Werk4.0

Experimentelle Untersuchung des Effekts der In-Line-Qualifizierungs-App aus dem Projekt Werk 4.0 bei Montagetätigkeiten auf Handlungskompetenz, Arbeitsbelastung und Unterstützungsbedarf

Luzie Lerche, Severin Reuter & Kolja Pietsch
Werner-von-Siemens Centre for Industry and Science e.V.

E-Mail: luzie.lerche@wvsc.berlin
Rohrdamm 88, 13629 Berlin, Deutschland

Dezember 2025

Werner-von-Siemens Centre
for Industry and Science

© Werner-von-Siemens Centre for Industry and Science e.V., 2025. Alle Rechte vorbehalten.

Abstract

Die vorliegende Studie untersucht den Effekt einer nutzerzentriert entwickelten App zur In-Line-Qualifizierung im Vergleich zur klassischen temporären Anweisung auf Papier auf Handlungskompetenz, Arbeitsbelastung und Unterstützungsbedarf bei wiederholten Änderungen im Montageablauf. Zwölf Werker eines Automobilkonzerns wurden dafür in einem experimentellen Mixed-Design mit verschiedenen Änderungen im Montageablauf konfrontiert, die sie eigenständig mithilfe des Lernmediums erlernen und anschließend in der Montage umsetzen sollten. Die Ergebnisse zeigen, dass das verwendete Lernmedium – App oder Papier – keinen signifikanten Einfluss auf die untersuchten Variablen hatte. Die Gebrauchstauglichkeit der App, die im Verbundforschungsprojekt *Werk 4.0* nutzerzentriert entwickelt wurde, wurde von den Teilnehmenden jedoch überwiegend sehr gut bewertet. Auffällig war ein konsistenter Lerneffekt: Unabhängig vom Medium verbesserten sich die Werte im zweiten Durchgang, was auf einen Gewöhnungs- oder Übungseffekt hindeutet. Die Ergebnisse legen nahe, dass digitale Lernmedien mindestens gleichwertig zu klassischen Lösungen eingesetzt werden können. Der Vorteil der App besteht insbesondere in der schnellen, direkten und weniger aufwändigen Wissensvermittlung seitens Werksleitung und Unternehmen. Künftige Studien könnten zeigen, ob die App mit ihren verschiedenen Funktionen für unterschiedliche Lerntypen und der Möglichkeit von bewegten Bildern oder textlichen, an den Werkenden angepasste Zusammenfassungen bei komplexeren Änderungen, als sie in der Studie möglich waren, ihre Vorteile gegenüber der Papiervariante ausspielen kann.

Schlagworte: Handlungskompetenz, Lernassistenz, In-Line-Qualifizierung, Arbeitsbelastung, Human Factors, Nutzerzentrierung, User Experience, Usability

Inhalt

..... 1

Abstract 1

Theorie 4

Ausgangssituation 4

Fragestellung und Hypothesen 5

Methode 6

Aufgabe 6

Versuchsdesign 8

Stichprobe 14

Ablauf 14

Erhebungsinstrumente – Abhängige Variablen 14

Ergebnisse 16

Kontrollvariablen 16

Bewertung der App 16

Hypothese 1: Handlungskompetenz und Effizienzmaße 17

Hypothese 2: Bedürfnis nach Unterstützung 19

Hypothese 3: Subjektive Arbeitsbelastung 19

Explorative Analysen 21

Diskussion 24

Förderung 26

Quellen 27

Theorie

Autor:innen: Luzie Lerche, Severin Reuter

Ausgangssituation

In Großserienproduktionen sind Werker:innen bei monotoner Tätigkeit auf besondere Weise gefordert. Bei geringen Taktzeiten und daraus folgender Monotonie, in der Automobilbranche häufig etwa eine Minute, bestehen Herausforderungen wie mentale Ermüdung, Aufmerksamkeitseinbußen und Leistungsabfall über die Zeit (Spath et al., 2012). Dies führt für Unternehmen zu erhöhten Fehlerraten, geringer Arbeitszufriedenheit und Gesundheitsrisiken für Werker:innen (Körber et. al., 2015; Langner & Eickhoff, 2013; Shackleton, 1981). Diese Situation ist schon heute bekannt und dem wird beispielsweise durch regelmäßige Job Rotation von Stationen begegnet (Mehdizadeh et al., 2020). Zudem werden Stationen ergonomisch für Mitarbeiter:innen gestaltet, was Monotonie und Gesundheitsrisiken verringert (Zare, et al., 2016). Dennoch wird über die Zeit ein Gewöhnungseffekt auftreten, denn der Montageprozess wird erlernt und im prozeduralen Gedächtnis gespeichert. Montageprozesse abzuändern und neu zu erlernen, wird zur Herausforderung und kann zu Frustration bei Werker:innen führen. Da prozedurales Lernen ein Teil des impliziten Lernens ist, das automatisch und unbewusst abläuft und im prozeduralen Gedächtnis gespeichert wird, kann dieses Wissen nur unter Kosten, wie Frustration, kognitiver Trägheit sowie Motivations- und Aufmerksamkeitsabfall aktualisiert werden (Anderson, 1982; Immink et al., 2020; Hodges & Lohse, 2020; Kim et al., 2013).

Heutzutage werden – zumindest in dem Autokonzern, der als Konsortialpartner des Projekts *Werk 4.0*, den Anwendungsfall für unsere Studie stellte – Änderungen per Unterweisung in einem Besprechungsraum per Präsentation geschult. Dies bindet Ressourcen, führt zu Produktionsausfall und verfehlt das Bedürfnis der Werker:innen von einer lückenlosen Kommunikation, wenn sie bei besagter Präsentation abwesend waren. Wissen, das im prozeduralen Gedächtnis gespeichert ist, kann nur schwierig und über die Zeit angepasst werden. Werker:innen brauchen Informationen und Unterstützung direkt am Arbeitsplatz. Durch sogenannte temporäre Anweisungen in Papierform erhalten sie eine Änderung aufbereitet am Arbeitsplatz. Bei einfacher Änderung und geringer Häufigkeit beim Auftreten von Änderungen kann das helfen, Werkende zu unterstützen. Im resilienten Werk der Zukunft wird jedoch davon ausgegangen, dass Änderungen deutlich häufiger auftreten werden. Dies resultiert aus einer Vielzahl von Faktoren wie unsicheren Lieferketten, kürzeren Produktzyklen, globalen Krisen und vielem mehr. Da im resilienten Werk der Zukunft Änderung zum Standard wird,

sind die alten Ansätze wenig wirtschaftlich und zielführend. Es braucht eine Unterstützung, die Werker:innen Informationen direkt am Arbeitsplatz bereitstellt und sie beim Anpassungsprozess, sowohl subjektiv als auch objektiv, unterstützt. Eine solche wurde im Rahmen des Projekts *Werk 4.0* im Arbeitspaket „In-Line Qualifikation“ entwickelt (Pietsch et al., 2025).

Fragestellung und Hypothesen

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde untersucht, inwiefern die im Projekt entwickelte, nutzerzentrierte technische Lösung einer App zur In-Line-Qualifizierung im Vergleich zur aktuellen Lösung einer temporären Anweisung in Form von Papierausdrucken dazu beiträgt, Mitarbeitende bei häufigen Veränderungen im Arbeitsprozess zu unterstützen. Die beiden Medien sollten dabei in ihrer Nützlichkeit als Lernmedium zum eigenständigen Erlernen von Veränderungen (beispielsweise nach längerer Abwesenheit durch Krankheit oder Urlaub) untersucht werden – sowohl mit Perspektive auf Unternehmensaspekte wie Effizienz, technische Aspekte wie Gebrauchstauglichkeit als auch menschenzentrierte Aspekte wie Belastung oder Kompetenz. Die zentrale Fragestellung lautete, ob die Nutzung der App zum Erlernen von Veränderungen im Montageprozess dazu beiträgt, dass Mitarbeitende trotz vermehrter Veränderungen emotional und kognitiv weniger oder gleichbleibend belastet sind und ob sie ihre Handlungskompetenz schneller oder in größerem Ausmaß zurückerlangen können (Pietsch et al., 2025). Daraus wurden folgende konkretere Fragestellungen abgeleitet:

> ***F1:*** *Hilft die Nutzung der technischen Lösung den Mitarbeitenden, weiterhin Probleme eigenständig zu lösen, auch wenn sich die manuellen Prozesse häufig ändern?*
>
> ***F2:*** *Lernen Mitarbeitende weiterhin neue Prozesse, ohne sich unsicher zu fühlen?*
>
> ***F3:*** *Fühlen Mitarbeitende sich durch die Anweisungen weniger überfordert, auch bei häufig wechselnden Arbeitsprozessen?*

Um diese Fragen empirisch zu überprüfen, wurden sie in testbare Hypothesen operationalisiert:

> ***H1a****: Die Handlungskompetenz (insb. Fach- und Methodenkompetenz) ist höher bei Verwendung der App als Lernmedium als bei Verwendung der temporären Anweisung nach dem Montieren von zwei Veränderungen.*

***H1b**: Die Zeit für die Montage ist geringer bei Verwendung der App als Lernmedium als bei Verwendung der temporären Anweisung gemittelt über die Montagen einer Veränderung.*

***H1c**: Die Fehler, welche bei der Montage entstehen, sind weniger bei Verwendung der App als Lernmedium als bei Verwendung der temporären Anweisung summiert über die Montagen einer Veränderung.*

***H2**: Das Bedürfnis nach Unterstützung an der Linie und die Möglichkeit für Rückfragen durch Multiplikator:innen ist bei Verwendung der App als Lernmedium geringer als bei der temporären Anweisung nach dem Montieren von zwei Veränderungen.*

***H3**: Die Arbeitsbelastung ist bei Verwendung der App als Lernmedium geringer als bei der temporären Anweisung nach dem Montieren von zwei Veränderungen.*

Diese Operationalisierungen ermöglichen eine differenzierte Überprüfung der Effekte des Lernmediums sowohl auf subjektiver Ebene (z. B. wahrgenommene Handlungskompetenz, Arbeitsbelastung, Unterstützungsbedarf) als auch auf objektiver Ebene (z. B. Montagezeit, Fehleranzahl).

Methode

Autorin: Luzie Lerche

Aufgabe

Die Aufgabe der Teilnehmenden während der Studie bestand darin, ein größtenteils 3D gedrucktes Bauteil zu montieren. Dabei handelte es sich um einen Axial Flux Motor (AFM), bestehend aus den Einzelteilen: 2 Statorplatten, 12 Spulen, ein Innenring und einem Statorgehäuse (s. Abbildung 1) sowie Schrauben, Dichtungen und Klemmen. Für den Versuchsablauf mussten Teilnehmer:innen eine Statorplatte, 12 Spulen, den Innenring und das Statorgehäuse montieren. Im Laufe des Versuchs wurden den Proband:innen Änderungen entweder mittels temporärer Anweisung oder mittels App kommuniziert, welche sie eigenständig mithilfe des Mediums erlernen und anschließend anwenden sollten.

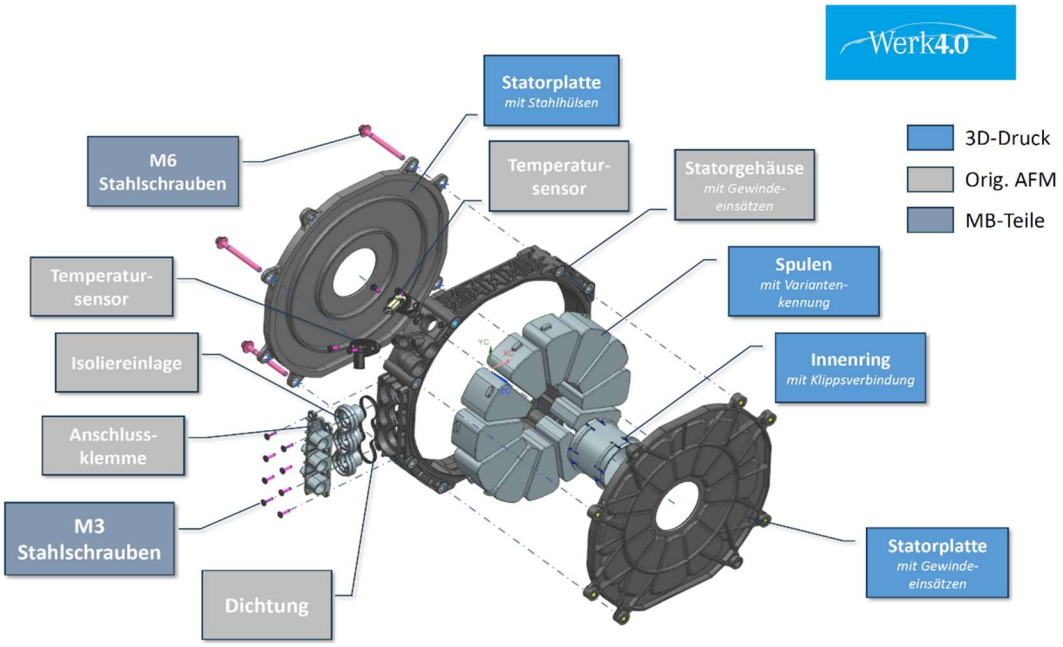


Abbildung 1. Explosionszeichnung des gesamten AFM, wobei in der Studie nur jene Teile verwendet wurden, die am Handarbeitsplatz des Reallabors montiert werden.

Die Montage fand auf einem Montagetisch statt, wobei die Statorplatte mit Gewindeeinsätzen, der Innenring und das Statorgehäuse links auf dem Tisch in einer Kiste von der Versuchsleitung platziert wurden. Die Spulen wurden in Reihenfolge des Standardablaufs in beschrifteten Kästen in einem Regal vor der Versuchsperson platziert (s. Abbildung 2). Dieser Aufbau entspricht exakt dem Handarbeitsplatz im Reallabor des Projekts und wurde nicht angepasst. Die automatisierte Logistik im Reallabor war während der Studie abgeschaltet, um die Studiendauer zu reduzieren und mögliche Fehlerquellen zu eliminieren.

Abbildung 2. Versuchsumgebung: der Handarbeitsplatz an der OP1 im Reallabor des *Werk 4.0*

Versuchsdesign

Das Studiendesign war ein 2 x 2 x 2 Mixed Design mit den unabhängigen Variablen „Medium zur Qualifizierung“ (within-Variable, zweistufig: In-Line-Qualifikation mittels App vs. Temporäre Anweisung), „Komplexität der Veränderung“ (within-Variable, zweistufig: leicht, d.h. weglassen einer Spule vs. schwer, d.h. vertauschen von Spulen) und „Reihenfolge des Versuchsablaufs“ (between-Variable, zweistufig: erst App, dann temporäre Anweisung vs. andersherum).

Die temporäre Anweisung bestand in einem ausgedruckten Zettel, welcher lediglich die Zusammenbauzeichnung der Montage zeigte, wie sie auch auf dem Schichtmonitor der App dargestellt wird, inklusive markierter Änderungen zum vorherigen Ablauf (s. Abbildung 6Abbildung 9). Das Tablet mit der App wurde rechts mittels einer Halterung angebracht und konnte seitlich sowie hinsichtlich seines Winkels von den Montierenden für eine optimale Ausrichtung während der Montage bewegt werden. Die Zettel für die temporäre Anweisung

wurden am Balken rechts neben der Versuchsperson angebracht. Die App war komplett funktionsfähig und enthielt verschiedene Funktionen:

(1) Veränderungshistorie

Nach dem Einloggen zu Beginn der Schicht erscheint die Veränderungshistorie. Dort sind in Reihenfolge des Gültigkeitsdatums die bisherigen Änderungen am Arbeitsplatz aufgeführt (s. Abbildung 3), wobei neue Änderungen eine Bestätigung erforderlich machen, bevor die Schicht gestartet werden kann. Die einzelnen Änderungen können für eine genauere Ansicht mittels Klick auf die Änderung aufgeklappt werden, um mehr Informationen zu erhalten und die Kenntnis über die Änderung bestätigen zu können.

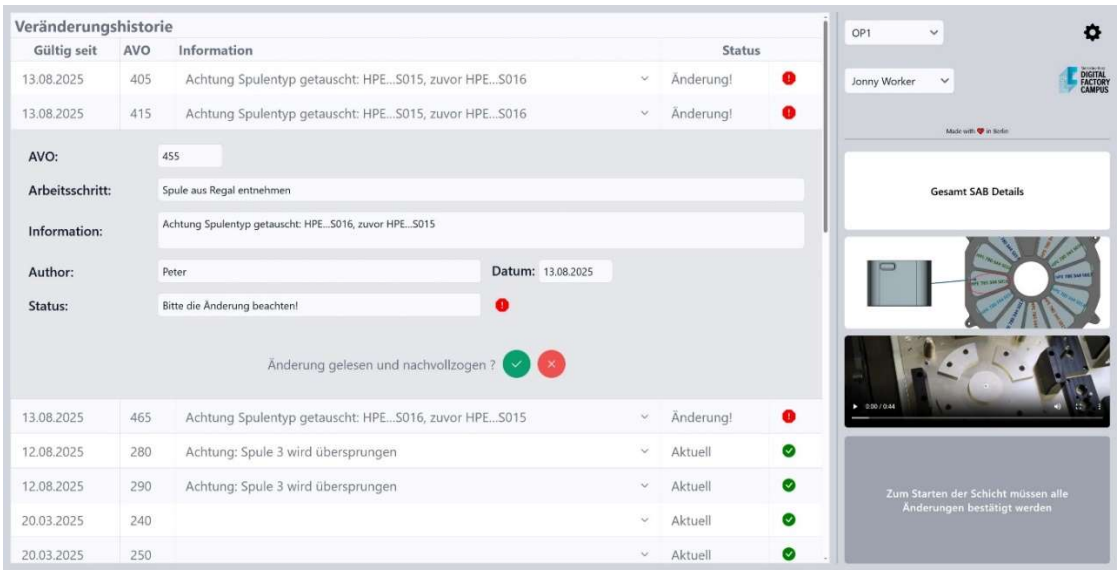


Abbildung 3. Feature „Veränderungshistorie“ der App zur In-Line-Qualifizierung

(2) Übersicht „Aktuell“ unter „Gesamt SAB Details“

Sollten die Informationen in der Änderungshistorie nicht ausreichen, können mit Klick auf „Gesamt SAB Details“ mehr Informationen zur Montage abgerufen werden. In der Übersicht „Aktuell“ wird das gesamte SAB des neuen Montagevorgangs aufgeführt in Reihenfolge der Montageschritte, sodass diese noch einmal genau nachvollzogen werden können.

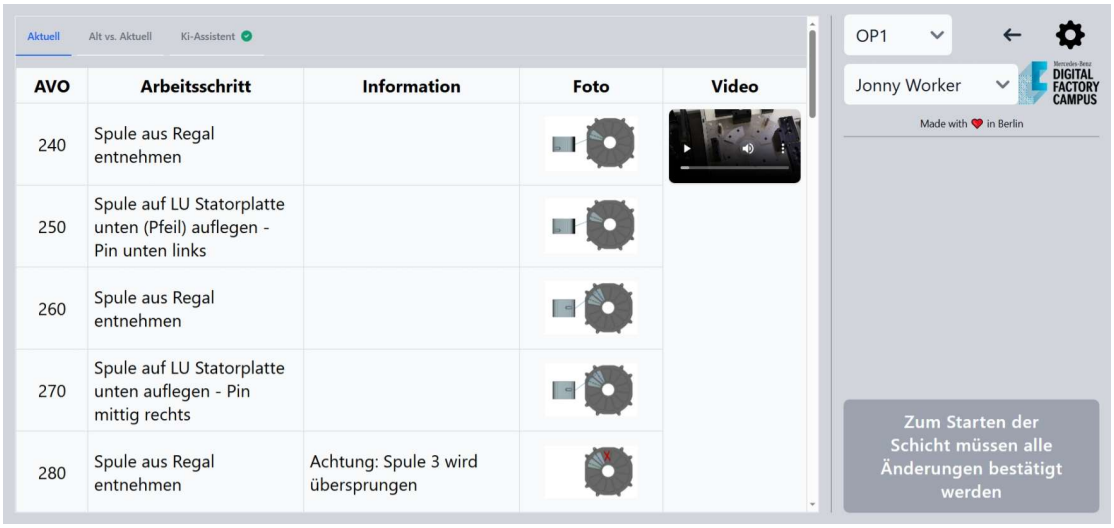


Abbildung 4. Feature „Aktuell“ erscheint nach dem Klick auf „Gesamt SAB Detail“ (s. Abbildung 3)

(3) Bild – unter „Aktuell“, „Veränderungshistorie“ sowie auf dem Schichtmonitor

Um die Montageschritte besser nachvollziehen zu können, wurden Bilder der Schritte als CAD-Zeichnungen angefertigt und in der App zur Verfügung gestellt. Sowohl in der Veränderungshistorie bei Aufklappen einer Änderung (s. Abbildung 3) als auch der Übersicht „Aktuell“ (s. Abbildung 4) kann mit Klick auf das Bild eine größere Ansicht des Montageschritts aufgerufen werden (s. Abbildung 5).

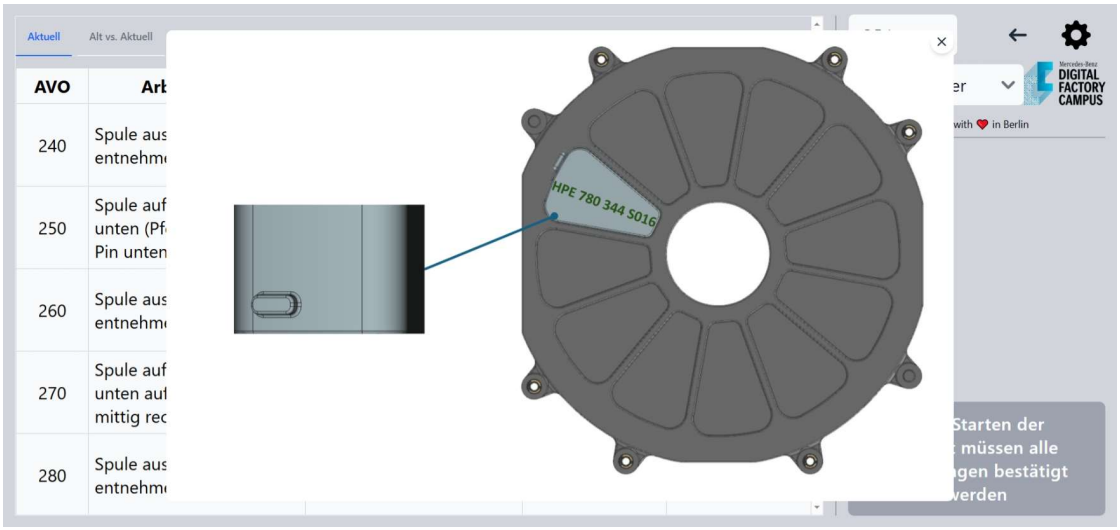


Abbildung 5. Beispiel für das Feature „Bild“ und die Vergrößerung eines Bildes durch Klick auf das Bild

Zusätzlich wird das Zielbild der Montage, das letzte Bild des SAB, auf dem Schichtmonitor nach Starten der Schicht abgebildet, um eine Erinnerungsstütze und Verifikationsmöglichkeit während der Montage zu bieten (s. Abbildung 6).

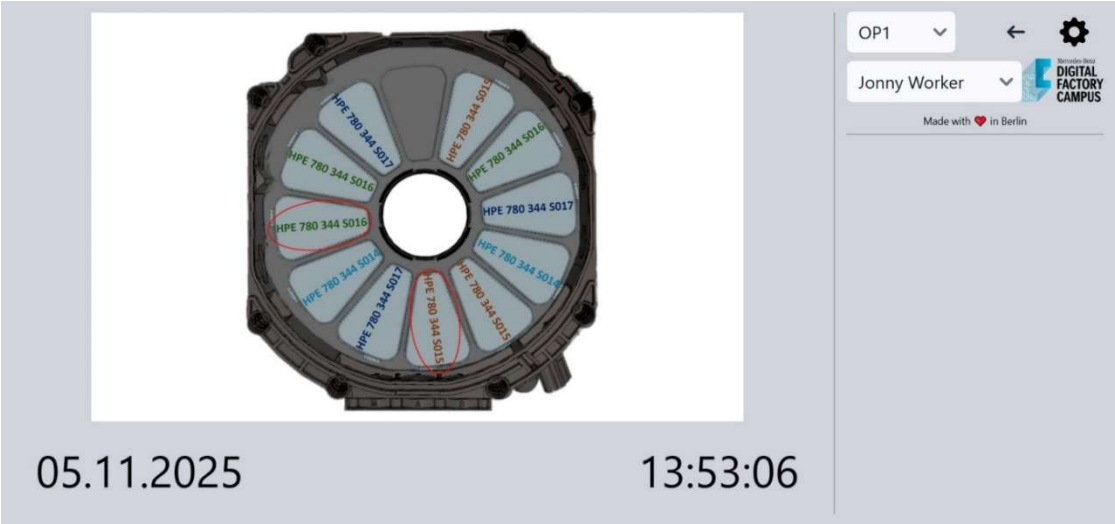


Abbildung 6. Schichtmonitor nach Starten der Schicht mit Zielbild der aktuellen Montagetätigkeit und Kennzeichnung der Änderung

(4) Video – unter „Aktuell“ und „Veränderungshistorie“

Für eine bessere Darstellung der genauen Handlungsabfolgen können zusätzlich Videos in der App eingespielt werden. Für diese erste Studie wurde die Lösung herangezogen, lediglich ein Video je Veränderung zu drehen und in der App einzubetten, da die einzelnen Schritte so kurz waren, dass Videos sich nicht gelohnt hätten. Zukünftige Versionen der App mit komplexeren Montageabläufen könnten bei Bedarf schrittbezogene Videos bereitstellen. Ebenso wie die Bilder kann auch das Video durch Klick in größerem Format angesehen werden (s. Abbildung 7). Es kann unter „Aktuell“ (s. Abbildung 4) als auch in der Veränderungshistorie bei Klick auf die einzelnen Änderungen (s. Abbildung 3) angesehen werden.

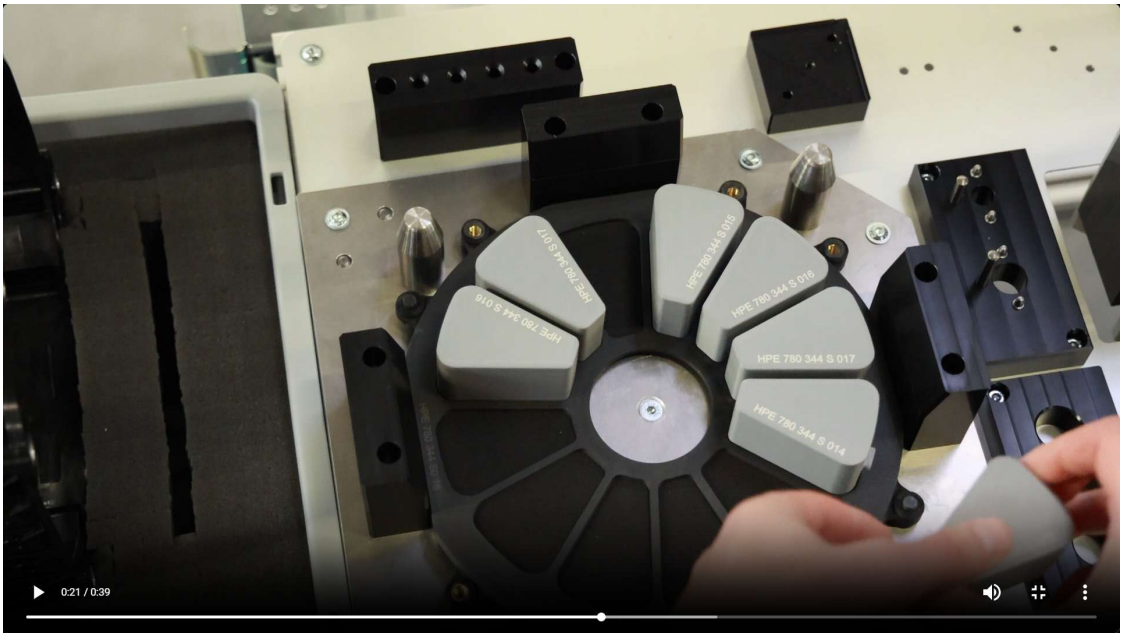


Abbildung 7. Beispiel für die Vollbildschirmansicht eines Videos

(5) Vergleich „Alt vs. Aktuell“ unter „Gesamt SAB Details“

Diese Darstellung bietet die Möglichkeit jene Schritte einzusehen, die sich konkret in Gegenüberstellung zum vorherigen Montageprozess verändert haben (s. Abbildung 8).

Abbildung 8. Feature „Alt vs. Aktuell“ erscheint nach dem Klick auf „Gesamt SAB Detail“ (s. Abbildung 3) als eine von drei Registerkarten.

(6) KI-Assistent unter „Gesamt SAB Details“

Der KI-Assistent entwickelt basierend auf neuem und vorherigem SAB eine schriftliche Zusammenfassung der Änderungen im Montageprozess.

Für die Studie wurden vier Veränderungen entwickelt, wobei die zwei leichten Veränderungen im Weglassen einer Spule bestanden und die zwei schweren Veränderungen in dem Austauschen von zwei Spulentypen an zwei Positionen (s. Abbildung 9). So waren die Veränderungen über die zwei Versuchsblöcke vergleichbar, Lerneffekte sollten jedoch abgemildert werden, indem keine Veränderung doppelt vorkam.

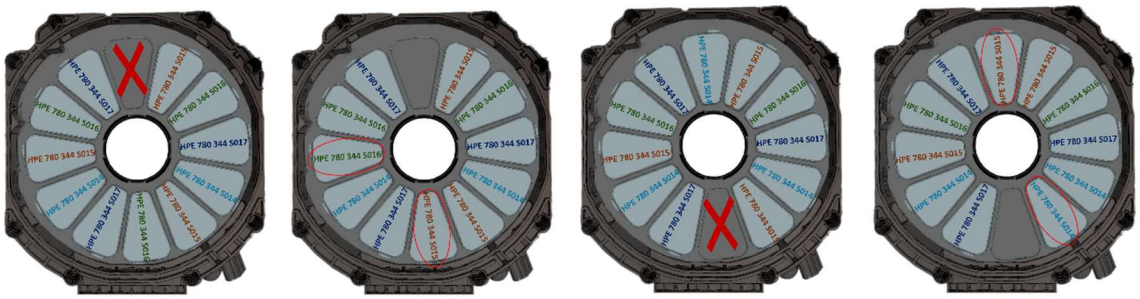


Abbildung 9. Bilder der vier erstellten Veränderungen, die als Zielbild der Montage auf dem Schichtmonitor und der temporären Anweisung zu sehen waren (v.l.n.r.): Veränderung 2.1 (leicht), Veränderung 3.1 (schwer, aufbauend auf Veränderung 2.1), Veränderung 2.2 (leicht), Veränderung 3.2 (schwer, aufbauend auf Veränderung 2.2)

Um die Ergebnisse durch die Lernmedien losgelöst von Lerneffekten betrachten zu können, wurde die Reihenfolge des Versuchsablaufs randomisiert, sodass die Hälfte der Proband:innen den ersten Versuchsblock mit der App absolvierte und den zweiten Block mit temporärer Anweisung und die andere Hälfte mit der temporären Anweisung startete.

Dieses experimentelle Design wurde gewählt, um das zuvor in iterativen Prozessen hauptsätzliche qualitative Feedback zur App mit objektiven Zahlen zu erweitern, nachdem die App in einem Klickdummy weitestgehend funktionsfähig war. Zusätzlich war es interessant, das subjektive Erleben von den Teilnehmern zu erheben, um Effekte der Lösung bewerten zu können.

Stichprobe

Die Studie wurde mit zwölf Versuchspersonen durchgeführt, die zwischen 21 und 51 Jahre alt waren (*M* = 33 Jahre). Die durchschnittliche Erfahrung in ihrer aktuellen Position betrug 6.67 Jahre (Range = 0–22 Jahre). Alle Teilnehmenden waren in direkten oder indirekten Mitarbeiter von Produktionsbereichen im industriellen Kontext tätig. 58.33 % gehen in ihrem Arbeitsbereich insbesondere händischen Arbeitstätigkeiten nach, 16.67 % insbesondere automatisierten Vorgängen und 25 % gleichermaßen manuellen wie automatisierten Vorgängen. Eine Person der Stichprobe wird voraussichtlich in weniger als einem Jahr in Rente gehen, eine weitere Person in 11-15 Jahren. Der Rest der Stichprobe erwartet seinen Renteneintritt erst in mehr als 15 Jahren.

Ablauf

Die Teilnehmenden wurden zunächst über den Ablauf und Datenschutz informiert und gaben ihre Einwilligung zur Erhebung per Fragebogen. Sie konnten die Untersuchung jederzeit ohne Angabe von Gründen abbrechen und haben keine Vergütung erhalten. Für ihre Teilnahme wurden sie von ihrer Schicht freigestellt.

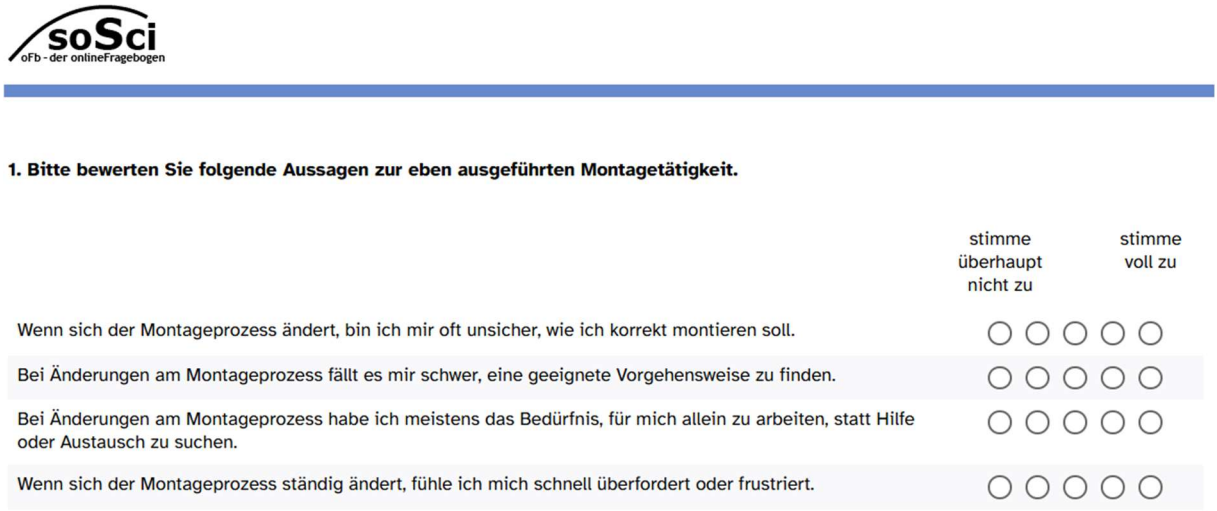
Anschließend bekamen sie eine Unterweisung direkt am Bauteil, wie dieses zu montieren ist, d.h. welche Reihenfolge eingehalten werden soll und welche Spulen wo liegen müssen. In zwei Blöcken wurden die Veränderungen eigenständig entweder mittels App oder Zettel erlernt und jeweils fünfmal montiert. Nach jedem Block wurden Fragebögen zu Arbeitsbelastung, Handlungskompetenz und gewünschter Unterstützung ausgefüllt. Nach dem Block, der mittels App absolviert wurde, wurden zusätzlich einige Fragen zur Verwendung der App und ihrer Gebrauchstauglichkeit beantwortet. Am Ende erfolgte die Erhebung der Kontrollvariablen, eine demographische Erhebung und ein Debriefing innerhalb des Fragebogens.

Die Testungen fanden an drei Tagen im September 2025 morgens ab sieben Uhr im Reallabor des Projekts *Werk 4.0* am Handarbeitsplatz in einer Produktionsumgebung statt und dauerten jeweils etwa eine bis eineinhalb Stunden.

Erhebungsinstrumente – Abhängige Variablen

Als objektive Maße hinsichtlich der Effizienz und Erfolg der Montage wurden die Fehleranzahl und die Zeit von Beginn bis Fertigstellung eines Bauteils gemessen. Die Zeit wurde zur Auswertung über die fünf Durchgänge je Veränderung gemittelt, die Fehler hingegen summiert. Zudem wurde die Zeit erhoben, welche sich die Teilnehmenden nahmen, um die Veränderung vor der Montage zu erlernen.

Zusätzlich wurden subjektive Maße zur Überprüfung der Hypothesen verwendet. Diese wurden in einem Fragebogen präsentiert, der mittels SoSci Survey (Leiner, 2025) durchgeführt wurde. Zur Bewertung der Arbeitsbelastung wurde eine eigene deutsche Übersetzung des NASA Task Load Index (NASA-TLX) nach Hart und Staveland (1988) mit seinen sechs Dimensionen auf einer Skala von 0-100 % in 5 %-Schritten herangezogen. Für einen Score wurde über alle Dimensionen gemittelt. Die System Usability Scale in deutscher Version (SUS; Rummel, 2013) wurde genutzt, um die Gebrauchstauglichkeit (Usability) und folglich Akzeptanz der App mittels zehn Items bewerten zu lassen. Für einen Score wurden die Rohwerte bereinigt und eine Summenbildung für die Perzentilinterpretation vollzogen. Der Fragebogen zur Handlungskompetenz mit den Dimensionen Fachkompetenz, Methodenkompetenz, Sozialkompetenz und Personale Kompetenz wurde basierend auf dem Modell von Hülshoff et al. (2010) selbst entwickelt, auf einer 5-stufigen Likert-Skala bewertet und war negativ formuliert (s. Abbildung 10), sodass die Items für die Auswertung umgepolt wurden und demnach hohe Werte einer hohen Kompetenz entsprechen. Basierend auf einer früheren Befragung im Projekt (Pietsch et al., 2025) wurde außerdem auf einer 5-stufigen Likert-Skala gefragt, ob bei dem genutzten Lernformat Unterstützung an der Linie und die Möglichkeit für Rückfragen durch Multiplikator:innen gewünscht waren.



1. Bitte bewerten Sie folgende Aussagen zur eben ausgeführten Montagetätigkeit.

	stimme überhaupt nicht zu				stimme voll zu
Wenn sich der Montageprozess ändert, bin ich mir oft unsicher, wie ich korrekt montieren soll.	○	○	○	○	○
Bei Änderungen am Montageprozess fällt es mir schwer, eine geeignete Vorgehensweise zu finden.	○	○	○	○	○
Bei Änderungen am Montageprozess habe ich meistens das Bedürfnis, für mich allein zu arbeiten, statt Hilfe oder Austausch zu suchen.	○	○	○	○	○
Wenn sich der Montageprozess ständig ändert, fühle ich mich schnell überfordert oder frustriert.	○	○	○	○	○

Abbildung 10. Fragebogen zur Handlungskompetenz mit vier Items zu Fach-, Methoden-. Sozial- und personaler Kompetenz

Als Kontrollvariablen wurde zur Erfassung des Lerntyps ein gekürzter Fragebogen entwickelt, der an den VARK-Fragebogen von Fleming und Mills (1992) angelehnt ist und den Lerntyp auf vier Dimensionen (V = visual, A = auditory, R = read/ write, K = kinesthetic) erfasst. Dieser sollte in explorativen Untersuchungen gemeinsam mit Ergebnissen zur Nutzung der Features der App verglichen werden, um Ableitungen über die Nützlichkeit der Features für verschiedene Lerntypen treffen zu können. Zusätzlich könnten diese Analysen für die Umsetzung von zukünftigen Projekten bzw. technischen Lernmedien wichtig sein. Des Weiteren wurde die Technikaffinität mit vier Items des Fragebogens zur Erfassung der Technikaffinität als Umgang mit und Einstellung zu elektronischen Geräten (TA-EG; Karrer et al., 2009) sowie die bisherige Erfahrung mit der Montage von AFM auf einem Single-Item von 0-100 % in 10 %-Schritten erfasst, in der Annahme, dass diese Variablen andere Ergebnisse beeinflussen könnten und ggf. kontrolliert werden müssen.

Ergebnisse

Autorin: Luzie Lerche

Kontrollvariablen

Die Stichprobe zeigte eine mittlere bis hohe Technikaffinität (M = 4.21 auf einer Skala von 1–5, SD = 0.61) und unterschiedliche Lerntypen, wobei der visuelle (M_{visual} = 73.96 %, SD_{visual} = 10.93 %) und kinästhetische Lerntyp ($M_{kinesthetic}$ = 91.15 %, $SD_{kinesthetic}$ = 12.35 %) am stärksten ausgeprägt waren ($M_{auditory}$ = 38.54 %, $SD_{auditory}$ = 16.39 %; $M_{read/write}$ = 38.54 %, $SD_{read/write}$ = 15.50 %). Die bisherige Erfahrung mit der Montage des AFM von der Durchführung der Studie betrug im Mittel 43,33 % (SD = 47.35 %, Range = 0-100 %).

Bewertung der App

Die App wurde hinsichtlich ihrer Gebrauchstauglichkeit entsprechend der Konvention von Lewis und Sauro (2018) von 75 % der Teilnehmenden als gut bis sehr gut bewertet (M = 77.08, SD = 11.37, Range = 60–95). Die Features „Bild“ und „Aktuell“ wurden als besonders nützlich eingestuft, während „KI-Assistent“ und „Alt vs. Aktuell“ weniger relevant waren (s. Tabelle 1), wobei manche Teilnehmende rückwirkend berichteten, sie wünschten, sie hätten diese Features herangezogen, nachdem sie sie im Fragebogen genauer betrachtet haben.

Tabelle 1.

Ergebnisse zur angegebenen Rangfolge der bewerteten Nützlichkeit der App-Features

Feature	Platz 1	Platz 2	Platz 3	Platz 4	Platz 5	Platz 6
Aktuell	0%	**50%**	25%	0%	16.7%	8.33%
Alt vs. Aktuell	8.33%	0%	16.7%	**58.3%**	8.33%	8.33%
Bild	**54.5%**	27.3%	18.2%	0%	0%	0%
KI-Assistent	0%	0%	0%	8.33%	33.3%	**58.3%**
Veränderungshistorie	8.33%	**25%**	**25%**	**25%**	8.33%	8.33%
Video	**33.3%**	0%	8.33%	8.33%	**33.3%**	16.7%

Anm.: Die höchsten Prozentangaben je Feature wurden fett markiert, um hervorzuheben, welches Feature am häufigsten auf welchem Platz landete.

Kein Proband hat nach eigener Angabe das KI-Feature genutzt, 17 % „Alt vs. Aktuell“ genutzt. Am häufigsten gaben die Teilnehmenden an, Bild (92 %), Veränderungshistorie (75 %) und die Übersicht „Aktuell“ (58 %) in der Studie verwendet zu haben. Das Video wurde von 33 % der Teilnehmenden genutzt.

Hypothese 1: Handlungskompetenz und Effizienzmaße

Es zeigte sich kein signifikanter Haupteffekt des Mediums auf die Methodenkompetenz: Unabhängig davon, ob die App oder die temporäre Anweisung verwendet wurde, unterschieden sich die Werte für Methodenkompetenz nicht signifikant (M_{App} = 3.83, SD_{App} = 1.47; $M_{temp.A.}$ = 3.83, $SD_{temp.A.}$ = 0.83; $F(1,10)$ = 0.00, $p > .999$), gemittelt über die Komplexität der Veränderung und Reihenfolge des Versuchsablaufs. Es konnten ebenfalls keine Haupteffekte von Komplexität oder Reihenfolge beobachtet werden (beide $p > .05$). Allerdings wurde ein signifikanter Interaktionseffekt gefunden (s. Abbildung 11): Wurde zuerst die App verwendet, stieg die Methodenkompetenz bei der anschließenden Nutzung der temporären Anweisung (M_{App} = 3.00, SD_{App} = 1.60; $M_{temp.A.}$ = 4.00, $SD_{temp.A.}$ = 0.60) und umgekehrt (M_{App} = 4.67, SD_{App} = 0.49; $M_{temp.A.}$ = 3.67, $SD_{temp.A.}$ = 0.98; $F(1,10)$ = 7.50, p = .021).

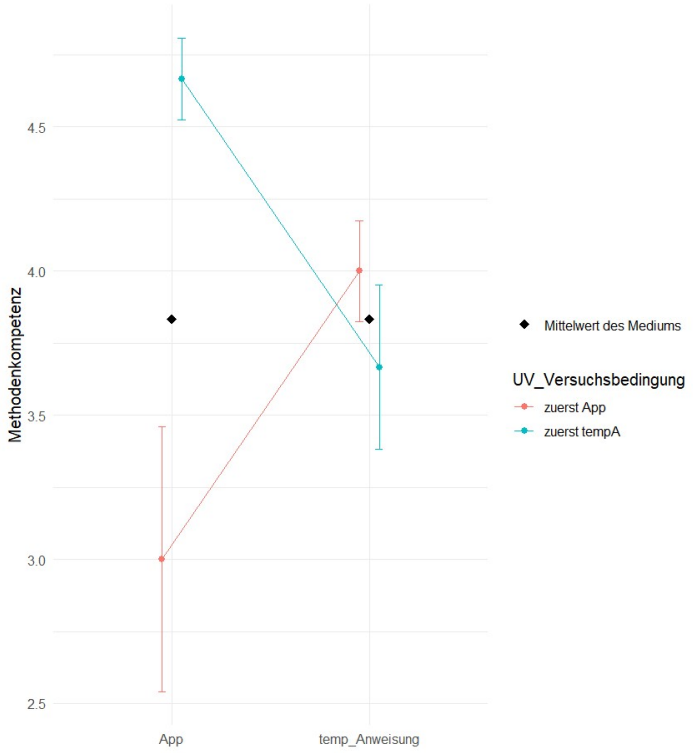


Abbildung 11. Interaktion zwischen den Faktoren Medium und Versuchsbedingung hinsichtlich der abhängigen Variable Methodenkompetenz gemittelt über den Faktor Komplexität der Veränderung. Dargestellt sind die Mittelwerte (Punkte), Standardfehler (Balken) sowie die Mittelwerte des interessierenden, jedoch nicht signifikanten Haupteffekt des Lernmediums (Rauten).

Auch hinsichtlich der Fachkompetenz zeigte sich kein signifikanter Haupteffekt des Mediums (M_{App} = 3.67, SD_{App} = 1.23; $M_{temp.A.}$ = 3.92, $SD_{temp.A.}$ = 0.79; $F(1,10)$ = 0.41, p = .535) und auch keine weiteren signifikanten Haupt- oder Interaktionseffekte (alle p > .05).

Für die Montagezeit ergab sich kein signifikanter Haupteffekt, weder hinsichtlich des Lernmediums (M_{App} = 51.08, SD_{App} = 15.93; $M_{temp.A.}$ = 48.07, $SD_{temp.A.}$ = 10.82; $F(1,10)$ = 2.03, p = .185) noch hinsichtlich der Komplexität der Veränderung oder der Reihenfolge (beide p > .05). Es zeigte sich jedoch ein signifikanter Interaktionseffekt ($F(1,10)$ = 30.24, p < .001; s. Abbildung 12): Wurde zuerst die App genutzt, war die Montagezeit bei der App höher als bei der temporären Anweisung (M_{App} = 61.33, SD_{App} = 16.13; $M_{temp.A.}$ = 46.70, $SD_{temp.A.}$ = 14.35); wurde zuerst die temporäre Anweisung genutzt, war die Montagezeit bei der App geringer als bei der temporären Anweisung (M_{App} = 40.82, SD_{App} = 6.36; $M_{temp.A.}$ = 49.43, $SD_{temp.A.}$ = 5.89).

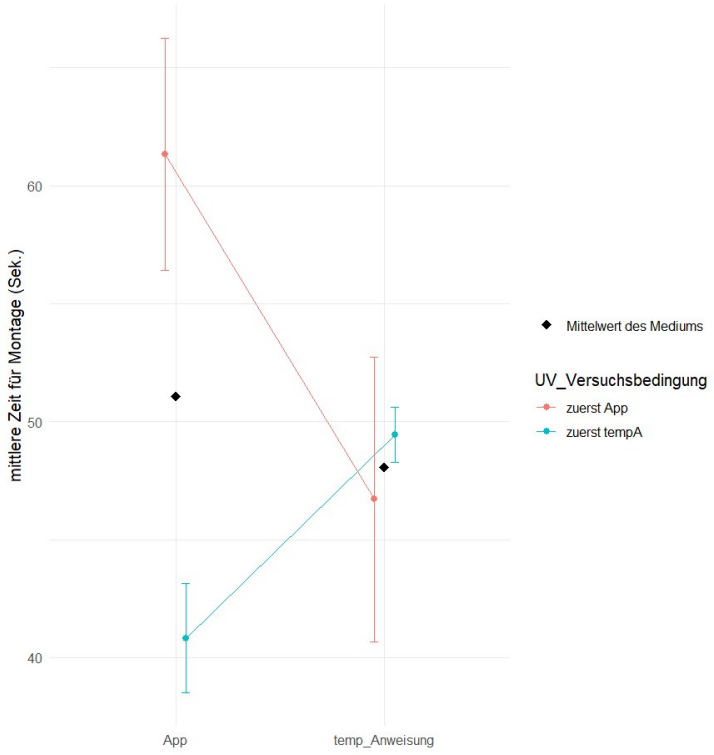


Abbildung 12. Interaktion zwischen den Faktoren Medium und Versuchsbedingung hinsichtlich der abhängigen Variable mittlere Montagezeit in Sekunden gemittelt über den Faktor Komplexität der Veränderung. Dargestellt sind die Mittelwerte (Punkte), Standardfehler (Balken) sowie die Mittelwerte des interessierenden, jedoch nicht signifikanten Haupteffekt des Lernmediums (Rauten).

Auch bei der Fehleranzahl zeigte sich kein signifikanter Effekt des Mediums (M_{App} = 1.17, SD_{App} = 2.08; $M_{temp.A.}$ = 0.96, $SD_{temp.A.}$ = 1.55; $F(1,10)$ = 0.14, p = .716) oder der anderen unabhängigen Variablen sowie keine signifikanten Interaktionseffekte (alle p > .05). Deskriptiv wurden im zweiten Block weniger Fehler gemacht (M_{Block1} = 1.46; M_{Block2} = 0.67).

Hypothese 2: Bedürfnis nach Unterstützung

Das Bedürfnis nach Unterstützung an der Linie und die Möglichkeit für Rückfragen unterschieden sich nicht signifikant zwischen den Bedingungen ($F(1,10)$ = 1.36, p = .270). Deskriptiv war das Bedürfnis nach Unterstützung in beiden Bedingungen mittel bis hoch ausgeprägt (M_{App} = 3.67, SD_{App} = 0.96; $M_{temp.A}$ = 3.42, $SD_{temp.A.}$ = 0.88). Auch hier zeigten sich keine weiteren signifikanten Haupt- oder Interaktionseffekte (alle p > .05).

Hypothese 3: Subjektive Arbeitsbelastung

Deskriptiv zeigte sich in der Stichprobe, dass kaum Unterschiede in den Dimensionen der Arbeitsbelastung bei Verwendung der App gegenüber der Verwendung der temporären Anweisung als Lernmedium auftraten (s. Abbildung 13). Die physische Anstrengung sowie die

Frustration wurden allgemein eher als gering bewertet ($M_{phys.Anstregung}$ = 25.00, $SD_{phys.Anstrengung}$ = 18.16; $M_{Frustration}$ = 29.78, $SD_{Frustration}$ = 23.21). Etwas höher ausgeprägt waren hingegen die bewertete notwendige Anstrengung für eine gute Leistung (*M* = 45.21, *SD* = 16.79), der empfundene Zeitdruck (*M* = 45.42, *SD* = 19.67) sowie die subjektive mentale Beanspruchung (*M* = 52.61, *SD* = 19.66). Ihre Arbeitsergebnisse bzw. Leistung beurteilten die Teilnehmenden im Durchschnitt als sehr erfolgreich (*M* = 87.92, *SD* = 15.36).

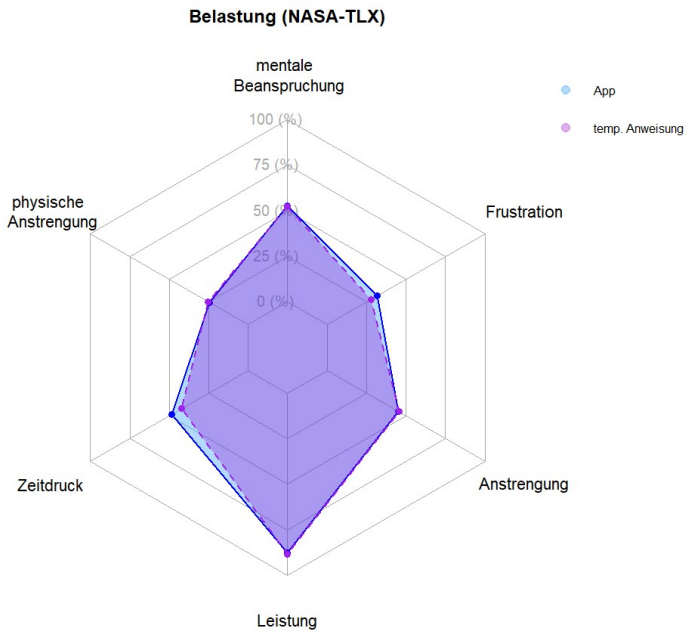


Abbildung 13. Darstellung der Mittelwerte je Dimension des NASA-TLX, getrennt nach Medium

Die subjektive Arbeitsbelastung insgesamt (NASA-TLX Gesamtscore) unterschied sich nicht signifikant zwischen App und temporärer Anweisung (M_{App} = 48.40, SD_{App} = 10.59; $M_{temp.A.}$ = 47.92, $SD_{temp.A.}$ = 9.58; $F(1,8)$ = 0.03, p = .861). Auch die anderen UVs ergaben keine signifikanten Haupteffekte hinsichtlich der Arbeitsbelastung. Es zeigte sich jedoch ein signifikanter Interaktionseffekt (s. Abbildung 14): Wurde zuerst die App verwendet, sank die Arbeitsbelastung bei der temporären Anweisung (M_{App} = 56.81, SD_{App} = 6.12; $M_{temp.A.}$ = 48.83, $SD_{temp.A.}$ = 11.85) und umgekehrt (M_{App} = 40.00, SD_{App} = 5.71; $M_{temp.A.}$ = 47.00, $SD_{temp.A.}$ = 6.45; $F(1,8)$ = 7.99, p = .022). Insgesamt wurde die Arbeitsbelastung als moderat bewertet (*M* = 48.18, *SD* = 9.79).

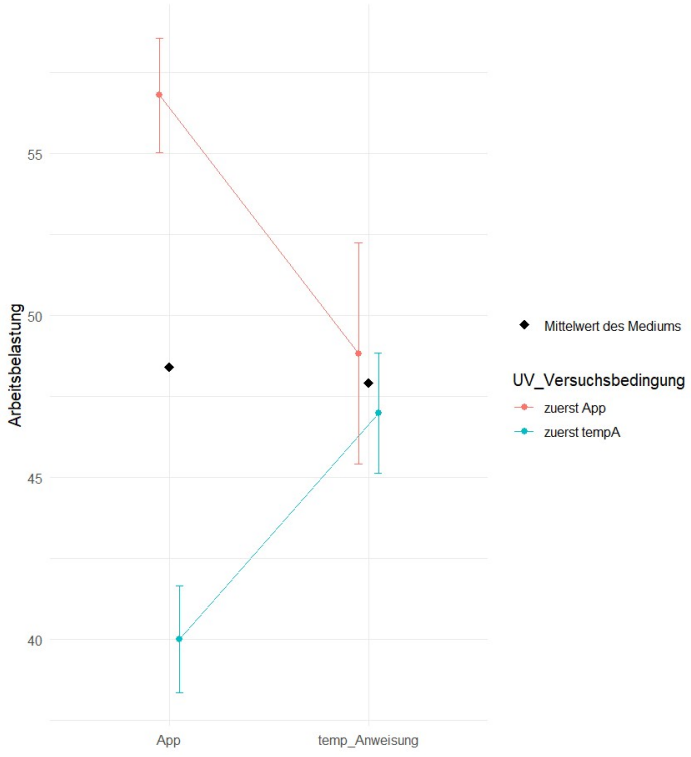


Abbildung 14. Interaktion zwischen den Faktoren Medium und Versuchsbedingung hinsichtlich der abhängigen Variable Arbeitsbelastung (NASA-TLX-Gesamtscore) gemittelt über den Faktor Komplexität der Veränderung. Dargestellt sind die Mittelwerte (Punkte), Standardfehler (Balken) sowie die Mittelwerte des interessierenden, jedoch nicht signifikanten Haupteffekt des Lernmediums (Rauten).

Zusammenfassend zeigen die konfirmatorischen Analysen, dass die eingesetzte App im Vergleich zur temporären Anweisung keine signifikanten Vorteile aber auch keine Nachteile hinsichtlich Handlungskompetenz, Arbeitsbelastung oder Unterstützungsbedarf bietet. Es traten jedoch konsistent Lerneffekte auf, die sich in verbesserten Werten im zweiten Durchgang unabhängig vom Medium zeigten.

Explorative Analysen

(1) Sozialkompetenz und personale Kompetenz

Für die Sozialkompetenz und die personale Kompetenz zeigten sich keine signifikanten Unterschiede in Abhängigkeit von Medium, Komplexität oder Reihenfolge sowie keine signifikanten Interaktionseffekte (s. Abbildung 15; alle $p > .05$). Deskriptiv war die Sozialkompetenz bei der temporären Anweisung höher als bei der App ($M_{App} = 2.58$, $SD_{App} = 1.38$; $M_{temp.A.} = 3.08$, $SD_{temp.A.} = 1.16$), was in diesem Kontext basierend auf dem verwendeten Item (s.o. Abbildung 10) bedeutet, dass das Bedürfnis nach Austausch mit anderen bei der App in der Stichprobe geringer war. Insgesamt wurde die Sozialkompetenz im Gegensatz zur

Fachkompetenz (M = 3.79, SD = 1.01), Methodenkompetenz (M = 3.83, SD = 1.15) und personalen Kompetenz (M = 3.92, SD = 0.71) am geringsten ausgeprägt bewertet.

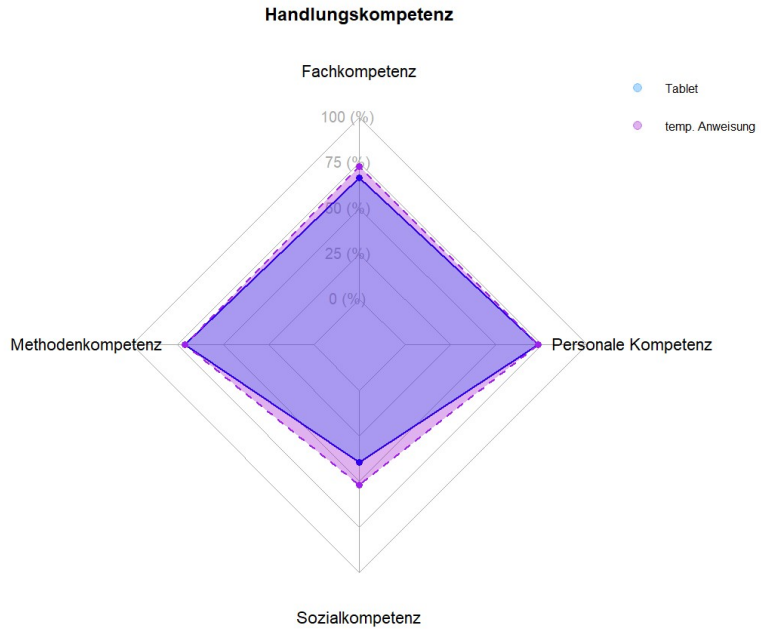


Abbildung 15. Darstellung der Mittelwerte, in Relation zur Skala als Prozentwerte abgebildet, je Dimension der Handlungskompetenz, getrennt nach Medium

(2) Lernzeit

Hinsichtlich der Zeit, die sich die Proband:innen nahmen, um eine Veränderung zu erlernen, bevor sie mit dem Montieren begannen, ergab sich ein signifikanter Haupteffekt des Mediums (s. Abbildung 16): Die Teilnehmenden nahmen sich signifikant mehr Zeit für das Erlernen mittels App als mit der temporären Anweisung (M_{App} = 137.46, SD_{App} = 119.13; $M_{temp.A.}$ = 39.50, $SD_{temp.A.}$ = 27.78; $F(1,10)$ = 9.80, p = .011). Diese Zeit ist nicht trennbar von der notwendigen Zeit zur Navigation, die bei der App notwendig ist, bevor die Schicht gestartet werden kann und kann ebenfalls von der Menge an Informationen beeinflusst sein, die bei der App deutlich höher ist. Zudem gab es einen Ausreißer beim Medium aufgrund von vermuteter Verwirrung des Teilnehmenden durch eine Formulierung in der App, was Mittelwert und Varianz bei der App erhöht.

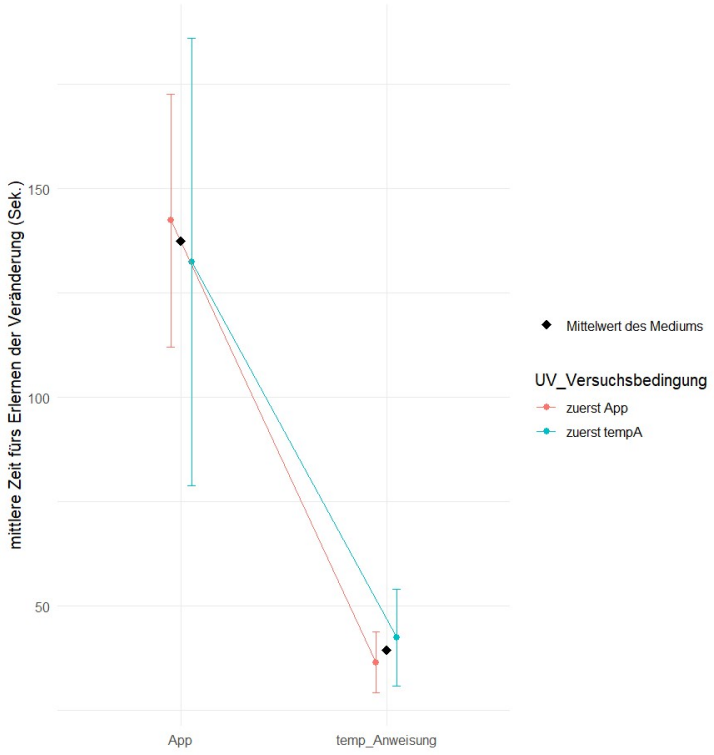


Abbildung 16. Signifikanter Haupteffekt des Faktor Lernmediums hinsichtlich der mittleren Lernzeit bei Veränderungen, dargestellt mittels Mittelwerten (Rauten), sowie nicht signifikante Interaktion zwischen den Faktoren Medium und Versuchsbedingung gemittelt über den Faktor Komplexität der Veränderung - dargestellt sind die Mittelwerte (Punkte) und Standardfehler (Balken).

(3) Zusammenhänge mit Lerntyp und Technikaffinität

Es fanden sich keine signifikanten Korrelationen zwischen Lerntypen (visuell, auditiv, lesen/schreiben, kinästhetisch) und der Nutzung spezifischer App-Features (alle $p > .05$). Auch logistische Regressionen ergaben keine signifikanten Prädiktoren durch Lerntypen für die Nutzung einzelner Features (alle $p > .05$).

Die Betrachtung von Technikaffinität ergab einen signifikanten linearen Zusammenhang mit der wahrgenommenen Usability der App ($r = .69$, $p = .013$): Je höher die Technikaffinität, desto besser wurde die Usability bewertet. Kein signifikanter linearer Zusammenhang bestand jedoch mit subjektiver Arbeitsbelastung oder Handlungskompetenz (beide $p > .05$).

Diskussion

Autorin: Luzie Lerche

Die vorliegende Studie untersuchte, ob eine nutzerzentriert entwickelte App zur In-Line-Qualifizierung im Montageprozess im Vergleich zur aktuellen Lösung der temporären Anweisung auf Papier Vorteile hinsichtlich Handlungskompetenz, Effizienz, Unterstützungsbedarf und Arbeitsbelastung bietet. Die Ergebnisse zeigen, dass das verwendete Lernmedium – App oder temporäre Anweisung – keinen signifikanten Einfluss auf Methodenkompetenz, Fachkompetenz, Montagezeit, Fehleranzahl, subjektive Arbeitsbelastung oder Unterstützungsbedarf hatte. Auffällig war jedoch ein konsistenter Lerneffekt: Unabhängig vom Medium verbesserten sich die Werte im zweiten Durchgang der Studie, was auf eine Gewöhnung oder Übungseffekt hindeutet. Die hohe Ausprägung des kinästhetischen Lerntyps in der Stichprobe könnte erklären, warum die Art des Mediums weniger entscheidend war als die wiederholte Durchführung der Aufgabe selbst.

Deskriptiv konnte gezeigt werden, dass die Handlungskompetenz unabhängig vom Medium in allen vier Dimensionen verhältnismäßig hoch ausfiel, was bedeutet, dass die Werkenden trotz mehrfacher Veränderung sich kompetent genug wahrnahmen, Probleme eigenständig zu lösen und neue Prozesse selbstständig zu erlernen. Die subjektive Arbeitsbelastung blieb bei Änderungen im Arbeitsprozess nahezu unverändert auf moderatem Niveau. Der Wunsch nach Unterstützung und Rückfragen war jedoch unabhängig vom Medium hoch, obwohl die geringeren Werte der Sozialkompetenz gegenüber den anderen Dimensionen von Handlungskompetenz in der Untersuchung aufzeigen, dass der Bedarf der Werkenden, sich aufgrund der Änderungen auszutauschen nur moderat ist. Die Entwicklung des Qualitäts-Tors im Projekt mit der Möglichkeit zur wertfreien Fehlerrückmeldung (Pietsch et al., 2025) könnten dem Bedürfnis nach Unterstützung jedoch entgegenkommen, was in zukünftigen Studien untersucht werden könnte.

Die Studie konnte außerdem zeigen, dass die nutzerzentriert entwickelte App von den Werkenden als sehr gebrauchstauglich bewertet wurde, was unterstreicht, wie wichtig die Einbindung der zukünftigen Nutzer:innen in den Entwicklungsprozess ist. Es konnte gezeigt werden, dass die entwickelte App auf einem Tablet von den Nutzer:innen akzeptiert wird. Insbesondere die visuelle Unterstützung wurde als hilfreich bewertet, was möglicherweise durch die hohe Ausprägung des visuellen Lerntyps in der Stichprobe zu begründen ist. Dies stellt einen Erfolg für die entwickelte App dar, welche mit den diversen Darstellungsmöglichkeiten wie KI-Assistent oder Video anvisierte, für jeden Lerntyp passende Lernmöglichkeiten

anzubieten. Features wie der KI-Assistent wurden hingegen kaum genutzt, was auf einen möglichen Bedarf an gezielterer Einführung hindeuten könnte oder auch durch die fehlende Notwendigkeit, bei einer einfachen, visuell schnell erkennbaren Änderung auf ein textliches Tool zurückzugreifen, zu erklären sein könnte. Nachfolgende Studien könnten sich dieser Fragestellung widmen.

Die hohen Ausprägungen insbesondere des visuellen und kinästhetischen Lerntyps könnten vermuten lassen, dass Werkende weniger durch Lesen und Schreiben oder Hören lernen, womit Features wie der KI-Assistent möglicherweise weniger nützlich sind. Da Werkende hauptsächlich prozedurales Wissen haben, sollte das Unterweisungsformat stärker dieses Wissen anstelle des deklarativen fördern. Weiterentwicklungen der App sollten diesen Aspekt stärker fokussieren. Es bleibt jedoch zu beachten, dass in dieser Studie nur das Erlernen leichter, visuell schnell ersichtlicher Änderungen betrachtet wurde. Längere Abwesenheiten und mehrfache Änderungen könnten die Nützlichkeit der zusammenfassenden Funktion des KI-Assistenten und allgemein der Applikation erhöhen.

Die Generalisierbarkeit der Ergebnisse ist insbesondere durch die geringe Stichprobengröße eingeschränkt. Zusätzlich wurden nur Werkende aus einem Werk befragt, was die Repräsentativität einschränkt. Eine weitere Limitation der Studie betrifft die geringe Komplexität der im Experiment verwendeten Veränderungen. Dass es keine signifikanten Unterschiede in den meisten Variablen zwischen App und temporärer Anweisung gibt, zeigt, dass der Schichtmonitor für die Umsetzung der im Experiment verwendeten Änderungen im Montageprozess ausreichend war, was die Rückmeldungen der Proband:innen bestätigten. Die Veränderungen waren aufgrund des zugehörigen Projekts auf den AFM limitiert und damit relativ einfach und mit einem einzigen Bild darstellbar, sodass die App ihren potenziellen Vorteil bei komplexeren Aufgabenstellungen vermutlich nicht voll entfalten konnte. Des Weiteren wurde in der Unterweisung der App versäumt, zur besseren Veranschaulichung eine beispielhafte neue Änderung einzuspeisen, wodurch insbesondere die Features KI-Assistent und die Übersicht „Alt vs. Aktuell“ nicht exemplarisch behandelt werden konnten, da dort aufgrund des fehlenden Vergleichs keine Daten vorlagen. Darüber hinaus war der Entwicklungsstand des KI-Assistenten zum Zeitpunkt der Studie noch nicht vollständig ausgereift. Dies könnte zusätzlich zu den oben genannten Vermutungen dazu geführt haben, dass diese Features kaum genutzt wurden. In Zukunft sollte bei der Unterweisung daher darauf geachtet werden, eine neue Änderung gemeinsam durchzugehen, um alle Features angemessen beleuchten zu können. Außerdem empfiehlt sich, das Tablet mit der App bzw. das Vergleichsmedium frontal zu den Werkenden zu platzieren, was laut Anmerkung der Proband:innen ihre gewohnte Position von Informationen ist und nicht rechts im Blickfeld. Hinsichtlich der Ergonomie sollte

des Weiteren in Zukunft die Höhe des Montagetischs einstellbar sein, um gleiche Voraussetzungen zu schaffen.

Die Ergebnisse legen insgesamt nahe, dass digitale Lernmedien wie die untersuchte App zumindest gleichwertig zu klassischen Papierlösungen eingesetzt werden können, ohne dass Nachteile hinsichtlich Handlungskompetenz, Effizienz oder Belastung entstehen. Die hohe Akzeptanz und Usability der App sprechen für eine frühe Einbindung der Endnutzer:innen und iterative Entwicklung technischer Unterstützungen. Obwohl App und temporäre Anweisung sich hinsichtlich der untersuchten Konstrukte nicht signifikant unterscheiden, bleibt zu betonen, dass die App in der Handhabung und Effizienz bezüglich der Vermittlung von Veränderungen überlegen ist. Anstelle eines Meetings mit allen Werkenden, des Ausdruckens mehrerer Zettel und des manuellen Aufhängens an jeder Arbeitsstation können Änderungen vom Werksleitenden direkt per App an die Werker:innen kommuniziert werden. Die App könnte so insbesondere bei komplexen Änderungen ihren Vorteil ausspielen, was in weiteren Studien untersucht werden muss.

Förderung

Diese Studie wurde im Rahmen des Arbeitspakets 6 „In-Line Qualifikation“ des Verbundforschungsprojekts *Werk 4.0* durchgeführt. Dieses Projekt wird durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWE) in der Förderrichtlinie „Digitalisierung der Fahrzeughersteller und Zulieferindustrie“ im Förderrahmen „Zukunftsinvestitionen Fahrzeughersteller und Zulieferindustrie“ gefördert und vom Projektträger VDI Technologiezentrum GmbH betreut.

Finanziert von der Europäischen Union
NextGenerationEU

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Quellen

Anderson, J. R. (1982). Acquisition of cognitive skill. *Psychological Review, 89*(4), 369–406. https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/0033-295X.89.4.369

Fleming, N. D., & Mills, C. (1992). Not another inventory, rather a catalyst for reflection. *To Improve the Academy, 11*, 137–155. https://doi.org/10.1002/j.2334-4822.1992.tb00213.x

Hart, S. G., & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. In P. A. Hancock & N. Meshkati (Hrsg.), *Advances in psychology* (Vol. 52, S. 139-183). North-Holland. https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62386-9

Hodges, N. J., & Lohse, K. R. (2020). Difficulty is a Real Challenge: A Perspective on the Role of Cognitive Effort in Motor Skill Learning. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, *9*(4), 455–460. https://doi.org/10.1016/J.JARMAC.2020.08.006

Hülshoff, T.e., Negri, C., Hüther, G., Dohne, KD., Hoffmann, C., Kalt, M. (2010). Lernpsychologie. In: C. Negri (Hrsg.), *Angewandte Psychologie für die Personalentwicklung* (S. 69-114). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-12625-3_3

Immink, M.A., Verwey, W.B., Wright, D.L. (2020). The Neural Basis of Cognitive Efficiency in Motor Skill Performance from Early Learning to Automatic Stages. In: C. Nam (Hrsg.), *Neuroergonomics. Cognitive Science and Technology* (S. 221-249). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-34784-0_12

Karrer, K., Glaser, C., Clemens, C., & Bruder, C. (2009). Technikaffinität erfassen – der Fragebogen TA-EG. *Der Mensch im Mittelpunkt technischer Systeme, 8*(2009), 196-201.

Kim, J. W., Ritter, F. E., & Koubek, R. J. (2013). An integrated theory for improved skill acquisition and retention in the three stages of learning. *Theoretical issues in ergonomics science, 14*(1), 22-37. https://doi.org/10.1080/1464536X.2011.573008

Körber, M., Cingel, A., Zimmermann, M., & Bengler, K. (2015). Vigilance Decrement and Passive Fatigue Caused by Monotony in Automated Driving. *Procedia Manufacturing*, *3*, 2403–2409. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.499

Langner, R., & Eickhoff, S. B. (2013). Sustaining attention to simple tasks: A meta-analytic review of the neural mechanisms of vigilant attention. *Psychological Bulletin, 139*(4), 870–900. https://doi.org/10.1037/a0030694

Leiner, D. J. (2025). *SoSci Survey* (Version 3.8.00) [Software]. SoSci Survey GmbH. https://www.soscisurvey.de

Lewis, J. R., & Sauro, J. (2018). Item benchmarks for the system usability scale. *Journal of User Experience, 13*(3), 158-167.

Mehdizadeh, A., Vinel, A., Hu, Q., Schall, M. C., Gallagher, S., & Sesek, R. F. (2020). Job rotation and work-related musculoskeletal disorders: a fatigue-failure perspective. *Ergonomics*, *63*(4), 461–476. https://doi.org/10.1080/00140139.2020.1717644

Pietsch, K., Reuter, S., Lerche, L. (2025). *Nutzerzentrierung als strategisches Prinzip für resiliente Produktionssysteme – Erfahrungen und Erkenntnisse aus dem Projekt Werk 4.0*. Werner-von-Siemens Centre for Industry and Science e.V. https://wvsc.berlin/publikationen/?_sft_pro_pub=werk-4-0

Rummel, B. (2013). *System Usability Scale (Translated into German)*. https://www.researchgate.net/publication/272830038_System_Usability_Scale_Translated_into_German

Shackleton, V. J. (1981). Boredom and repetitive work: a review. *Personnel Review, 10*(4), 30-36. https://doi.org/10.1108/eb055445

Spath, D., Braun, M., & Meinken, K. (2012). Human factors in manufacturing. In G. Salvendy (Hrsg.), *Handbook of human factors and ergonomics* (4. Edition, S. 1643-1666). John Wiley & Sons. https://doi.org/10.1002/9781118131350.ch60

Zare, M., Croq, M., Hossein-Arabi, F., Brunet, R., & Roquelaure, Y. (2016). Does ergonomics improve product quality and reduce costs? A review article. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries, 26*(2), 205-223. https://doi.org/10.1002/hfm.20623