





## Von der Theorie zur Praxis

---

Traditionelle Schulungsmethoden stoßen in einer Welt, in der industrielle Prozesse immer komplexer und digitaler werden, an ihre Grenzen. Die digitale Transformation erfordert neue Lernformate, etwa gegenüber traditionellen papierbasierten Anleitungen. Der Einsatz von Augmented Reality gilt dabei als vielversprechend. Aber wie groß sind die Vorteile hinsichtlich Benutzerfreundlichkeit und Wissenstransfer in komplexen Arbeitsumgebungen wirklich?

### Schlüsselwörter

Augmented Reality, Lernen und Training, Wissenstransfer, Lernfabriken, digitale Transformation

**Jana Gonnermann-Müller** ist Wissenschaftliche Mitarbeiterin und Doktorandin am Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik, insb. Prozesse und Systeme und in der Forschungsgruppe „Bildung für die digitale Welt“ am Weizenbaum-Institut für die vernetzte Gesellschaft.

**Dr. Philip Wotschack** ist Leiter der Forschungsgruppe „Arbeiten mit künstlicher Intelligenz“ am Weizenbaum-Institut für die vernetzte Gesellschaft und wissenschaftlicher Mitarbeiter am Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung (WZB).

**Prof. Dr. Martin Krzywdzinski** ist Direktor am Weizenbaum-Institut für die vernetzte Gesellschaft, Leiter der Forschungsgruppe "Globalisierung, Arbeit und Produktion" am WZB und Professor für Internationale Arbeitsbeziehungen an der Helmut-Schmidt-Universität Hamburg.

**Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Norbert Gronau** ist Inhaber des Lehrstuhls für Wirtschaftsinformatik, Prozesse und Systeme an der Universität Potsdam und Principal Investigator der Forschungsgruppe „Bildung für die digitale Welt“ am Weizenbaum-Institut für die vernetzte Gesellschaft.

### Kontakt

jana.gonnermann@wi.uni-potsdam.de  
lswi.de

DOI: 10.30844/I4SD.25.5.22

## Von der Theorie zur Praxis

### *Weniger Fehler und schnellere Umsetzung von Produktionsprozessen dank Augmented Reality*

Jana Gonnermann-Müller, Philip Wotschack, Martin Krzywdzinsk und Norbert Gronau,  
Universität Potsdam

Die zunehmende Komplexität industrieller Umgebungen erfordert neue Kompetenzen, insbesondere in der Interaktion mit digitalen Systemen. Traditionelle Ausbildungsmethoden reichen für den effektiven Transfer von angewandtem Wissen oft nicht aus. Um diese Lücke zu schließen, wurde ein Experiment durchgeführt, bei dem Augmented Reality (AR) und papierbasierte Anleitungen in einem Produktionsszenario verglichen wurden. Die Ergebnisse zeigen: Teilnehmer, die mit AR lernten, führten den Produktionsprozess deutlich schneller und mit weniger Fehlern durch. Darüber hinaus berichteten die Lernenden, die AR nutzten, von einer höheren Benutzerfreundlichkeit und einer geringeren kognitiven Belastung während des Trainings.

praktische Anwendbarkeit und die für einen effektiven Kompetenzerwerb erforderlichen praktischen Erfahrungen fehlen [6, 7, 8]. Um diesen Einschränkungen zu begegnen, stellen Lernfabriken eine Alternative dar, indem sie anwendungsorientierte, interaktive Ausbildungsformate anbieten, die die Entwicklung praktischer Fähigkeiten

### Augmented Reality für Lernen und Training

Die digitale Transformation und Industrie 4.0 verändern industrielle Arbeitsplätze durch die Einführung von Technologien und Automatisierung und verändern damit die Art der Arbeit und die von den Mitarbeitern geforderten Kompetenzen [1, 2, 3]. Da sich Produktionsumgebungen durch Vernetzung und Automatisierung weiterentwickeln, müssen Arbeitnehmer neue Fähigkeiten entwickeln, wie die Interaktion mit komplexen Systemen, einschließlich Künstlicher Intelligenz (KI) und digitalen Systemen, und sich mit komplexen Problemlösungen befassen. Um mit der Integration neuer Technologien und den daraus resultierenden Prozessänderungen Schritt zu halten, sind lebenslanges Lernen und Weiterbildung von entscheidender Bedeutung [4]. Zudem müssen die Arbeitnehmer flexibel bleiben, um neue Technologien in dynamischen und sich schnell verändernden Kontexten effektiv anwenden zu können [5].

Traditionelle Bildungsmethoden wie Vorlesungen und Lehrbücher erweisen sich oft als unzureichend für die Entwicklung dieser neuen Kompetenzen, da ihnen die

ten und Kompetenzen in realistischen, branchenorientierten Umgebungen effektiver unterstützen. Lernfabriken ermöglichen die Entwicklung von Fähigkeiten durch realistische Simulationen von Fertigungsumgebungen und ermöglichen so den Aufbau praktischer Kompetenzen ähnlich wie in realistischen Umgebungen [9, 10, 11]. Die Einbindung digitaler Technologien in diese Simulationsumgebungen erhöht deren Effektivität zusätzlich, da die Lernenden direkt mit komplexen technologischen Schnittstellen und Entscheidungshilfesystemen interagieren können. Augmented Reality (AR) bietet eine Möglichkeit zum Transfer von angewandtem Wissen [12].

AR ermöglicht in die Arbeitsumgebung integriertes Lernen mit virtuellen Hinweisen und 3D-Elementen [13], die ein schrittweises Lernen in einer realistischen Umgebung ermöglichen [14, 15]. Auf dieser Grundlage bietet sie eine vielversprechende Erweiterung für Lernfabrikumgebungen, indem sie Lehrinhalte nahtlos in reale Kontexte integriert und so die Lücke zwischen abstrakter Unterweisung und praktischer Anwendung schließt.

Bislang hat sich das Lernen mit AR als wertvoll erwiesen, was verbesserte Lernergebnisse angeht, darunter Leistungssteigerungen [16], positivere Einstellungen der Lernenden, höhere Zufriedenheit mit dem Ausbildungsprozess [17, 18, 19] und verkürzte Lernzeiten [13]. Während bestehende Studien die motivationalen und kognitiven Vorteile des AR-basierten Lernens hervorheben, gibt es nur wenige empirische Belege für seine Wirksamkeit bei der Quantifizierung des Transfers von angewandtem Wissen in den Arbeitsplatz.

Lernergebnisse werden häufig durch Wissenstests oder Fragebögen zur Motivation und wahrgenommenen Kom-



Die ORCID-Identifizierungsnummern der Autoren dieses Beitrags sind einsehbar unter <https://doi.org/10.30844/I4SD.25.5.22>

Dies ist ein Open-Access-Artikel unter den Bedingungen der Creative Commons Attribution License, die die Nutzung, Verbreitung und Reproduktion in jedem Medium erlaubt, sofern das Originalwerk ordnungsgemäß zitiert wird.



**Bild 1:** Produktionsumgebung während des Lernens und der Anwendung (links) und Visualisierung der AR-Anweisungen (rechts).

petenz bewertet, die jedoch oft nicht erfassen, ob die Lernenden die erworbenen Fähigkeiten in der Praxis effektiv anwenden können. Die vorliegende Studie befasst sich mit dieser Lücke und stellt die folgende Forschungsfrage:

*Inwieweit erleichtert das Training mit Augmented Reality den Transfer von angewandtem Wissen in die Produktionsumgebung?*

Um die Forschungsfrage zu beantworten, wurde in dieser Arbeit ein Experiment mit einem realistischen Trainings- und Anwendungsszenario durchgeführt, in dem die Teilnehmer mithilfe von AR einen Produktionsprozess erlernen. Der Transfer des angewandten Wissens wird anschließend anhand ihrer Fähigkeit bewertet, die Aufgabe ohne weitere Anweisungen in der Fertigungsumgebung auszuführen. Die Methodik, die Ergebnisse und die Implikationen werden im Folgenden vorgestellt.

## Methodik

Die Trainingsszenarien werden mit dem Ziel bewertet, die Auswirkungen der angewandten, AR-gestützten Trainingsmethoden zu validieren. Um die oben genannte Forschungsfrage zu beantworten, verwendet diese Arbeit ein sogenanntes One-Factor Between-Subjects Design, um Personen, die mit AR-Anweisungen lernen, mit Personen zu vergleichen, die mit Anweisungen auf Papier lernen. Das Studiendesign entspricht der Genehmigung der Ethikkommission des Weizenbaum-Instituts.

## Vorgehensweise

Die Studie wurde zwischen November 2023 und Mai 2024 an der Universität Potsdam durchgeführt. Vor der Teilnahme wurden die Personen über ihre Rechte informiert, darunter die freiwillige Teilnahme und die Möglichkeit, jederzeit aus der Studie auszusteigen. Anschließend erhielten die Teilnehmer eine allgemeine Einführung in die Fabrikumgebung, einschließlich der Produktionsanlagen und Arbeitsplätze. Danach wurden sie nach dem Zufallsprinzip einer der beiden Anweisungsbedingungen zugewiesen: traditionelle Anweisungen auf Papier (Kontrollgruppe) oder AR-basierte Anweisungen, die über ein Head-Mounted Display (HMD) bereitgestellt wurden. Alle Teilnehmer durchliefen eine Kalibrierungsprozedur für die AR HoloLens, die als AR-HMD verwendet wurde.

In der Lernphase absolvierten die Teilnehmer drei Produktionszyklen (sogenannte Lernrunden) mit jeweils sechs Produktionsschritten. Jede Lernrunde wurde durch das Eintreffen eines Werkstücks an der Station ausgelöst. Die Teilnehmer beider Gruppen erhielten identische Anweisungen. Das Format der Anweisungen unterschied sich jedoch: Die Kontrollgruppe verwendete gedruckte Materialien, die in der Reihenfolge des Produktionsprozesses auf drei Seiten präsentiert wurden, während die AR-Gruppen über das AR-HMD (HoloLens) auf dieselben Informationen zugreifen konnten, die ihnen in Echtzeit direkt in ihrem Sichtfeld angezeigt wurden (in Anlehnung an [20]). Nach Abschluss der Lernphase füllten die Teilnehmer einen Fragebogen aus, der Skalen zur Messung der Benutzerfreundlichkeit und der kognitiven Belastung enthielt.

Im Anschluss an die Lernphase ging die Studie zum Anwendungsszenario über, das als Test für den Wissenstransfer und die Leistung diente. Die Teilnehmer absolvierten 15 Produktionsrunden ohne jegliche Hilfestellung. Ziel war es, zu bewerten, wie gut die Teilnehmer das Gelernte selbstständig anwenden konnten.

## Szenario

Um das zentrale Forschungsziel der Bewertung von Anwendungsszenarien für Produktionsfertigkeiten unter Verwendung von AR zu erreichen, wurde ein Szenario entwickelt und in einer kontrollierten Versuchsumgebung umgesetzt. Das Lernszenario zielte ausdrücklich auf die Entwicklung praktischer Produktionsfertigkeiten ab, wobei der Schwerpunkt auf der Interaktion mit digitalen Technologien, einschließlich AR und Internet der Dinge (IoT), lag. Dieses Szenario wurde in einer Lernfabrik am Forschungsinstitut der Autoren durchgeführt und umfasste eine realistische, simulierte Produktionsumgebung mit verschiedenen Arbeitsplätzen, Robotern, simulierten Lagern und einer vernetzten Produktionslinie (**Bild 1**). Die Teilnehmer schlüpften in die Rolle von Fabrikarbeitern, die mit der Herstellung von optischen Linsen beschäftigt waren. Die Produktionsaufgaben erforderten von den Teilnehmern, die Richtigkeit der eingehenden Aufträge zu überprüfen, bestimmte Maschinenparameter zu konfigurieren, die laufenden Produktionsprozesse zu überwachen und gründliche Qualitätskontrollen durchzuführen. Die Teilnehmer durchliefen drei Lernrunden.

## Bewertungsmethoden

Der erste Fragebogen erfasste demografische Variablen (z. B. Alter, Geschlecht, Beschäftigungsstatus), frühere Erfahrungen mit AR und die Vertrautheit mit produktionsbezogenen Aufgaben.

## Bewertung der Lernphase

Nach Abschluss aller drei Lernrunden beantworteten die Teilnehmer die von Klepsch et al. (2017) entwickelte kognitive Belastungsskala. Dieses Instrument besteht aus acht Items, die auf einer 7-Punkte-Likert-Skala von 1 („trifft überhaupt nicht zu“) bis 7 („trifft voll und ganz zu“) bewertet werden. Beispielaussagen sind: „Während dieser Aufgabe war es anstrengend, die relevanten Informationen zu finden“, „Die Gestaltung dieser Aufgabe war für das Lernen sehr ungünstig“ und „Während dieser Aufgabe war es schwierig, die entscheidenden Informationen zu erkennen und miteinander zu verknüpfen“. Zusätzlich füllten die Teilnehmer die System Usability Scale (SUS; Brooke, 1986) aus. Die Skala umfasst zehn Items, die auf einer 5-Punkte-Likert-Skala von 1 („stimme überhaupt

nicht zu“) bis 5 („stimme voll und ganz zu“) bewertet wurden. Sie enthielten Aussagen wie „Ich fand das System unnötig komplex“ und „Ich fand das System einfach zu bedienen“. Neben der subjektiven Bewertung des Lernens wurden auch objektive Daten zur Lerndauer erhoben. Für jede Runde wurde die Lerndauer als Zeitintervall zwischen dem Eintreffen des Werkstücks und der Fertigstellung der letzten Teilaufgabe definiert.

## Anwendungsbewertung

Die Lernergebnisse wurden anhand der Zeit bis zur Fertigstellung der Aufgabe und der Anzahl der Fehler bewertet. Diese Kennzahl erfasst die Gesamtzeit, die die Teilnehmer ohne Anleitung benötigten, um eine Produktionsrunde abzuschließen. Die Zeit bis zur Fertigstellung der Aufgabe wurde vom Eintreffen des Werkstücks bis zur letzten Interaktion des Teilnehmers mit der Produktionslinie gemessen. Als Fehler wurden alle falschen Interaktionen innerhalb des Arbeitsbereichs definiert. Dazu gehörten beispielsweise das Drücken der falschen Taste am Maschinenterminal, die Auswahl falscher Parameter für die Maschinenkalibrierung oder die Angabe einer falschen Anzahl von Linsen bei der Qualitätsprüfung.

## Stichprobe

Die Daten von 87 Teilnehmern (darunter 39 Frauen und 46 Männer), im Durchschnitt 25 Jahre alt (SD=5,91), wurden in die Datenanalyse einbezogen. Die Teilnehmer wurden über Mailinglisten und Ankündigungen an mehreren Universitäten rekrutiert und zufällig einer Gruppe zugeordnet, entweder AR (N= 69) oder Papieranweisungen (N=17). Vor dem Experiment wurden die Teilnehmer nach ihren Erfahrungen mit AR-HMD gefragt. 64,29 % gaben an, noch nie AR verwendet zu haben, 34,29 % gaben an, AR selten verwendet zu haben, und 1,43 % gaben an, AR gelegentlich verwendet zu haben. Zusätzlich bewerteten die Teilnehmer ihre Erfahrungen mit Produktionsumgebungen, wobei 13,79 % über Erfahrungen verfügten und 86,2 % keine Erfahrungen hatten.

## Ergebnisse

In diesem Abschnitt werden die gesammelten Daten untersucht und zwischen der AR- und der Papier-Anleitungsgruppe verglichen. Alle Daten werden auf deskriptiver Ebene beschrieben.

Der gesamte Lernprozess dauerte durchschnittlich 7,24 Minuten. Teilnehmer, die mit AR lernten, benötigten 7 Minuten, während diejenigen, die mit Papieranweisungen lernten, 8,24 Minuten benötigten. Sie benötigten etwa 17,7 % mehr Zeit, um den Lernprozess abzuschließen, als

| Variable                             | Gesamte Stichprobe | AR-Anweisung  | Analoge Anweisung |
|--------------------------------------|--------------------|---------------|-------------------|
| <b>Lernphase</b>                     |                    |               |                   |
| Anwendbarkeit                        | 71.48 (19.13)      | 72.54 (19.57) | 67.08 (17.75)     |
| Kognitive Last                       | 8.72 (4.26)        | 8.43 (4.28)   | 9.94 (4.15)       |
| Lernzeit (min)                       | 7.24 (2.33)        | 7.01 (2.35)   | 8.24 (2.02)       |
| <b>Transfer- und Anwendungsphase</b> |                    |               |                   |
| Aufgabenerfüllung (min)              | 21.75 (4.78)       | 21.59 (4.5)   | 22.58 (3.92)      |
| Anzahl der Fehler                    | 4.68 (4.15)        | 4.48 (4.10)   | 5.17 (4.31)       |

Hinweis: Die Werte sind als Mittelwerte (Standardabweichung) angegeben.

**Bild 2:** Übersicht über die während des Lernprozesses und der anschließenden Anwendung des erworbenen Wissens in einer Produktionsumgebung bewerteten Ergebnisse.

diejenigen, die mit AR-Anweisungen lernten. Ergänzend zu den objektiven Daten bewerteten sie die Benutzerfreundlichkeit der Lernanweisungen und die kognitive Belastung, die sie während des Lernens empfanden. Die Ergebnisse zeigen, dass die Lernenden AR ( $M=72,54$ ,  $SD=19,57$ ) in Bezug auf die Benutzerfreundlichkeit gegenüber den Anweisungen auf Papier ( $M=67,08$ ,  $SD=17,75$ ) bevorzugen und eine geringere kognitive Belastung durch die Anweisungen angeben (AR  $M=8,43$ ,  $SD=4,28$ , Anweisungen auf Papier ( $M=9,94$ ,  $SD=4,15$ )).

In Bezug auf die Forschungsfrage wurde untersucht, wie gut die Teilnehmer die erlernten Fähigkeiten ohne zusätzliche Anweisungen, Zeit und Anzahl der Fehler in den Produktionsprozess übertragen und dann anwenden konnten. Die Zeitmessungen zeigen, dass Teilnehmer, die mit der AR-Anleitung gelernt hatten, die Schritte des Produktionsprozesses 1 Minute schneller ( $M=21,59$ ,  $SD=4,5$ ) anwenden konnten als diejenigen, die mit Papieranleitungen gelernt hatten ( $M=22,58$ ,  $SD=3,92$ ). Darüber hinaus machten Personen, die mit der AR-Anleitung gelernt hatten, weniger Fehler ( $M=4,48$ ,  $SD=4,10$ ), wenn sie die Produktionsschritte ohne Anleitung anwendeten, als Personen, die mit der Papieranleitung gelernt hatten ( $M=5,17$ ,  $SD=4,31$ ). **Bild 2** zeigt alle Ergebnisse.

## Diskussion – Beantwortung der Forschungsfrage

Die Ergebnisse zeigen, dass AR den Transfer von angewandtem Wissen in reale Produktionsumgebungen erleichtern kann. Teilnehmer, die eine AR-basierte Anleitung erhielten, führten die Produktionsaufgabe in einer realistischen Produktionsumgebung schneller und mit weniger Fehlern aus als diejenigen, die herkömmliche An-

weisungen auf Papier verwendeten. Sie benötigten weniger Zeit, um die Produktion ohne Anleitung anzuwenden und weniger Zeit während des Lernens. Die Daten wurden durch eine positive Bewertung der Benutzerfreundlichkeit und der kognitiven Belastung bei der Verwendung von AR untermauert. Zusammengefasst liefern diese Ergebnisse empirische Belege für die Wirksamkeit von AR-basierten Schulungen zur Förderung effizienterer Lernprozesse und zur Erleichterung des Transfers von angewandtem Wissen auf komplexe reale Produktionsaufgaben.

## Implikationen und zukünftige Forschung

Auf der Grundlage der Ergebnisse der Studie schlagen wir zwei Implikationen vor: Erstens zeigen unsere Ergebnisse, dass AR die Möglichkeit bietet, Schulungen direkt am Arbeitsplatz durchzuführen. Im Gegensatz zu traditionellen Schulungen im Klassenzimmer oder anhand von Handbüchern kann AR die Mitarbeiter Schritt für Schritt durch die Produktionsumgebung führen, wodurch das Lernen kontextbezogener wird und die Lücke zwischen Schulung und Anwendung verringert wird. In unserer Studie konnten die Lernenden den Produktionsprozess ohne Anleitung schneller und mit weniger Fehlern anwenden. Für Unternehmen bedeutet dies eine Verringerung der anfänglichen Fehler, was zu erheblichen Kosteneinsparungen führen kann. Zweitens deuten unsere Ergebnisse darauf hin, dass der Einsatz von AR für das Lernen es den Mitarbeitern ermöglicht, schneller einsatzbereit zu sein. Unternehmen, die neue Prozesse oder Technologien einführen, könnten von der Fähigkeit von AR profitieren, die Lernkurve zu verkürzen, insbesondere für unerfahrene Mitarbeiter, die sonst mit abstrakten Anweisungen zu kämpfen hätten, was eine Verkürzung der Einarbeitungszeit bedeutet.

Dennoch sollten die Grenzen der Studien berücksichtigt werden, um die Ergebnisse richtig zu verstehen. Erstens können die relativ kleine Stichprobengröße und die unausgewogene Gruppenzuordnung die Verallgemeinerbarkeit der Ergebnisse einschränken und die für robustere inferenzstatistische Analysen erforderliche statistische Aussagekraft beeinträchtigen. Darüber hinaus könnten potenzielle Verzerrungen aufgrund von Stichprobenvariabilität oder unkontrollierten Störfaktoren die beobachteten Effekte beeinflusst haben. Daher wurde beschlossen, sich ausschließlich auf deskriptive Statistiken zu konzentrieren.

Zweitens wurde die Studie zwar in einer realistischen Produktionsumgebung durchgeführt, um die ökologische Validität zu erhöhen, jedoch war die Stichprobe relativ homogen, was die Verallgemeinerbarkeit der Ergebnisse einschränken könnte. Zukünftige Untersuchungen sollten versuchen, diese Ergebnisse mit größeren und vielfältigeren Stichproben zu replizieren, um die empirischen Belege zu stärken und präzisere statistische Analysen, einschließlich robuster inferenzstatistischer Tests, zu ermöglichen.

## AR unterstützt den effektiven Transfer praktischer Fähigkeiten

Diese Studie leistet einen Beitrag zur Forschung zum Einsatz von Augmented Reality (AR) im Lernbereich, indem sie eine leistungsorientierte Bewertung des angewandten Wissenstransfers in einer realistischen industriellen Umgebung bietet. Die Ergebnisse zeigen, dass AR den Transfer praktischer Fähigkeiten effektiv unterstützen kann, da Teilnehmer, die mit AR gelernt haben, den Produktionsprozess schneller und mit weniger Fehlern anwenden konnten als diejenigen, die eine papierbasierte Einweisung erhalten hatten.

*Die Arbeit wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) unter den Fördernummern 16DII137 (Weizenbaum-Institut) und 16DII131 (Weizenbaum-Institut) gefördert.*

### Literatur

- [1] Gronau, N.; Weber, E.: „Reihenfolgeplanung im Zeitalter von Industrie 4.0 Optimierung in der Werkstattfertigung“, *prod*, Band 23, Nr. 1, S. 1–26, 2018, doi: 10.30844/3\_2018-1\_23-26.
- [2] A. G. Bright und S. T. Ponis, „Introducing gamification in the AR-enhanced order picking process: A proposed approach“, *Logistics*, Band 5, Nr. 1, S. 14, März 2021, doi: 10.3390/logistics5010014.
- [3] N. Gronau, „Modellierung des Umgangs mit Wissen für Industrie 4.0“, in *Business Modeling and Software Design*, B. Shishkov, Hrsg., in *Lecture Notes in Business Information Processing*. Cham: Springer International Publishing, 2021, S. 207–223. doi: 10.1007/978-3-030-79976-2\_12.
- [4] B. Sautter und L. Daling, „Mixed Reality Supported Learning for Industrial on-the-job Training“, in *Proceedings of the Conference on Learning Factories (CLF) 2021*, Graz, Österreich: SSRN, 2021. doi: 10.2139/ssrn.3864189.
- [5] M. Krzywdzinski, M. Evers und C. Gerber, „Control and Flexibility: The Use of Wearable Devices in Capital- and Labor-Intensive Work Processes“, *ILR Review*, Band 77, Nr. 4, S. 506–534, Aug. 2024, doi: 10.1177/00197939241258206.
- [6] N. Gronau, A. Ullrich und M. Teichmann, „Entwicklung der industriellen IoT-Kompetenzen in den Bereichen Organisation, Prozess und Interaktion auf Basis des Lernfabrikkonzepts“, *Procedia Manufacturing*, Band 9, S. 254–261, 2017, doi: 10.1016/j.promfg.2017.04.029.
- [7] M. Teichmann, A. Ullrich, J. Wenz und N. Gronau, „Herausforderungen und Handlungsempfehlungen betrieblicher Weiterbildungspraxis in Zeiten der Digitalisierung“, *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik*, Band 57, S. 512–527, 2020, doi: 10.1365/s40702-020-00614-x.
- [8] G. Vladova, A. Heuts und M. Teichmann, „Dem Mitarbeiter zu Diensten. Weiterbildung und Qualifizierung als personenbezogene Dienstleistung“, *HMD*, Bd. 57, Nr. 4, S. 710–721, 2020, doi: 10.1365/s40702-020-00626-7.
- [9] N. Gronau, A. Kluge, J. Haase und C. Thim, „Experiential learning factories: Bridging the gap between lab and field experiments“, in *Proceedings of the 13th Conference on Learning Factories (CLF 2023)*, Rochester, NY: Social Science Research Network, 2023. doi: 10.2139/ssrn.4469819.
- [10] M. Teichmann, A. Ulrich und N. Gronau, „Subject-oriented learning – A new perspective for vocational training in learning factories“, in *Procedia Manufacturing*, Braunschweig, Deutschland: Elsevier, 2019, S. 72–78. doi: 10.1016/j.promfg.2019.03.012.
- [11] M. Teichmann, V. Lettkemann und N. Gronau, „Digitalisierung, demografischer Wandel und Dekarbonisierung: Acht zentrale Kompetenzen für Lernfabriken“, in *Learning Factories of the Future*, S. Thiede und E. Lutters, Hrsg., Cham, Schweiz: Springer, Cham, 2024, S. 313–320. doi: 10.1007/978-3-031-65411-4\_37.
- [12] A. Pfaff und M. Spann, „Mensch und Maschine: AR-basierte Berufsausbildung für implizites Wissen“, in *ECIS 2024 Proceedings*, Zypern, Griechenland, 2024.
- [13] J. Gonnermann-Müller, N. Leins, N. Gronau und T. Kosch, „Wert durch Design: Reduzierung der kognitiven Belastung durch visuelle Führung in Augmented Reality – Eine Eye-Tracking-Studie“, in *ICIS 2024 Proceedings*, 2024.
- [14] A. Brunzini, M. Ciccarelli, M. Sartini, A. Papetti und M. Germani, „A comparative study for the assessment of marker-less mixed reality applications for operator training“, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, S. 1–23, 2024, doi: 10.1080/0951192X.2024.2314793.
- [15] M. Funk, A. Bächler, L. Bächler, T. Kosch, T. Heidenreich und A. Schmidt, „Working with augmented reality? Eine Langzeitanalyse von Anweisungen am Montagearbeitsplatz“, in *Proceedings of the 10th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments*, Insel Rhodos, Griechenland: ACM, 2017, S. 222–229. doi: 10.1145/3056540.3056548.
- [16] N. Leins, J. Gonnermann-Müller und M. Teichmann, „Comparing head-mounted and handheld augmented reality for guided assembly“ (Vergleich von head-mounted und handheld Augmented Reality für die geführte Montage), *J Multimodal User Interfaces*, Band 18, Nr. 4, S. 313–328, 2024, doi: 10.1007/s12193-024-00440-1.
- [17] M. Drouot, N. Le Bigot, E. Bricard, J.-L. D. Bougrenet und V. Nourrit, „Augmented Reality in industriellen Fertigungslinien: Auswirkungen auf Effektivität und mentale Arbeitsbelastung“, *Applied Ergonomics*, Band 103, S. 103793, 2022, doi: 10.1016/j.apergo.2022.103793.

- [18] J. Buchner, K. Buntins und M. Kerres, „The impact of augmented reality on cognitive load and performance: A systematic review“, *Computer Assisted Learning*, Band 38, Nr. 1, S. 285–303, 2022, doi: 10.1111/jcal.12617.
- [19] Z. Yu, „Meta-analyses of effects of augmented reality on educational outcomes over a decade“ (Meta-Analysen zu den Auswirkungen von Augmented Reality auf Bildungsergebnisse über einen Zeitraum von zehn Jahren), *Interactive Learning Environments*, Band 32, Nr. 8, S. 1–15, 2023, doi: 10.1080/10494820.2023.2205899.
- [20] J. Gonnermann-Müller und J. M. Krüger, „Unlocking augmented reality learning design based on evidence from empirical cognitive load studies—A systematic literature review“ (Entfaltung des Lernkonzepts Augmented Reality auf der Grundlage empirischer Studien zur kognitiven Belastung – Eine systematische Literaturübersicht), *Computer Assisted Learning*, Nr. 41, S. e13095, 2024, doi: 10.1111/jcal.13095.

Anzeige

# Enhance your visibility

## Increase your reach and influence with Open Access by GITO

### For immediate and lasting impact

It is our priority to make your publication available to the wider research community. As members of Crossref, the leading organization for the promotion of scientific exchange, we can offer our authors all the advantages of open access at attractive conditions.

Digital Object Identifiers (DOI) are pivotal to the digital infrastructure of scholarly publishing. They are of great value to authors, readers and publishers, making publications easily accessible in the long term. Since DOIs uniquely identify their objects, they enable texts to be located anytime and anywhere with a single link. Unlike URLs, DOIs remain unchanged. In the ever-growing sea of digital information, DOIs make the exchange of information more reliable. This way, you can significantly boost the reach and impact of your work.

#### Your benefits at a glance

- ✓ Higher Visibility
- ✓ More Citations
- ✓ All-inclusive Service
- ✓ Improved Dissemination of Your Research
- ✓ Excellent Value for Money
- ✓ Greater Recognition



To learn more about Open Access by GITO,  
go to [www.industry-science.com/en/open-access](http://www.industry-science.com/en/open-access)  
or scan the code.

