

## **Empfundene Sicherheit für mehr Qualität in Mensch-Roboter-Interaktionen**

Peter NICKEL<sup>1</sup>, Anna-Maria MEER<sup>2</sup>, Björn KAHL<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA),  
Alte Heerstraße 111, D-53757 Sankt Augustin*

<sup>2</sup> *Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA),  
Nobelstraße 12, D-70569 Stuttgart*

**Kurzfassung:** Noch sind Roboter im Arbeitsalltag weiter verbreitet als im öffentlichen Raum. Arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse und Anforderungen an eine Gestaltung sollen auch dort genutzt werden, um die Leistungsfähigkeit einer Mensch-Roboter-Interaktion durch eine hohe Interaktionsqualität und empfundene Sicherheit zu fördern. Anhand einer Literatursichtung bezogen auf Konzepte aus Human Factors und Ergonomie zu Arbeitssicherheit, zu Vertrauen in Automatisierung und zur Arbeitssystemgestaltung werden Erkenntnisse und Gestaltungsanforderungen identifiziert, erweitert und analysiert. Diese bilden eine Basis, um Testumgebungen für den zukünftigen Einsatz von Robotern im öffentlichen Raum zu entwickeln und zu evaluieren.

**Schlüsselwörter:** Aufgabenschnittstelle, Informationsverarbeitung, Arbeitssystem, Vertrauen, Gestaltungsprinzipien, öffentlicher Raum

### **1. Einleitung**

Roboter sind im Arbeitsalltag weitverbreitet. Dort werden sichere und gesunde Interaktionen des Menschen mit Robotern u. a. durch Gestaltungsanforderungen der Maschinensicherheit (z. B. MV 1230/EC, DGUV Information 209–074:2015) bereits bei der Inverkehrbringung berücksichtigt und erfüllen beim Betreiben u. a. Gestaltungsanforderungen des betrieblichen Arbeitsschutzes (z. B. BetrSichV, TRBS 1151:2015). Roboter sind in Ländern der Europäischen Union im öffentlichen Raum (noch) nicht weitverbreitet. Welche Anforderungen dort an das Gestalten einer sicheren und gesunden Interaktion des Menschen mit Robotern und damit auch an die Gestaltung dieser Roboter zu stellen sind, ist weitestgehend unklar. Anforderungen gehen absehbar über solche aus allein technisch bzw. auf die funktionale Sicherheit orientierten Konzepten hinaus (z. B. EU Robotikregelungen 2018/C 252/25).

Das Roboter-Kompetenz- und Interaktionstestcluster „rokit“, ein BMBF-geförderter interdisziplinärer Projektverbund von 10 Konsortialpartnern, erforscht die praktische Umsetzung von Mensch-Roboter-Interaktionen (MRI) im öffentlichen Raum. Im Spannungsfeld eines technischen, ethischen, rechtlichen und gestalterischen Lösungsraums wirken nicht nur Faktoren der funktionalen, sondern insbesondere auch der empfundenen Sicherheit auf eine sichere und gesunde Interaktionsqualität mit hoher Leistungsfähigkeit. Darauf weisen etwa arbeitswissenschaftliche Studien zur MRI hin, nach denen auch bei der Arbeit mit technisch-funktional sicheren Robotersystemen

mit Beeinträchtigungen menschlicher Arbeitsleistung und menschlichem Sicherheitsempfinden zu rechnen ist (z. B. Lasota et al. 2017; Kaufeld & Nickel 2019). Orientiert an arbeitswissenschaftlicher Forschung zur MRI und am Konzept der Arbeitssystemgestaltung aus Human Factors und Ergonomie (HFE) sollen verfügbare Erkenntnisse der Gestaltung ermittelt und um kontext-relevante Gestaltungsfaktoren ergänzt werden, mit denen sichere und gesunde MRI auch im öffentlichen Raum gefördert werden können.

## 2. Methode

Anhand einer Literatursichtung wurden relevante Konzepte mit Bezug zur Arbeitssystemgestaltung aus HFE (DIN EN ISO 6385:2016) für die Gestaltung von empfundener Sicherheit im Kontext identifiziert und ihre Wirkung auf eine verbesserte Qualität der MRI analysiert. Dazu wurden mögliche Einflussfaktoren zu einzelnen Dimensionen eines Arbeitssystems für MRI im öffentlichen Raum (z. B. Arbeitsaufgabe) als auch deren Wechselwirkungen (z. B. Arbeitsmittel und Arbeitsumgebung) betrachtet. Da empfundene Sicherheit während Interaktionsprozessen bereits in arbeitswissenschaftlichen, erweiterten Konzepten zu Arbeitssicherheit (z. B. Dekker & Conklin 2022; Hollnagel et al. 2015; Leveson 2020) sowie zu Vertrauen des Menschen in automatisierte technische Systeme (z. B. Bainbridge 1982; Lee & See 2004; Hancock et al. 2011) aufgegriffen wurden, sollen auch diese Inhalte bei einer Analyse bereits vorhandener arbeitswissenschaftlicher Erkenntnisse und übertragbarer Gestaltungsprinzipien aus HFE einbezogen werden.

Im Rahmen des Forschungsprojekts wird funktionale Leistungsfähigkeit nicht nur anhand der Interaktionsqualität, sondern auch anhand vorhandener sowie erforderlicher physikalisch-technischer Leistungsmerkmale für Robotersysteme im öffentlichen Raum operationalisiert. Dabei kann auch an Studien angeknüpft werden, die zur Harmonisierung von Schnittstellen, Sicherheits- und Performancekriterien als Teil des ARAIG-Projekts (Kahl & Jacobs 2020) durchgeführt wurden. Mittlerweile sind einige Leistungskriterien und Prüfverfahren auch in die Normung zur Servicerobotik (z. B. ISO 18646-2:2024) und zur Assistenzrobotik (z. B. ISO/TR 23482-2:2019) eingegangen. Geeignete und robuste Leistungsmerkmale für MRI im öffentlichen Raum werden im Projekt mithilfe von Literatursichtungen und im Austausch mit Projektpartnern identifiziert, spezifiziert und evaluiert.

Die Analyseergebnisse dienen einer Methodenentwicklung, die zusammen mit Prozessanforderungen einem Roboter-Kompetenz- und Interaktionstestcluster für MRI im öffentlichen Raum zugeführt werden.

## 3. Ergebnisse

Empfundene Sicherheit ist selbst im Kontext der MRI ein interdisziplinär geprägtes Konzept (z. B. Raue et al. 2019), das in der internationalen Literatur variierende, teils synonym verwendete Bezeichnungen trägt (z. B. perceived, psychological, mental safety) und bei dem klassische Ansätze zu Arbeitssicherheit bzw. Arbeitsschutz allenfalls notwendige, aber keine hinreichenden Bedingungen darstellen. Da empfundene Sicherheit sowohl mit einer Abwesenheit von Unfällen, Erkrankungen und Gefahren als auch mit einem Vorhandensein von Sicherheit und Wohlergehen verbunden ist,

wird ein enger Bezug auch zu erweiterten Konzepten der Arbeitssicherheit (z. B. Aven 2022) nahegelegt. Solche Konzepte bauen auf bekannten Prozessen und Inhalten des Arbeitsschutzes wie etwa der Maßnahmenhierarchie auf der Grundlage von Gefährdungs- und Risikobeurteilungen auf und rücken Bewertungen von Risiken durch direkt beteiligte und eigeninitiative Akteure in Arbeitsprozessen stärker in den Fokus. Ziel ist dabei Sicherheit als Freiheit von nicht akzeptablem Risiko. Empfundene Sicherheit kann auch darüber hinaus gehen, wenn zwar das Risiko als akzeptabel eingestuft, allerdings dennoch keine Sicherheit empfunden wird.

Der Kontext von empfundener Sicherheit für mehr Qualität in MRI legt nahe, auch Erkenntnisse aus Human Factors zur humanzentrierten Automatisierungsgestaltung, wie etwa dem Vertrauen in Automatisierung oder Roboter (z. B. Sheridan & Parasuraman 2005; Hancock et al. 2011), zu berücksichtigen sowie im Kontext weiterzuentwickelnde interaktive Grundfertigkeiten der funktionalen Leistungsfähigkeit von Robotersystemen zu integrieren. Grundsätzlich wirken Leistungsmerkmale (z. B. Vorhersehbarkeit von Trajektorien, Koppenborg et al. 2017) und Eigenschaftsmerkmale (z. B. Anthropomorphismus, Schweidler & Onnasch 2023) von Robotersystemen auf Vertrauen und damit die empfundene Sicherheit in der MRI ein. Erkenntnissen aus der Mensch-Automatisierungs-Interaktion (MAI) lassen sich allerdings nur teilweise auf die MRI übertragen (Roesler et al. 2024), da z. B. Aufgaben des Menschen und damit auch das Vertrauen bei MAI eher auf Produkte des Interaktionsprozesses und bei MRI eher auf den Interaktionsprozess selbst fokussieren. Das beeinflusst wiederum eine Erfassung von Vertrauen in der MRI zur Gestaltung empfundener Sicherheit.

Beim Einsatz von Robotern im öffentlichen Raum treten nicht nur ein *Arbeitskontext* (zwischen Roboter und Beschäftigten) vor, es treten zusätzlich auch Interaktionen mit Dritten auf. Dadurch ergeben sich Anforderungen, die über eine spezifisch *arbeitswissenschaftliche* Betrachtung hinaus gehen. Für eine gesamtgesellschaftliche Akzeptanz des Einsatzes von (teilautonomen) Robotern (z. B. Bröhl et al. 2019) im öffentlichen Raum ist entscheidend, dass auch Passanten – und damit nicht eingewiesene Personen – sicher (und empfunden-sicher) mit dem Robotersystem interagieren können. Dies ist unabhängig davon zu fordern, ob es sich um eine gewollte Interaktion handelt (z. B. Einholen einer Auskunft) oder um eine eher ungewollte Interaktion (z. B. zufällige Begegnung auf einem Weg) handelt.

Aus dem Konzept der Arbeitssystemgestaltung wird u. a. deutlich, dass für eine hohe Interaktionsqualität von Menschen mit Robotern im öffentlichen Raum nicht nur das Robotersystem allein einzubeziehen ist. Für eine gesunde und sichere Interaktion sind neben den Aufgaben insbesondere die Ausführungsbedingungen wie etwa Gegebenheiten des öffentlichen Raums oder Platzes oder Witterungs- und Sichtverhältnisse in die Analyse und Bewertung einzubeziehen.

Gestaltungsprinzipien aus HFE für Aufgabenschnittstellen eines Systems, wie etwa einem Menschen Rückmeldung zu geben (vgl. DIN EN 614-2), legen nahe, dass Passanten im öffentlichen Raum der Einsatzzweck eines Roboters im Interaktionsraum bekannt zu geben wäre. Aus Gestaltungsprinzipien aus HFE für Interaktionsschnittstellen in einem System, wie etwa der Erwartungskonformität (vgl. DIN EN 894-1), ließe sich ableiten, dass Passanten mit Robotern das gegenseitige Ausweichen auch aushandeln können und kulturabhängig nach rechts oder links ausweichen. Aus Gestaltungsprinzipien aus HFE für Informationsschnittstellen in einem System, wie etwa der Doppelkodierung von Warnhinweisen (vgl. DIN EN 981), ließe sich ableiten, dass Passanten im öffentlichen Raum Warnungen in Farb- und Lagekodierung signalisiert

werden. Es wird erwartet, dass sich die Nutzung solcher Prinzipien positiv auf die empfundene Sicherheit auswirken und damit auch die Interaktionsqualität mit Robotern im öffentlichen Raum steigern kann.

## 4. Diskussion

Eine Sichtung der internationalen arbeitswissenschaftlichen Literatur offenbart umfangreich vorhandene Erkenntnisse, die einerseits für die Strukturierung des Anwendungskontexts und andererseits für die Gestaltung einer sicheren und gesunden MRI im öffentlichen Raum geeignet erscheinen. Anpassungen und Ergänzungen sind allerdings für MRI im öffentlichen Raum allgemein und den dann jeweils zu spezifizierenden Anwendungskontext vorzunehmen.

Einige der Analyseergebnisse werden zunächst für ausgewählte realitätsnahe, praktische Einsatzszenarien operationalisiert, damit sie mit den im Projekt verfügbaren Robotersystemen im öffentlichen Raum untersucht werden können. Dazu werden Testumgebungen entwickelt, Testmethoden abgeleitet und Testanforderungen evaluiert.

## 5. Literatur

- Aven T (2022). A risk science perspective on the discussion concerning Safety I, Safety II, and Safety III. *Reliability Engineering and System Safety* 217:108077. [https://doi.org/10.1016/j.res.2021.108077]
- Bainbridge L (1982) Ironies of automation. In: Johannsen G, Rijnssdorp JE (eds.) *Proceedings of the IFAC/IFIP/IFORS/IEA Conference "Analysis, Design and Evaluation of Man-Machine System"*, Sept 27–29, 1982, Baden-Baden, Germany, 129–135.
- BetrSichV 2015 Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln (Betriebssicherheitsverordnung – BetrSichV (letzte Änderung 2021). BGBl I (49/2021): 3170–3171.
- Bröhl C, Nelles J, Brandl C, Mertens A, Nitsch V (2019) Human-robot collaboration acceptance model: Development and comparison for Germany, Japan, China and the USA. *International Journal of Social Robots* 11:709-726. [https://doi.org/10.1007/s12369-019-00593-0]
- Dekker S, Conklin T (2022) Do safety differently. Santa Fe: Pre-Accident Investigation Media.
- DGUV Information 209–074 (2015) Industrieroboter. Berlin: DGUV.
- DIN EN 614-2 (2008) Sicherheit von Maschinen – Ergonomische Gestaltungsgrundsätze – Teil 2: Wechselwirkungen zwischen der Gestaltung von Maschinen und den Arbeitsaufgaben. Berlin: Beuth.
- DIN EN 894-1 (2009) Sicherheit von Maschinen - Ergonomische Anforderungen an die Gestaltung von Anzeigen und Stellteilen – Teil 1: Allgemeine Leitsätze für Benutzer-Interaktion mit Anzeigen und Stellteilen. Berlin: Beuth.
- DIN EN 981 (2009) Sicherheit von Maschinen – System akustischer und optischer Gefahrensignale und Informationssignale. Berlin: Beuth.
- DIN EN ISO 6385 (2016) Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen. Berlin: Beuth.
- EU Robotikregelungen (2018) Zivilrechtliche Regelung im Bereich Robotik (P8\_TA(2017)0051). Entschließung des Europäischen Parlaments vom 16. Februar 2017 mit Empfehlungen an die Kommission zu zivilrechtlichen Regelungen im Bereich Robotik (2015/2103(INL)). Amtsblatt der EU C 252/25 (2018, 61): 239–257.
- Hancock PA, Billings DR, Schaefer KE, Chen JY, De Visser EJ, Parasuraman R (2011) A meta-analysis of factors affecting trust in human-robot interaction. *Human Factors* 53(5): 517–527. [https://doi.org/10.1177/0018720811417254]

- Hollnagel E, Wears RL, Braithwaite J (2015) From Safety-I to Safety-II: A white paper. University of Southern Denmark, University of Florida, Macquarie University: The resilient health care net.
- ISO 18646-2 (2024) Robotics – Performance criteria and related test methods for service robots – Part 2: Navigation. Geneva: ISO.
- ISO/TR 23482-2 (2019) Robotics – Application of ISO 13482 – Part 2: Application guidelines. Geneva: ISO.
- Kahl B, Jacobs T (2020) Harmonisierung von Schnittstellen, Sicherheits- und Performancekriterien. In: Tausch A, Adolph L, Jürgensohn T (Hrsg.), Autonome Roboter für Assistenzfunktionen: Interaktive Grundfertigkeiten – Ergebnisse und Forschungsperspektiven des Förderprogramms ARA1 (F 2463). Dortmund: bauer, 16–25.
- Kaufeld M, Nickel P (2019) Level of robot autonomy and information aids in human-robot interaction affect human mental workload – An investigation in virtual reality. *Lecture Notes in Computer Science (LNCS)* 11581: 278–291. [[https://doi.org/10.1007/978-3-030-22216-1\\_21](https://doi.org/10.1007/978-3-030-22216-1_21)]
- Koppenborg M, Nickel P, Naber B, Lungfiel A, Huelke M (2017) Effects of movement speed and predictability in human-robot-collaboration. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 27(4): 197–209. [<https://doi.org/10.1002/hfm.20703>]
- Lasota PA, Fong T, Shah JA (2017) A survey of methods for safe human-robot interaction (*Foundations and Trends in Robotics* 5:4). Hanover: Now Publisher Inc.
- Lee JD, See KA (2004) Trust in automation: Designing for appropriate reliance. *Human Factors* 46(1): 50–80. [[https://doi.org/10.1518/hfes.46.1.50\\_30392](https://doi.org/10.1518/hfes.46.1.50_30392)]
- Levenson N (2020) Safety III: A Systems Approach to Safety and Resilience. MIT Engineering Systems Lab: Unpublished manuscript.
- MV EU 2023/1230. Verordnung (EU) 2023/1230 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14. Juni 2023 über Maschinen und zur Aufhebung der Richtlinie 2006/42/EG des Europäischen Parlaments und des Rates und der Richtlinie 73/361/EWG des Rates. Amtsblatt der EU L 165 (2023, 66): 1-102.
- Raue M, Streicher B, Lerner E (Hrsg.) (2019) Perceived safety: A multidisciplinary perspective. Cham: Springer Nature Switzerland AG.
- Roesler E, Vollmann M, Manzey D, Onnasch L (2024) The dynamics of human-robot trust attitude and behavior — Exploring the effects of anthropomorphism and type of failure. *Computers in Human Behavior* 150: 108008. [<https://doi.org/10.1016/j.chb.2023.108008>]
- Schweidler P, Onnasch L (2023) Using functionally anthropomorphic eyes to indicate robotic motion. In: Meyser B, Sanseverio G (eds) *Proceedings of the 1<sup>st</sup> International Conference on Hybrid Societies 2023*, March 15-17, 2023, Chemnitz, Germany. Chemnitz: Universitätsverlag, 19-21.
- Sheridan TB, Parasuraman R (2005) Human-automation interaction. *Reviews of Human Factors and Ergonomics*, 1(1): 89-129. [<https://doi.org/10.1518/155723405783703082>]
- TRBS 1151 (2015). Gefährdungen an der Schnittstelle Mensch – Arbeitsmittel – Ergonomische und menschliche Faktoren, Arbeitssystem – Technische Regel für Betriebssicherheit. Gemeinsames Ministerialblatt (GMBI) 17-18 (2015): 340-365.

**Danksagung:** Der Beitrag entstand im „Roboter-Kompetenz- und Interaktionstest-cluster – rokit“, einem Forschungsprojekt des BMBF-Förderschwerpunkts „Roboter für Assistenzsysteme“ (Förderkennzeichen 16SV8941). Weitere Informationen bietet: <https://www.public-robots.de>



Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

## Arbeitswissenschaft in-the-loop

**Mensch-Technologie-Integration  
und ihre Auswirkung auf Mensch,  
Arbeit und Arbeitsgestaltung**

70. Kongress der  
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Institut für Arbeitswissenschaft und  
Technologiemanagement IAT  
Universität Stuttgart

In Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für  
Arbeitswirtschaft und Organisation IAO

06. – 08. März 2024

---

## GfA-Press

---

**Bericht zum 70. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 06. – 08. März 2024**

**Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement (IAT), Universität Stuttgart**

**In Zusammenarbeit mit: Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO), Stuttgart**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Sankt Augustin: GfA-Press, 2024

ISBN 978-3-936804-34-8

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Jahresdokumentation

Als Manuskript zusammengestellt. Diese Jahresdokumentation ist nur in der Geschäftsstelle (s. u.) erhältlich.

Alle Rechte vorbehalten.

© **GfA-Press, Sankt Augustin, Schriftleitung: Prof. Dr. Rolf Ellegast**

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.

### **Geschäftsstelle der GfA**

Simone John, Tel.: +49 (0)30 1300-13003, Alte Heerstraße 111, D-53757 Sankt Augustin

[info@gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de](mailto:info@gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de) · [www.gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de](http://www.gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de)

### **Screen design und Umsetzung**

© 2024 fröse multimedia, Frank Fröse,

[office@internetkundenservice.de](mailto:office@internetkundenservice.de), [www.internetkundenservice.de](http://www.internetkundenservice.de)