

Entwicklung und Evaluation eines digitalen Assistenzsystems für heterogene Montagetätigkeiten

Digitale Assistenz für Montagetätigkeiten in KMU

L. Eiler, J. Hanebeck, K. Klöpfer, R. Hägle, T. Brander, D. Breunig

ZUSAMMENFASSUNG In diesem Beitrag werden die Konzeption, die Entwicklung und die Evaluierung eines digitalen Assistenzsystems zur Kommunikation und Interaktion bei heterogenen Montageaufgaben in KMU vorgestellt. Unter Einbindung von Mitarbeitenden zweier KMU wurde das Assistenzsystem iterativ prototypisch in Form von Tablet-Apps umgesetzt. Die Nutzerstudie zeigt, dass die Digitalisierung von Kommunikation und Arbeitsabläufen über Tablets Montagemitarbeitende zu effizienterer und zufriedenstellender Arbeit befähigt.

STICHWÖRTER

Digitalisierung, Mensch und Technik, Montage

Digital assistance for assembly work in SMEs – Development and evaluation of a digital assistance system for heterogeneous assembly tasks

ABSTRACT This article presents a mobile assistance system for communication and interaction in heterogeneous assembly tasks in SMEs. The assistance system was iteratively developed as a prototype tablet app with the involvement of assembly workers from two SMEs. The user study shows that the digitalization of communication and work processes via tablets enables assembly employees to work more efficiently and satisfactorily.

1 Motivation und Problemstellung

In den Montageprozessen kleiner und mittlerer Unternehmen (KMU) werden wichtige Arbeitsschritte oder Kommunikationsbedarfe zur Klärung technischer Details zwischen den Montagemitarbeitenden und den am Prozess beteiligten Fachabteilungen überwiegend konventionell und in analoger Form abgewickelt [1]. Die fehlende Synchronisation zwischen verschiedenen Listen (wie Stücklisten, Prüflisten, Dokumentationen) und Programmen (zum Beispiel ERP, CAD) sind eine große Herausforderung. Rücksprachen werden per E-Mail, Telefon oder persönlich mit Stift und Papier am jeweiligen Arbeitsplatz durchgeführt. Gerade bei variantenreichen Montageaufgaben steigen die Produktivitätsverluste [2].

Als letzte Stufe der Wertschöpfungskette eines Produkts ist die Montage besonders anfällig für das Auftreten von Fehlern, welche in vorhergehenden Prozessphasen verursacht wurden [3]. Qualitative Fehler, definiert als Qualitätsmängel, Konstruktionsfehler, fehlende Materiallieferungen oder technische Detailfragen bei der Montage, erfordern die Kommunikation und Interaktion zwischen den Montagemitarbeitenden und Vorgesetzten oder der zuständigen Fachabteilung. Trotz der zunehmenden Digitalisierung der Arbeit und des verstärkten Einsatzes von Informations- und Kommunikationstechnologien im privaten und beruflichen Kontext bleiben die Kommunikationswege in der Montage oft unverändert. Gleichzeitig wird die bisher übliche analoge Interaktion und Kommunikation durch eine zunehmende Verbreitung

von Telearbeit sowie die damit einhergehende dezentrale Organisation der am Prozess beteiligten Fachabteilungen erschwert. Außerdem wird die Kommunikation behindert, da Montagemitarbeitende als „deskless“ Mitarbeitende keinen regelmäßigen Zugang zu Computern oder E-Mails haben [4, 5].

Trotz varierender Prozesse und Bauteile gibt es in der Montage im Vergleich zu anderen Fertigungsprozessen einen stark reduzierten Katalog an denkbaren Fehlerursachen. Diese sind als eine begrenzte Menge von Fehlern definiert, wie „vergessen“, „vertauscht“ oder „falsch gefügt“ [6].

KMU in Deutschland haben eine Beschäftigungszahl von unter 500 Mitarbeitenden [7]. Sie sind oft mit heterogenen Kundenanforderungen konfrontiert, die meist in Form kundenspezifischer Lösungen bedient werden. Daraus ergeben sich im Vergleich zu Großunternehmen nur geringe bis mittlere Absatzmengen in Kombination mit einer sehr großen Variantenvielfalt.

Im Projekt wurden zwei deutsche Unternehmen mit variantenreicher Montage als Anwendungsfälle betrachtet. Unternehmen 1 beschäftigt circa 250 Mitarbeitende und stellt unter anderem Lötanlagen her, die meist mit Stückzahl 1 auf den spezifischen Anwendungsfällen zugeschnitten werden. Das zweite Unternehmen stellt verschiedene Geräte, Maschinen und Anlagen zum Handling von Gasen her. Das Unternehmen beschäftigt circa 300 Mitarbeitende. Das Produktportfolio von Unternehmen 2 umfasst Einzelfertigungen, kleine Stückzahlen und Kleinserien. Beide Unternehmen haben durch das breite Produktportfolio und Einzelfertigungen eine hohe Varianz in der Montage.

2 Automatisierte Assistenzsysteme für die Montage

Im Folgenden werden Lösungsansätze für die eingangs beschriebenen Probleme in der Montage anhand bestehender Assistenzsysteme vorgestellt.

2.1 Stand der Technik

Es existieren bereits Arbeiten, die sich mit Unterstützungs möglichkeiten im Bereich der Montage beschäftigen. Folgend werden Lösungen vorgestellt, die dem Projektziel der vorliegenden Arbeit nahekommen.

Problemstellung 1: Fehlende Synchronisation zwischen verschiedenen Listen und Programmen

Hier ist das Worker-Kommunikationssystem „Operations1“ zu nennen, das auf mobilen Geräten wie Tablets installiert und zur digitalen Dokumentation von Arbeitsanweisungen und Checklisten eingesetzt werden kann [8]. Digitale Prüfpläne können mit dem Taskmanagement einzelnen Mitarbeitenden zugewiesen werden. Die Software kann an ERP- und MES-Systeme angebunden werden. Allerdings wird von Operations1 eine Anzahl von mindestens 500 Mitarbeitenden vorgeschrieben, um eine Lizenz zu erwerben.

Einen ähnlichen Ansatz verfolgt die Anwendung „Testify“, die analoge Papierchecklisten wie Montageanleitungen durch ein digitales System ersetzt [9]. Auch eine Mängelerfassung innerhalb der Checklisten ist möglich. Das System ist insbesondere für die Montage konzipiert. Beispielsweise können KPIs zur Analyse von Qualität und häufigen Mängeln ausgegeben werden. Kunden von Testify sind überwiegend produzierende Großunternehmen.

Digitale Arbeitsanweisungen und Auftragsinformationen können auch über die Software von VKS bereitgestellt werden [10]. Das Assistenzsystem kann auf Tablets verwendet werden und unterstützt Mitarbeitende unter anderem bei der Qualitätsprüfung während der Prozesse.

Problemstellung 2: Kommunikation durch Telearbeit sowie dezentrale Organisation erschwert

Klassische Chat-Plattformen wie Microsoft Teams kommen in den meisten Unternehmen zur internen Kommunikation zum Einsatz. Allerdings ergeben sich für die Kommunikation von Fehlern in der Montage hier gewisse Limitationen im Tracking und bei Benachrichtigungen, da die Systeme nicht für diesen Anwendungsfall vorgesehen sind. Zudem sind sie nicht für die strukturierte Meldung von Fehlern und deren Tracking vorgesehen.

Problemstellung 3: Montagemitarbeitende ohne regelmäßigen Zugang zu Computern und Mails

Der Assistent der SightProc GmbH ist ein app-basiertes System für digitale Montageanleitungen. Nach dem Scannen eines Barcodes werden die Montagemitarbeitenden durch ein Pick-by-Light-System und visuelle Einblendungen über einen Beamer durch den Montageprozess geführt [11]. Laufwege zum Computer mit CAD-Dateien können so reduziert werden, allerdings muss das System für visuelle Einblendungen für jeden Arbeitsplatz fest eingerichtet werden und ist dadurch wenig portabel.

2.2 Forschungsbedarf

Die vorgestellten Systeme sind in erster Linie für die Anwendung in der standardisierten manuellen Montage im Rahmen der Großserienfertigung konzipiert. Dementsprechend ist anfangs ein hoher personeller und somit finanzieller Aufwand erforderlich, um das System an den jeweiligen Montageprozess anzupassen.

Speziell bei Montage- und Kommunikationsprozessen in KMU sind die Unterschiede im Vergleich zu Großunternehmen mit Serienfertigungen groß. Bei KMU stehen meist geringere Budgets für die Einführung von Software und Assistenzsystemen zur Verfügung. Gleichzeitig liegen weniger komplexe IT-Systeme und Prozesse bei den KMU vor [12]. Kürzere Entscheidungswege und eine häufig vorliegende Hands-on-Mentalität können die Einführung von Assistenzsystemen zusätzlich beeinflussen [13]. Daraus ergibt sich die erste Fragestellung, die innerhalb des durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Forschungsprojekts „SAM-KI“ adressiert wurde:

1. Wie können niedrigschwellige, adaptive und kostengünstige Assistenzsysteme für KMU gestaltet werden, die heterogene Montagetätigkeiten unterstützen?

Mitarbeitende in KMU und in der Montage sind aktuell noch kaum mit der Verwendung digitaler Tools während der Arbeit vertraut. Aktuelle Prozesse erfolgen häufig papierbasiert und die Mitarbeitenden teilen sich gemeinsame Bildschirmarbeitsplätze, beispielsweise wenn CAD-Modelle eingesehen werden müssen. Die Kommunikation läuft überwiegend analog ab, da auch E-Mails nur verzögert eingesehen werden können.

Hieraus ergibt sich die zweite Fragestellung, die innerhalb von SAM-KI betrachtet wurde:

2. Wie gehen Mitarbeitende in KMU mit der Einführung neuer Assistenzsysteme um und wie können diese Veränderungsprozesse aus arbeitsorganisatorischer Sicht unterstützt werden?

3 Digitale Assistenz für die manuelle Montage in KMU: SAM-KI

Die Vorgehensweise im Vorhaben zeichnet sich dadurch aus, dass im gesamten Entwicklungsprozess einerseits Engineering-Methoden und andererseits Methoden aus dem User Centered Design (UCD) verwendet werden. Da es sich bei dem Zielsystem um ein soziotechnisches System handelt, sollten bereits von Beginn an die Bedürfnisse der Montagemitarbeitenden berücksichtigt sowie technische Limitationen dokumentiert werden.

3.1 Anwendungsfälle und spezifische Anforderungen

Im Rahmen der Anforderungsanalyse wurde in beiden Unternehmen zunächst eine allgemeine Befragung der Mitarbeitenden durchgeführt ($n_1 = 10$; $n_2 = 11$). Ziel war es, demografische Daten zur Charakterisierung der Nutzengruppe, Unterschiede in den Erfahrungen sowie bestehende Fehlerquellen in der Montage zu erfassen. Dabei kamen der Fragebogen zu digitalen Kommunikations- und Kollaborationsfähigkeiten [14], der Kurzfragebogen zur Arbeitsanalyse (KFZA) [15] sowie die Utrecht Work Engagement Scale (UWES) [16] zum Einsatz. Zusätzlich wurden die Teilnehmenden zur Häufigkeit und Art von Fehlern während der Arbeit befragt.

Ergänzend zu den Befragungen erfolgte eine Analyse der bestehenden Arbeitsprozesse ohne Assistenzsystem anhand von

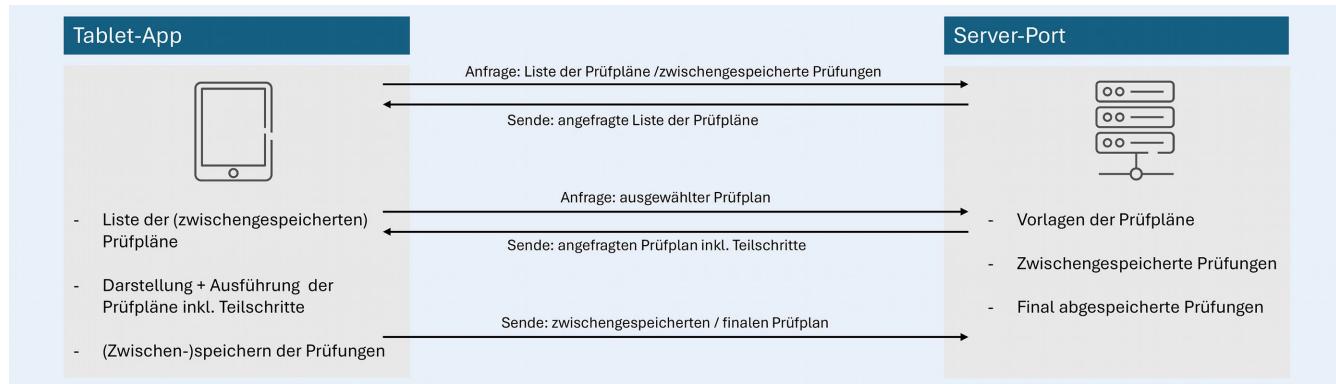


Bild 1. Informationsaustausch zwischen Assistenzsystem und Server, beispielhaft für die App „SAM-KI-Check“. *Grafik: Fraunhofer IPA*

Videoaufzeichnungen. Mehrere Kameras wurden mit unterschiedlichen Perspektiven positioniert, um Parameter wie Dauer, Art und Anzahl der Montageschritte sowie die Anzahl der beteiligten Mitarbeitenden zu erfassen. Neben den Videoaufnahmen wurden auch Fotos der Arbeitsplätze erstellt und ergänzend offene Interviews zum Arbeitsalltag durchgeführt. Die gewonnenen Erkenntnisse dienten als Grundlage für die Erstellung eines Lastenhefts, in welchem spezifische Anforderungen für die Entwicklung des Assistenzsystems abgeleitet wurden. Das genaue Vorgehen zur menschzentrierten Anforderungsanalyse im Rahmen des Projekts ist in [17] zusammengefasst.

Die Ergebnisse zeigen, dass digitale Kollaborationsfähigkeiten in den Unternehmen bislang kaum erforderlich waren, weshalb die Vorerfahrungen in diesem Bereich gering ausfallen.

Die Analyse der Arbeitsabläufe ergab, dass die Mitarbeitenden oft auf Papierpläne zurückgriffen, um Bauteile zu montieren, oder zu stationären Computern gehen mussten, um beispielsweise Fehler in Konstruktionszeichnungen identifizieren zu können.

Während der Befragungen bestätigten die Mitarbeitenden die Annahme, dass Fehler häufig bereits in der Konstruktionsphase entstehen, jedoch erst in der Montage, etwa durch fehlerhafte Bohrungen, sichtbar werden. Die Behebung solcher Probleme kann je nach Schweregrad zwischen 30 und 60 Minuten oder im Falle gravierender Konstruktionsfehler sogar bis zu einem halben Tag in Anspruch nehmen.

3.2 Konzeption und Entwicklung des Assistenzsystems SAM-KI

Auf Basis der Anforderungsanalyse wurden für die folgenden Phasen drei Hauptfunktionalitäten des Assistenzsystems (Kommunikation von Fehlern über ein Ticket-System, Kommunikation über Videoanrufe, Dokumentation von Qualitätsprüfungen) in den Mittelpunkt gestellt.

Für die Systementwicklung wurden die Ergebnisse der Anforderungsanalyse genutzt, um Papierprototypen zu entwickeln, die zeigen, wie das Assistenzsystem aussehen könnte und welche Features für die Nutzenden relevant sind. Danach wurden die ersten Papierprototypen den Teilnehmenden der KMU vorgestellt, um die Konzepte anhand ihrer Anforderungen zu bewerten und mit dem gewonnenen Feedback zu iterieren.

Nach der Diskussion der Papierprototypen wurden mithilfe des Feedbacks funktionierende Demonstratoren aufgebaut und in den beiden KMU eingeführt. Über den Zeitraum von über einem Jahr konnten Montagemitarbeitende einzelne Bestandteile des

Assistenzsystems testen. In dieser Zeit wurden Statistiken erstellt (gesamter Zeitraum) und Fragebögen zu Verbesserungen gesammelt (3 Monate ab Roll-Out) und in den Demonstrator implementiert (schrittweise anhand der Fragebögen). Zudem fand abschließend eine Nutzerstudie zur Usability und zu Veränderungen im Arbeitsalltag mit dem Assistenzsystem statt (abschließend nach der Verwendung des Systems über ein Jahr).

3.3 Systemaufbau

Um einen möglichst niederschwelligen Einstieg für KMU zu ermöglichen, wurde auf komplexe Systemarchitekturen verzichtet, die eine langfristige Pflege für die IT der Unternehmen bedeuten würden. Es wurde unternehmensseitig ein Server bereitgestellt, auf den eine Anwendung für das Backend aufgespielt wurde. Über HTTP-Anfragen kann zwischen Assistenzsystem und Server kommuniziert werden (**Bild 1**). Für jede App (SAM-KI-Nachricht, SAM-KI-Video, SAM-KI-Check) wurde ein separater Port konfiguriert, sodass die Anwendungen getrennt voneinander verwendet werden können.

Das Assistenzsystem, das aus den drei Apps besteht, wurde basierend auf Open-Source-Webframeworks (Vue.js [18], Bootstrap [19]) aufgebaut und die Apps auf Tablets bei den Unternehmen installiert. Die App „SAM-KI-Nachricht“ unterstützt Mitarbeitende bei der Kommunikation von spezifischen Fehlern an die jeweilige Fachabteilung. Die Mitarbeitenden werden durch den Prozess begleitet und wählen zuerst die Ansprechperson oder die betroffene Abteilung aus. Dazu werden Kommunikationsgründe vorgeschlagen, aus denen der Mitarbeitende auswählen kann. Auch eigene Gründe können eingegeben werden. Im nächsten Schritt müssen weitere Informationen in Form von Text oder Foto eingetragen werden, bevor die Nachricht an die ausgewählte Ansprechperson versendet wird (**Bild 2 links**). Dadurch erfolgt einerseits eine dokumentierte, standardisierte Kommunikation für Probleme und Fehler in der Montage. Andererseits können die häufigsten Kommunikationsgründe analysiert und Gegenmaßnahmen entworfen werden.

Bei größeren Fragestellungen, die nicht mit einer kurzen Nachricht gelöst werden können, unterstützt die App „SAM-KI-Video“. Die Montagemitarbeitenden haben hier die Möglichkeit, aus einer Übersicht der Abteilungen die entsprechende Ansprechperson auszuwählen. Mit einem Videoanruf, währenddessen die Rückkamera ausgewählt ist, können Problemstellungen besprochen werden, ohne dass die entsprechende Fachabteilung vor Ort sein muss.

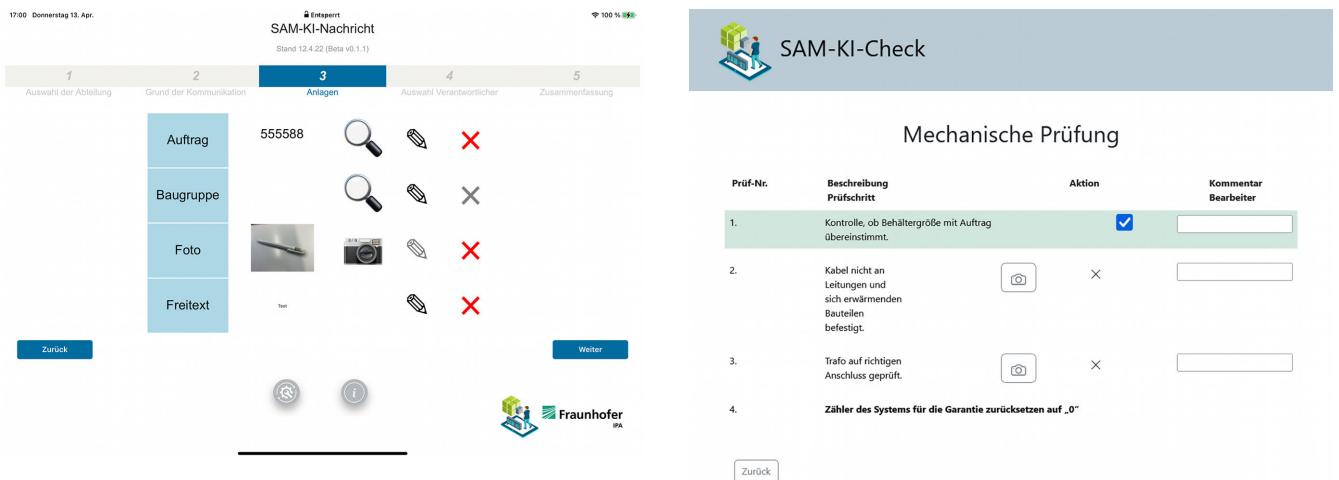


Bild 2. Ansichten aus den Apps „SAM-KI-Nachricht“ (links) und „SAM-KI-Check“ (rechts). Grafik: Fraunhofer IPA

Mit der App „SAM-KI-Check“ haben die Mitarbeitenden die Möglichkeit, ein leerer oder zwischengespeichertes Prüfprotokoll zur Dokumentation einer Endmontage auszuwählen. Daraufhin werden sie Schritt für Schritt durch den ausgewählten Prüfprozess navigiert (Bild 2 rechts). Je nach Prüfprotokoll ergänzen die Mitarbeitenden Informationen durch das Scannen von Barcodes, das Ausfüllen von Textfeldern, das Auswählen einer Checkbox oder durch Fotografieren des entsprechenden Bauteils. Sind alle Pflichtfelder ausgefüllt, kann das Prüfprotokoll abgesendet und auf dem Server gespeichert werden. Alternativ kann es zwischengespeichert werden, um zu einem späteren Zeitpunkt von weiteren Bearbeitenden ergänzt zu werden. Dies ist vor allem dann wichtig, wenn die abschließende Prüfung durch mehrere Abteilungen durchgeführt werden soll.

4 Roll-Out und Evaluation des Assistenzsystems für Montagemitarbeiter

Für die Systemeinführung und das Roll-Out der Apps wurden firmenspezifische Prüflisten, häufige Kommunikationsgründe für Fehler und Ansprechpersonen in Form von erweiterbaren Listen auf den Servern konfiguriert. Die Apps wurden für die Tablets freigeschaltet und es erfolgte eine Schulung mit den verantwortlichen Mitarbeitenden, welche fortan mit den Assistenzsystemen arbeiten sollten. Die Anforderungsanalyse hatte gezeigt, dass die digitalen Kollaborationsfähigkeiten bei beiden Unternehmen bisher wenig ausgeprägt sind, weshalb eine ausführliche Systemschulung für die Akzeptanz des Assistenzsystems als relevant erachtet wurde. Auch eine Begleitung der Mitarbeitenden im Einlernprozess und die iterative Anpassung der Apps, aufbauend auf dem Feedback der Mitarbeitenden, sollten die Akzeptanz gegenüber den Apps steigern.

Bei der Einführung der App SAM-KI-Video zeigte sich, dass die Videokommunikation nicht angenommen wurde. Für die Mitarbeitenden erschien die Videokommunikation zu privat, weshalb die App nach der Einführung durch die Mitarbeitenden nicht weiterverwendet wurde.

Nach einer initialen Schulung wurden die Montagemitarbeiter mit einem Tablet und den installierten Apps ausgestattet. Zusätzlich erhielten sie Evaluationsbögen, die sie ausfüllen sollten, wenn etwas Unerwünschtes in den Systemen auftauchte

oder Funktionalitäten fehlten. Über einen Zeitraum von drei Monaten wurden insgesamt 37 Verbesserungen von Mitarbeitenden der beiden KMU dokumentiert. Die meisten Verbesserungen bezogen sich auf fehlende Kommunikationsanlässe, geänderte Zuständigkeiten oder zusätzliche Funktionsbedarfe. Diese Verbesserungen wurden in den erweiterbaren Listen auf dem jeweiligen Server eingearbeitet.

Die Apps wurden zudem mit einem Tracking-System ausgestattet, das die Nutzung der Apps dokumentierte. Eine Analyse der Nutzung von SAM-KI-Nachricht ist in Bild 3 zu sehen. Die Auswertung zeigt die Nutzung der App SAM-KI-Nachricht für einen Arbeitsplatz exemplarisch im Zeitverlauf von 13 Wochen, wobei die Nutzung zwischen drei und elf Nachrichten pro Woche schwankte.

4.1 Evaluation in der abschließenden Nutzerstudie

Im Rahmen einer Nutzerstudie wurde das Assistenzsystem mit Usability-Tests und Fragebögen evaluiert. Die Studie wurde vor Ort bei beiden Unternehmen durchgeführt. Dazu standen jeweils fünf Testteilnehmende aus der Montage zur Verfügung. Die Tests wurden an insgesamt drei verschiedenen Montagestationen evaluiert, die sich in ihren Tätigkeiten und den zu montierenden Bauarten grundlegend unterschieden.

Es erfolgte zuerst eine kurze Einführung zum Testablauf. Anschließend wurden demografische Daten sowie die zu Projektbeginn ausgefüllten Fragebögen zu digitalen Kommunikations- und Kollaborationsfähigkeiten [14], der Kurzfragebogen zur Arbeitsanalyse (KFZA) [15] sowie die Utrecht Work Engagement Scale (UWES) [16] erhoben. Hierdurch sollten Veränderungen durch die Einführung des Assistenzsystems abgeleitet werden.

Nach der Vorbefragung erfolgte ein moderierter Usability-Test, bei dem die Teilnehmenden zwei Aufgaben mit den Assistenzsystemen ausführten. Die erste Aufgabe umfasste die Meldung eines Fehlers am Bauteil mit der App SAM-KI-Nachricht. Die zweite Aufgabe bestand darin, eine Qualitätsprüfung mithilfe der App SAM-KI-Check durchzuführen.

Die Bearbeitungszeit lag zwischen 15 und 30 Minuten pro Teilnehmenden. Abschließend erhielten die Teilnehmenden den Isonorm-Fragebogen nach 9241/10 [20], um das System auf

Anzahl gesendeter Nachrichten mit SAM-KI-Nachricht für einen Arbeitsplatz

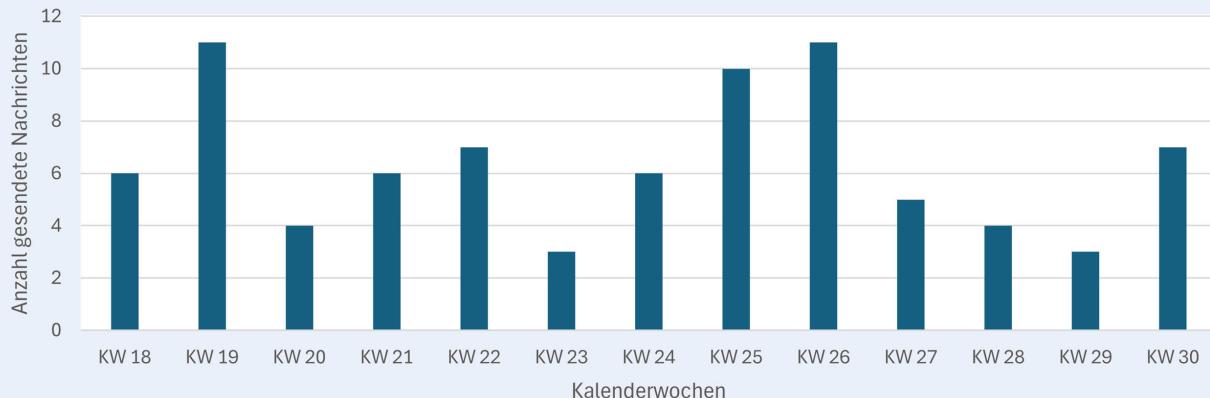


Bild 3. Statistische Auswertung der Nutzung des Kommunikationstools „SAM-KI-Nachricht“ für einen einzelnen Arbeitsplatz im exemplarischen Zeitraum 03.05.2023–27.07.2023. Grafik: Fraunhofer IPA

Usability-Kriterien anhand einer siebenstufigen Skala von -3 (System erfüllt dieses Usability-Kriterium nicht) bis 3 (System erfüllt dieses Usability-Kriterium sehr gut) zu evaluieren.

Ergänzend wurden die wahrgenommenen Veränderungen im Arbeitsalltag hinsichtlich Effizienz („Das System hat die Effizienz in Arbeitsalltag & Kommunikation gesteigert.“), Effektivität („Das System hat die Effektivität in Arbeitsalltag & Kommunikation gesteigert.“) und Zufriedenstellung („Das System hat die Zufriedenstellung in Arbeitsalltag & Kommunikation gesteigert.“) abgefragt, auf einer siebenstufigen Skala von -3 („hat das Kriterium gesenkt“) bis 3 („hat das Kriterium gesteigert“).

4.2 Ergebnisse der Nutzerstudie

4.2.1 Vergleich der Fragebögen mit den Einschätzungen zu Projektbeginn

Die digitalen Kollaborationsfähigkeiten der Teilnehmenden liegen weiterhin im Durchschnitt ($M_{\text{Kollaboration, Post}} = 5,04$, $SD = 1,67$; siebenstufige Likert-Skala von 1 „stimme gar nicht zu“ bis 7 „stimme völlig zu“) hinter den Fähigkeiten der digitalen Kommunikation ($M_{\text{Kommunikation, Post}} = 6,14$, $SD = 0,73$). Jedoch zeigt sich über den Projektverlauf hinweg eine leicht positive Entwicklung in der Selbsteinschätzung beider Fähigkeiten ($M_{\text{Kollaboration, Prä}} = 3,93$, $SD = 2,03$; $M_{\text{Kommunikation, Prä}} = 5,47$, $SD = 1,15$).

Beim Kurzfragebogen zur Arbeitsanalyse (KFZA) wurde in der Prä-Befragung vor allem Verbesserungspotential hinsichtlich des wahrgenommenen Handlungsspielraums der Mitarbeitenden identifiziert ($M_{\text{Handlungsspielraum, Prä}} = 2,79$, $SD = 1,14$; fünfstufige Likert-Skala von 1 „sehr wenig“ bis 5 „sehr viel“). Insbesondere wurden Defizite bei der eigenständigen Bestimmung der Reihenfolge von Arbeitsschritten sowie der Planung und Einteilung der eigenen Arbeit festgestellt. In der Post-Befragung bewerteten die Teilnehmenden diesen Handlungsspielraum als höher ($M_{\text{Handlungsspielraum, Post}} = 3,17$, $SD = 1,12$). Die Mitarbeitenden hatten also nach Einführung des Assistenzsystems verstärkt das Gefühl, ihre Arbeit eigenständig planen zu können.

Die Einschätzung der Arbeitsunterbrechungen hat sich über den Projektverlauf nicht verbessert. Zu Beginn des Projekts gaben die Mitarbeitenden bei der Einschätzung der Arbeitsunterbrechungen an, regelmäßig unterbrochen zu werden oder nicht

über das notwendige Material zu verfügen ($M_{\text{Arbeitsunterbrechung, Prä}} = 3,21$, $SD = 1,12$; fünfstufige Likert-Skala von 1 „trifft gar nicht zu“ bis 5 „trifft vollständig zu“). In der Post-Befragung zeigt sich eine etwas höhere Einschätzung von Arbeitsunterbrechungen ($M_{\text{Arbeitsunterbrechung, Post}} = 3,60$, $SD = 1,14$). Das Assistenzsystem führte in diesem Bereich zu keiner erkennbaren Verbesserung. Aus den Befragungsergebnissen geht auch nicht hervor, welche konkreten Ursachen den Unterbrechungen zugrunde liegen.

Hinsichtlich der betrieblichen Leistungen im Unternehmen wurde in der Prä-Befragung ein großes Verbesserungspotenzial identifiziert. Die Mitarbeitenden gaben an, dass Aufstiegs- und Weiterbildungsmöglichkeiten nur bedingt vorhanden sind und positionierten sich damit im mittleren Bereich der Skala ($M_{\text{Betriebliche Leistungen, Prä}} = 2,74$, $SD = 0,99$; fünfstufige Likert-Skala von 1 „trifft gar nicht zu“ bis 5 „trifft vollständig zu“). Die Implementierung des Assistenzsystems könnte hier eine positive Wirkung entfaltet haben, indem es die Selbstständigkeit der Mitarbeitenden fördert und gezielte Weiterbildungsmöglichkeiten für den Umgang mit digitalen Technologien bereitstellt. Diese Entwicklung spiegelt sich in der Post-Befragung wider, in der die betrieblichen Leistungen deutlich positiver bewertet wurden ($M_{\text{Betriebliche Leistungen, Post}} = 3,35$, $SD = 1,27$).

Beim Arbeitsengagement zeigten die Teilnehmenden auf der UWES-Skala eine deutliche Steigerung ($M_{\text{Engagement, Prä}} = 3,68$, $SD_{\text{Prä}} = 1,40$; $M_{\text{Engagement, Post}} = 5,10$, $SD_{\text{Post}} = 1,09$; siebenstufige Likert-Skala von 1 „nie“ bis 7 „immer (tagtäglich)“). Diese Verbesserung zeigte sich über alle drei Dimensionen der Skala hinweg: Elan („Bei meiner Arbeit bin ich voll überschäumender Energie.“), Hingabe („Ich bin begeistert von meiner Arbeit.“) und Absorption („Ich gehe völlig in meiner Arbeit auf.“).

Schließlich bewerteten die Teilnehmenden in beiden Befragungen die Häufigkeit des Auftretens von Fehlern. Auf einer siebenstufigen Skala von 1 („nie“) bis 7 („immer (tagtäglich)“) wurde sowohl in der Prä-Befragung ($M_{\text{Fehlerhäufigkeit, Prä}} = 4,62$, $SD = 1,28$) als auch in der Post-Befragung ($M_{\text{Fehlerhäufigkeit, Post}} = 4,7$, $SD = 1,49$) eine hohe Fehlerhäufigkeit angegeben, bei der die Unterstützung durch Vorgesetzte nötig sei. Dies unterstreicht die weiterhin bestehende Notwendigkeit, Montagemitarbeitende gezielt bei der Fehlerkommunikation und -lösung im Arbeitsalltag zu unterstützen.

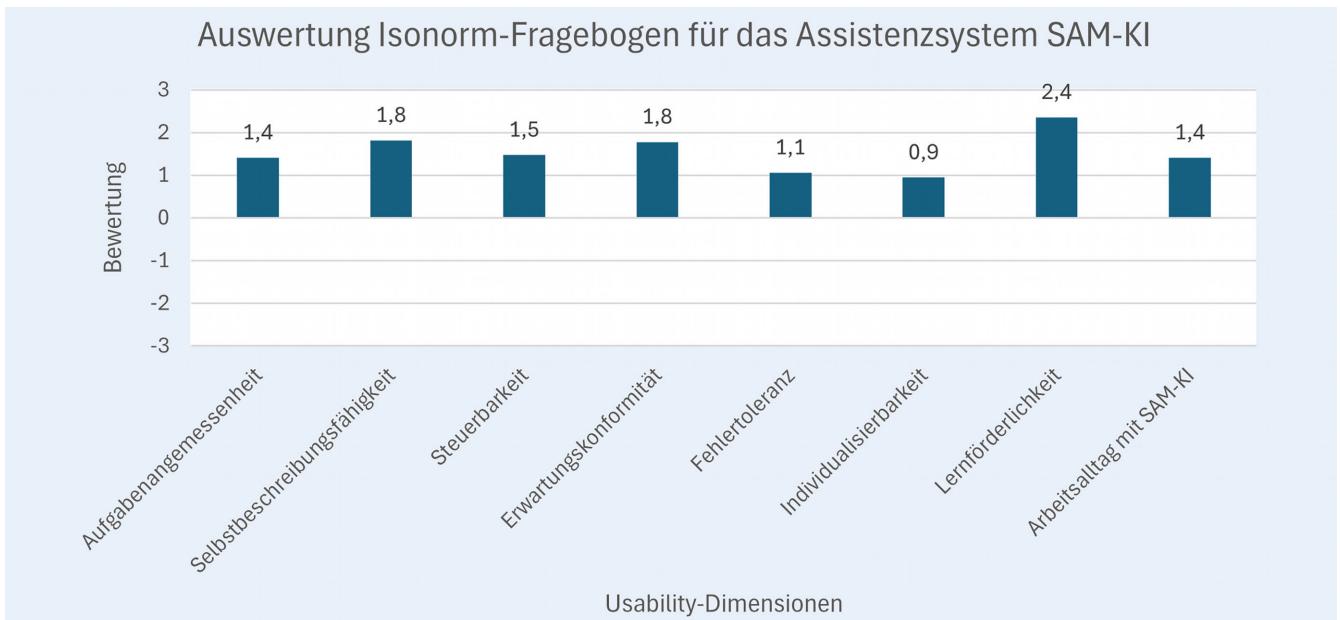


Bild 4. Auswertung des Isonorm-Fragebogens nach der Durchführung der Usability-Tests. *Grafik: Fraunhofer IPA*

4.2.2 Ergebnisse der moderierten Usability-Tests

Im Rahmen der Usability-Tests wurden die Apps von sieben Teilnehmenden als übersichtlich beschrieben. Zudem merkten fünf Teilnehmende an, dass sie mit den Apps ihre Tätigkeiten schneller ausführen könnten. Durch die Verwendung des Tablets konnte Papier reduziert werden (4 Nennungen), zudem wurde die Reduktion von Laufwegen als positiv hervorgehoben (2 Nennungen). Auch die Reduktion von Fehlern durch die Verwendung der Apps wurde zweimal erwähnt. Es wurde auch angegeben, dass es Spaß macht, mit den Apps zu arbeiten (1 Nennung), und dass die digitale Verfügbarkeit als Erleichterung wahrgenommen wird (3 Nennungen).

Allerdings wurde auch angemerkt, dass das Tablet gerade bei kleinteiligen Baugruppen schwierig in der Handhabung ist. Wenn QR-Codes im Inneren der montierten Baugruppe gescannt werden müssen, ist das Tablet unhandlich (3 Nennungen).

Zwei Teilnehmende merkten an, dass sie sich gerade bei zeitkritischen Aufträgen nicht allein auf die App SAM-KI-Nachricht verlassen würden, da nicht sicher ist, wie lange die Wartezeiten bis zur Behebung sind. Wenn die Teilnehmenden den Fehler schnell selbst lösen könnten, würden sie dies auch unabhängig von der App tun. Sie merkten an, dass gerade die Taktzeiten, in denen Arbeitsschritte abgeschlossen sein sollen, ein schnelles Handeln bei Fehlzuständen erfordern. Auch merkte ein Teilnehmer an, dass dies direkten Einfluss auf die eigene Arbeitszeit hat, auch wenn sie die Verzögerungen nicht selbst verschuldet haben. Gleichzeitig merkten zwei weitere Teilnehmende an, dass das Versenden einer Nachricht besser sei, als wenn die Ansprechperson nicht ans Telefon geht.

4.2.3 Bewertung des Assistenzsystems innerhalb des Isonorm-Fragebogens

Die Auswertung der Isonorm-Fragebögen in **Bild 4** zeigt, dass die SAM-KI-Apps in sechs von sieben Usability-Dimensionen mindestens einen Wert von 1 erreichen. Die Individualisierbarkeit

der Apps liegt mit $M = 0,9$ leicht unter dem Referenzwert von 1. Besonders gut schneiden die Apps in den Dimensionen Selbstbeschreibungsfähigkeit ($M = 1,8$), Erwartungskonformität ($M = 1,8$) und Lernförderlichkeit ($M = 2,4$) ab.

Im Detail wurden unter anderem die Aussagen „Das System ist unkompliziert zu bedienen.“ ($M = 2,4$, $SD = 0,5$), „Das System ist so gestaltet, dass sich einmal Gelerntes gut einprägt.“ ($M = 2,67$, $SD = 0,47$), „Das System erfordert nicht, dass man sich viele Details merken muss.“ ($M = 2,56$, $SD = 0,5$) und „Das System erzwingt keine unnötigen Unterbrechungen der Arbeit.“ ($M = 2,22$, $SD = 0,92$) besonders positiv bewertet.

Verbesserungspotenziale ergeben sich vor allem im Bereich der Individualisierbarkeit ($M = 0,9$). Auch die Einschätzungen zu den Aussagen „Das System lässt sich von dem Benutzer gut an seine persönliche, individuelle Art der Arbeitserledigung anpassen.“ ($M = 0,11$, $SD = 1,59$) und „Das System erzwingt keine unnötig starre Einhaltung von Bearbeitungsschritten.“ ($M = 1$, $SD = 0,94$) könnten durch Anpassungen in dem Assistenzsystem verbessert werden.

Zudem wurden die Effizienz ($M = 1,55$, $SD = 1,26$), Effektivität ($M = 1,44$, $SD = 1,17$) und Zufriedenstellung ($M = 1,22$, $SD = 1,13$) in Arbeitsalltag und Kommunikation unter Verwendung von SAM-KI positiv wahrgenommen.

5 Fazit und Ausblick

Im Rahmen des Projekts SAM-KI konnten niedrigschwellige, kostengünstige und adaptive Assistenzsysteme für den Einsatz bei heterogenen Montagetätigkeiten entwickelt werden. Der Fokus lag insbesondere auf der Validierung und Praxistauglichkeit eines auf Open-Source-Software basierenden Assistenzsystems für KMU mit Montageabteilungen. Es ist herauszustellen, dass für die vorgestellten Assistenzsysteme keine Lizenzgebühren anfallen, da es sich um Open-Source-Lösungen handelt, die nach initialer Konfiguration nur wenig Pflege durch das IT-Personal der Unternehmen erfordern. Der adaptive Aufbau des Backends erlaubt eine aufwandsarme und individuelle Anpassung von Kommunikation.

tionsgründen und Prüfplänen. Dies konnte im Projektverlauf gezeigt werden, da Veränderungen in den Verantwortlichkeiten direkt auf dem Server ergänzt oder angepasst werden konnten. Auf komplexe Technologien wurde bewusst verzichtet, um ein KMU-gerechtes System zu erschaffen, das flexibel auf den Anwendungsfall und sich ändernde Tätigkeiten reagieren kann. Die Assistenzsysteme sind nicht automatisiert oder auf wenige repetitive Prozesse zugeschnitten, sondern adressieren die vielfältigen Tätigkeiten von Montagemitarbeitenden in KMU in Deutschland (Forschungsfrage 1).

Die abschließenden Evaluierungen ergaben, dass die entwickelten Apps positiv von den Montagemitarbeitenden aufgenommen wurden. Die Stichprobe von insgesamt zehn Teilnehmenden kann nicht als generalisierbar betrachtet werden. Allerdings ist von einer Sättigung auszugehen [21], da sich keine signifikant abweichenden Ergebnisse mit Erhöhung der Stichprobe innerhalb der Unternehmen ergaben. Neben wirtschaftlichen Faktoren wie der Zeitersparnis und der Reduktion von Laufwegen wurde vor allem die Übersichtlichkeit der Tablet-Anwendungen hervorgehoben. Die Teilnehmenden nahmen die Apps als Erleichterung der Arbeit wahr und erwähnten, dass die Verwendung der Apps verglichen mit den papierbasierten Praktiken Spaß macht. Dies zeigt, dass die Einführung von Digitalisierungslösungen nicht nur kostengünstig sein sollte, sondern auch die Zufriedenstellung der Mitarbeitenden steigern kann. Mitarbeitende sollten von Beginn an in die Anforderungsermittlung miteinbezogen werden, geeignete Schulungen und Einführungsstrategien müssen berücksichtigt werden, um auch die Akzeptanz neuer digitaler Prozesse in der Montage zu gewährleisten. Auch bei Dokumentation und Archivierung können sich Vorteile durch die Einführung digitaler Assistenzsysteme ergeben, beispielsweise durch eine gesteigerte Transparenz der Prüfprotokolle und häufiger Fehlerursachen (Forschungsfrage 2).

Trotz Schulung und Roll-Out der Anwendungen im Projekt zeigte sich, dass sich bestehende etablierte Prozesse nicht vollständig ersetzen lassen. Die Montagemitarbeitenden wägen laut der Nutzerstudie in zeitkritischen Situationen zusätzlich ab, ob eine direkte Kommunikation mit der Ansprechperson oder den Vorgesetzten sinnvoller wäre. Es ist zu beachten, dass Assistenzsysteme die Arbeit zwar unterstützen, die Mitarbeitenden aber gleichzeitig in der Entscheidungsautonomie nicht eingeschränkt werden sollten. Zusätzliche Hardware (zum Beispiel externe Handscanner) könnte zudem bei kleinteiligen Montagetätigkeiten unterstützen.

Im Übrigen könnten weitere Forschungsarbeiten eine größere Anzahl von Unternehmen und deren unterschiedliche Anforderungen berücksichtigen. Eine größere Stichprobe zur vertiefenden Evaluation des Assistenzsystems könnte ebenfalls herangezogen werden. Außerdem kann durch die erhöhte Datentransparenz von Fehlerursachen bei den Unternehmen analysiert werden, wie Prozesse weiter verbessert und welchen Hauptfehlern zukünftig durch Maßnahmen vorgelagerter Abteilungen begegnet werden kann. Da die Entwicklung des Assistenzsystems mit zwei Unternehmen durchgeführt wurde, muss die Übertragbarkeit auf eine Vielzahl von Unternehmen noch evaluiert werden. Der modulare Systemaufbau lässt eine Anpassung der Apps für weitere Anwendungsfälle zu.

FÖRDERHINWEIS

Die Autoren danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für die Förderung der Arbeiten im Rahmen des Vorhabens „SAM-KI – Selbstgesteuerte Assistenz für die manuelle Montage sowie Kommunikation und Interaktion“ (Förderkennzeichen: 02L20C530).

LITERATUR

- [1] Höning, H.; Lorenz, B.: Low-Cost-Digitalisierung in der Produktion. Erste Schritte zur Vernetzung von Produktionsteilnehmern in KMU. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 112 (2017) 12, S. 895–898
- [2] Lanza, G., Rühl, J.; Peters, S.: Bewertung von Stückzahl und Variantenflexibilität in der Produktion. Produktionskosten und Risiken abhängig von Varianten und Stückzahlen. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 104 (2009) 11, S. 1039–1044
- [3] Westkämper, E., Bullinger; H.-J., Horváth, P.; Zahn, E.: Montageplanung – effizient und marktgerecht. Berlin: Springer-Verlag 2013
- [4] McCausland, L.: Engaging a Deskless Workforce. A white paper for communications professionals. Stand: 2020. Internet: www.shsmd.org/system/files/media/file/2020/04/Whitepaper%20-%20Engaging%20a%20Deskless%20Workforce%20%20-%20Lexi%20McCausland.pdf. Zugriff am 01.08.2025
- [5] Quinyx: State of the Frontline Workforce 2024. Stand: 2024. Internet: www.quinyx.com/hubfs/Quinyx-State-of-the-Frontline-Workforce-Studie-2024.pdf. Zugriff am 31.07.2025
- [6] Henke, J.: Eine Methodik zur Steigerung der Wertschöpfung in der manuellen Montage komplexer Systeme. Dissertation, Universität Stuttgart, 2015
- [7] Institut für Mittelstandsforschung IfM Bonn: KMU-Definition des IfM Bonn. Stand: 2025. Internet: www.ifm-bonn.org/definitionen-/kmu-definition-des-ifm-bonn. Zugriff am 31.07.2025
- [8] Operations1: Homepage. Stand: 2025. Internet: operations1.com/de. Zugriff am 31.07.2025
- [9] Testify: Homepage. Stand: 2025. Internet: www.testify.io/. Zugriff am 31.07.2025
- [10] VKS: VKS. Werkerassistenzsystem. Stand: 2025. vksapp.com/de/werkerassistenzsystem, Zugriff am 31.07.2025
- [11] SightProc GmbH: Werkerassistenzsystem. Digitale Werkerassistenz für Ihre Fertigungsprozesse. Effizienz und Qualität neu definiert. Internet: www.sightproc.de/. Zugriff am 31.07.2025
- [12] Lindner, D.; Leyh, C.: Organizations in Transformation: Agility as Consequence or Prerequisite of Digitization? In: Abramowicz, W.; Paschke, A. (eds): Business Information Systems. BIS 2018. Lecture Notes in Business Information Processing 320. Cham: Springer, doi.org/10.1007/978-3-319-93931-5_7
- [13] Lindner, D.; Leyh, C.: Digitalisierung von KMU – Fragestellungen, Handlungsempfehlungen sowie Implikationen für IT-Organisation und IT-Servicemanagement. HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik 56 (2019) 2, S. 402–418
- [14] Oberländer, M.; Bipp, T.: Do digital competencies and social support boost work engagement during the COVID-19 pandemic? Computers in human behavior 130 (2022), #107172
- [15] Prümper, J., Hartmannsgruber, K.; Frese, M.: KFZA – Kurzfragebogen zur Arbeitsanalyse. Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie (1995) 39, S. 125–131
- [16] Schaufeli, W., Salanova, M., Gonzalez-Romá, V. et al.: The measurement of engagement and burnout: A confirmative analytic approach. Journal of Happiness Studies 3 (2002) 1, pp. 71–92
- [17] Hanebeck, J., Käppler, M., Lorenz, M. et al.: Entwicklung einer adaptiven Mensch-Maschine-Schnittstelle zur Unterstützung in der manuellen Montage. Smarte Technologien und Augmented Reality in der Arbeitswelt (2023), S. 19–21, doi.org/10.21934/baua:bericht20231027
- [18] Vue.js Organization: Vue.js. The Progressive JavaScript Framework. Stand: 2025. Internet: vuejs.org/. Zugriff am 31.07.2025
- [19] Bootstrap: Bootstrap. Build fast, responsive sites with Bootstrap, 2025. Internet: getbootstrap.com/. Zugriff am 31.07.2025
- [20] Prümper, J.; Anft, M.: ISONORM 9241/10. Beurteilung von Software auf Grundlage der Internationalen Ergonomie-Norm ISO 9241/10. Stand: 1993. Internet: www.torstenstapelkamp.de/wp-content/uploads/2017/08/Fragebogen_ISONORM_9241_10.pdf. Zugriff am 01.08.2025
- [21] Guest, G.; Bunce, A.; Johnson, L.: How Many Interviews Are Enough? Field Methods 18 (2006) 1, pp. 59–82

Larissa Eiler, B.S.c. 

larissa.eiler@ipa.fraunhofer.de

Kevin Klöpfer, M.Eng. 

Raphael Hägle, M.Sc. 

Tim Brander, M.Sc. 

Dr. Ing. David Breunig 

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik

und Automatisierung IPA

Nobelstr. 12, 70569 Stuttgart

www.ipa.fraunhofer.de

Josephine Hanebeck, M.A. 

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Institut für Arbeitswissenschaft

und Betriebsorganisation (ifab)

Engler-Bunte-Ring 4, 76131 Karlsruhe

www.ifab.kit.edu

LIZENZ



Dieser Fachaufsatz steht unter der Lizenz Creative Commons
Namensnennung 4.0 International (CC BY 4.0)