

## **Entwicklung einer Mensch-Roboter Schnittstelle für einen kollaborativen Drapierarbeitsplatz zur Herstellung von Verbundwerkstoffteilen**

Cathrin DEUTZ, Johannes ZYSK, Lea M. DALING, Johanna M. WERZ,  
Esther BOROWSKI, Ingrid ISENHARDT

*Lehrstuhl für Fertigungsmesstechnik und Qualitätsmanagement &  
Informationsmanagement im Maschinenbau (WZL-MQ/IMA),  
RWTH Aachen University, Dennewartstr. 27, 52068 Aachen*

**Kurzfassung:** Die Verwendung kollaborativer Roboter (Cobots) hat ein großes Potenzial, Fachkräften in der manuellen Fertigung die Arbeit zu erleichtern (Gervasi et al., 2023). Im Forschungsprojekt Robot-Assisted Composite PROduction (RaCPro<sup>1</sup>) wird eine Schnittstelle für eine funktionierende Zusammenarbeit von Fachkraft und Cobot entwickelt. Um die Akzeptanz der Fachkraft gegenüber dem Cobot zu steigern, besteht die Schnittstelle aus einer Projektion über dem Arbeitsplatz, die prozessbezogene Informationen direkt im Sichtfeld der Fachkraft darstellt, einer Tablet-Anwendung, durch die diese Prozessschritte des Cobots aufgezeigt und gestoppt werden können und einer Projektion vom Cobot aus, durch die der Fahrweg des Cobots angezeigt wird. Diskutiert wird vor allem die Auswahl geeigneter Medien zur Schnittstellengestaltung.

**Schlüsselwörter:** Mensch-Roboter-Schnittstelle, Mensch-Roboter-Kollaboration, Cobot, Medienauswahl

### **1. Einleitung**

Besonders in der Verbundwerkstoffindustrie wird aufgrund des steigenden Bedarfs an Individualisierung und Flexibilisierung der Produktion fast die Hälfte aller Faser-verbundbauteile manuell gefertigt (Reux & Mikdam 2019). Im Zuge des vorherrschenden Fachkräftemangels entstehen dabei insbesondere in kleinen und mittleren Unternehmen immer wieder Engpässe, sodass sie der Nachfrage des Marktes nur schwer gerecht werden können (Dammers et al. 2021). Um dem entgegenzuwirken, muss ein Umdenken in der Fertigung von Verbundwerkstoffen entstehen. Vollautomatisierte Anlagen in der Produktion bieten für kleine und mittlere Unternehmen jedoch nicht die nötige Flexibilität. Zudem ist eine vollautomatisierte Fertigung mit hohen Investitionskosten verbunden, die von den Unternehmen nicht getragen werden können.

Hier setzt das Forschungsprojekt Robot-Assisted Composite PROduction (RaC-Pro<sup>1</sup>) an und untersucht die Entwicklung eines von einem kollaborativen Roboter unterstützten Drapier-Arbeitsplatzes zur Herstellung qualitativ hochwertiger Faserverbunds-Bauteile mit unterschiedlichen Komplexitäten. Dabei soll der Cobot die Fach-

---

<sup>1</sup> Die Arbeiten werden innerhalb des Forschungsprojektes RaCPro - Robot-Assisted Composite PROduction (<https://racpro-aif.de/>) durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) als IGF-Vorhaben mit der Projektnummer 22611 N gefördert.

kraft während der einzelnen Arbeitsschritte unterstützen und zur Entlastung der Fachkraft beitragen. Der Erfolg eines solchen kollaborativen Mensch-Roboter-Arbeitsplatzes hängt dabei maßgeblich von der Zusammenarbeit mit der Fachkraft ab.

Damit die Zusammenarbeit von Fachkraft und Cobot möglichst reibungslos funktioniert, soll eine Schnittstelle zur Kommunikation zwischen Fachkraft und Cobot gestaltet werden. Durch die Schnittstelle wird eine Verbesserung der Zusammenarbeit und eine Effizienzsteigerung in der Kollaboration zwischen Fachkraft und Cobot erwartet. Zur Gestaltung einer solchen Schnittstelle, wurde zunächst eine Anforderungsanalyse an die Arbeitsplatzgestaltung durchgeführt, deren Ergebnisse in diesem Beitrag kurz vorgestellt werden. Anschließend wird die Auswahl der Medien, die Ausgestaltung der Schnittstelle diskutiert. Zum Abschluss wird ein Ausblick auf eine anschließende Usability Studie gegeben, welche die Steigerung der Akzeptanz der Fachkräfte gegenüber der Zusammenarbeit mit dem Cobot durch die Einführung der Schnittstelle, sowie deren Bedienbarkeit untersucht.

## **2. Anforderungen an das Arbeitsplatzdesign und Medienauswahl**

### *2.1 Anforderungsanalyse*

In einer vorangegangenen Analyse des manuellen Legeprozesses aus Sicht des Menschen, wurden Anforderungen an den kollaborativen Arbeitsplatz für die Herstellung von Verbundwerkstoffteilen abgeleitet (Lauwigi et al. 2023). Diese bestand aus einer Fokusgruppenstudie mit Führungspersonal kleiner und mittlerer Betriebe ( $n = 12$ ) sowie Experteninterviews mit Mitarbeitenden ( $n = 3$ ) über die Chancen und Risiken für die Zusammenarbeit mit einem Cobot. Zusätzlich wurde eine Beobachtungsstudie ( $n = 3$ ) durchgeführt, um den Drapierprozess näher kennenzulernen und mentale Modelle der Mitarbeitenden hierüber zu definieren.

In dieser Analyse wurden unter anderem auch Anforderungen an den Cobot festgehalten, wie beispielsweise Mobilität zum Durchqueren geräumiger Arbeitsplätze oder einem geeigneten Endeffektor, um die gewünschten Materialien zu handhaben. Des Weiteren wurde die Notwendigkeit für eine geeignete Schnittstelle zwischen Mensch und Cobot identifiziert, welche dabei hilft, den Cobot und seine Handlungen für den Mitarbeitenden verständlich zu machen (Lauwigi et al. 2023).

Die Probanden wünschten sich zudem, dass der Cobot bei ermüdenden, repetitiven Aufgaben unterstützt, die Mitarbeitenden weiterhin die Kontrolle über den Ablauf des Prozesses behalten und der Cobot selbstverständlich nicht zu einem gesteigerten Sicherheitsrisiko führt (Lauwigi et al. 2023). Hieraus ergeben sich erste Anforderungen an die Schnittstelle: So muss über diese eine Visualisierung des Prozesses sowie eine Kontrolle der Prozessschritte möglich sein. Der Cobot sollte über die Schnittstelle angehalten werden und darf das Arbeitsumfeld der Fachkraft nicht blockieren. Aus der Literatur ist zudem bekannt, dass das Anzeigen geplanter Bewegungen die Unsicherheit in der Zusammenarbeit mit einem Cobot reduzieren kann, was zu einer Akzeptanzsteigerung der Fachkraft gegenüber der Zusammenarbeit mit dem Cobot führen kann (Andersen et al. 2016).

Wie bei anderen Technologien auch, gilt es auch bei der Mensch-Maschine-Schnittstelle die Akzeptanz der Mitarbeitenden für das System, sowie dessen Usability zu beachten. Wenn diese gegeben ist, ist das System effizienter, effektiver, leichter verständlich und erlernbarer (Deutsches Institut für Normung e. V. 2017).

Aus der Anforderungsanalyse an den Arbeitsplatz ergeben sich zwei Forschungsfragen. Zum einen:

- Welche Medien können für die Mensch-Roboter-Schnittstelle eines kollaborativen Arbeitsplatzes für die Produktion von Verbundwerkstoffteilen eingesetzt werden? Und weiter:
- Welche Informationen sollten durch die Medien kommuniziert werden?

Um diese beiden Fragen zu untersuchen, wurden aufbauend auf den Ergebnissen der Anforderungsanalyse mögliche Medien zur Schnittstellenentwicklung ausgewählt. Das Vorgehen des Auswahlprozesses wird im Anschluss erläutert.

## *2.2 Auswahl geeigneter Medien*

Mögliche Medien für die Schnittstelle zwischen Mensch und Roboter wurden durch eine Literaturrecherche bestimmt und anschließend durch die definierten Anforderungen der Mitarbeitenden, der Tätigkeit und des Arbeitsplatzes einerseits sowie Kriterien aus der Literaturrecherche andererseits ausgewählt. Aus der Literatur identifizierte Medien für eine Schnittstelle wären beispielsweise Sprachkommandos (Bauer et al. 2008), Gestenerkennung (Berg et al. 2019), Touchscreens (Schneider & Deml 2016), non-verbale Audiosignale (Goodrich & Schultz 2007), Augmented Reality (Suzuki et al. 2022), Virtual Reality (Milgram & Kishino 1994) oder Laserprojektionen (Bolano et al. 2019).

Einige dieser Modalitäten wie beispielsweise Spracherkennung müssen bereits aufgrund der Produktionsumgebung in der manuellen Fertigung ausgeschlossen werden, da hier die Umgebungslautstärke eine fehlerfreie Kommunikation deutlich erschweren würde. Selbstverständlich darf das Medium die Sicht auf den Arbeitsplatz und die manuelle Tätigkeit auch nicht einschränken, was bei der Nutzung von Virtual Reality Lösungen der Fall wäre. Die Integration von Gestenerkennung in den Drapierprozess wäre schwierig, da der Vorgang des Drapierens fachkraft- und bauteilspezifisch ist, was eine allgemeine Gestenerkennung vor große Herausforderungen stellt. Auch dauern manuelle Drapierprozesse, je nach Werkteilkomplexität mehrere Stunden, weshalb es wichtig ist, dass das ausgewählte Medium über einen langen Zeitraum problemlos und komfortabel von den Fachkräften genutzt werden kann. Dies ist bei der Nutzung von Augmented Reality Brillen nicht immer gegeben, insbesondere auch dann, wenn die Fachkraft eine Sehschwäche hat (Daling et al. 2019). Dennoch sollte eine Echtzeit-Darstellung von Informationen direkt im Sichtfeld möglich sein, da hierdurch die Nutzenden die Absichten des Cobots sofort verstehen können, ohne die Aufmerksamkeit vom eigenen Arbeitsplatz abzuwenden (Bolano et al. 2019).

Außerdem ist es, wie in der oben beschriebenen Anforderungsanalyse festgestellt, den Fachkräften wichtig, die Kontrolle und Übersicht über den Prozess zu behalten (Lauwigi et al. 2023). Über das gewählte Medium sollte also zum Beispiel eine Visualisierung des momentanen Prozessschrittes, sowie das Steuern zukünftiger Prozessschritte möglich sein.

## *2.3 Ausgewählte Medien und zu kommunizierende Informationen*

Um prozessbezogene Informationen und die aktuellen Arbeitsschritte von Fachkraft und Cobot direkt im Sichtfeld darstellen zu können, wird ein Laserprojektionssystem verwendet, das über dem Arbeitsplatz angebracht wird. Dieses soll die geplanten

Aktionen des Cobots transparenter machen, um möglichen Unsicherheiten der Fachkraft entgegenzuwirken. Auch weitere prozessbezogene Informationen können so im Sichtfeld eingeblendet werden. Die Laserprojektion ist eine Ergänzung zu einer Tablet-Anwendung, welche die Steuerung des Prozesses, sowie eine Prozessübersicht ermöglicht und Erläuterungen zu den Arbeitsschritten des Cobots und der Fachkraft gibt. Außerdem hat die Anforderungsanalyse ergeben, dass der Cobot mobil sein muss, um sich am Arbeitsplatz frei bewegen zu können (Lauwigi et al. 2023). Um hierbei nicht Verunsicherungen bei den Fachkräften hervorzurufen und damit diese nicht den Fahrweg behindern, wird der Cobot über eine Projektion vor sich seinen geplanten Fahrweg darstellen. Bereits durch sehr einfache Projektionen lässt sich hierdurch die Unsicherheit von Menschen, die sich ebenfalls im Raum bewegen, deutlich verringern (Chadalavada et al. 2015).

Somit wird die Mensch-Roboter-Schnittstelle aus drei Teilen zusammengesetzt:

- einem Laserprojektionssystem über dem Arbeitsplatz,
- eine Tablet-Anwendung zur Prozessübersicht und -steuerung und
- ein Projektionssystem für die Visualisierung des Fahrweges des Cobots.

Die Medien sowie die zu kommunizierenden Informationen sind in Tabelle 1 noch einmal zusammengefasst.

**Tabelle 1:** Ausgewählte Medien für kommunizierende Informationen

Zu kommunizierende Information	Gewähltes Medium
Steuerung des Prozesses, Prozessübersicht, Erläuterungen zu den Arbeitsschritten, Videoaufnahmen des nächsten Prozessschrittes	Input über Tablet
Cobot starten oder stoppen	Input über Tablet / Knopf direkt am Cobot
Cobot soll ausweichen	Input über Tablet / Knopf direkt am Cobot
Fahrtrichtung des Cobots anzeigen	Laserprojektion
prozessbezogene Informationen, aktuelle Arbeitsschritte	Laserprojektion

### 3. Schnittstellengestaltung

Ziel der Tablet-Anwendung ist es, die Handlungen des Cobots für die Fachkraft transparent darzustellen. Hierfür sollte die Fachkraft zu jedem Zeitpunkt über die nächsten Arbeitsschritte des Cobots informiert sein. Zudem ermöglicht die Anwendung eine Steuerung des Cobots sowie des gesamten Prozesses.

So bietet die Anwendung zunächst eine bearbeitbare Übersicht über den Prozess. Anschließend werden die Nutzenden schrittweise durch den Prozess geleitet und erhalten Erläuterungen zu den unterschiedlichen Arbeitsschritten. Dies wird unterstützt durch Videoaufnahmen, in welchen zu sehen ist, welcher Teil eines Arbeitsschritts durch den Cobot und welcher durch die Fachkraft erledigt wird.

Der jeweils nächste Arbeitsschritt sowie der Cobot können über die Anwendung von der Fachkraft gestartet und gestoppt werden. Auch ein Wiederholen oder Überspringen von Arbeitsschritten ist über die Tablet-Anwendung möglich.

Die über die Tablet-Anwendung transportierten Informationen werden zukünftig über ein Laser-Projektionssystem über dem Arbeitsbereich ergänzt, welches während des jeweiligen Arbeitsschritts auf die Arbeitsfläche projiziert. Die Programmierung des Laserprojektionssystems befindet sich derzeit in Arbeit.

#### **4. Diskussion und Ausblick**

In dem vorliegenden Beitrag wurde die Medienauswahl und die Gestaltung einer Mensch-Roboter-Schnittstelle für den Einsatz eines Cobots in der Faserverbundstoff-Fertigung beschrieben. Hierbei wurden die Fragen beantwortet, welche Medien für eine Schnittstelle an solch einem kollaborativen Arbeitsplatz verwendet können und welche Informationen hierbei zur Verfügung gestellt werden.

Die analysierten Anforderungen an einen kollaborativen Arbeitsplatz sollen anhand einer Schnittstelle zur Kommunikation zwischen Cobot und Fachkraft durch eine Medienkombination gelöst werden. Es wurden eine Tablet-Anwendung, ein Laserprojektionssystem über dem Arbeitsplatz und ein Projektionssystem vor dem Cobot ausgewählt.

Durch die Tablet-Anwendung wird die Steuerung des Prozesses, die Visualisierung der Prozessschritte und die Erläuterung der einzelnen Arbeitsschritte des Cobots und der Fachkraft ermöglicht. In Kombination mit der Projektion, welche über dem Arbeitsplatz angebracht wird und durch welche prozessbezogene Informationen sowie die aktuellen Arbeitsschritte von Fachkraft und Cobot direkt im Sichtfeld dargestellt werden, werden die Aktionen des Cobots für die Fachkraft transparent gemacht. Da sich der Cobot während des Drapierprozesses bewegen wird, wird der Cobot durch eine weitere Laserprojektion den Fahrweg vor sich abbilden. So können Unsicherheiten gegenüber dem Cobot von Menschen, die sich ebenfalls im Raum befinden, verringert werden (Chadalavada et al. 2015). Mögliche Schwachstellen dieser Medienkombination können allerdings, Lichteinflüsse, welche die Projektionen stören oder die Benutzerfreundlichkeit während des Arbeitsprozesses der Tablet-Anwendung sein.

Im weiteren Projektverlauf wird eine Evaluation der Schnittstelle durchgeführt, um die Akzeptanz der Nutzenden für das System, die Benutzerfreundlichkeit der Schnittstelle zu überprüfen, sowie Feedback für die Schnittstelle einzuholen. Hierfür wird eine sogenannte Usability Studie durchgeführt, bei dem mehrere Nutzende das System testen, um bestehende Probleme zu entdecken (Nielsen 1994). Dafür erhalten die Nutzenden einige vordefinierte, anwendungsnahe Aufgaben, die alle Bereiche des Systems abdecken. Die Nutzenden sprechen ihre Gedanken, im Sinne des „lauten Denkens“ dabei laut aus (Holzinger 2005). Hierdurch können Probleme und Missverständnisse der Nutzenden schnell offengelegt werden. Mithilfe des Feedbacks aus der Usability Studie wird die Schnittstelle weiter verbessert werden.

Durch diese Schnittstelle wird eine Verbesserung der Zusammenarbeit zwischen Mensch und Cobot, sowie eine Akzeptanzsteigerung der Fachkraft gegenüber dem Cobot erwartet.

## 5. Literatur

- Andersen RS, Madsen O, Moeslund TB & Amor HB (2016). Projecting robot intentions into human environments. *Proceedings of the 25th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, 294–301. <https://doi.org/10.1109/ROMAN.2016.7745145>
- Bauer A, Wollherr D & Buss M (2008). Human-Robot Collaboration: A Survey. *International Journal of Humanoid Robotics*, 05(01), 47–66. <https://doi.org/10.1142/S0219843608001303>
- Berg J, Lottermoser A, Richter C & Reinhart G (2019). Human-Robot-Interaction for mobile industrial robot teams. *Procedia CIRP*, 79, 614–619. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.02.080>
- Bolano G, Juelg C, Roennau A & Dillmann R (2019). Transparent Robot Behavior Using Augmented Reality in Close Human-Robot Interaction. *28th IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)*, 1–7. <https://doi.org/10.1109/RO-MAN46459.2019.8956296>
- Chadalavada RT, Andreasson H, Krug R & Lilienthal A J. (2015). That's on my mind! robot to human intention communication through on-board projection on shared floor space, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ECMR.2015.7403771>
- Daling L, Abdelrazeq A, Sauerborn C & Hees F (2019). A Comparative Study of Augmented Reality Assistant Tools in Assembly. *Advances in Usability and User Experience. AHFE 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 972, 972, 755–767. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-19135-1\\_74](https://doi.org/10.1007/978-3-030-19135-1_74)
- Dammers H, Lennartz M, Gries T & Greb C (2021). Human-Robot Collaboration in Composite Preforming: Chances and Challenges. *CAMX Conference Proceedings*.
- Deutsches Institut für Normung e.V. (2017). *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion: Gebrauchstauglichkeit: Begriffe und Konzepte Teil 11 (DIN EN ISO 9241-11)*. Beuth Verlag GmbH.
- Gervasi R, Capponi M, Mastrogiacomo L & Franceschini F (2023). Manual assembly and Human–Robot Collaboration in repetitive assembly processes: a structured comparison based on human-centered performances. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 126(3-4), 1213–1231. <https://doi.org/10.1007/s00170-023-11197-4>
- Goodrich MA & Schultz AC (2007). Human-Robot Interaction: A Survey. *Foundations and Trends® in Human-Computer Interaction*, 1(3), 203–275. <https://doi.org/10.1561/11000000005>
- Holzinger A (2005). Usability engineering methods for software developers. *Communications of the ACM*, 48(1), 71–74. <https://doi.org/10.1145/1039539.1039541>
- Lauwigi J, Khodaei S, Dammers H, Abdelrazeq A & Isenhardt I (2023). Requirements for Designing a Collaborative Human-Robot Workstation for Composite Part Production. In: Stephanidis C, Antona M, Ntoa S & Salvendy G (Hrsg.), *HCI International 2023 Posters* (Bd. 1832, S. 93–100). Springer Nature Switzerland. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-35989-7\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-031-35989-7_11)
- Milgram P & Kishino F (1994). A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. *IEICE Transactions on Information Systems*, 12(77).
- Nielsen J (1994). Usability inspection methods. *Conference Companion on Human Factors in Computing Systems*, 413–414. <https://doi.org/10.1145/259963.260531>
- Reux F & Mikdam M (2019). Overview of the Global Composite Market 2018-2023: Continuing Growth. *JEC Composites Magazine*, Special Issue #1, 34–42.
- Schneider M & Deml B (2016). Evaluation einer multimodalen Mensch-Roboter-Schnittstelle. *Arbeit in komplexen Systemen-Digital, vernetzt, human*.
- Suzuki R, Karim A, Xia T, Hedayati H & Marquardt N (2022). Augmented Reality and Robotics: A Survey and Taxonomy for AR-enhanced Human-Robot Interaction and Robotic Interfaces. *Proceedings of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, Artikel 553, 1–33. <https://doi.org/10.1145/3491102.3517719>



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)