

## **Kurzfristige Beanspruchungen, Akzeptanz und Sicherheit im Umgang mit einem kollaborierenden Roboter: die Rolle der Vorhersehbarkeit**

Monika EIGENSTETTER, Sumona SEN, Lisanne KREMER

*A.U.G.E.-Institut der Hochschule Niederrhein  
Reinartzstraße 49, D-47798 Krefeld*

**Kurzfassung:** Die kollaborierende Robotik bietet viele Potenziale. Damit können jedoch erhöhte Beanspruchung und Belastung, verminderte Technikakzeptanz und verminderte wahrgenommene Sicherheit einhergehen. In einem Experiment werden diese Faktoren in Zusammenhang mit der Vorhersagbarkeit einer Interaktion mit einem kollaborierenden Roboter erfasst. Methoden zur Erhebung der Konstrukte sind Freezing (angelehnt an SAGAT) sowie Fragebögen zur Technikakzeptanz UTAUT und der kurzfristigen psychischen Beanspruchung SKB. Entgegen den Erwartungen unterschieden sich die Technikakzeptanz sowie die Beanspruchung nicht zwischen den zwei Untersuchungsbedingungen mit unterschiedlicher Vorhersagbarkeit der Interaktion. Wie vermutet besteht ein signifikanter Unterschied hinsichtlich Vorhersagbarkeit und wahrgenommener Sicherheit.

**Schlüsselwörter:** Technikakzeptanz, Beanspruchung, Sicherheit, Situation Awareness, kollaborierende Robotik

### **1. Einleitung**

Kollaborierende Roboter übernehmen bereits Aufgaben in der produzierenden Industrie, im privaten Haushalt oder in der Pflege. Während die Grenzen der physischen Belastungen im Interaktionsverhalten mit kollaborierenden Robotern mittlerweile bekannt und definiert sind, besteht noch relativ wenig systematisches Wissen über die damit einhergehenden psychischen Belastungen und Beanspruchungen, die mit dem Verstehen und der Vorhersehbarkeit eines kollaborierenden Roboters einhergehen können (für einen Überblick Robelsky, 2016).

Ein erfolgversprechendes und gleichzeitig für die Praxis gut verständliches Konzept für die Analyse und Gestaltung einer gelingenden Mensch-Maschine-Interaktion ist – neben den klassischen Erfordernissen der Gebrauchstauglichkeit (DIN EN ISO 9241-11:2016) – Situation Awareness (SA) (Endsley, 1995, 2017). SA ist ein dreistufiges Konstrukt, das die menschliche Fähigkeit beschreibt, (1) Informationen aufzunehmen, (2) diese zu integrieren und (3) darauf aufbauend zukünftige Systemzustände vorherzusagen: Für eine sichere Interaktion müssen Menschen die Bewegungen des Roboters verstehen und vorhersagen können, also über die Stufe 3 der SA verfügen. Das Konstrukt SA entstammt ursprünglich den Untersuchungen zu Sicherheit der Aviatik (Endsley 1999). Zunehmend wird SA aber auch im Kontext der Robotik untersucht (z.B. Hancock, 2010, Nitsch 2013).

Die Nutzung von Technologien steht mit dem Konstrukt der Technikakzeptanz in Verbindung. Die Bandbreite von Technikakzeptanz reicht von Technikverweigerung bis hin zur Bereitschaft, Technik zu nutzen oder sogar aktiv zu befürworten. Technikakzeptanz wird darüber hinaus auch als Prozess modelliert. Venkatesch et al. (2003,

2012) führen die Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT) als Prozessmodell ein, das durch mehrere Facetten gekennzeichnet ist: Haupteinflussfaktoren für eine zukünftige Nutzung einer Technologie sind der erwartete Nutzen, die Einfachheit der Anwendung und Unterstützungsfaktoren sowie soziale Einflüsse.

Für die Arbeit mit einem kollaborierenden Roboter erfordert es ein hohes Maß an Vigilanz und verdeckter Aufmerksamkeit. In der Folge von monotonen Tätigkeiten tritt durch hohe Beanspruchung Ermüdung auf (Maschinenrichtlinie 2006/42/EG). Es wird vermutet, dass eine gute Vorhersehbarkeit einen positiven Zusammenhang mit Technikakzeptanz sowie mit dem empfundenen Gefühl von Sicherheit aufweist.

- 1) Sind psychische Beanspruchungen bei fehlender Vorhersagbarkeit von Roboterbewegungen erhöht?
- 2) Vermindern sich Technikakzeptanz und wahrgenommene Sicherheit bei fehlender Vorhersagbarkeit von Roboterbewegungen?

Ziel der Untersuchung ist die Erfassung von Vorhersagbarkeit im Zusammenhang von Technikakzeptanz und wahrgenommener Sicherheit sowie psychischer Beanspruchung im Kontext der kollaborierenden Robotik.

## 2. Methode

In einem Experiment wurde die Vorhersehbarkeit der Interaktion mit einem kollaborierenden Roboter anhand einer simulierten Montagetätigkeit untersucht. Jeweils 16 Personen, Studierende im Alter zwischen 20 und 27 Jahren (14 Frauen und 18 Männer) aus verschiedenen Studiengängen, nahmen an einer von zwei Versuchsbedingungen teil. Vier Studierende hatten Vorerfahrungen mit einem Roboter. Die Versuchsdurchführung dauerte ca. 30 min und wurde mit 7 EUR vergütet. Das Experiment wurde als Between Subject Design durchgeführt.

Der für das Experiment eingesetzte Roboter Sawyer war ein Modell von Rethink Robotics (Gewicht: 19 kg, Nutzlast: 4 kg, Reichweite).

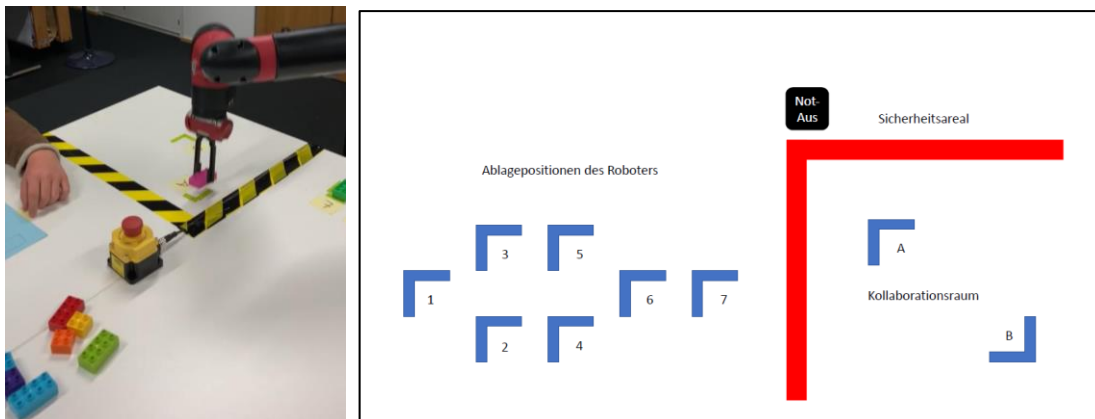
Der Versuch begann mit einer kurzen Einführung sowie einer sicherheitstechnischen Unterweisung und der Beantwortung des Fragebogens SKB (Schätzskalen zum kurzfristigen Beanspruchungserleben, Hacker 2012) (t1). Danach startete die Interaktion mit dem Roboter (t2, siehe Tabelle 1). Bauteile wurden von dem Roboter in einem bestimmten Areal abgelegt und dort von der Versuchsperson aufgenommen. In beiden Versuchsbedingungen umfasste die Interaktion 10 Durchgänge eines Steckens von Lego-Duplo® nach definierten Vorgaben. Versuchsbedingung 1 entsprach einer vorhersehbaren Ablege-Reihenfolge (Roboter positionierte den Stein vorhersehbar auf Position A oder B). In Versuchsbedingung 2 positionierte der Roboter die Gegenstände in nicht vorhersehbarer Reihenfolge (Abbildung 1 und 2).

Alle Teile wurden vom Roboter in einem definierten Areal abgelegt, aus dem sich der Proband das Steckteil entnahm. Dies wurde aus Sicherheitsgründen so gehandhabt, da sich der Roboterarm auch auf „Kopfhöhe“ bewegte und so eine unerwünschte Kollision ausgeschlossen wurde.

**Tabelle 1:** Aufbau des Versuchsablaufs

t1 Beantworten von Fragenbogen, Einführung in den Versuch	t2 Interaktion mit dem Roboter, Freeze	t3 Beantworten der Fragebogen
SKB	Bedingung 1: Vorhersehbar (Roboter legt den Stein vorhersehbar auf Position A oder B)	SKB, UTAUT Skalen, Sicherheit
	Bedingung 2: Nicht vorhersehbar	

In beiden Versuchsbedingungen, „vorhersehbar“ vs. „nicht vorhersehbar“, wird neun Mal die „Freeze-Technik“, angelehnt an das SAGAT Verfahren, durchgeführt, um die Stufe 3 der Situation Awareness (Vorhersehbarkeit der Situation) zu erfassen. Dies bedeutet, der Roboterarm wird in der Bewegung gestoppt und die Versuchsperson gefragt, wohin sich der Roboterarm als Nächstes bewegen wird.



**Abbildungen 1 und 2:** Versuchsaufbau und Ablagepositionen des Roboters

Nach der Interaktion mit dem Roboter (t3, siehe Tabelle 1) wurden Items aus dem Fragebogen SKB zur Erfassung der kurzfristigen psychischen Beanspruchung (Hacker et al. 2012, Items zur Erfassung der kurzfristigen Beanspruchung, siebenstufig) vorgelegt. Sie stammten aus den Skalen *Arbeitsfähigkeit* mit 5 Items (Cronbachs Alpha  $\alpha = ,767$ ) und *Arbeitsbereitschaft* mit drei Items ( $\alpha = ,697$ ). Die Zunahme der Beanspruchung wurde als Differenz der beiden Skalen vor und nach der Interaktion mit dem Roboter operationalisiert („Abnahme der Arbeitsbereitschaft“ und „Abnahme der Arbeitsfähigkeit“).

Nach der Interaktion mit Roboter wurden die Items des UTAUT (sechsstufig) nach der Übersetzung von Vollmers (2013), sowie Skalen wahrgenommenen Sicherheit für die Interaktion mit dem Roboter beantwortet. Reliabilitäten für die Skalen sind: *Erwarteter Nutzen*:  $\alpha = ,848$ , *Erlebter Aufwand*  $\alpha = ,837$ , *Unterstützende Faktoren, positive Bewertung der Interaktion*  $\alpha = ,904$ , *Bereitschaft zur zukünftigen Nutzung*  $\alpha = ,848$ . Die Skalen des UTAUTs – mit Ausnahme der Skala Wissen – weisen damit eine insgesamt hohe interne Konsistenz auf. Weitere, selbst entwickelte Fragebogen zu Sicherheit im Umgang mit dem Roboter ( $\alpha = ,824$ ) sowie zur Vorhersehbarkeit des Roboters ( $\alpha = ,924$ ) zeigten ebenfalls hohe interne Konsistenz.

### 3. Ergebnisse

In der Versuchsbedingung „vorhersehbar“ wird in acht von neun Freeze-Situationen eine richtige Vorhersage getroffen (MW = 7,8; SD = ,98). In der Versuchsbedingung „nicht vorhersehbar“ werden im Durchschnitt nur drei richtige Vorhersagen gemacht (MW = 3,4; SD = 2,39). Aufgrund der Ratewahrscheinlichkeit erweist sich hier die Standardabweichung in den Antworten deutlich höher. Auch in der subjektiven Bewertung der Vorhersehbarkeit unterscheiden sich die Versuchspersonen ( $t_{30} = 8,09$ ,  $p \leq 0,001$ ). In der „nicht vorhersehbar“ Versuchsbedingung wird die wahrgenommene Sicherheit signifikant geringer eingeschätzt ( $t_{30} = 2,12$ ,  $p = ,42$ ), allerdings absolut gesehen, in einem eher „mittleren Bereich“ (stimme teilweise zu).

Nicht bestätigt werden die vermuteten Unterschiede in der psychischen Beanspruchung in beiden Versuchsbedingungen. Weiter gibt es keine signifikanten Differenzen in den Skalen des UTAUT oder des SKB zwischen den beiden Versuchsbedingungen (siehe Daten in Tabelle 2). Die Verhaltensabsicht „in Zukunft mit dem Roboter zu interagieren“ ist allerdings tendenziell geringer. Insgesamt zeigt sich mittels des SKB eine deutliche Abnahme der Arbeitsbereitschaft in beiden Versuchsbedingungen.

**Tabelle 2:** Aufbau des Versuchablaufs

	Versuchsbedingung	Mittelwert	Std.- Abweichung	t-Wert	p
SKB: Abnahme der Arbeitsbereitschaft	vorhersehbar	-0,83	1,01	0,15	
	nicht vorhersehbar	-0,90	1,39		
SKB: Abnahme der Arbeitsfähigkeit	vorhersehbar	-0,33	1,39	0,40	
	nicht vorhersehbar	-0,53	1,42		
UTAUT: Erwarteter Nutzen	vorhersehbar	4,50	1,21	1,46	
	nicht vorhersehbar	3,88	1,22		
UTAUT: Erwarteter Aufwand	vorhersehbar	5,31	1,06	1,47	
	nicht vorhersehbar	4,81	0,85		
UTAUT: Unterstützende Faktoren	vorhersehbar	5,44	0,66	1,27	
	nicht vorhersehbar	5,10	0,81		
UTAUT: Positive Bewertung der Interaktion mit dem Roboter	vorhersehbar	4,15	1,35	0,75	
	nicht vorhersehbar	3,79	1,31		
UTAUT: Verhaltensabsicht auch zukünftig mit dem Roboter zu interagieren	vorhersehbar	4,81	1,35	1,78	$p = ,086$
	nicht vorhersehbar	5,00	1,14		
Wahrgenommene Sicherheit	nicht vorhersehbar	4,06	1,35	2,12	$p = ,042$
	vorhersehbar	3,97	1,34		
Vorhersehbarkeit der Bewegungen des Roboters (subjektive Einschätzung im Fragebogen)	vorhersehbar	4,93	0,72	8,09	$p \leq ,000$
	nicht vorhersehbar	2,74	0,81		

Skalenwerte des UTAUT: 1 = stimme gar nicht zu, 6 = stimme voll und ganz zu; SKB semantisches Differential siebenstufig – höhere Werte entsprechen höherer Beanspruchung

Der Zusammenhang zwischen subjektiver Bewertung der Vorhersehbarkeit in der Interaktion und Vorhersage während des Freeze beträgt  $r = ,699$  ( $p \leq ,001$ ). Wahrscheinlich überschätzen Versuchspersonen die Vorhersehbarkeit in der Interaktion mit dem Roboter. Ein signifikant positiver Zusammenhang besteht zwischen der Ab-

sicht auch zukünftig mit dem Roboter zu interagieren und subjektiver Vorhersehbarkeit ( $r = ,472$ ,  $p = ,006$ ) sowie mit objektiven Vorhersehbarkeit ( $r = ,375$ ,  $p = ,034$ ). Das Gefühl von Sicherheit korreliert ausschließlich mit subjektiver Vorhersehbarkeit ( $r = ,418$ ,  $p = ,017$ ).

#### 4. Diskussion

Entgegen der Vorhersage steigt mit geringer Vorhersehbarkeit der Roboterbewegungen die kurzfristige psychische Beanspruchung relativ nicht stärker an. Zwar sinkt in beiden Bedingungen die Arbeitsbereitschaft und Arbeitsfähigkeit, jedoch unterscheiden sich aber diese in beiden Versuchsbedingungen nicht substantiell. Dies kann daran liegen, dass erstens die Interaktionszeit mit dem Roboter vergleichsweise kurz war und zweitens es insgesamt keine wirklich wahrnehmbar gefährliche Situation mit dem Roboter gab: Der Roboter hat die Bausteine immer in einem umgrenzten Areal abgelegt, aus dem sie von der Versuchsperson dann per Hand entnommen wurden. Die Situation war damit weder komplex noch erforderte sie genaues Sehen oder Verstehen, noch war sie lange andauernd (ca. 30 Minuten). Sie war also kognitiv nicht sehr belastend. Um die einhergehenden psychischen Beanspruchungen genauer zu erfassen, sollten die Beanspruchungen gemeinsam in längeren Interaktionssequenzen mit physiologischen Daten wie Fixationszeiten kombiniert werden. Johnson et al. (2017) nutzen z.B. visuelle Aufmerksamkeit als Korrelate der Leistungsbereitschaft, der psychischen Belastung und Beanspruchung sowie der Situation Awareness.

Die Zusammenhänge zwischen Vorhersehbarkeit und Technikakzeptanz sowie mit dem empfundenen Gefühl von Sicherheit werden nur teilweise bestätigt: Nur die subjektive Einschätzung der Vorhersehbarkeit korreliert substantiell mit einem Gefühl von Sicherheit. Situationen werden häufig auch falsch eingeschätzt und diese fehlerhafte Einschätzung kann damit ein unsicheres Verhalten in der Kollaboration bedingen. Es ist weiter zu prüfen, ob und wie derartige Falscheinschätzungen zu Gefährdungen führen können.

#### 5. Literatur

- Endsley, M. (2017) From Here to Autonomy: Lessons Learned from Human–Automation Research. *Human Factors*, 59 (1), 5-27. DOI: 10.1177/0018720816681350
- Endsley, M. R. (1995). "Measurement of Situation Awareness in Dynamic Systems". *Human Factors* 37(1):65– 84
- Endsley, M. R. (1999). Situation awareness in aviation systems. In D. J. Garland, J. A. Wise, & V. D. Hopkin (Eds.), *Human factors in transportation. Handbook of aviation human factors* (p. 257–276). Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Hacker, W., Hubrich, A., Morgenroth, T. & Stab, N. (20 ): Schätzskalen zum kurzfristigen Beanspruchungserleben (SKB-Verfahren) – modifiziert nach Plath & Richter (1984). *Journal Psychologie des Alltagshandelns / Psychology of Everyday Activity*, Vol. 5 / No. 1, 27-37.
- Hancock, P. A., Billings, D. R., Schaefer, K. E. Chen, J. Y. C, de Visser E.J., & Parasuraman, R. (2010). A Meta-Analysis of Factors Affecting Trust in Human-Robot Interaction. *Human Factors*, 53(5), 517-527. DOI:10.1177/0018720811417254
- Johnson, A. W., Duda, K. R., Sheridan, T. B., & Oman, C. M. (2017). A closed-loop model of operator visual attention, situation awareness, and performance across automation mode transitions. *Human Factors*, 59, 229–241.
- Nitsch, V. (2013). *Situation Awareness in Autonomous Service Robots*. 10 Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme. Conference Paper.

Maschinenrichtlinie 2006/42/EG. *Richtlinie 2006/42/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG (Neufassung)*. Verfügbar unter: [http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=uriserv:OJ.L\\_.2006.157.01.0024.01.DEU](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=uriserv:OJ.L_.2006.157.01.0024.01.DEU)

Robelski, S. (2016). *Psychische Gesundheit in der Arbeitswelt Mensch-Maschine-Interaktion. Forschung Projekt F 2353*. Herausgegeben von der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. [https://www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Berichte/F2353-4d.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=14](https://www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Berichte/F2353-4d.pdf?__blob=publicationFile&v=14) [28.12.2018].

Venkatesh, V., & Davis, F. D. (2000). A Theoretical Extension of the Technology Acceptance Model: Four Longitudinal Field Studies. *Management Science*, 46(2), 186–204.

Venkatesh, V., Thong, J. Y., & Xu, X. (2012). Consumer Acceptance and Use of Information Technology: Extending the Unified Theory of Acceptance and Use of Technology. *MIS Quarterly*, Vol. 36, No. 1, pp. 157-178, 2012

Vollmer, A.M. (2015). *Entwicklung und Anwendung eines Modells zur Untersuchung soziotechnischer Faktoren bei der Einführung neuer Informationssysteme im klinischen Bereich*. Doktorarbeit an der Medizinischen Fakultät der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg.

**Danksagung:** Unser Dank gilt Ikram El Moussaoui, Haron Masuri und Lana Rahim für die exzellente Zusammenarbeit.



Gesellschaft für  
Arbeitswissenschaft e.V.

## Digitale Arbeit, digitaler Wandel, digitaler Mensch?

66. Kongress der  
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

TU Berlin  
Fachgebiet Mensch-Maschine-Systeme

HU Berlin  
Professur Ingenieurpsychologie

16. – 18. März 2020, Berlin

---

## GfA-Press

---

**Bericht zum 66. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 16. – 18. März 2020**

**TU Berlin, Fachgebiet Mensch-Maschine-Systeme**  
**HU Berlin, Professur Ingenieurpsychologie**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.  
Dortmund: GfA-Press, 2020  
ISBN 978-3-936804-27-0

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,
- 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.

**Screen design und Umsetzung**

© 2020 fröse multimedia, Frank Fröse

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