

Evaluation von Augmented Reality Ausgabemedien an Montagearbeitsplätzen

Alexander ROMMEL, Maximilian HABERMANN, Florian KERBER

*Technologietransferzentrum Nördlingen, Hochschule Augsburg,
Emil-Eigner-Straße 1, D-86720 Nördlingen*

Kurzfassung: In mehreren Studien wurde gezeigt, dass sich Augmented Reality (AR) zur Unterstützung an Montagearbeitsplätzen eignet. Allerdings gibt es eine Vielzahl an Ausgabemedien, die dafür herangezogen werden können. Dieser Beitrag vergleicht mehrere dieser Medien miteinander, um mittels standardisierter Methoden zu evaluieren, welches System am besten für die Darstellung von CAD-basierten Modellen zur AR-gestützten Montage geeignet ist. Die Probandenversuche wurden an einem prototypischen Arbeitsplatz mit unterschiedlichen Medien durchgeführt. Dabei setzte sich der Projektor in der Summe der Kriterien durch. Aufgrund der Ergebnisse soll der Versuchsaufbau mit einem Linienlaser als weiterem Ausgabemedium ausgestattet werden. Zusätzlich soll eine bilderkennungs-basierte Qualitätskontrolle implementiert werden, sodass die vollständige Funktionalität eines tutoriellen Assistenzsystems erforscht werden kann.

Schlüsselwörter: Digitale Assistenz, Werkerassistenzsystem, Augmented Reality, Mixed Reality, HoloLens, CAD

1. Einleitung

Augmented Reality hat den Reifegrad erreicht, der für einen kommerziellen Einsatz notwendig ist. Die bisherigen Anwendungsfälle wie Pokemon Go oder das Headup Display im Auto sind bekannt. Einsatzpotentiale im industriellen Umfeld konnten bereits nachgewiesen werden, da die Nutzererfahrung mittels Augmented Reality im Gegensatz zu klassischen, papierbasierten Verfahren wesentlich gesteigert werden kann (Werrlich et al. 2018). Auch gegenüber einer videogeleiteten Montage bietet AR Vorteile, wodurch die Zahl der Montagefehler reduziert werden kann (Loch 2016).

Der Vergleich bekannter AR-Ausgabemedien von Alves et al. (2019) konnte zeigen, dass die räumliche Überblendung mittels Projektors die Montagezeit senkt. Allerdings waren die anderen untersuchten Medien (Smartphone, jeweils beweglich und stationär) nicht mit industriellen Ausgabemedien vergleichbar. Weiterhin wurde dieser Versuch nicht mit realen Bauteilen, sondern mit Pentomino-Bausteinen durchgeführt.

Eine 2020 durchgeführte Studie (Horejsi et al.) hat verschiedene Ausgabemedien mit AR-Medien unter Realbedingungen untersucht. Der Aufbau des Arbeitsplatzes entspricht im Kern dem dieser Veröffentlichung, allerdings in reduziertem Funktionsumfang: Es wurden keine Augmented Reality Brille oder andere überblendende Medien eingesetzt. Ein Projektor kam als Pick-by-Light System zum Einsatz. Die dargestellten Daten wurden nicht aus CAD-Daten der Bauteile generiert.

2. Versuchsaufbau

Grundlage des Versuchsaufbaus ist der in Rusch et al. (2021) beschriebene L-förmige Systemarbeitsplatz für die Montage mechatronischer Baugruppen (Industriegetriebe mit insgesamt 30 Arbeitsschritten). Der Platz besteht aus einer Arbeitsfläche, auf der eine Halterung angebracht wurde, welche zur Fixierung der verschiedenen Bauteile dient. Die Teileversorgung wurde mittels Sichtlagerkästen abgedeckt, an denen ein Pick-By-Light-System montiert wurde. Es wurden zwei Monitore am Arbeitsplatz installiert (siehe Abbildung 1). Auf dem linken Monitor werden grundlegende Informationen für die Montage bereitgestellt. Über dem Arbeitsplatz befindet sich eine Kamera, die den Montagebereich filmt. Dieses Bild wird auf dem rechten Monitor dargestellt und mit virtuellen Inhalten angereichert. Weiterhin befindet sich ein Projektor über dem Arbeitsplatz, welcher auf die Arbeitsfläche der Mitarbeitenden projiziert. Eine Microsoft HoloLens wurde über W-LAN angebunden.

Die Inhalte für die Montageschritte wurden vor Versuchsbeginn über ein eigens dafür programmiertes Interface, das als Ersatz für ein ERP-System dient, eingegeben. Die virtuell überblendeten Inhalte des AR-Monitors, des Projektors und der HoloLens basieren auf CAD-Daten, welche automatisiert im Hintergrund für die Darstellung aufbereitet werden. Alle Systeme sind miteinander synchronisiert. Die einzelnen Montageschritte müssen manuell per Bildschirm, HoloLens oder AR-Monitor eingeschaltet werden.

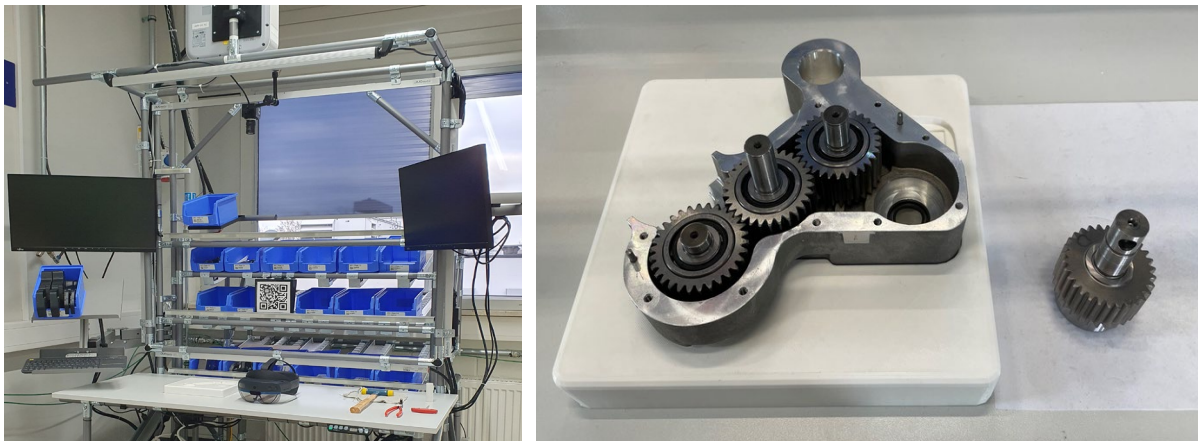


Abbildung 1: Montagearbeitsplatz. Links in der Übersicht mit allen Ausgabemedien. Rechts Montagehalterung mit teilmontiertem Getriebe und bereitgelegtem Bauteil.

3. Studiendesign

Der Versuchsaufbau dient der Evaluierung, welches AR-basierte Ausgabemedium sich für eine Endmontage am besten eignet. Dabei wurden insgesamt drei Versuchsgruppen mit unterschiedlicher Qualifikation gebildet (Novizen: 16 Studierende; Erfahrene: 16 Auszubildende; Experten: 16 Montagemitarbeitende). Dadurch lassen sich die Einarbeitungsphase neuer Mitarbeiter sowie der Regelbetrieb eines Werkerführungssystems mit Mitarbeitenden unterschiedlicher Erfahrungsstände abbilden. Zudem lässt sich ableiten, ob sich Präferenzen innerhalb der Gruppen abzeichnen.

Für den Versuch wurden zwei verschiedene Getriebevarianten in jeweils zwei Teilprozessen, d.h. insgesamt vier Getriebeteilvarianten je Proband montiert. Der Versuch selbst gliedert sich in zwei Teilversuche. Im ersten Teil werden die Probanden bei der Montage durch folgende fünf Ausgabemedien unterstützt:

1. einen Monitor, auf dem die Montagereihenfolge zu sehen ist (Referenz),
2. die Kombination aus Monitor und Augmented Monitor, auf dem eine live gefilmte Aufnahme des Arbeitsplatzes, überblendet mit virtuellen Bauteilen, zu sehen ist,
3. die Kombination aus Monitor und Projektor,
4. die Kombination aus Monitor und HoloLens sowie
5. ein Pick-By-Light-System für die schnellere Teileentnahme, das während des gesamten Versuches zum Einsatz kam.

Nach jedem Ausgabemedium wird von den Probanden ein Fragebogen (FB1) mit Fragen zur Nutzerakzeptanz, -erfahrung und Arbeitsbelastung beantwortet. Nach dem vierten Durchgang folgen allgemeine Fragen (Vor-/ Nachteile, bevorzugtes Medium).

Für den zweiten Versuchsteil wurde untersucht, ob eine bildbasierte Darstellung der Montagschritte ohne Textanweisungen ausreichend ist. Dazu wurde der AR-Monitor wie in 2., jedoch ohne Referenzmonitor genutzt. Die Probanden montierten dazu ein weiteres Getriebeteil und beantworteten nachfolgend den Fragebogen FB1. Zusätzlich wurden die Einsatzfähigkeit sowie die Vor- und Nachteile dieses Vorgehens evaluiert.

4. Ergebnisse der Probandenevaluation

Die Befragung wurde in einem Labor der BSH Hausgeräte GmbH unter Aufsicht eines Versuchsleiters durchgeführt. Ein Teil der Gruppe von Studierenden führte den Versuch unter gleichen Versuchsbedingungen an der Hochschule Augsburg durch. Um die einzelnen Systeme im Vergleich bewerten zu können, wurden verschiedene Fragebögen hinsichtlich Nutzerakzeptanz, Nutzererfahrung und Arbeitsbelastung herangezogen.

Die Nutzerakzeptanz wurde mittels TAM-Fragebogen erfasst (Venkatesh et al. 2000). Die deutsche Übersetzung der einzelnen Fragen wurde von Olbrecht (2010) übernommen. Die Messung der Nutzererfahrung erfolgte mittels UEQ-S-Fragebogen (Schrepp et al. 2017). Dieser stellt eine verkürzte Form des UEQ-Fragebogens dar und eignet sich laut Autoren vor allem für den Einsatz in vergleichenden Experimenten. Die deutsche Übersetzung des Fragebogens wurde aus der Veröffentlichung der Autoren Laugwitz et al. (2006) übernommen. Um die Arbeitsbelastung beziehungsweise -entlastung durch die einzelnen Medien zu untersuchen, wurde zusätzlich der ASQ-Fragebogen herangezogen (Lewis 1991). Mittels dreier Fragen wird darin nach jedem Montagedurchgang die eigene Zufriedenheit der Montageleistung abgefragt. Auch für den ASQ-Fragebogen wurde auf eine bestehende deutsche Übersetzung zurückgegriffen (Roegel & Funk 2020). Die durchschnittliche Montagezeit, die ein Proband pro Ausgabegerät benötigt hat, wurde automatisiert durch die Versuchsoftware erfasst und protokolliert. Die Auswertung der jeweiligen Ergebnisse nach Probandengruppe ist in der Abbildung 2 dargestellt. Die zusätzliche Farbskala ordnet die Ergebnisse absolut anhand der Vergleichswerte von insgesamt 452 anderen Produktevaluationen ein (Schrepp 2019).

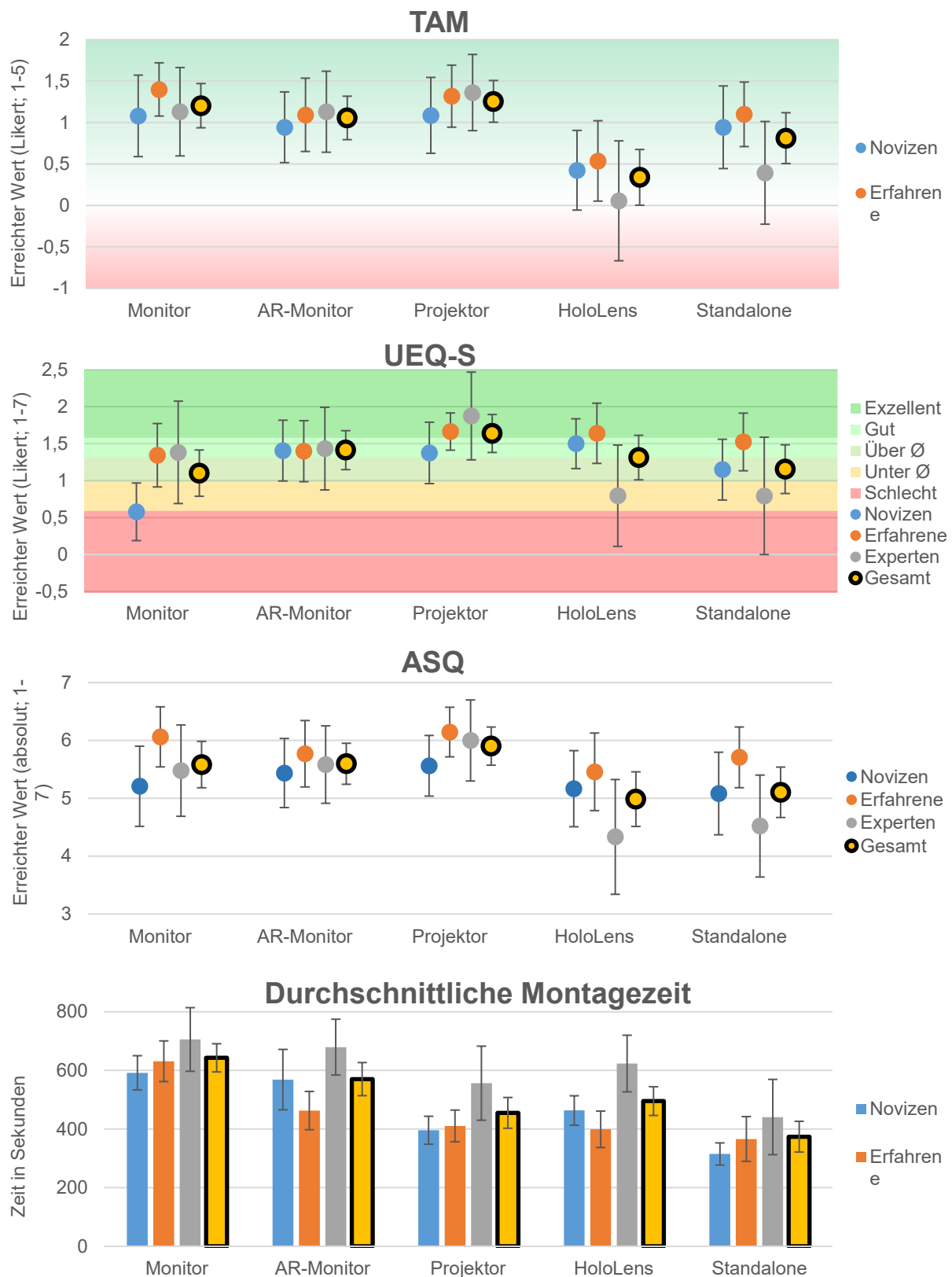


Abbildung 2: Ergebnisse der Fragebögen zur Nutzerakzeptanz (TAM), Nutzererfahrung (UEQ-S) sowie der Arbeitsbelastung (ASQ) und der durchschnittlichen Montagezeit pro Teilgetriebe.

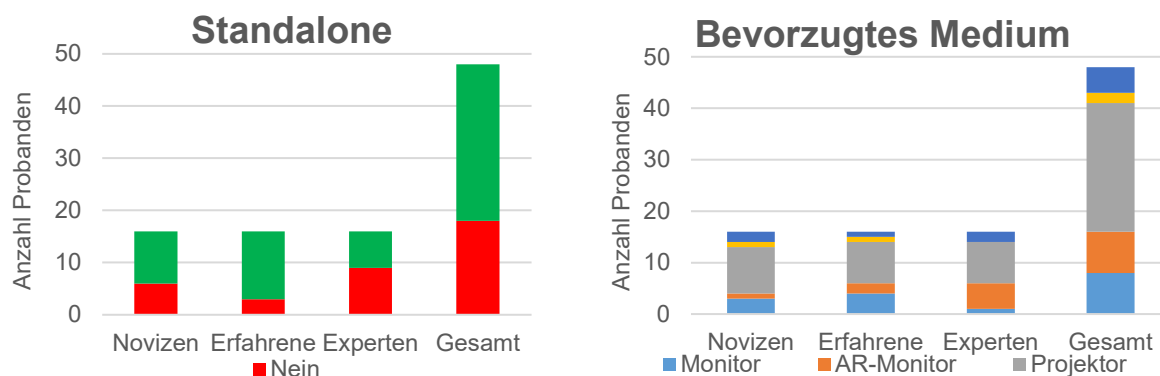


Abbildung 3: Rechts: Eignungsbewertung einer ausschließlich bildbasierten Werkerführung (Standalone). Links: bevorzugtes Ausgabemedium der Probanden.

Im zweiten Versuchsteil wurde untersucht, wie die Montage mittels bildbasierter Darstellung bewertet wird (Standalone). Ebenso wurde das bevorzugte Medium abgefragt, um damit die bisherigen Versuchsergebnisse zu validieren. Die Ergebnisse werden in Abbildung 3 gezeigt. Bei der Beantwortung des TAM (ein Experte) und des UEQ-S (drei Experten) wurden einzelne Fragen nicht angekreuzt. Dies wurde bei der Auswertung entsprechend berücksichtigt. Bei der Frage nach dem besten Ausgabemedium gab es teils Mehrfachnennungen oder keine Antwort. Diese Antworten sind unter dem Punkt *Sonstige* zusammengefasst.

5. Diskussion der Ergebnisse

Zusammenfassend lässt sich über alle Fragebögen hinweg festhalten, dass der Projektor gruppenunabhängig die besten Ergebnisse erzielt hat. Dieses Ergebnis wird weiter gestützt durch die Frage nach dem bevorzugten Ausgabemedium. Hier haben alle Versuchsgruppen den Projektor als Medium ihrer Wahl benannt. Betrachtet man die Montagezeit, so zeigt sich, dass dort der Projektor (445 s) nach der Standalone-Lösung (373 s) die zweitschnellste Montagezeit erreicht. Der AR-Monitor stellt laut Ergebnisauswertung eine sinnvolle Erweiterung der rein monitorbasierten Lösung dar, es werden jedoch nicht die Werte der Projektorvariante erreicht. Die Montagezeit (570 s) konnte im Gegensatz zum Referenzmonitor (642 s) reduziert werden. Die HoloLens wird von allen Gruppen negativ bewertet, vor allem jedoch von der Gruppe der Experten. Bei den zu beantwortenden Fragen wurde dies insbesondere mit einem eingeschränkten Sichtfeld und einem schlechten Handling begründet. Einige Nutzer gaben an, dass das Hologramm das eigentliche Bauteil verdeckt.

Bei der Standalone-Lösung ohne textuelle Beschreibung der Inhalte hat die Expertengruppe über alle Fragebögen hinweg (Abbildung 2) angegeben, dass diese Variante eher ungeeignet für die Montageassistenz ist. Bei der direkten Eignungsbewertung dieses Mediums bewertet die Gruppe der Experten das System als ungeeignet, wohingegen die Gesamtheit aller Probanden die Standalone-Lösung als geeignet beurteilt (Abbildung 3). Betrachtet man die Montagezeit, so zeigt sich, dass die Standalone-Lösung die besten Ergebnisse erzielt. Diese Zeiten sind jedoch nicht mit den anderen Lösungen vergleichbar: Das Getriebe war den Probanden bereits bekannt, die Montagezeit ist somit von einem gewissen Lerneffekt beeinflusst. Darüber

hinaus haben die Probanden angegeben, dass durch die fehlende textuelle Beschreibung kein Abgleich der Bauteile stattfinden konnte. Eine Qualitätskontrolle der Montage war den Probanden somit nicht möglich und führte zu einer Verkürzung der Montagezeit.

6. Fazit und Ausblick

Die Ergebnisse konnten zeigen, dass ein Projektor das bevorzugte Ausgabemedium für eine AR-basierte Werkerführung darstellt. Die direkte Projektion auf die Arbeitsfläche sowie die einfache Handhabung wurden dabei von den Probanden als Vorteile genannt. Da sich die Projektion nicht ausblenden lässt und somit vom Werker nicht ignoriert werden kann, stellt sie eine ständige Qualitätskontrolle der Montage dar. Die Helligkeit und die Projektionsgenauigkeit wurden hingegen als verbesserungswürdig benannt. Aufgrund dieser Erkenntnisse ist für den nächsten Entwicklungsschritt geplant, den Projektor mit einem Linienlaser, der nur die Konturen der Bauteile darstellt, zu vergleichen. Es wird dabei angenommen, dass durch die deutlich hellere Projektion die Nutzererfahrung und -akzeptanz weiter gesteigert wird, um damit einen der Nachteile des Projektors auszugleichen. Eine Herausforderung dabei stellt die technische Implementierung dar: CAD-Daten sollen automatisiert gewandelt und mit Hilfe des Lasers projiziert werden. Das Werkerführungssystem soll künftig um eine Qualitätskontrolle erweitert werden, die dann auch die Schrittweitschaltung – wie von den Probanden gewünscht – übernimmt und dadurch zum vollständig tutoriellen Assistenzsystem ausgebaut wird.

7. Literatur

- Werrlich S, Austino D, Ginger A, Nguyen P, Notni G (2018). Comparing HMD-Based and Paper-Based Training. 134–142.
- Loch F, Quint F, Brishtel I (2016). Comparing Video and Augmented Reality Assistance in Manual Assembly. 147–150.
- Alves J, Marques B, Oliveira M, Araujo T, Dias P, Santos B (2019). Comparing Spatial and Mobile Augmented Reality for Guiding Assembling Procedures with Task Validation.
- Rusch T, Hueber M, Kerber F, Sochor R, Fink K, Klug H, Stelzle B, Romanelli M (2021). SynDiQuAss – Synchronisierung von Digitalisierung, Qualitätssicherung und Assistenzsystemen.
- Horejsi P, Novikov K, Michal Š (2020). A Smart Factory in a Smart City: Virtual and Augmented Reality in a Smart Assembly Line. IEEE Access. PP. 1–1
- Venkatesh V, Davis F (2000). A Theoretical Extension of the Technology Acceptance Model: Four Longitudinal Field Studies. Management Science. 46. 186–204.
- Schrepp M, Hinderks A, Thomaschewski J (2017). Design and evaluation of a short version of the user experience questionnaire (UEQ-S). International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence, 4 (6), 103–108.
- Lewis JR (1991). Psychometric evaluation of an after-scenario questionnaire for computer usability studies: The ASQ. SIGCHI Bulletin, 23 (1), 78–81.
- Olbrecht T (2010): Akzeptanz von E-Learning: eine Auseinandersetzung mit dem Technologieakzeptanzmodell zur Analyse individueller und sozialer Einflussfaktoren. Jena.
- Laugwitz B, Schrepp M, Held T (2006). Konstruktion eines Fragebogens zur Messung der User Experience von Softwareprodukten.
- Roegele B, Funk W (2020). Safety4Bikes. Arbeitspaket 1: Usability-Evaluation des Gesamtsystems aus der Anforderungsperspektive von Kindern.
- Schrepp M (2019). User Experience Questionnaire Handbook.



Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Nachhaltig Arbeiten und Lernen

**Analyse und Gestaltung lernförderlicher
und nachhaltiger Arbeitssysteme
und Arbeits- und Lernprozesse**

69. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover

01. – 03. März 2023

GfA-Press

Bericht zum 69. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 01. – 03. März 2023

**Fakultät Maschinenbau, Institut für Berufswissenschaften der Metalltechnik (IBM) und
Institut für Fabrikanlagen und Logistik (IFA), Leibniz Universität Hannover**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.
Sankt Augustin: GfA-Press, 2023
ISBN 978-3-936804-32-4

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Jahresdokumentation

Als Manuskript zusammengestellt. Diese Jahresdokumentation ist nur in der Geschäftsstelle (s. u.) erhältlich.

Alle Rechte vorbehalten.

© GfA-Press, Sankt Augustin

Schriftleitung: Prof. Dr. Rolf Ellegast

im Auftrag der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Ohne ausdrückliche Genehmigung der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. ist es nicht gestattet:

- den Kongressband oder Teile daraus in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) zu vervielfältigen,
- den Kongressband oder Teile daraus in Print- und/oder Nonprint-Medien (Webseiten, Blog, Social Media) zu verbreiten.

Die Verantwortung für die Inhalte der Beiträge tragen alleine die jeweiligen Verfasser; die GfA haftet nicht für die weitere Verwendung der darin enthaltenen Angaben.

Geschäftsstelle der GfA

Simone John, Tel.: +49 (0)30 1300-13003

Alte Heerstraße 111, D-53757 Sankt Augustin

info@gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de · www.gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de

Screen design und Umsetzung

© 2023 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de