereits erwähnten

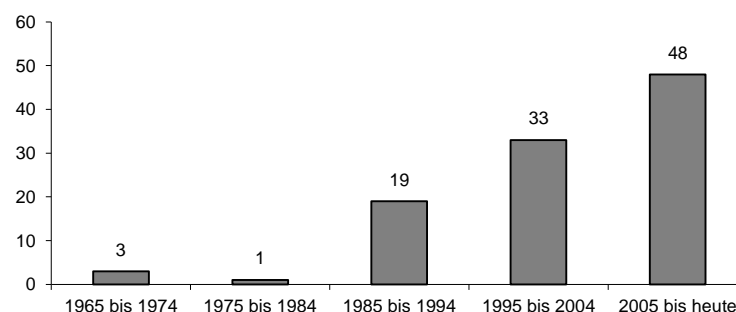
Bereichen wurden durch Variablen, die im Kontext von MMI bedeutsam sind, ergänzt (z.B. *error*, *accident*); 3) ein Set an Kontextvariablen ermöglicht einen Fokus auf den industriellen Bereich sowie Produktionsarbeit; 4) mit Hilfe einer Nicht-Verknüpfung werden zudem Themenbereiche ausgeschlossen, die im Rahmen des Scoping Reviews nicht im Vordergrund stehen, wie beispielsweise Militär und Bildung.

Der Suchstring erzielte in den Datenbanken Ebscohost und Pubmed 21.075 Treffer. Zur weiteren Verarbeitung wurden die Trefferlisten in die Literaturdatenbank Endnote überführt. Die Trefferzahl wurde mit Hilfe der Suchfunktion reduziert, indem weitere Themenbereiche und Wörter ausgeschlossen wurden. Dazu gehören beispielsweise Begriffe wie *school*, *genome* und *pharmacology*, die die breite Verschlagwortung des Themenfelds Mensch-Maschine-Interaktion zeigen. Im weiteren Verlauf erfolgte eine manuelle Titelsichtung, bei der alle verbleibenden Titel daraufhin überprüft wurden, ob sie die Inhalte der Variablensets abdecken. Dieser Prozess führte zum Ausschluss von 16.941 Titeln und der Auswahl von 2.086 Titeln für die Abstractsichtung. Die Abstracts wurden in der Folge ebenfalls daraufhin überprüft, in wie weit die verfolgte Fragestellung adressiert wird. Zur Qualitätssicherung wurde in diesem Prozessschritt die Interraterreliabilität nach Cohen's Kappa berechnet. Dafür wurden 50 Abstracts zufällig ausgewählt und von einem zweiten, unabhängigen Beurteiler dahingehend bewertet, ob eine Volltextsichtung erfolgen sollte. Ein erster Durchgang erreichte einen Übereinstimmungskoeffizient von  $\kappa = .81$ . In einem zweiten Durchgang mit weiteren 50 Abstracts konnte eine Übereinstimmung von  $\kappa = .89$  erzielt werden. Beide Werte entsprechen einer hohen Übereinstimmung (Landis & Koch, 1977).

Insgesamt konnten im Rahmen der Abstractsichtung weitere 1.779 Studien ausgeschlossen werden. Somit verblieben 269 Studien für die Volltextsichtung, die durch weitere neun Studien aus einer Handsuche ergänzt wurden.

Der nächste Schritt des Studiauswahlprozesses beinhaltete die Volltextsichtung, in deren Verlauf weitere Studien ausgeschlossen wurden. Das Scoping Review umfasst letztlich 102 Studien, deren Inhalte einer detaillierten Analyse unterzogen wurden.

Abbildung 1 verdeutlicht die Verteilung der Studien über die Dekaden. Es wird ersichtlich, dass ein Großteil der extrahierten Arbeiten zwischen 2005 und 2015 angefertigt wurde. Im Sinne einer möglichst breiten Abbildung der Studienlage wurde bei der Recherche auf eine zeitliche Eingrenzung verzichtet. In den analysierten Studien kann auch die Entwicklung der Forschungsschwerpunkte beobachtet werden.



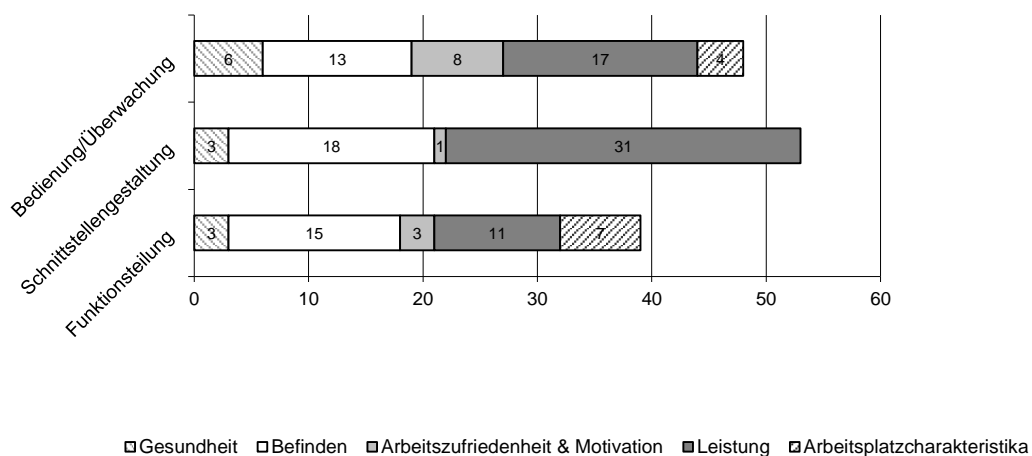
**Abbildung 1:** Anzahl der Studieneinschlüsse pro Dekade

Diese reichen von der Einführung von computergestützten Produktionsverfahren bis hin zu der Untersuchung komplexer Systeme, die adaptiv bedient werden.

## 2. Ergebnisse des Scoping Reviews

Zur weiteren Strukturierung des Datenmaterials wurden die 102 ausgewerteten Studien drei Merkmalsbereichen zugeordnet. Mit dem Merkmal Funktionszuweisung wird das Primat der Arbeitsaufgabe betont, da es die Aufgabenverteilung zwischen Mensch und Technik umfasst (Ulich, 2005). Die Funktionsteilung wird auch von Hacker und Sachse (2014) als wesentlicher Bestandteil psychischer Anforderungen identifiziert. Laut Hollnagel und Woods (1983) beeinflusst die Aufgabenzuweisung die zugrundeliegenden kognitiven Funktionen, was sich sodann auch in einer qualitativen Veränderung der Schnittstellen widerspiegelt. Die Schnittstellengestaltung stellt somit ein weiteres Merkmal der Mensch-Maschine-Interaktion dar. Sie beinhaltet die „Eingabemöglichkeiten und die Ausgabevorkehrungen in die bzw. aus der Maschine“ (Hacker & Sachse, 2014, S. 109). Hier werden sowohl Darstellungsmöglichkeiten als auch Aspekte ergonomischen Designs betrachtet und verschiedene Interaktionsformen eingeschlossen. Das dritte Merkmal der Mensch-Maschine-Interaktion umfasst die Bedienung und Überwachung von Maschinen auf der operationalen Ebene. Studien zu Systemeigenschaften sowie konkrete Anwendungsfälle, die als Ergebnis von Funktionsteilung und Schnittstellengestaltung betrachtet werden können, werden ebenfalls unter diesem Merkmal beschrieben.

Die quantitative Verteilung der Studien auf die Merkmale und die Outcome-Bereiche kann Abbildung 2 entnommen werden. Diese verdeutlicht, dass für den Arbeitsbedingungsfaktor Mensch-Maschine-Interaktion ein starker Fokus auf dem subjektiven Befinden und auf der Leistung liegt. Die (psychische) Gesundheit sowie Aspekte von Arbeitszufriedenheit und Motivation werden kaum betrachtet. Ergänzend konnten Arbeitsplatzcharakteristika als ein weiterer bedeutsamer Outcome-Bereich identifiziert werden. Diese beziehen sich auf Veränderungen von Arbeitsplatzmerkmalen und Tätigkeitsstrukturen, die durch die Mensch-Maschine-Interaktion hervorgerufen werden können.



**Abbildung 2:** Verteilung der abhängigen Variablen auf die Merkmalskategorien der MMI

Hinsichtlich des Studiendesigns zeigt sich, dass ein Großteil der Studien zur Mensch-Maschine-Interaktion unter Laborbedingungen durchgeführt wurde. Diese Studien haben häufig Interventionscharakter. Das bedeutet, dass die Bedingungen zwischen zwei oder mehreren Gruppen gezielt variiert werden. Die untersuchten Stichproben sind dabei jedoch nicht randomisiert. Die Ergebnisse von Feldstudien werden seltener berichtet. Im Rahmen des Scoping Reviews konnte keine Längsschnittstudie und nur vier Sekundärstudien ausgewertet werden.

In den nachfolgenden Abschnitten werden die Ergebnisse zu den drei Merkmalen der MMI weiter ausgeführt.

### *2.1 Ergebnisse zum Merkmal Funktionsteilung*

Die Studienlage lässt keine Aussagen über den Zusammenhang von Funktionsteilung und (psychischer) Gesundheit zu. Auch für Arbeitszufriedenheit und Motivation können keine verlässlichen Aussagen getroffen werden. Abbildung 3 verdeutlicht, dass beide Outcome-Bereiche von lediglich drei Studien im Rahmen des Scoping Reviews untersucht wurden. Deutlich umfangreicher sind die Ergebnisse im Bereich des Befindens. Hier zeigt sich, dass Grad und Level der Automation die Beanspruchung beeinflussen. Dies gilt auch für die Art der Automationszuweisung, bei der zwischen statischen und adaptiven Systemen unterschieden werden kann (Sheridan, 2011). Generell weisen die Studien darauf hin, dass sich die subjektive Beanspruchung mit einem zunehmenden Automationsgrad und -level verringert (z.B. Lin, Yenn & Yang, 2010). Es bestehen jedoch komplexe Wechselwirkungen mit anderen subjektiven Befindenzuständen wie dem Vertrauen und dem Wunsch nach Kontrolle. Außerdem umfasst das Scoping Review verschiedene Studien, die darauf hinweisen, dass in Routinesituationen Leistungsvorteile mit zunehmenden Automationsgraden einhergehen (z.B. Onnasch, Wickens, Li, & Manzey, 2014). Auch das Automationslevel und dessen Zuweisung üben vereinzelt Einfluss auf Leistungsparameter aus, wobei sich jedoch kein klares Bild abzeichnet. Ein weiteres Ergebnis bezieht sich auf Arbeitsplatzcharakteristika, die sich durch die Funktionsteilung verändern können; beispielsweise durch die Erweiterung von Fähigkeiten (z.B. Balogh, Ohlsson, Hansson, Engström, & Skerfving, 2006) oder die Einschränkung von Autonomie. Der Arbeitsbedingungsfaktor Handlungs- und Entscheidungsspielraum könnte somit eine Brücke zur psychischen Gesundheit darstellen.

### *2.2 Ergebnisse zum Merkmal Schnittstellengestaltung*

Die unter dem Merkmal Schnittstellengestaltung zusammengefassten Studien bestätigen die Vorteile ergonomischen Designs. Nutzerzufriedenheit, Beanspruchung und Leistung profitieren besonders durch redundante Informationsdarstellung und die Anwendung von Gestaltprinzipien. Der Einsatz moderner Technologien wie HMDs kann mit kurzfristigen körperlichen Beschwerden verbunden sein (z.B. Ames, Wolffshohn, McBrien, 2005). Aussagen über langfristige Beanspruchungsfolgen können aus der Studienlage des Scoping Reviews nicht abgeleitet werden. Untersuchungen von Arbeitszufriedenheit und Motivation spielen im Bereich der Schnittstellengestaltung eine eher untergeordnete Rolle, sodass auch hier keine ausreichende Datengrundlage besteht, um gesicherte Zusammenhänge zu

beschreiben. Eine Schnittstelle zu neuen Technologien liegt auch in der Mensch-Roboter-Kollaboration. Um diese Form der Zusammenarbeit erfolgreich gestalten zu können, sollten sowohl optische Merkmale der des Roboters als auch der angestrebte Aufgabenbezug berücksichtigt werden (Kuchenbrandt, Häring, Eichberg, & Eyssel, 2012).

### *2.3 Ergebnisse zum Merkmal Bedienung und Überwachung*

Eine Möglichkeit, die Interaktion von Mensch und Maschine zu beschreiben, besteht darin, das Konstrukt der technologischen Kopplung (Corbett, 1987) heranzuziehen. Arbeiten mit diesem Ansatz finden negative Effekte einer engen technologischen Kopplung auf die mentale Gesundheit. Darüber hinaus scheint auch die intrinsische Arbeitszufriedenheit negativ durch enge technologische Kopplung beeinflusst zu werden (Corbett, 1987; Corbett, Martin, Wall, & Clegg, 1989). Arbeitsplatzcharakteristika verändern sich mit der Bedienung und Überwachung von Maschinen, sodass auch hier eine enge Verknüpfung zu aufgabenbezogenen Arbeitsbedingungsfaktoren besteht.

Weiterhin verweisen zahlreiche Studien auf die Bedeutung von Systemeigenschaften bei der Bedienung und Überwachung von Maschinen. In diesem Zusammenhang werden vor allem Befindens- und Leistungsvariablen untersucht. Allgemein scheinen zuverlässige Systeme mit einer höheren Leistung und höherem Vertrauen einherzugehen. Mögliche Leistungsvorteile gehen verloren, wenn die Zuverlässigkeit einen Wert von 70% unterschreitet (z.B. Wickens & Dixon, 2007).

## **3. Diskussion und Schlussfolgerungen**

Das Scoping Review zum Thema Mensch-Maschine-Interaktion stellt eine umfassende Aufbereitung des vorhandenen Erkenntnisstands dar. Dieser zeigt sich sehr heterogen und ist geprägt durch die Vielfalt von Gestaltungen und Konzepten. Offene Fragen betreffen besonders den Zusammenhang zwischen MMI und psychischer Gesundheit im engeren Sinne, zu dem im Rahmen des Scoping Reviews kaum Aussagen getroffen werden können. Aspekte von Arbeitszufriedenheit und Motivation werden ebenfalls selten thematisiert.

Die aktuelle und zukünftige Technisierung hält zudem weitere Fragen bereit, die vor allem die „Digitalisierung“ industrieller Arbeit betreffen. Zwar können hier etablierte Konzepte der Automatisierungsforschung hilfreich sein; sie decken jedoch nicht alle Facetten innovativer industrieller Entwicklungen ab. Daher werden weitere Forschungsaktivitäten in diesem Bereich angestrebt.

Darüber hinaus zeigt das Scoping Review jedoch auch, dass im Bereich der Mensch-Maschine-Interaktion zahlreiche anerkannte Standards guter Gestaltung vorliegen, die bereits in verschiedene Regelwerke wie z.B. Normen und technische Regeln überführt wurden. Es ist jedoch erforderlich, diese generischen Regeln anwendungsspezifisch umzusetzen, um eine beanspruchungsoptimale Gestaltung der MMI zu erzielen. Dies kann als eigentliche Herausforderung für Hersteller von Systemen und betriebliche Anwender betrachtet werden. In diesem Zusammenhang erscheint es sinnvoll, iterative und partizipative Gestaltungsprozesse zu initiieren.

#### 4. Literatur

- Ames S L, Wolffsohn J S, McBrien N A (2005). The development of a symptom questionnaire for assessing virtual reality viewing using a head-mounted display. *Optometry & Vision Science*, 82(3), 168-176.
- Arksey H, O'Malley L (2005) Scoping studies: towards a methodological framework, *International Journal of Social Research Methodology*, 8, 19-32.
- Balogh I, Ohlsson K, Hansson G-Å, Engström T, Skerfving S (2006). Increasing the degree of automation in a production system: Consequences for the physical workload. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 36(4), 353-365.
- Cohen J A (1960). A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational Psychology Measures*, 20, 37-46.
- Corbett J M (1987). A psychological study of advanced manufacturing technology: The concept of coupling. *Behaviour & Information Technology*, 6(4), 441-453.
- Corbett J M, Martin R, Wall T D, Clegg C W (1989). Technological coupling as a predictor of intrinsic job satisfaction: A replication study. *Journal of Organizational Behavior*, 10(1), 91-95.
- Flaspöler E, Hauke A, Pappachan P, Reinert D, Bleyer T, Henke N, Beeck R O D (2009). The human-machine interface as an emerging risk: Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- Hacker W, Sachse P (2014). *Allgemeine Arbeitspsychologie* (3., vollständig überarbeitete Auflage). Göttingen [u.a.]: Hogrefe.
- Hollnagel E, Woods D D (1983). Cognitive Systems Engineering: New wine in new bottles. *International Journal of Man-Machine Studies*, 18(6), 583-600.
- Kuchenbrandt D, Häring M, Eichberg J Eyssel F (2012). Keep an eye on the task! How gender typicality of tasks influence human–robot interactions. *Social Robotics*, 448-457.
- Landis J R, Koch G G (1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics*, 33, 159-174.
- Lin C J, Yenn T-C, Yang C-W (2010). Evaluation of operators' performance for automation design in the fully digital control room of nuclear power plants. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 20(1), 10-23.
- Onnasch L, Wickens C D, Li H, Manzey D (2014). Human performance consequences of stages and levels of automation: An integrated meta-analysis. *Human Factors*, 56(3), 476-488.
- Sheridan T B (2011). Adaptive automation, level of automation, allocation authority, supervisory control, and adaptive control: Distinctions and modes of adaptation. *Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans*, IEEE Transactions on, 41(4), 662-667.
- Statistisches Bundesamt (2015). Erwerbstätige im Inland nach Wirtschaftssektoren. Abgerufen am 12.11.2015 unter: <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Indikatoren/LangeReihen/Arbeitsmarkt/lrerw013.html>.
- Ulich E (2005). *Arbeitspsychologie* (6., überarbeitete und erweiterte Auflage ed.). Stuttgart: Schäffer-Poeschel.
- Wickens C D, Dixon S R (2007). The benefits of imperfect diagnostic automation: A synthesis of the literature. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 8(3), 201-212.