

Einsatz von Virtual Reality zum Erlernen eines Montageprozesses

David MACK, Johannes FUNK, Ludger SCHMIDT

*Fachgebiet Mensch-Maschine-Systemtechnik, Universität Kassel,
Mönchebergstraße 7, D-34125 Kassel*

Kurzfassung: Für die Montage von komplexen Baugruppen soll ein Schulungsangebot entwickelt werden, welches auch ohne Sprachbarriere ein niedrighschwelliges Anlernen neuer Arbeiter ermöglicht. In der hier vorgestellten Studie wurden zwei Arten von Montagetrainings für die Montage einer realen Baugruppe eines mittelständischen Unternehmens verglichen. Eine Gruppe wurde in einer VR-Trainingssimulation geschult. Die Kontrollgruppe wurde mit einem Video aus der Egoperspektive der VR-Anwendung trainiert. Dabei wurden die Gebrauchstauglichkeit (SUS) und die Beanspruchung (NASA-TLX) bei der Verwendung der Anwendungen getestet. Anschließend wurde die komplexe Baugruppe an einem Montagearbeitsplatz montiert, wobei die benötigte Zeit und die gemachten Fehler protokolliert wurden.

Schlüsselwörter: Virtuelle Realität, Realitätsnahes Montagetraining, Anlernphase, Baugruppenmontage

1. Einleitung

Im Rahmen des Forschungsprojekts ZUKIPRO wurde am Fachgebiet Mensch-Maschine-Systemtechnik der Universität Kassel ein Digitallabor eingerichtet, um gezielt kleine und mittlere Unternehmen (KMU) zu Digitalisierungsthemen zu informieren und zu beraten. Das Digitallabor bietet z. B. niedrighschwellige Beratungen zu den Themen Mensch-Roboter-Kollaboration, Augmented Reality (AR), 3D-Scan und -Druck sowie digitaler Arbeitssystemgestaltung mithilfe von Virtual Reality (VR) an. Im Rahmen dieser Beratungen können Unternehmen die aktuellen Technologien und Anwendungen unter Anleitung selbst erleben und ausprobieren, um eigene Erfahrungen zu sammeln und den Einsatz im eigenen Unternehmen besser abschätzen zu können.

Eine Herausforderung für Unternehmen besteht darin, qualifizierte Mitarbeiter für die Montage zu gewinnen. Die häufig zeitaufwendige Einarbeitung neuer Mitarbeiter in Verbindung mit einer zunehmenden Mitarbeiterfluktuation (Hammermann et al. 2019) stellt ein Problem klassischer Anlernmethoden dar. Laut Grames (2020) ist die betriebliche Praxis in einigen Unternehmen, dass erfahrene Mitarbeiter neue Mitarbeiter anlernen. Dieses auf Erfahrung beruhende Anlernen ermöglicht keine konsistente Schulungsqualität und ist abhängig von der pädagogischen Kompetenz des erfahrenen Mitarbeiters und dessen Fähigkeit, sich in die Probleme des neuen Mitarbeiters einzufühlen. Das Anlernen findet dabei meist direkt am Montagearbeitsplatz statt und bindet neben der Kapazität des Experten auch teils kostenintensive Maschinen oder wirkt sich negativ auf vor- und nachgelagerte Abläufe der Montagelinie aus. Klassisch ist das Montagetraining so erst möglich, nachdem der Montagearbeitsplatz

errichtet ist, wodurch eine frühzeitige Schulung von Mitarbeitern behindert wird. Es gibt vielversprechende Ansätze, wie Mitarbeiter ohne vorhandenen Arbeitsplatz in der virtuellen Welt trainiert werden können, auch wenn diese noch nicht vorhanden sind (Naranjo et al. 2020). Werrlich et al. (2018) kritisieren die begrenzte Aussagekraft der meisten Studien zu diesem Thema, z. B. aufgrund niedriger Komplexität der Montageaufgabe, der gemessenen Variablen oder fehlender echter Bauteile. Als kostengünstiger Lösungsansatz für die beschriebenen Probleme wird in der vorliegenden Studie ein virtuelles Montagetraining in VR untersucht. Dies hat u. a. den Vorteil, dass schon in der Planungsphase einer Montagelinie die zukünftigen Mitarbeiter an ihrem zukünftigen Arbeitsplatz trainieren können. Die Durchführung der Montagebewegungen beim Training in VR könnte zu schnelleren Montagezeiten und weniger Montagefehlern beitragen.

2. Methode

In der Studie wird die komplexe Montage von Notgriffen für die Türentriegelung in Schienenfahrzeugen mit einer originalen Baugruppe trainiert. Für das Training wird dabei entweder ein Video oder eine VR-Anwendung verwendet.

Für die Studie im Between-Subject-Design wurden die Probanden zu Beginn unter Berücksichtigung ihrer Eigenschaften in die zwei Gruppen *Video-Gruppe* und *VR-Gruppe* aufgeteilt. Die VR-Gruppe trainierte die Montage des Notgriffes mithilfe der VR-Trainingsumgebung. Die mithilfe der Laufzeit- und Entwicklungsumgebung *Unity* auf dem Head-Mounted-Display (HMD) *Quest 2* von *Meta* dargestellte Anwendung führte die Probanden Schritt für Schritt durch die verschiedenen Montageschritte inkl. der Verwendung von benötigten Werkzeugen wie Schonhammer, Innensechskantschlüssel, Ring-Maulschlüssel und einer Handhebelpresse. Ein besonderer Schwerpunkt wurde auf eine intuitive Benutzung der Anwendung durch Handgesten gelegt. Mittels Handtracking können virtuelle Bauteile auf natürliche Weise gegriffen und montiert werden. Die einzelnen Montageschritte wurden automatisch weitergeschaltet, wenn das passende Bauteil virtuell in die richtige Position gebracht wurde (siehe Abbildung 1 mittig). Bei Bauteilen, die potenziell Schwierigkeiten beim Einbau verursachen könnten, wurde mit einem gelben Ausrufezeichen darauf hingewiesen, dass Zusatzinformation auf dem Monitor in der Mitte des Arbeitsplatzes zu sehen sind. Auf den angezeigten markierten Fotos wurden hilfreiche Informationen zur korrekten Montageposition gegeben.



Abbildung 1: Video-Gruppe beim Betrachten eines Montageschrittes inklusive Zusatzinformationen (links); VR-Gruppe mit dem HMD und Übertragung des Blickfeldes auf externen Monitor (mittig); Montagearbeitsplatz mit Handhebelpresse, Montagevorrichtungen und Bereitstellungskisten (rechts)

Die Vergleichsgruppe (Video-Gruppe) trainierte mit einem aus der VR-Sicht aufgenommenen Video an einem Monitor. Das verwendete Video zeigt eine Aufnahme der korrekt durchgeführten Montage in der VR-Anwendung, wodurch beide Trainingseinheiten identische Informationen enthalten. Das Video konnte zu jeder Zeit pausiert werden, um bspw. die gezeigten Zusatzinformationen zu betrachten.

Beide Gruppen trainierten die Montage anhand von drei Montagedurchgängen des Notgriffes ohne Zeitbegrenzung. Anschließend montierten die Teilnehmer insgesamt fünf Notgriffe ohne weitere Anleitung am realen Arbeitsplatz. Während der Montage wurde den Probanden die zwei Fehlerarten *falsches Bauteil* und *falsche Montage* mit Hilfe von Schildern angezeigt.

In einem demografischen Fragebogen wurden Alter, Geschlecht und Vorerfahrung in der Montage abgefragt. Weiterhin wurde die Technikaffinität mit dem standardisierten TA-EG-Fragebogen (Karrer et al. 2009) erhoben. Nach der Trainingsphase wurde die Beanspruchung mit dem NASA-TLX Fragebogen (Hart & Staveland 1988) sowie die Gebrauchstauglichkeit mit der System-Usability-Scale-Fragebogen (SUS) (Brooke 1995) erfasst. Die Montagezeiten der einzelnen Durchgänge und dabei gemachte Fehler wurden aus Videoaufnahmen ermittelt.

An der Laborstudie nahmen 30 Probanden (13 weiblich, 17 männlich) mit einem Durchschnittsalter von 25,0 Jahren ($SD = 4,7$ Jahren) teil. Zwischen den beiden Gruppen liegt kein signifikanter Unterschied in der Alterszusammensetzung vor ($U=112$; $Z = -0,02$; $p = 0,991$). Die Technikaffinität der Probanden liegt in der *Video-Gruppe* im Durchschnitt bei 3,78 ($SD = 0,46$) und in der *VR-Gruppe* bei 3,76 ($SD = 0,53$). Auch hier konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden ($t(27,44)=0,92$; $p = 0,927$).

Die Probanden hatten wenig bis gar keine Vorerfahrungen in der manuellen Montage von komplexen Baugruppen im industriellen Umfeld.

3. Ergebnisse

Zu Beginn der Auswertung wurden alle Werte mit dem Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung und mit dem Levene-Test auf Varianzhomogenität geprüft. Abhängig davon wurde entweder ein t-Test oder ein Mann-Whitney-U-Test (WRS) für unabhängige Stichproben durchgeführt.

Mit der Hypothese H1 wird geprüft, inwieweit sich die Montagezeiten (Abbildung 2) zwischen den Gruppen unterscheiden. Die Gesamtdauer war bei der VR-Gruppe signifikant größer als bei der Video-Gruppe, während sich bei den einzelnen Durchgängen keine signifikanten Unterschiede zeigten.

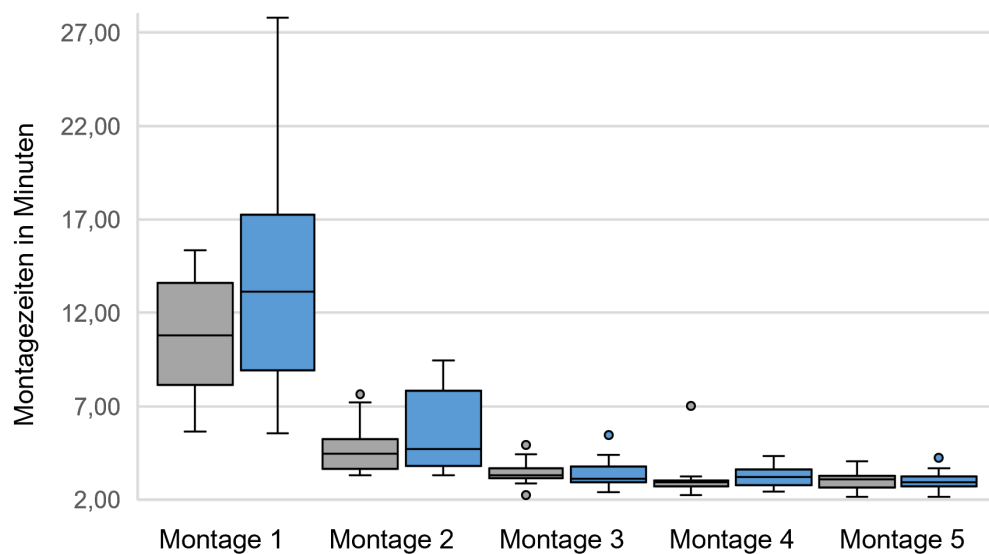


Abbildung 2: Montagezeiten der Video-Gruppe (grau) und der VR-Gruppe (blau) gruppiert nach Montagedurchgängen

In Tabelle 1 sind die Mittelwerte, Standardabweichungen und die Ergebnisse des t-Tests oder WRS angegeben. Zusätzlich wurden Vergleichswerte aus einer Studie von Funk und Schmidt (2020) mit aufgeführt, in der Probanden (alle in der Ausbildung zum Industriemechaniker und vertraut mit ähnlichen Baugruppen) die Notgriffe ohne vorheriges Training, dafür aber mit einer papierbasierten Schritt-für-Schritt-Montageanleitung am Arbeitsplatz montierten.

Tabelle 1: Mittelwerte und Standardabweichungen der Video-Gruppe, VR-Gruppe und der Vergleichswerte von Funk und Schmidt (2020) über fünf Montagedurchgänge sowie Ergebnisse der stat. Auswertung des Gruppenvergleichs

	Video-Gruppe	VR-Gruppe	Vergleichswerte	t-Test oder WRS
	M [min] (SD [min])			
Montage 1	10,70 (3,18)	14,55 (6,46)	8,53 (1,31)	$t(20,333)=-2,058$; $p = 0,053$
Montage 2	4,63 (1,30)	5,58 (2,13)	4,82 (0,52)	$U=82$, $Z=-1,266$; $p = 0,217$
Montage 3	3,43 (0,64)	3,41 (0,78)	4,36 (0,84)	$t(28)=0,068$; $p = 0,946$
Montage 4	3,13 (1,10)	3,26 (0,55)	3,80 (0,81)	$U=71,5$, $Z=-1,701$; $p = 0,091$
Montage 5	3,04 (0,50)	3,12 (0,62)	3,46 (0,66)	$t(28)=-0,412$; $p = 0,684$
Gesamtdauer	24,93 (4,42)	29,92 (7,93)	24,98 (3,43)	$t(21,926)=-2,127$; $p = 0,045$

Mit der Hypothese H2 wird die Anzahl der Montagefehler pro Montagedurchgang bei den beiden Trainingsarten geprüft. Insgesamt machte die Video-Gruppe mit durchschnittlich 6,33 Fehlern (SD = 4,17 Fehler) signifikant weniger Fehler als die VR-Gruppe mit durchschnittlich 12,20 Fehlern (SD = 7,68 Fehler) ($t(21,587) = -2,599$; $p = 0,017$). In Abbildung 3 ist die durchschnittliche Anzahl der Fehler pro Montagedurchgang aufgeführt.

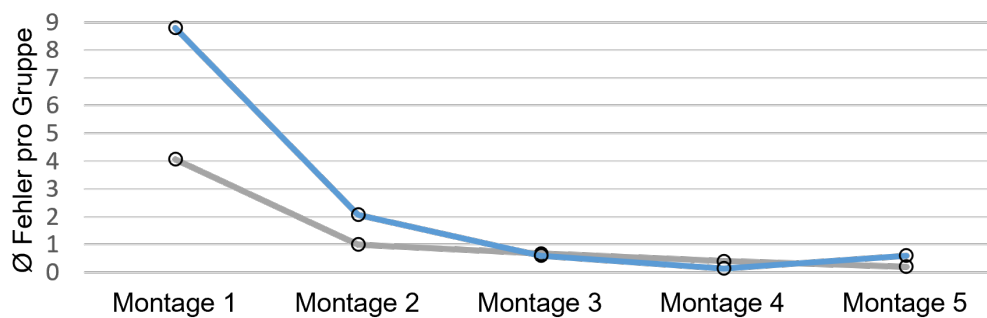


Abbildung 3: Durchschnittliche Montagefehler pro Montagedurchgang der Video-Gruppe (grau) und der VR-Gruppe (blau)

Mit der Hypothese H3 (Gebrauchstauglichkeit) und H4 (Beanspruchung) wird geprüft, inwieweit sich die Video-Gruppe und VR-Gruppe unterscheiden. Die Boxplots beider Werte sind in Abbildung 4 zu sehen.

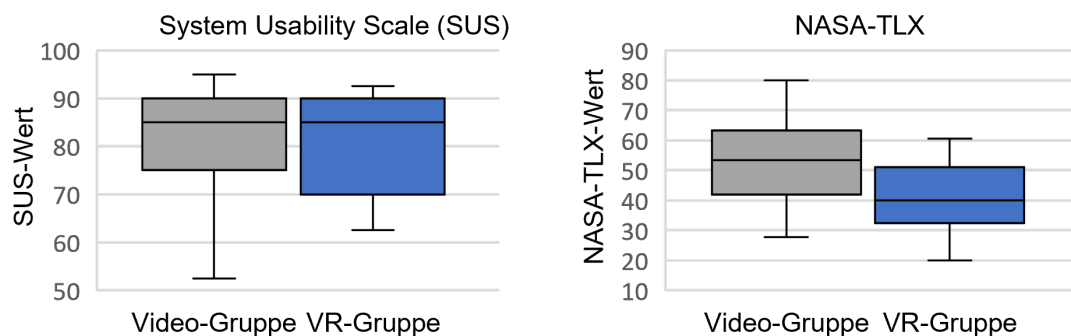


Abbildung 4: Boxplots zur Gebrauchstauglichkeit (links) und Beanspruchung (rechts)

Die durchschnittliche Gebrauchstauglichkeit ist in der Video-Gruppe mit 77,83 (SD = 17,90) niedriger als in der VR-Gruppe mit 81,00 (SD = 10,72). Die Unterschiede sind allerdings nicht signifikant ($U = 110,50$; $Z = -0,083$; $p = 0,943$). Die durchschnittliche Beanspruchung liegt bei der Video-Gruppe mit 52,42 (SD = 13,90) höher als bei der VR-Gruppe mit 40,89 (SD = 12,52). Hierbei liegt eine signifikant höhere Beanspruchung beim Betrachten des Videos vor ($t(28)=2,388$; $p=0,024$).

4. Diskussion und Fazit

Im Vergleich zu der Studie von Funk und Schmidt (2020) zeigt sich, dass die Video-Gruppe, bestehend aus nicht industrieerfahrenen Personen nach dem Training ähnliche Montagezeiten ohne weitere Anleitung hatten, wie die Vergleichsgruppe bestehend aus Industriemechaniker-Auszubildenden, die während der Montage eine papierbasierte Schritt-für-Schritt-Anleitung nutzten.

Bei der VR-Gruppe zeigt sich das nicht, was daran liegen könnte, dass im Vergleich zu einem Video für die Probanden ein HMD ungewohnt ist und vom Training ablenkt. Eine weitere Erklärung könnte sein, dass die zu montierenden Bauteile in der VR-Anwendung virtuell lagerichtig einrasten, sobald diese nahe genug an die korrekte Stelle bewegt werden. Diese Hilfe könnte dazu geführt haben, dass Probanden der VR-Gruppe Bauteile – ohne darüber nachzudenken – „zusammengesteckt“ haben.

Während der Trainingsphase war zu beobachten, dass vor allem in den Durchgängen zwei und drei in der VR-Gruppe Bauteile sehr schnell montiert wurden. Probandenaussagen wie „vielleicht zu schnell durch die Anwendung gegangen (teils Überspringen ohne richtige Ausrichtung möglich)“ stützen diese Beobachtungen. Die SUS-Mittelwerte der Gebrauchstauglichkeit beider Gruppen sind mit *gut* bis *exzellent* zu bewerten (Bangor et al. 2009). Auch die NASA-TLX Werte zeigen, dass die VR-Anwendung sehr gut zu nutzen ist und eine geringere Beanspruchung als die Video-Gruppe hat. Kritisch anmerken muss man, dass die NASA-TLX Werte generell sehr hoch sind, wenn man den Vergleich zu den NASA-TLX Werten von Funk und Schmidt (2020) herstellt. Probandenaussagen wie „Stressempfinden durch die Anwendung“ oder auch „die Aufgabe ist sehr lang (viele Schritte)“ untermauern die erhobenen Daten zusätzlich.

Für zünftige Arbeiten ist geplant, die Möglichkeiten von Videos bei der Schulung von Mitarbeitern intensiver zu nutzen, aber auch die VR-Anwendung weiterzuentwickeln. Der Effekt, dass Montageschritte in der VR-Anwendung ohne mitzudenken abgearbeitet werden, soll im nächsten Schritt durch Implementierung verschiedener Schwierigkeitsgrade verringert werden. Diese Adaptivität soll den Trainingseffekt in der VR-Anwendung im Vergleich zu einem Video erhöhen.

5. Literatur

- Bangor A, Miller J, Kortum P (2009) Determining What Individual SUS Scores Mean: Adding an Adjective Rating Scale. *Journal of Usability Studies* 4(3): 114–123.
- Brooke J (1995) SUS: A quick and dirty usability scale. *Usability Eval. Ind.* 189.
- Funk J, Schmidt L (2020) Evaluation einer Augmented-Reality-Anleitung für eine komplexe Montageaufgabe. In: Zender R, Ifenthaler D, Leonhardt T, Schumacher C (eds) DELFI 2020 – Die 18. Fachtagung Bildungstechnologien der Gesellschaft für Informatik e. V. 14.-18. September 2020, Online. Bonn: Gesellschaft für Informatik.
- Grames PP (2020) Wissenstransfer in Organisationen: Entwicklung eines Methodenkonzepts des Wissensmanagements zur Sicherung von Erfahrungswissen, zur Vermeidung von Wissensverlusten und zur Einarbeitung neuer Mitarbeiter. Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg.
- Hammermann A, Schmidt J, Stettes O (2019) Fluktuation auf dem deutschen Arbeitsmarkt: Forschungsdatenzentrum der Bundesagentur für Arbeit (BA) im Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (IAB).
- Hart SG, Staveland LE (1988) Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research. In: Hancock PA, Meshkati N (eds) *Advances in Psychology : Human Mental Workload*, vol 52: North-Holland, 139–183.
- Karrer K, Glaser C, Clemens C, Lichtenstein A, Stößel C (2009) Technikaffinität erfassen – der Fragebogen TA-EGDer Mensch im Mittelpunkt technischer Systeme. 8. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme. Düsseldorf: VDI Verlag GmbH.
- Naranjo JE, Sanchez DG, Robalino-Lopez A, Robalino-Lopez P, Alarcon-Ortiz A, Garcia MV (2020) A Scoping Review on Virtual Reality-Based Industrial Training. *Applied Sciences* 10(22): 8224.
- Werrlich S, Daniel A, Ginger A, Nguyen P-A, Notni G (2018) Comparing HMD-Based and Paper-Based Training. In: 2018 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR): IEEE, 134–142.

Förderhinweis: Das Projekt „Zukunftszentrum für menschenzentrierte KI in der Produktionsarbeit (ZUKIPRO)“ wird im Rahmen des Programms „Zukunftszentren“ durch das Bundesministerium für Arbeit und Soziales und die Europäische Union über den Europäischen Sozialfonds Plus (ESF Plus) gefördert.



Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Arbeitswissenschaft in-the-loop

**Mensch-Technologie-Integration
und ihre Auswirkung auf Mensch,
Arbeit und Arbeitsgestaltung**

70. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Institut für Arbeitswissenschaft und
Technologiemanagement IAT
Universität Stuttgart

In Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für
Arbeitswirtschaft und Organisation IAO

06. – 08. März 2024

GfA-Press

Bericht zum 70. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 06. – 08. März 2024

Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement (IAT), Universität Stuttgart

In Zusammenarbeit mit: Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO), Stuttgart

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Sankt Augustin: GfA-Press, 2024

ISBN 978-3-936804-34-8

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Jahresdokumentation

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

Alle Rechte vorbehalten.

© **GfA-Press, Sankt Augustin, Schriftleitung: Prof. Dr. Rolf Ellegast**

im Auftrag der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

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

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

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

Geschäftsstelle der GfA

Simone John, Tel.: +49 (0)30 1300-13003, Alte Heerstraße 111, D-53757 Sankt Augustin

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

Screen design und Umsetzung

© 2024 fröse multimedia, Frank Fröse,

office@internetkundenservice.de, www.internetkundenservice.de