

Untersuchung des Einflusses informatorischer Assistenzsysteme auf die manuelle Montage

Werkerassistenz in der manuellen Montage

T. Pfeifroth, M. Dietsch, R. Mahlandt

Kürzere Innovations- und Produktlebenszyklen bringen eine höhere Variantenvielfalt in die Produktion. Infolge dessen ändern sich die Anforderungen an die Gestaltung der manuellen Montage. Werker müssen in kürzester Zeit befähigt werden, ein schnell wechselndes Produktportfolio fehlerfrei zu montieren. Zunehmend werden dafür diverse unterstützende Werkerassistenzsysteme eingesetzt. Dieser Beitrag veranschaulicht die Potenziale informatorischer Werkerassistenzsysteme.

STICHWÖRTER

Montage, Industrie 4.0, Produktionstechnik

Analysis of the Impact of Informational Assistance Systems on Manual Assembly – Operator Assistance in Manual Assembly

Shorter innovation and product life cycles increase the variety in production. In consequence, the requirements for the design of manual assembly are changing. Workers have to be enabled to assemble a rapidly changing product portfolio without errors in the shortest possible time. Various assistance systems are increasingly used to support the operator. This article presents the potential of informational assistance systems.

1 Herausforderungen in der manuellen Montage

Sowohl Privatpersonen als auch Firmen äußern starken Bedarf an individualisierten Produkten. Durch beispielsweise besondere Ausstattungen oder Farben bringen sie vielfältige Herausforderungen in der Produktion mit sich. Kleinere Losgrößen, komplexe Produkte sowie hohe Qualitätsanforderungen tragen zu einem spürbar gestiegenen Leistungsdruck für alle Beteiligten bei. Die manuelle Montage bietet eine Möglichkeit, flexibel auf sich ändernde Einflussgrößen zu reagieren und somit wettbewerbsfähig in einem dynamischen Markt zu bleiben. Um den damit verbundenen Herausforderungen zu begegnen, können auf den Montageprozess abgestimmte Assistenzsysteme die Werker unterstützen [1].

In einer praktischen Untersuchung wird der Einfluss von Assistenzsystemen auf den manuellen Montageprozess erforscht. Im Fokus stehen dabei die visuelle Display Technologie, ein Pick-by-Light System und die Werkstückerkennung mittels RFID. Die Ergebnisse hinsichtlich etwa der Anlernzeit, Prozessstabilität und subjektiv wahrgenommener Bearbeitungsdauer werden in diesem Beitrag vorgestellt.

2 Stand der Technik

Mitarbeiter in der Varianten- oder Mehrproduktmontage müssen zunehmend informatorische Arbeit leisten, da sie Aus-

wahlentscheidungen aufgrund unterschiedlicher Produkte, Werkzeuge oder Hilfsmittel treffen müssen [2]. Um diese dynamischen Wertschöpfungsprozesse zu steuern werden technische Unterstützungen benötigt, insbesondere kommen Assistenzsysteme zum Einsatz. Sie stellen kontextrelevante Informationen oder Kommunikationsmöglichkeiten zur Verfügung. Die Mitarbeiter werden bei der Durchführung des Montageprozesses unterstützt und das Fehlerpotenzial gesenkt. Damit einher geht eine Verbesserung der Prozessstabilität sowie geringere Ausschussquoten und Qualitätsmängel [3]. Werkerassistenzsysteme werden in zwei Kategorien eingeteilt:

- Energetische Assistenzsysteme – in der manuellen Montage weniger verbreitet und
- Informatorische Assistenzsysteme – häufiger eingesetzt in der manuellen Montage [3].

Bild 1 zeigt informatorische Assistenzsysteme im Überblick und kategorisiert nach Art ihrer Informationsvermittlung. Die vorliegende Untersuchung bedient sich mit der Display Technologie und dem Pick-by-Light System der visuellen Informationsvermittlung.

Die Display Technologie erlaubt die Darstellung einer nahezu unbegrenzten Anzahl an Informationen. Über die reine Entscheidungsunterstützung (zum Beispiel Arbeitsanweisung) hinaus sind zusätzliche Dokumentationshilfen, Kommunikationsverfahren oder Gefährdungswarnungen realisierbar. Bildschirme können sowohl stationär an einem Arbeitsplatz, als auch mobil verwendet werden. Verfügungen sie zudem über eine Eingabefunktion, stellen

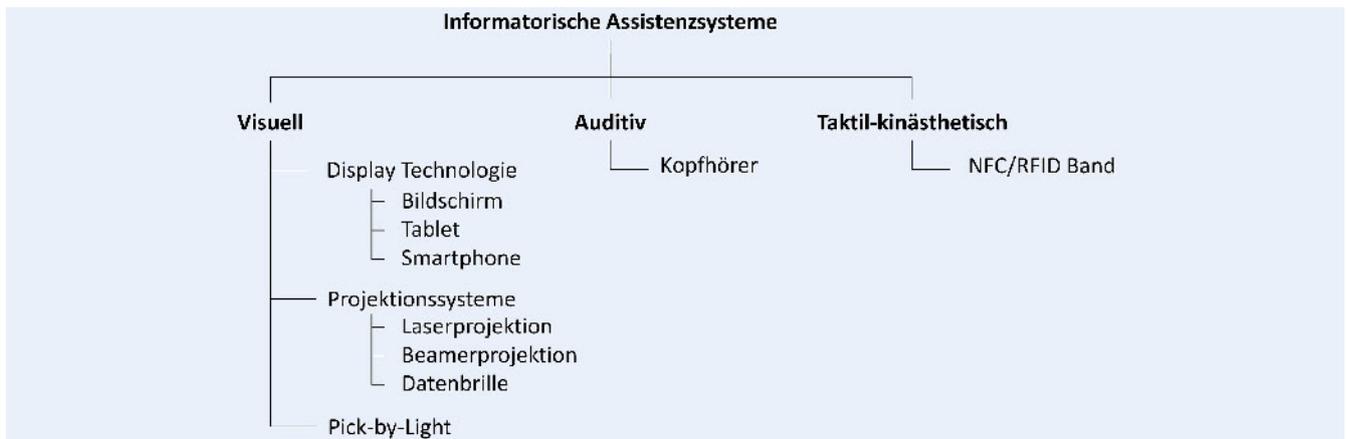


Bild 1. Gliederung informatorischer Assistenzsysteme (nach [3]). Bild: AG Montagetechnik, EAH Jena



Bild 2. Aufbau des Versuchsstandes. Bild: AG Montagetechnik, EAH Jena

sie eine multimodale Schnittstelle dar, die dem Werker Interaktion mit beispielsweise dem ERP-System des Unternehmens ermöglicht. [4]

Das Pick-by-Light System unterstützt den Werker bei der Materialentnahme. Ein Lichtsignal zeigt dem Werker an, aus

welcher Kiste das richtige Material aufzunehmen ist. Durch den Lichtimpuls entfallen Zeiten für das Lesen, Suchen, Identifizieren und Kontrollieren des korrekten Materials. Die Montagedauer lässt sich mithilfe dieses Systems entsprechend verkürzen. [5]

Eine aktuelle Umfrage des Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO zeigt, dass 36 % der befragten deutschen Industrieunternehmen bereits Werkerassistenzsysteme im Einsatz haben, weitere 15 % planen zukünftig den Einsatz [6]. Die Haupteinsatzgebiete der Systeme sind dabei Kleinserien in der Fertigung und Montage [6,7]. Die wichtigsten Funktionen der verwendeten Assistenzsysteme sind die Unterstützung bei der Arbeitsaufgabe, die Qualitätssicherung sowie das Prozessmanagement [8]. Realisiert wird die Assistenz in der Montage zumeist durch Visualisierung (67 %) [6].

Werkerassistenzsysteme zeigen im Produktionsumfeld ökonomische Potenziale zur Effizienzsteigerung, Prozessoptimierung und Datenanalyse [9]. Durch die Bereitstellung kontextsensitiver Informationen lassen sich insbesondere interne Produktionsprozesse wie die Produktivität oder Produktqualität optimieren [6].

Trotz des vorhandenen Potenzials erfolgt die Anwendung dieser Systeme im industriellen Umfeld langsam [8]. Bisherige hemmende Faktoren für den Einsatz sind vor allem die hohen Kosten, fehlende technische Voraussetzungen sowie Unklarheit über die sachgerechte Anwendung [6].

3 Versuchsaufbau

Um die in Kapitel 2 beschriebenen Potenziale von Werkerassistenzsystemen zu eruieren, wird eine Untersuchung durchgeführt. Hierbei sollen ausgewählte beschäftigungsbezogene und organisationsbezogene Vor- beziehungsweise Nachteile an einem manuellen Montagearbeitsplatz analysiert werden. Dies wird anhand eines Werkstücks untersucht, welches sich mit einer papierhaften Arbeitsanweisung oder unter Zuhilfenahme von Assistenzsystemen montieren lässt. Als Indikatoren zur Untersuchung können demnach im Vergleich die Montagezeit, die Fehlerquote sowie die allgemeine Prozessstabilität betrachtet werden. Bei der Untersuchung fokussieren sich die eingesetzten Assistenzsysteme auf vorrangig visuelle sowie informatorische Assistenzsysteme, da diese im Kontext der manuellen Montage häufiger angewendet werden.

Der grundsätzliche Aufbau des manuellen Montagearbeitsplatzes gliedert sich in eine Arbeitsfläche von 800 x 400 mm, zwei

Materialkisten sowie einem elektrischen Schraubsystem (siehe **Bild 2**). Der Versuch wird in zwei Versuchsreihen unterteilt. Die Versuchsreihe 1 entspricht der Montage unter Zuhilfenahme einer papierhaften Anweisung. Der Proband erhält keine Unterstützung durch Assistenzsysteme oder andere digitale Medien. Die Versuchsreihe 2 enthält die Montage des Versuchswerkstücks unter Zuhilfenahme der Assistenzsysteme. Der Proband wird durch die informativischen Systeme in der Ausübung der Montage Tätigkeit unterstützt und angeleitet. Der Arbeitsplatz wird daher für die Versuchsreihe 2 um je ein Tablet zur Visualisierung der Prozessschritte und zur Darstellung der Schraubergebnisse erweitert. Weiterhin sind folgende Assistenzsysteme vorhanden:

- Pick-by-Light System: signalisiert dem Mitarbeiter die korrekte Materialkiste, aus welcher das Bauteil entnommen werden soll.
- Werkstückerkennung mittels RFID: liest automatisch das Werkstück ein.
- Kamera: überprüft die korrekte Ausführung der Fertigungsschritte.

Alle Statusinformationen der jeweiligen Systeme fließen über eine Brokerarchitektur dem Tablet zu, das situationsgerecht die passende Fertigungsinformation anzeigt. Durch die Verknüpfung aller Systeme können qualitäts- und prozessrelevante Parameter eingehalten und rückverfolgt werden.

Der Arbeitsumfang während der Montage umfasst die Entnahme des Werkstücks aus dem Materiallager, das Platzieren auf dem Arbeitsplatz, das Verschrauben der korrekten Schraube an allen fünf Positionen und dem abschließenden Ablegen im Fertigwarenlager.

Bei den zu montierenden Versuchswerkstücken handelt es sich um Stahlplatten (siehe **Bild 3**), auf welchen Schrauben mit unterschiedlichen Durchmessern verschraubt werden. Die fünf Innengewindebohrungen M5/M6 sind in unterschiedlicher Reihenfolge angeordnet und bei einer flüchtigen Betrachtung nicht sofort unterscheidbar. Diese Werkstücke eignen sich aufgrund ihrer Robustheit auch für den Einsatz mit Probanden, die bisher noch keine Erfahrungen im Bereich der Montage vorweisen können.

Die insgesamt 40 Probanden verfügen vor dem Versuch über keine Vorkenntnisse bezüglich des Versuchswerkstücks und dessen Montage. Damit wird eine Verfälschung der Ergebnisse durch etwaige bereits vorhandene Produktionskenntnisse vermieden. Die Probanden führen immer fünf Montagen mit jeweils unterschiedlichen Bauteilen durch. Eine Versuchsreihe wird immer in 2-er Gruppen durchlaufen, wobei der zweite Proband die Handlungsschritte des ersten Probanden beobachtet. Demzufolge verfügt der zweite Proband (Versuchsreihe 1.b beziehungsweise 2.b) im Gegensatz zum ersten Probanden (Versuchsreihe 1.a beziehungsweise 2.a) im Anschluss über Vorkenntnisse bezüglich der Montage der Werkstücke. Jede Gruppe absolviert ausschließlich die Versuchsreihe 1 oder 2, es findet keine Mischuntersuchung statt (siehe **Tabelle 1**). Der Versuchsleiter stoppt die Montagezeiten und beobachtet den Montageprozess.

4 Potenziale von Assistenzsystemen

Die Untersuchungsergebnisse spiegeln den Einfluss der Werkerassistenzsysteme auf die Anlernzeiten wider. Durch den Einsatz der Assistenzsysteme sind die Montagezeiten der Probanden aus der Versuchsreihe 2.a um durchschnittlich 18 % niedriger als die Montagezeiten der Probanden aus Versuchsreihe 1.a.

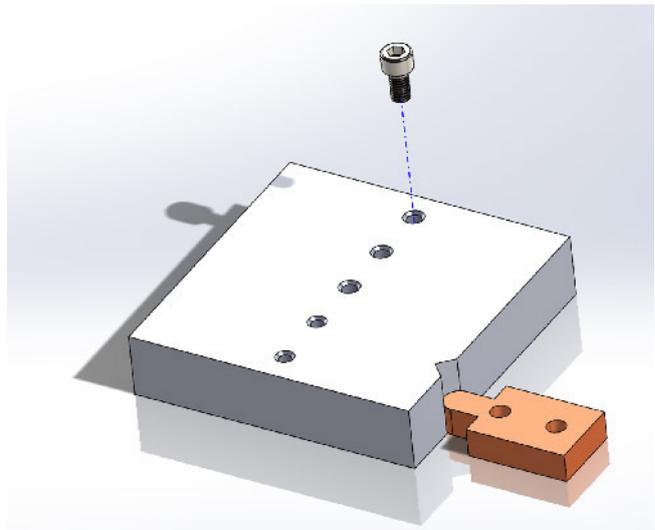


Bild 3. Versuchswerkstück mit Einspannvorrichtung.
Bild: AG Montagetechnik, EAH Jena

Tabelle 1. Überblick Versuchsdurchführung

Eckpunkte der Untersuchung
• 40 Probanden
• 3 Versuchswerkstücke mit unterschiedlich angeordneten M5/M6 Gewinden
• 10 Montageschritte
• Versuchsreihe 1.a: Ausschließlich papierhafte Anweisung (ohne Vorkenntnisse)
• Versuchsreihe 1.b: Ausschließlich papierhafte Anweisung (mit Vorkenntnissen)
• Versuchsreihe 2.a: Mit Assistenzsystemen (ohne Vorkenntnisse)
• Versuchsreihe 2.b: Mit Assistenzsystemen (mit Vorkenntnissen)

Besonders hoch sind die Zeitverbesserungen in den ersten drei Montagen. Beispielsweise wurde die Montagedauer (arithmetischer Mittelwert) im ersten Montageprozess der Versuchsreihe 2.a durch die Assistenzsysteme im Vergleich zur Versuchsreihe 1.a um 48 Sekunden reduziert (siehe **Bild 4**). In den folgenden Montageprozessen verringern sich die zeitlichen Unterschiede zwischen den Versuchsreihen. Die durchschnittliche Montagedauer der Versuchsreihe 1.a liegt jedoch zu keinem Zeitpunkt unter der durchschnittlichen Dauer der Versuchsreihe 2.a. Die Zeitdifferenz der Versuchsreihen im abschließenden 5. Montageversuch beläuft sich auf über sieben Sekunden.

Eine Annäherung der Montagezeiten ist bei dem gewählten Werkstück mit steigender Anzahl an Montagen zwar erkennbar, der positive Einfluss der Werkerassistenz auf die Anlernzeit ist trotzdem klar ersichtlich. Die Verringerungen der Montagezeiten sind nach der Beobachtung auf die reduzierte Fehleranfälligkeit und die durch die Assistenzsysteme reduzierten sprachlichen Barrieren zurückzuführen. Insbesondere die Zuweisung der korrekten Montageanleitung, die Aufnahme der korrekten Schraube und die vollständige Umsetzung der Arbeitsschritte, konnten durch die Assistenten verbessert werden. Dadurch

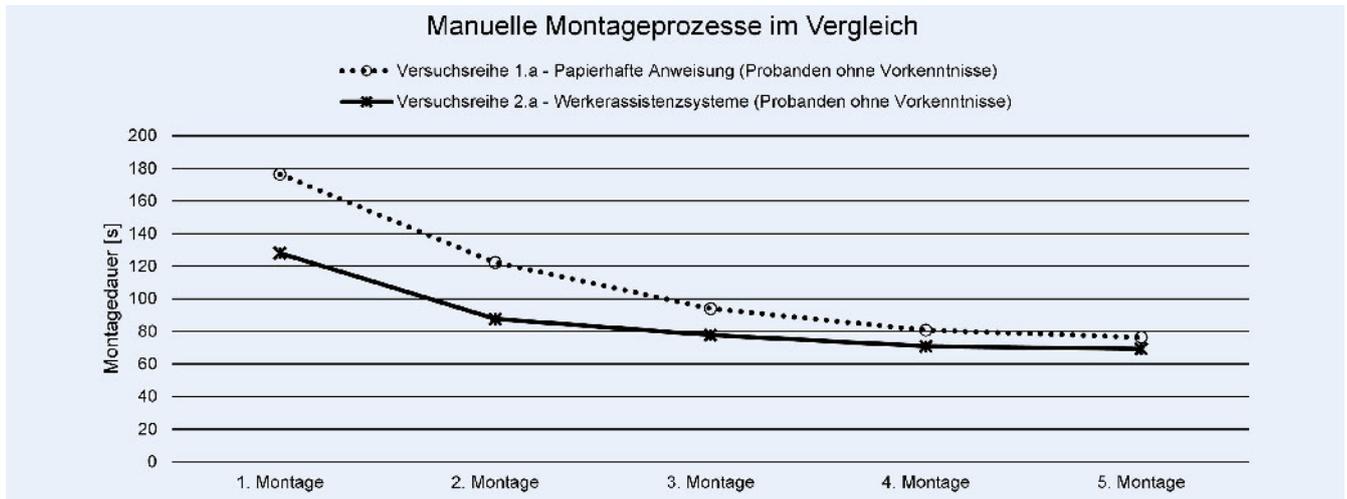


Bild 4. Montagezeiten der Versuchsreihe 1.a (ohne Assistenzsysteme) und 2.a (mit Assistenzsystemen) im Vergleich. Bild: AG Montagetechnik, EAH Jena

Tabelle 2. Streubreiten der Messwerte im Vergleich.

Versuchsreihe	Montagedurchlauf	Mittelwert [s]	Standardabweichung [s]
Versuchsreihe 1.a: Ausschließlich papierhafte Anweisung (ohne Vorkenntnisse)	1	176,4	48,5
	2	122,3	25,6
	3	93,9	23,1
	4	80,8	19,5
	5	76,4	13,9
Versuchsreihe 2.a: Mit Assistenzsystemen (ohne Vorkenntnisse)	1	128,0	21,8
	2	87,6	19,6
	3	77,7	13,6
	4	70,9	11,4
	5	69,2	10,6

werden Verlustzeiten minimiert und die Produktivität im Anlernprozess gesteigert.

Weiterhin ist die Streuung der aufgenommenen Messwerte in Versuchsreihe 2.a deutlich geringer als in Versuchsreihe 1.a (**Tabelle 2**). Die Assistenzsysteme begünstigen demnach einen definierten und strukturierten Montageablauf, bei dem der Werker durch den Prozess geführt wird. Die Montagezeiten sind daher nicht so stark von den persönlichen Fähig- und Fertigkeiten der jeweiligen Werker abhängig. Dies wiederum bewirkt, dass Werker unabhängiger hinsichtlich ihrer Kenntnisse über das Produkt oder die Anlage eingesetzt werden können. Somit wird die Flexibilität des Werkers erhöht und eventuelle Ausfallzeiten reduziert.

Als Ergänzung zu der quantitativen Messung wurden die Probanden über deren subjektiv wahrgenommene Bearbeitungsgeschwindigkeit befragt. Diesbezüglich stimmten die objektiv gemessenen Montagezeiten mit den persönlich empfundenen Montagegeschwindigkeiten überein. Der Einsatz von Assistenzsystemen bewirkt daher nicht nur eine messbare Verbesserung der Anlernzeit, sondern ebenfalls eine subjektiv empfundene schnellere Bearbeitung.

Ferner wurde der Einfluss der vorherigen Beobachtung des Fertigungsprozesses auf die anschließende Montagedauer analysiert – Versuchsreihen b. Hierbei konnten alle Probanden, die den Versuch beobachtet hatten, die Montagezeit im Schnitt um mindestens 11 % senken. Die Verhaltensbeobachtung hat demzufolge einen positiven Einfluss auf den angeschlossenen Montageprozess.

Durch den Einsatz der Assistenzsysteme verbesserte sich nicht nur die Bearbeitungsgeschwindigkeit, sondern ebenfalls die Fertigungspräzision. Während jeder vierte Proband der Versuchsreihe 1 Nachfragen bezüglich der Positionierung des Bauteils, der korrekten Verschraubungsposition, dem Umgang mit dem Schrauber oder der Entnahme der korrekten Schraube hatte, so wurden diese Informationen innerhalb der Versuchsreihe 2 durch die Assistenzsysteme fachgerecht vermittelt. Dies spiegelte sich vorrangig in den geringeren Nachfragen der Probanden und den niedrigeren Komplikationen während der Bearbeitung wider. Durch animierte Grafiken und die interaktive Anweisung war es den Probanden möglich, den Fertigungsprozess und die zugehörigen Handlungsschritte eindeutig zu verstehen und fehlerfrei durchzuführen.

Ebenso wurde durch den Einsatz der Assistenzsysteme garantiert, dass die Montage in einem vorher definierten Rahmen ausgeführt wird. Der Werker ist nicht in der Lage, die Fertigungsreihenfolge zu ändern oder gar Arbeitsschritte zu überspringen. Das wiederum beugt eigenständigen Anpassungen der Schrittfolge vor und verhindert so potenzielle Fehler, die gegebenenfalls eine Beschädigung des Bauteils oder im schlimmsten Fall eine Gefährdung für Menschen und Umwelt hervorruft.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Werkerassistenzsysteme beeinflussen in der manuellen Montage die Produktivität, Qualität und Anlernzeit positiv. Bereits bei Produkten mit geringer Komplexität ist ein Einsparpotenzial vorhanden. Die durchgeführten Versuchsreihen zeigen, dass bereits eine geringe Anzahl sinnvoll angewandter Assistenzsysteme eine Reduzierung der Montagezeiten hervorruft. Die Potenziale von Werkerassistenzsystemen sind daher bei technologisch anspruchsvolleren Produkten noch größer einzuschätzen. Insbesondere die Vernetzung sowie Kommunikation mehrerer Systeme untereinander ist ein weiterer Erfolgsfaktor für die sachgerechte Anwendung.

Als aktuell großen Trend in der Entwicklung sind projektionsbasierte Assistenzsysteme anzusehen. Insbesondere die Augmented Reality Technologie entwickelte sich in den letzten Jahren von einer Zukunftstechnologie hin zu einem System das praktikabel eingesetzt werden kann [10]. Zukünftig sind daher die Beherrschung der Varianz durch Augmented Reality Technologien, die intelligente Interaktion der Assistenten untereinander sowie die adaptive und individualisierte Unterstützung des Mitarbeiters als Schwerpunkte im Bereich der Werkerassistenz anzusehen [11].

DANKSAGUNG

Das Projekt wird durch die Carl-Zeiss-Stiftung gefördert.



Literatur

- [1] Zäh, M.; Reinhart, G.: Assistenzsysteme in der Produktion. *wt Werkstatttechnik online* 104 (2014) 9, S. 516
- [2] Bornwasser, M.; Bläsing, D.; Hinrichsen, S.: Informatrische Assistenzsysteme in der manuellen Montage: Ein nützliches Werkzeug zur Reduktion mentaler Beanspruchung? *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* 72 (2018) 4, S. 264–275
- [3] Hinrichsen, S.; Bendzioch, S.; Nikolenko, A. et al.: Einsatzpotenziale von Montagesassistentensystemen. *HOB – Die Holzbearbeitung* (2018) 11, S. 26–28
- [4] Schreiber, W.; Zürl, K.; Zimmermann, P. (Hrsg.): *Web-basierte Anwendungen Virtueller Techniken. Das ARVIDA-Projekt – Dienste-basierte Software-Architektur und Anwendungsszenarien für die Industrie.* Berlin: Springer Vieweg 2017
- [5] Arnold, D.; Furmans, K.: *Materialfluss in Logistiksystemen.* Berlin: Springer Vieweg 2019
- [6] Klapper, J.; Gelec, E.; Pokorni, B. et al.: Potenziale Digitaler Assistenzsysteme. Aktueller und zukünftiger Einsatz digitaler Assistenzsysteme in produzierenden Unternehmen.
- [7] Bannat, A.: Ein Assistenzsystem zur digitalen Werker-Unterstützung in der industriellen Produktion. Dissertation, Technische Universität München, 2014
- [8] Blumberg, V. S. L.; Kauffeld, S.: Anwendungsszenarien und Technologiebewertung von digitalen Werkerassistenzsystemen in der Produktion – Ergebnisse einer Interview-Studie mit Experten aus der Wissenschaft, der Politik und der betrieblichen Praxis. Gruppe. Interaktion. Organisation. *Zeitschrift für Angewandte Organisationspsychologie (GIO)* (2020) 51, S. 5–24
- [9] Manyika, J.; Chui, M.; Bisson, P. et al.: *The Internet of Things: Mapping the Value Beyond the Hype.* McKinsey Global Institute (2015)
- [10] Lacueva Pérez, F. J.; Brandl, P.; Gracia Bandrés, M. A.: *Technology Monitoring: Report on Information Needed For Workers in the Smart Factory* (2016)
- [11] Apt, W.; Schubert, M.; Wischmann, S.: *Digitale Assistenzsysteme. Perspektiven und Herausforderungen für den Einsatz in Industrie und Dienstleistungen* (2018)



Prof. Dr.-Ing. **Tobias Pfeifroth**
Bild: Rainer Bez

Maximilian Dietsch, M. Sc.

Reena Mahlandt, B. Sc.

Ernst-Abbe-Hochschule Jena
Fachbereich Wirtschaftsingenieurwesen
Carl-Zeiss-Promenade 2, 07754 Jena
Tel. +49 3641 / 205-948
tobias.pfeifroth@eah-jena.de
www.wi.eah-jena.de