

Kranz, Tim

Article — Published Version

PharmaXR: Ein arbeitswissenschaftlicher Projektbericht zur menschengerechten Einführung von Virtual Reality in betrieblicher Aus- und Fortbildung und organisationalem Wandel

Zeitschrift für Arbeitswissenschaft

Provided in Cooperation with:

Springer Nature

Suggested Citation: Kranz, Tim (2025) : PharmaXR: Ein arbeitswissenschaftlicher Projektbericht zur menschengerechten Einführung von Virtual Reality in betrieblicher Aus- und Fortbildung und organisationalem Wandel, Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, ISSN 2366-4681, Springer, Berlin, Heidelberg, Vol. 79, Iss. 4, pp. 606-615,
<https://doi.org/10.1007/s41449-025-00493-2>

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/335526>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.



<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>



PharmaXR: Ein arbeitswissenschaftlicher Projektbericht zur menschengerechten Einführung von Virtual Reality in betrieblicher Aus- und Fortbildung und organisationalem Wandel

Marikje Kaufmann¹ · Tim Kranz¹

Angenommen: 16. Oktober 2025 / Online publiziert: 8. November 2025
© The Author(s) 2025

Schlüsselwörter PharmaXR · Change-Management · Aus- und Fortbildung · Virtual Reality · Menschengerechte Arbeitsgestaltung

1 Einleitung

Unvorhergesehene Ereignisse, wie Pandemien und sich rasch verändernde Bedarfe der Konsumierenden, verlangen Gesellschaften und ihrer Wirtschaft eine neue Form der Anpassungsfähigkeit ab. In Wissenschaft und Praxis hat sich für diese neuen Herausforderungen der Begriff der „VUCA-Welt“ (Kaune et al. 2021, S. 3) etabliert, der die gegenwärtige Realität als geprägt von Volatilität (*volatility*), Unsicherheit (*uncertainty*), Komplexität (*complexity*) und Ambiguität (*ambiguity*) beschreibt. Veränderungen „erfolgen [...] sprunghaft, sind wenig planbar und durch eine unüberschaubare Zahl an Wechselwirkungen geprägt“ (Foelsing und Schmitz 2021, S. 12). Auch vor der Industrie in Deutschland macht diese Entwicklung keinen Halt. Um wettbewerbsfähig zu bleiben, liegt es an den Unternehmen, sich in die Lage zu versetzen, auf neue und wechselnde Anforderungen, flexibel reagieren zu können (Dörsam und Körfer 2022) und dabei die „intelligente Vernetzung von Maschinen und Abläufen [...] mit Hilfe von Informations- und Kommunikationstechnologie“ voranzutreiben. Eine Schlüsselressource im Wertschöpfungsprozess stellen in der sich verändernden Arbeitswelt weiterhin die Arbeitnehmenden dar (Becker 2023). So ist es nur folgerichtig, dass die bedarfsorientierte und wirksame Aus- und Fortbildung von Mitarbeitenden vermehrt in den Fokus von Unternehmen gerät. Während Großunternehmen hierfür in

der Regel ganze Abteilungen beschäftigen, die sich der Personalentwicklung ihrer Mitarbeitenden widmen, verfügen Klein- und mittelständische Unternehmen (KMU) über „geringere finanzielle und personelle Ressourcen“ (Bauer et al. 2023, S. 15). Die Herausforderung von KMU liegt darin, mit begrenzten Mitteln dennoch wettbewerbsfähig zu bleiben und ihre Belegschaft zukunftsorientiert weiterzubilden.

Die Pharmaindustrie in Deutschland ist ein Industriezweig mit hohem KMU-Anteil (Bundesverband der Pharmazeutischen Industrie e. V. 2022). Die Branche unterliegt strengen gesetzlichen und normativen Vorgaben, insbesondere den sogenannten GxP-Richtlinien (Good Practice-Regelwerke wie GMP – Good Manufacturing Practice), die die Qualität, Sicherheit und Integrität von Arzneimitteln entlang der gesamten Produktionskette sicherstellen sollen. Hinzu kommen Zulassungs- und Überwachungsverfahren durch nationale und internationale Behörden wie die Europäische Arzneimittelagentur (EMA) oder die US-amerikanische Food and Drug Administration (FDA) (European Medicines Agency o.J.; U.S. Food and Drug Administration 2023). Die Einhaltung der Vorgaben muss dokumentiert werden. Dabei ist der Bedarf, neue Prozesse risikofrei und kosteneffizient zu erlernen und die Schulungsqualität zu verbessern, groß (European Medicines Agency o.J.; U.S. Food and Drug Administration 2023).

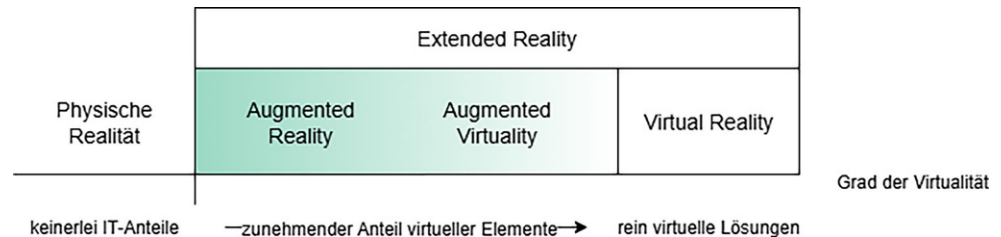
2 Extended Reality (XR)-Technologien und KI-gestützte Aktivitätserkennung

An dieser Stelle setzt das Forschungsprojekt *PharmaXR* an. *PharmaXR* untersucht, wie Extended Reality (XR)-Technologien und KI-gestützte Aktivitätserkennung zur Schulung

✉ Marikje Kaufmann, M.A., M.Sc.
marikje.kaufmann@uni-kassel.de

¹ A&O Universität Kassel,
Heinrich-Plett-Straße 40, 34132 Kassel,
Deutschland

Abb. 1 AR-/VR-Kontinuum in Anlehnung an Knoll und Stieglitz (2022, S. 9)



sicherheitsrelevanter Arbeitsschritte in der Pharmaindustrie beitragen können. Ziel ist die Entwicklung ressourcenschonender, qualitativ hochwertiger Schulungsmethoden – insbesondere für KMU, die in einem innovationsgetriebenen Umfeld mit begrenzten Ressourcen agieren und sich fortlaufend an steigende Anforderungen durch GxP-Regularien, internationale Zulassungsverfahren und demografische sowie technologische Veränderungen anpassen müssen.

Ein von zwei der drei Praxispartnern des Projekts identifiziertes Anwendungsszenario ist das Schulen von Prozessschritten im und vor dem Betreten von Reinräumen.

2.1 Anwendungsszenario: Schulung von Prozessschritten im und vor dem Betreten des Reinraums

Das Anwendungsszenario „Betreten des Reinraums und Durchführung prozeduraler Schritte im Reinraum“ wurde vom Projekt bewusst gewählt, da es eine zentrale, aber besonders fehleranfällige Tätigkeit in der pharmazeutischen Herstellung adressiert (ausführlichere Informationen hierzu finden sich weiter unten im Abschnitt „Erste Erkenntnisse aus den Vorabbefragungen“). Pharmaunternehmen stehen vor der Herausforderung, ihr Personal zuverlässig und regelmäßig in den komplexen hygienischen Verhaltensanforderungen und standardisierten Abläufen zu schulen. Da in Reinräumen – je nach GMP-Klassifizierung (*DIN EN ISO 14644-1* 2015) – streng regulierte Bedingungen herrschen und bereits kleinste Abweichungen schwerwiegende Auswirkungen auf die Produktqualität haben können, ist ein sicheres und präzises Prozessverständnis zwingend erforderlich.

Die in der Praxis bislang häufig eingesetzten Schulungsformate – etwa theoretische Unterweisungen oder vereinfachte praktische Demonstrationen – reichen jedoch in der Regel nicht aus, um prozedurales Wissen langfristig, realitätsnah und handlungssicher zu vermitteln. Vor diesem Hintergrund arbeitet *PharmaXR* gezielt an technologiebasierten Lösungen, die den besonderen Anforderungen der Branche gerecht werden: Hohe Sicherheitsstandards, praxisnahe Vermittlung, flexible Einsatzmöglichkeiten und Anpassungen der Prozessschritte, sowie geringe Beeinträchtigung des laufenden Betriebs.

2.2 Extended-Reality bei PharmaXR

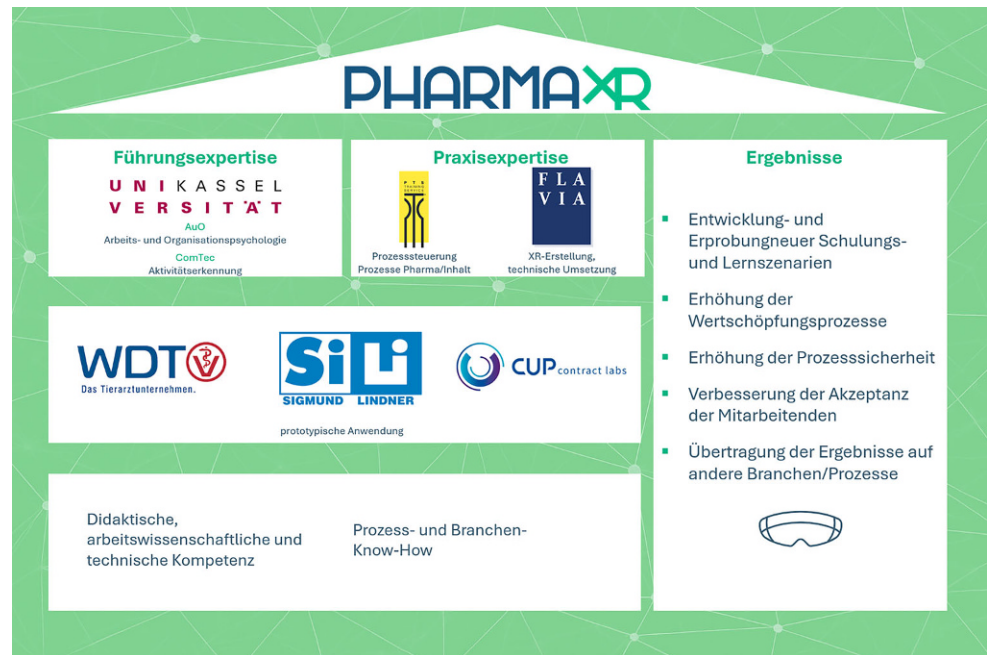
Insbesondere Extended Reality-Technologien (XR) (Janiszewski et al. 2021) bieten für den produzierenden Bereich der Pharmaindustrie – indem im Kontext der beruflichen Weiterbildung vorwiegend neu oder verändertes, prozedurales Wissen (Sträter, Jennerich, et al. 2020b; Sträter et al. 2020) vermittelt werden soll – Potentiale. XR umfasst ein Spektrum von Augmented Reality bis Virtual Reality. Je nach Virtualitätsgrad ermöglichen XR-Technologien die realitätsnahe, sichere und skalierbare Schulung prozeduraler Abläufe – von der Anleitung im realen Raum bis hin zum vollständigen Simulationstraining unter kontrollierten, virtuellen Bedingungen (vgl. Abb. 1).

Für das oben beschriebene Anwendungsszenario wurde Virtual Reality¹ (VR) dabei als besonders geeignet identifiziert. VR ermöglicht eine immersive, interaktive und Lernumgebung, in der Mitarbeitende die notwendigen Prozessschritte zeit- und ortsunabhängig, risikofrei und in modularen Einheiten erlernen können. Die virtuelle Simulation der Personalschleuse (Betreten des Reinraums) und des Reinraums erlaubt es, die relevanten Prozessschritte und besonders kritische Szenarien realitätsnah und beliebig oft zu trainieren – ohne dabei Produktion und Produktionssicherheit zu beeinträchtigen.

Das interdisziplinäre Konsortium umfasst sieben Partner: Die Universität Kassel mit den Fachgebieten Kommunikationstechnik (ComTec) und Arbeits- und Organisationspsychologie (AuO), die für die technische Realisierung der KI-gestützten Aktivitätserkennung und die Begleitung des organisatorischen Wandels verantwortlich sind. Die Unternehmen PTS Training Service und FLAVIA IT-Management bringen ihre Expertise in Schulungskonzeption und VR-Softwareentwicklung ein. Die Anwendungspartner Sigmund Lindner GmbH, CUP Laboratorien Dr. Freitag GmbH und die WDT eG stellen reale Anwendungsfälle, testbare Prozesse und Mitarbeitende für die Evaluation der VR-Szenarien zur Verfügung (siehe Abb. 2).

¹ VR wird hier in Anlehnung an Albus definiert: „VR is defined as a realistic, computer-generated environment that can engage multiple human senses, resulting in an immersive and sensory illusion of actuality being present in the VR environment“ (Albus 2023, S. 12).

Abb. 2 PharmaXR Forschungsansatz



Erwartete Ergebnisse des Projekts sind unter anderem ein modularer technischer Prototyp zur VR-basierten Schulung und Forschungsergebnisse zu KI-gestützter Aktivitätserkennung zur Fehlervermeidung und Lernprozessverbesserung. Ein weiterer Forschungsschwerpunkt des Projekts liegt auf der Einführung und Implementierung technologiegestützter Schulungen zum Zweck der betrieblichen Aus- und Fortbildung. Ziel dieses Forschungsschwerpunktes ist es, tiefergehende Kenntnisse darüber zu erlangen, wie die Prinzipien der menschengerechten Arbeitsgestaltung bei digitalen Transformationsprozessen im Kontext der betrieblichen Aus- und Fortbildung zur Anwendung kommen können.

2.3 Menschengerechte Arbeitsgestaltung im Kontext digitaler Transformationsprozesse in der betrieblichen Aus- und Fortbildung

Die menschengerechte Gestaltung von Arbeit bildet eine zentrale arbeitswissenschaftliche Leitlinie für die Einführung und Implementierung digitaler Technologien in betrieblichen Kontexten. Dabei darf die Gestaltung des Systems nicht ausschließlich von der technischen Machbarkeit bestimmt sein, sondern muss sich an den Bedürfnissen, Fähigkeiten und Grenzen der Beschäftigten orientieren. Wie Sträter und Bengler (2019) betonen, ist es „ganz wesentlich für eine menschengerechte digitale Transformation, dass die Arbeitsgestaltung [...] ausgehend von den menschlichen Bedarfen und Möglichkeiten durchzuführen ist“ (Sträter und Bengler 2019, S. 243). Ein rein technologiegetriebener

Wandel birgt das Risiko wachsender psychischer Belastungen sowie ineffizienter Nutzung neuer Systeme.

Die Herausforderung besteht darin, technologische Entwicklung nicht als Selbstzweck zu verfolgen, sondern im Rahmen einer sozio-technischen Systemgestaltung (Kötter und Volpert 1993) zu gestalten.

Ein wesentliches Problem aktueller Gestaltungsprozesse liegt laut Sträter (2023) in deren reaktiver Ausprägung: „Die ergonomischen Effekte bzw. Probleme zeigen sich erst nach Erstellung des Produktes oder des Prozesses“ (Sträter 2023, S. 568f.). Um dieser Systemdynamik entgegenzuwirken, bedarf es proaktiver Verfahren, die es ermöglichen, Belastungsrisiken und Fehlentwicklungen frühzeitig zu erkennen und zu vermeiden.

Hier setzt der von Sträter (2023) entwickelte „Scanning-Ansatz“ an. Er dient dazu, arbeitswissenschaftliche Anforderungen bereits in frühen Phasen von Digitalisierungsprojekten systematisch zu erfassen und zu bewerten. Das Verfahren erlaubt es, „eine rechtzeitige arbeitswissenschaftliche Planung“ (Sträter 2023, S. 567) sicherzustellen und digitale Transformationsprozesse menschengerecht zu gestalten. Entscheidend ist dabei, dass die Gestaltung nicht nur technologische und ökonomische, sondern auch psychologische und kulturelle Dimensionen der Organisation berücksichtigt.

Die Prinzipien der sozio-technischen Systemgestaltung und der menschengerechten Arbeitsgestaltung lassen sich folglich nicht nur auf die Neu- und Ausgestaltung von teildigitalisierten Arbeitsschritten in der Produktion anwenden, sondern stellen ebenfalls für die digitale betriebliche Aus-

und Fortbildung einen erstrebenswerten Zustand dar (Sträter et al. 2020).

Im Kontext des Projekts *PharmaXR* stellen sich aus arbeitswissenschaftlicher Perspektive folglich zwei zentrale Forschungsfragen, die im Rahmen der Promotionsvorhaben der Autorin und des Autors des Artikels beantwortet werden sollen:

1. Wie kann der Scanning-Ansatz im Change-Management genutzt werden, um digitale Transformationsprozesse in der betrieblichen Aus- und Fortbildung frühzeitig menschengerecht zu gestalten? (*Fokus Change-Management*)
2. Welche didaktischen Prinzipien tragen beim Einsatz von Virtual Reality in der betrieblichen Aus- und Fortbildung wirksam zum Wissenserwerb bei? (*Fokus Kompetenzentwicklung*)

2.4 Change-Management im Kontext betrieblicher Aus- und Fortbildung

Die Relevanz von Change-Management in einer VUCA-Welt zeigt sich darin, dass Organisationen in einer von Volatilität, Unsicherheit, Komplexität und Ambiguität geprägten Umgebung lineare, planbasierte Prozesse nicht mehr ausreichend flexibel sind, weshalb proaktive Veränderungsstrategien notwendig sind, um schnell auf neue Herausforderungen reagieren zu können (Duchek 2020). Menschengerechtes Change-Management richtet sich an den Grundbedürfnissen Autonomie, Kompetenz und sozialer Eingebundenheit aus und stärkt dadurch Motivation und Wohlbefinden (Grünwald et al. 2024). Psychologische Sicherheit fördert offene Kommunikation (Alami et al. 2024), Empowerment und adaptive Führung steigern Engagement und Mitgestaltung (Chughtai et al. 2024).

Im Forschungsprojekt *PharmaXR* bildet die Ausgangslage die Notwendigkeit, Mitarbeitende in KMU der pharmazeutischen Industrie mittels XR-Technologien zu schulen, um komplexe und sicherheitskritische Arbeitsabläufe wie Reinraumarbeit und GMP-konforme Verfahren realitätsnah zu erlernen, ohne Produktionsprozesse zu stören. Die Integration von Aktivitätserkennung, insbesondere Eye-Tracking und Gestenerfassung, ermöglicht eine objektive Analyse der Interaktionen in virtuellen Trainingsszenarien. Technologische Hürden entstehen durch die komplexe Entwicklung einer XR-Anwendung, was für KMU eine Investitionsbarriere darstellt (Ipsita et al. 2025). Zudem erfordert die Integration in bestehende Schulungen die Einhaltung regulatorischer Vorgaben in der Simulation und die Herstellung hoher Nutzerakzeptanz. Im Projekt *PharmaXR* zielen Change-Managementinitiativen darauf ab, durch gezielte Schulung die Akzeptanz der XR-Technologien zu fördern und so eine reibungslose Implementierung sicherzustellen. Zugleich sollen Mitarbeitende gestärkt und befähigt werden, eigenverantwortlich mit den neuen digitalen Werk-

zeugen zu arbeiten, was ihre Motivation und Selbstwirksamkeit erhöht und langfristig Wettbewerbsvorteile durch Effizienz- und Qualitätsverbesserungen sicherstellt.

Durch detaillierte Stakeholder-Analyse werden zentrale Interessengruppen wie Fachexperten, Führungskräfte und Endnutzer identifiziert, klassifiziert und in Kommunikations- und Beteiligungsstrategien eingebunden, um mögliche Widerstände frühzeitig zu erkennen und gezielt zu adressieren. Parallel dazu müssen zielgruppenspezifische Kommunikationsstrategien etabliert werden, die Transparenz schaffen und Veränderungsziele vermitteln (Phillips und Klein 2023).

Die Scanning-Methode ist ein moderiertes, integratives Verfahren, das in strategischen Planungs- und Entscheidungssituationen eingesetzt wird. In einer vorbereitenden Phase (Präsektion) erfasst ein Moderator gemeinsam mit den Teilnehmenden systematisch alle relevanten Anforderungen – von Funktionalität über operative Sicherheit bis hin zu regulatorischen Rahmenbedingungen – typischerweise mithilfe offener Fragen und eines einfachen Ja/Teilweise/Nein-Ratings und visualisiert diese Anforderungen. Auf diesen Workshop folgt eine strukturierte plenare Diskussion, in der die Design-Fundamentals bewertet, priorisiert und anschließend konkrete Maßnahmen zur Risikominimierung entwickelt werden. Die Assoziative-Scanning-Variante nutzt ergänzend eine mediengestützte, großflächige Visualisierung statischer, dynamischer und Echtzeiteinformationen, die bereits in der Vorbereitungsphase mittels Interviews und Videoaufzeichnungen aufbereitet werden, um die kognitive Aktivität der Teilnehmenden zu stimulieren und komplexe Zusammenhänge sichtbarer zu machen. Im Anschluss (Postsektion) werden die Ergebnisse ausgewertet, interpretiert und in schriftlichen Reporten operationalisiert (Raabe 2024).

Zunächst wird eine *Discovery-Phase* durchgeführt, in der die Anwendungsfälle mithilfe früher Pilotgruppen identifiziert und validiert werden, um realistische Szenarien zu definieren und die technische Machbarkeit zu prüfen. Anschließend folgt die *Agile Design- und Entwicklungsphase*: In iterativen wird das Lernmodul entwickelt, dessen Inhalt in regelmäßigen Reviews mit Fachexperten der Pharmaunternehmen bewertet wird. Die abschließende *Pilot- und Roll-out-Phase* umfasst Nutzertests, die die Nutzungserfahrung bewerten und Feedback-Schleifen zur Feinanpassung der Inhalte.

2.5 Wirksamer Wissenserwerb in der Aus- und Fortbildung durch den Einsatz von VR-Technologie

Vor dem Hintergrund der oben erwähnten strukturellen und kulturellen Herausforderungen digitaler Transformationsprozesse, stellt sich die Frage, unter welchen Bedingungen

innovative Technologien wie VR im Bereich der Aus- und Fortbildung überhaupt in KMU-Unternehmen wirksam implementiert, werden können.

Trotz zunehmender technologischer Reife und potenzieller Vorteile für die betriebliche Aus- und Fortbildung wird VR bislang nur zögerlich in Lernkontexte integriert. Gründe hierfür liegen unter anderem in den *noch* hohen finanziellen und zeitlichen Ressourcen, die zunächst in die Beschaffung und Einrichtung von „Virtual-Reality Learning Environments“ (Albus 2023) fließen (Jensen und Konradsen 2018). Ein weiterer Grund für die bislang zögerliche Nutzung von VR im Bildungsbereich, ist die von der Forschung immer wieder kontrovers beantwortete Frage, inwieweit VR-Technologie im Kontext von Lernen überhaupt wirksam ist bzw. ob nicht andere Technologien wie beispielsweise Augmented-Reality (AR) (Daling et al. 2023) oder herkömmliche Videos (Mulders 2022) effektiver eingesetzt werden können. Aktuelle Forschungsergebnisse legen jedoch nahe, dass nicht die Technologie selbst, sondern deren didaktische Gestaltung entscheidend für den Lernerfolg ist (Makransky 2021; Mulders 2022). Vor diesem Hintergrund fokussiert das Promotionsvorhaben der Autorin auf die bislang unzureichend erforschte Frage, wie VR-Lernumgebungen didaktisch konzipiert sein müssen, um nachhaltiges Lernen im betrieblichen Kontext – insbesondere in realitätsnahen Arbeitsumgebungen – zu ermöglichen. Der Forschungsschwerpunkt liegt dabei auf der betrieblichen Aus- und Fortbildung, der in der bisherigen Forschung häufig vernachlässigt wurde (Jensen und Konradsen 2018; Klingenberg et al. 2024; Makransky 2021). Durch die Kooperation mit dem Forschungskonsortium *PharmaXR* und drei KMUs aus der Pharmabranche wird sichergestellt, dass die entwickelten Konzepte praxisnah, industrieorientiert und empirisch fundiert sind. Ziel ist es, konkrete didaktische Leitlinien für den effektiven Einsatz von VR in der beruflichen Aus- und Fortbildung zu entwickeln und so einen Beitrag zur zukunftsfähigen Qualifizierung von Mitarbeitenden in KMU-Unternehmen zu leisten.

3 Erkenntnisse aus den Vorabbefragungen

Aus Vorabbefragungen konnten qualitative Daten eines der beteiligten KMU erhoben werden. Die Befragungen umfassten sowohl Experteninterviews ($n=3$) mit Mitarbeitenden mit Reinraumtätigkeiten, als auch einen Online-Fragebogen ($n=8$). Die Analyse der Daten erfolgte aufgrund der geringen Stichprobengröße deskriptiv.

Darüber hinaus wurde der vom Fachgebiet Arbeits- und Organisationspsychologie entwickelte „CEYEberman“ für das Sammeln von Blick- und Bewegungsdaten der Produktionsmitarbeitenden im Reinraum verwendet.

Die Befragungen verfolgten das Ziel, 1) ein klar definiertes Anwendungsszenario zu identifizieren und einzugrenzen, dass KMU-Pharmaunternehmen im Produktionsbereich vor Herausforderungen stellt und 2) Einschätzungen, Sorgen und Wünsche der Mitarbeitenden aus den betroffenen Bereichen zu sammeln, die an die künftige VR-Lernumgebung gestellt wird, sowie 3) Blick- und Bewegungsdaten zu sammeln, die für das Training einer späteren KI-Aktivitätserkennung für die VR-Lernumgebung, benötigt werden. Diese Erkenntnisse sind für die Entwicklung und Einführung der VR-Lernumgebung in den beteiligten KMU-Pharmaunternehmen von zentraler Bedeutung.

3.1 Ziel 1: Das Anwendungsszenario Einschleusen und Arbeiten im Reinraum

Von den beteiligten Unternehmen wurde das Betreten und Arbeiten im Reihenraum als ein wichtiges Trainingsszenario identifiziert. Ziel ist es, neue Mitarbeitende darin zu schulen, wie sie den Reinraum hygienekonform betreten und sich innerhalb des Reinraums verhalten.

Für das Betreten des Reinraums ist ein mehrstufiger An- und Auskleideprozess erforderlich, bei dem alle festgelegten Arbeitsschritte strikt eingehalten werden müssen. Dies gewährleistet ein sicheres Ankleiden und verhindert das Einschleppen von Kontaminationen in den Reinraum. In der virtuellen Trainingsumgebung kann dieser Prozess realitätsnah simuliert werden, sodass sich die Teilnehmenden mit der korrekten Reihenfolge der Kleidungswechsel sowie den spezifischen Anforderungen in den einzelnen Umkleidesektionen (z. B. Händedesinfektion, Vermeidung von Berührungen an Wänden, zulässige Ablageflächen und Griffbereiche) vertraut machen.

Das Arbeiten im Reinraum stellt für pharmazeutische Unternehmen einen der sensibelsten und zugleich kritischsten Prozessbereiche dar. Besonders die Reinraumklassen A und B nach den GMP-Richtlinien erfordern höchste Sorgfalt, da bereits kleinste Abweichungen in Bewegungen, Bekleidung oder Prozessschritten zu schwerwiegenden Kontaminationsrisiken führen können. Mitarbeitende müssen deshalb nicht nur vor dem Betreten, sondern auch während ihrer Tätigkeit im Reinraum spezifische Verhaltensweisen verinnerlichen, die in umfangreichen Standardverfahrensanweisungen (SOPs) geregelt sind. Gerade für kleine und mittlere Pharmaunternehmen stellt es jedoch eine Herausforderung dar, diese hohen regulatorischen Anforderungen dauerhaft sicherzustellen, da Schulungen zeitintensiv sind, den produktiven Betrieb unterbrechen und zentrale Ressourcen binden.

Die bisherigen Schulungskonzepte basieren vor allem auf schriftlichen Anweisungen und praktischen Einweisungen im realen Reinraum. Dieser Ansatz führt dazu, dass Trainingskapazitäten begrenzt sind und dass Fehler in der

Umsetzung oft erst während der praktischen Arbeit sichtbar werden. Gleichzeitig steigen die regulatorischen Anforderungen kontinuierlich, insbesondere in Hinblick auf GMP-Compliance und Dokumentationspflichten. Aus diesen Gründen ist die Schulung von Mitarbeitenden für Tätigkeiten im Reinraum ein wesentliches Handlungsfeld, in dem KMU ein großes Bedürfnis nach effektiveren, standardisierten und zugleich ressourcenschonenden Lösungen haben.

PharmaXR konnte als erste Erkenntnis herausarbeiten, dass genau hier ein hoher Bedarf besteht: Unternehmen müssen ihre Mitarbeitenden befähigen, die komplexen hygienischen und sicherheitstechnischen Anforderungen bereits vor dem Einsatz im realen Reinraum zu beherrschen. Nur so lassen sich GMP-Konformität, Produktsicherheit und Prozessstabilität gewährleisten. Damit ist die Reinraumschulung nicht nur eine Frage effizienter Wissensvermittlung, sondern ein zentraler Bestandteil der Qualitätssicherung in KMU der Pharmaindustrie.

3.2 Ziel 2: Ermittlung der Anforderungen von Mitarbeitenden an künftige VR-Lernumgebung

Mittels eines Online-Fragebogens konnten Einstellungen der Mitarbeitenden hinsichtlich ihrer bisherigen Erfahrungen mit Technik im Arbeitsalltag und ihrer Einstellung gegenüber der Einführung einer VR-Umgebung ermittelt werden. Die Stichprobe ($n=8$) besteht aus Erwachsenen mit mittel- und langfristiger Berufserfahrung. Die größte Gruppe der Personen, die an der Online-Befragung teilgenommen hat, sind Personen im Alter von 31–50 Jahren (75%). Die Stichprobe ist geschlechterparitatisch verteilt (4 weiblich, 4 männlich). 38% sind 5 oder weniger Jahre betriebszugehörig, während ein Viertel der Teilnehmer über 20 Jahre im Unternehmen tätig ist.

3.2.1 Einstellung zu technischen Systemen

Auf Basis des Fragebogens zur interaktionsbezogenen Technikakzeptanz (ATI) bewerteten die Teilnehmenden der

Online-Befragung Aussagen auf einer Likert-Skala von 1 (trifft gar nicht zu) bis 6 (trifft völlig zu). Ausgewählte Fragen einschließlich Mittelwert und Standardabweichungen werden in Tab. 1 zusammengefasst.

Die durchschnittlichen Mittelwerte liegen überwiegend bei dem Wert 5, was auf eine hohe Zustimmung zu technischen Themen hinweist. Aussagen mit negativer Formulierung (invertierte Fragen) wurden richtig beantwortet, was auf Kohärenz in den Einstellungen hindeutet. Die Standardabweichungen liegen im Bereich 0,99 bis 1,41 also moderat bis deutlich gestreut, besonders bei Aussage 3 (technisches Interesse aus Pflichtgefühl), wo die Meinungen stark auseinandergehen.

3.2.2 Umgang mit computerbasierten Verfahren (z. B. VR-Systeme)

Auf Basis des Fragebogens Technology Usage Inventory (TUI-Prä) bewerteten Teilnehmende Aussagen zum Umgang mit computerbasierten Verfahren mit einer 7-stufigen Skala von 1 (trifft gar nicht zu) bis 7 (trifft völlig zu) (Tab. 2).

Die Teilnehmenden zeigen eine positive Einstellung gegenüber computerbasierten Verfahren wie VR-Systemen. Aussagen zu Neugier auf VR und Lernbereitschaft, erhalten hohe Zustimmungswerte. Gleichzeitig sind Ängste, Misstrauen oder Unsicherheiten im Umgang mit Technik gering ausgeprägt. Die einzige Aussage mit größerer Streuung ist Aussage 3 („Ich wollte mich schon früher mit VR beschäftigen“).

Grundsätzlich lässt sich festhalten, dass die befragten Mitarbeitenden aus dem KMU angeben, prinzipiell offen gegenüber Technik eingestellt zu sein und motiviert sind, sich mit VR als Lernmedium auseinanderzusetzen. Diese Erkenntnisse bestätigen ebenfalls die Experteninterviews ($n=3$), durchgeführt mit zwei Reinraummitarbeitenden und einer Führungskraft.

Tab. 1 Ausgewählte Antworten aus der Online-Befragung (Sektion ATI)

Aussage	MW	SD
Ich beschäftige mich gern genauer mit technischen Systemen	5,13	0,99
Ich probiere gern neue technische Systeme aus	5,13	0,99
Ich beschäftige mich nur mit Technik, weil ich muss (<i>invertiert</i>)	4,63	1,41
Ich verbringe gern Zeit mit dem Kennenlernen neuer Technik	4,75	1,04
Ich versuche zu verstehen, wie Technik funktioniert	5,3	1,06

Tab. 2 Ausgewählte Antworten aus der Online-Befragung (Sektion TUI-Prä)

Aussage	MW	SD
Ich bin neugierig auf computerbasierte Verfahren wie VR	6,25	1,39
Ich mache mir Sorgen, dass mich neue Geräte überfordern könnten	2,00	1,41
Ich wollte mich schon früher mit VR beschäftigen	4,63	1,92
Ich will mehr über VR-Systeme lernen	6,00	1,41
Ich habe Angst, bei Technik etwas falsch zu machen	2,13	1,73

Tab. 3 Anforderungskatalog an VR-Lernumgebung inkl. geäußerter Bedenken

Kategorie	Anforderung der Mitarbeitenden an VR-Lernumgebung	Geäußerte Bedenken der Mitarbeitenden
<i>Lerninhalte und Didaktik</i>	Lerninhalte sollten visuell anschaulich und bildlich dargestellt werden, um die Merkfähigkeit zu erhöhen Inhalte sollten so aufbereitet sein, dass sie für Mitarbeitende geeignet sind, die Schwierigkeiten mit dem Lesen und Erfassen langer Texte haben (z. B. SOP's)	–
<i>Zielgruppen- und Praxisorientierung</i>	VR-Lernumgebung sollte die Arbeitsprozesse nachvollziehbar und realistisch abbilden (Praxisorientierung) VR-Lernumgebung sollte speziell für neue Mitarbeitende konzipiert sein oder Mitarbeitende, die selten im Reinraum tätig sind und sich Abläufe durch die VR-Lernumgebung anschaulich einprägen können, „ohne lange Dokumente zu wälzen“ (Zielgruppenorientierung)	Begrenzter Mehrwert für Routinetätigkeiten
<i>Benutzerfreundlichkeit</i>	Technik muss einfach bedienbar und ergonomisch sein	Motion Sickness
<i>Zugänglichkeit & Flexibilität</i>	Mitarbeitende benötigen Zeit für schrittweise Eingewöhnung in der Arbeitszeit Es braucht individuelle, bereichsspezifische Einführungen Es braucht Multiplikatoren (digitale Pioniere) Möglichkeit zur regelmäßigen Anwendung im Arbeitsalltag	Tragekomfort generell Ablehnung durch weniger technikaffine Mitarbeitende

3.2.3 Wahrgenommener Nutzen und geäußerte Bedenken

Bezüglich des wahrgenommenen Nutzens und geäußerten Bedenken der Mitarbeitenden konnten die leitfadengestützten Experteninterviews aufschlussreiche Erkenntnisse liefern. Auf Grundlage der drei ausgewerteten, ca. 45-minütigen Experteninterviews mit zwei Reinraummitarbeitenden und einer Führungskraft konnte folgender Anforderungskatalog an die künftige VR-Lernumgebung abgeleitet werden (Tab. 3).

Ein zentraler erwarteter Vorteil der Mitarbeitenden von VR-Schulungen ist die Zeitersparnis, da sich zusätzliche oder wiederholte Präsenzs Schulungen vermeiden lassen.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist der visuelle Lerneffekt, der Lerninhalte einprägsamer macht und es insbesondere für Mitarbeitende, die Schwierigkeiten mit langen oder komplexen Texten haben, für eine Erleichterung sorgen kann. Auch die Praxisorientierung und die Möglichkeit, Abläufe realitätsnah zu sehen und nachzuvollziehen, sprechen für den Einsatz. Besonders groß sehen die befragten Mitarbeitenden den Nutzen für neue oder selten im Reinraum arbeitende Personen, die von einer realitätsnahen Vorbereitung auf Abläufe profitieren. Darüber hinaus bietet VR aus ihrer Sicht bei der Bedienung seltener genutzter Maschinen Vorteile, da sich Abläufe anschaulich wiederholen lassen, ohne lange Dokumente zu wälzen.

Ein zentrales Hindernis bei der Einführung von VR-Schulungen könnte die Eingewöhnung an neue Technik sein, da der Start ungewohnt und umständlich wirken kann. Ein weiterer in den Interviews genannter Punkt ist die mögliche Motion Sickness und Empfindlichkeit gegenüber VR-Nutzung. Auch der Tragekomfort wird als entscheidender Faktor gesehen, um Akzeptanz sicherzustellen. Der begrenzte Mehrwert für Routinetätigkeiten wird ebenfalls als potenziell hinderlich genannt, da erfahrene Mitarbeitende die Abläufe bereits automatisiert durchführen. Zudem wird mit Ablehnung durch weniger technikaffine Personen gerechnet, wenn die Einführung nicht sensibel gestaltet wird.

3.2.4 Erfolgsfaktoren für eine gelungene Einführung und Nutzung

Um diesen Entwicklungen aktiv gegenzusteuern, schlagen die befragten Mitarbeitende folgende, ebenfalls im Anforderungskatalog festgehaltene Maßnahmen vor, die eine gelungene Einführung und Nutzung fördern können.

Ein zentraler Erfolgsfaktor ist eine gründliche Einarbeitung vor der ersten Nutzung, um Berührungsängste zu vermeiden. Die Einführung sollte schrittweise und bereichsspezifisch erfolgen, um Überforderung zu vermeiden. Ausgewählte Mitarbeitende sollten als Multiplikatoren eingesetzt werden, um dem Kollegium die Berührungsängste mit der Technologie zu nehmen. Zudem muss die Möglichkeit

gegeben sein, die VR-Anwendung regelmäßig anzuwenden, da sonst die Vertrautheit zu der Technologie wieder sinkt. Die VR-Anwendung sowie die verwendete Hardware (Head-Mounted Displays (HMD)) muss einfach bedienbar und ergonomisch sein, um als Arbeitsmittel akzeptiert zu werden.

Die hier zusammengetragenen Erkenntnisse der Vorabdatenerhebung liefern interessante Erkenntnisse für einen Anforderungskatalog an die sich im Rahmen des Projekts *PharmaXR* im Aufbau befindliche VR-Lernumgebung. Für ein differenzierteres Bild benötigt es künftig weitere Daten aus den anderen beteiligten Praxisunternehmen des Konsortiums, um anknüpfend hieran generalisierbare Ableitungen für Anforderungen an VR für die Nutzung in weiteren KMU treffen zu können.

3.3 Ziel 3: Generierung von Blick- und Bewegungsdaten mittels des CEYEberman

(Abb. 3)

Anknüpfend an die Online-Befragung und Experteninterviews konnten bislang Daten zu den Prozessschritten vor und während der Tätigkeiten im Reinraum gesammelt werden, mittels des vom Fachbereich Arbeits- und Organisationspsychologie der Universität Kassel entwickelten CEYEberman-Systems, welches Eye-Tracking und Motion-Capturing miteinander verbindet. Diese Daten dienen dem Fachbereich ComTec der Universität Kassel als Trainingsdaten für eine zu entwickelnde KI-gestützte Aktivitätserkennung und der Schulung von Bewegungsabläufen. Auf Grundlage der Daten wird dann integriert in den Trainings- und späteren Arbeitsprozess gezielt Feedback an die Mitarbeitenden gegeben. Dies ermöglicht die Sicherheit und Effizienz der Prozessschritte zu erhöhen, indem potenzielle Fehlerquellen frühzeitig erkannt und korrigiert werden können.

4 Ausblick

Das Projekt *PharmaXR* befindet sich aktuell in der prototypischen Umsetzungsphase. Auf Basis qualitativer Interviews und einer ergänzenden Online-Befragung wurden erste Anforderungen an VR-Trainingsszenarien im GMP-konformen Umfeld identifiziert und in ein erstes Anwendungsszenario – das Betreten eines Reinraums – überführt. Die im Artikel dargelegten ersten Ergebnisse aus der Vorabumfrage fließen in die Entwicklung und Einführung des Prototyps in den KMU-Unternehmen ein. Des Weiteren sind für die anderen beteiligten KMU-Unternehmen ähnliche Befragungen geplant, um ein vielschichtiges Anforderungsportfolio zu erhalten und die Erkenntnisse mit weite-



Abb. 3 cEYEberman der Arbeits- und Organisationspsychologie der Universität Kassel

ren Daten abzugleichen. Die technische Realisierung erfolgt iterativ durch den IT-Partner im Konsortium.

Im nächsten Schritt wird der Prototyp in den beteiligten Praxisorganisationen pilothaft eingeführt. Die begleitenden Anwendungstests dienen nicht nur der technischen und didaktischen Weiterentwicklung, sondern bieten auch die empirische Grundlage zur Bearbeitung zentraler arbeitswissenschaftlicher Forschungsfragen. So wird unter anderem untersucht, inwiefern der Scanning-Ansatz im Change-Management dazu beitragen kann, digitale Transformationsprozesse in der betrieblichen Weiterbildung frühzeitig menschengerecht zu gestalten. Gleichzeitig soll analysiert werden, welche didaktischen Prinzipien im Kontext von Virtual Reality besonders wirksam zum Wissenserwerb beitragen.

Diese Fragestellungen werden im Rahmen zweier geplanter Dissertationen vertieft und eng an den Erfahrungen aus der Anwendungspraxis rückgekoppelt. Langfristig zielt *PharmaXR* darauf ab, nicht nur ein anwendungsnahes Schulungstool für pharmazeutische Reinräume bereitzustellen, sondern auch grundlegende Prinzipien für den menschenzentrierten Einsatz von XR-Technologien in sicherheitskritischen Lernumgebungen zu entwickeln. Die Ergebnisse zielen zudem darauf ab, Impulse für den übergeordneten Diskurs zur Digitalisierung beruflicher Bildung und technologiegestützten Kompetenzentwicklung zu geben.

Funding Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

Open Access Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden. Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Com-

mons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen. Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

Literatur

- Alami A, Zahedi P, Krancher O (2024) The role of psychological safety in promoting software quality in agile teams. *Empir Softw Eng*. <https://doi.org/10.1007/s10664-024-10512-1>
- Albus P (2023) Virtual reality in education: Impact of instructional design on learning outcomes and cognitive load. Universität Ulm (Unveröffentlichte Dissertation)
- Bauer W, Dworschak B, Zaiser H (2023) Weiterbildung und Kompetenzentwicklung für die Industrie 4.0 in KMU. In: ten Hompel M, Vogel-Heuser B, Bauernhansl T (Hrsg) *Handbuch Industrie 4.0: Produktion, Automatisierung und Logistik*. Springer, S 1–24 https://doi.org/10.1007/978-3-662-58532-0_36
- Becker M (2023) Personalentwicklung: Bildung, Förderung und Organisationsentwicklung in Theorie und Praxis, 7. Aufl. Schäffer-Poeschel
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2025) Was ist Industrie 4.0? <https://www.plattform-i40.de/IP/Navigation/DE/Industrie40/WasIndustrie40/was-ist-industrie-40.html>. Zugegriffen 7. Juli 2025
- Bundesverband der Pharmazeutischen Industrie e.V. (2022) Starker Pharma-Mittelstand. <https://www.bpi.de/pharmaindustrie/standortpolitik/starker-pharma-mittelstand>
- Chughtai MS, Syed F, Naseer S, Chinchilla N (2024) Role of adaptive leadership in learning organizations to boost organizational innovations with change self-efficacy. *Curr Psychol* 43:27262–27281. <https://doi.org/10.1007/s12144-023-04669-z>
- Cummings S, Bridgman T, Brown KG (2016) Unfreezing change as three steps: Rethinking Kurt Lewin's legacy for change management. *Hum Relations* 69(1):33–60. <https://doi.org/10.1177/0018726715577707>
- Daling L, Tenbrock M, Isenhardt I, Schlittmeier S (2023) Assemble it like this! – Is AR- or VR-based training an effective alternative to video-based training in manual assembly? *Applied Ergonomics* <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2023.104021>
- DIN EN ISO 14644–1:2016–06. (2015). Reinräume und zugehörige Reinraumbereiche – Teil 1: Klassifizierung der Luftreinheit anhand der Partikelkonzentration (ISO 14644-1:2015); Deutsche Fassung EN ISO 14644-1:2015. DIN Media GmbH. <https://doi.org/10.31030/2337152>
- Dörsam M, Körfer A (2022) Skill-Management in Unternehmen der Industrie 4.0. Bundesinstitut für Berufsbildung (BIBB)
- Duchek S (2020) Organizational resilience: a capability-based conceptualization. *Bus Res* 13(1):215–246. <https://doi.org/10.1007/s40685-019-0085-7>
- European Medicines Agency Good manufacturing practice. Abgerufen am 22. Juli 2025. <https://www.ema.europa.eu/en/human-regulatory-overview/research-development/compliance-research-development/good-manufacturing-practice>
- Foelsing J, Schmitz A (2021) New Work braucht New Learning: Eine Perspektivreise durch die Transformation unserer Organisations- und Lernwelten. Springer, Wiesbaden
- U.S. Food and Drug Administration (2023) Current Good Manufacturing Practice (CGMP) Regulations. U.S. Food and Drug Administration. <https://www.fda.gov/drugs/pharmaceutical-quality-resources/current-good-manufacturing-practice-cgmp-regulations>. Zugegriffen 22. Juli 2025
- Grünwald F, Parker H, Grote C (2024) AI and work design: A positive psychology approach to employee well-being. *Gruppe Interaktion Organisation Z Angew Organisationspsychologie* 55(1):1–18. <https://doi.org/10.1007/s11612-025-00806-3>
- Ipsita A, Kaki R, Liu Z, Patel M, Duan R, Deshpande L, Yuan L-P, Lowell V, Maharaj A, Peppler K, Feiner S, Ramani K (2025) Virtual reality in manufacturing education: A scoping review indicating state-of-the-art, benefits, and challenges across domains, levels, and entities. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2503.18805>
- Janiszewski M, Uotinen L, Szydlowska M, Munukka H, Dong J, Rinne M (2021) Visualization of 3D rock mass properties in underground tunnels using extended reality. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci* 703(1):12046. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/703/1/012046>
- Jensen L, Konradsen F (2018) A review of the use of virtual reality head-mounted displays in education and training. *Educ Inf Technol* 23(4):1515–1529. <https://doi.org/10.1007/s10639-017-9676-0>
- Kaune A, Glaubke N, Hempel T (2021) Change Management und Agilität: Aktuelle Herausforderungen in der VUCA-Welt. Springer
- Klingenberg S, Bosse R, Mayer RE, Makransky G (2024) Does embodiment in virtual reality boost learning transfer? Testing an immersion-interactivity framework. *Educ Psychol Rev* 36(4):116. <https://doi.org/10.1007/s10648-024-09956-0>
- Knoll M, Stieglitz S (2022) Augmented Reality und Virtual Reality – Einsatz im Kontext von Arbeit, Forschung und Lehre. *HMD* 59:6–22. <https://doi.org/10.1365/s40702-022-00840-5>
- Kötter W, Volpert W (1993) Arbeitsgestaltung als Arbeitsaufgabe – ein arbeitspsychologischer Beitrag zu einer Theorie der Gestaltung von Arbeit und Technik. *Z Arb Wiss* 47(19 NF):129–140
- Makransky G (2021) The immersion principle in multimedia learning. In: Mayer RE, Fiorella L (Hrsg) *The Cambridge handbook of multimedia learning*, 3. Aufl. Cambridge University Press, S 296–303 <https://doi.org/10.1017/9781108894333.031>
- Moran J, Brightman B (2000) Leading organizational change. *JWL* 12(2):66–74
- Mulders M (2022) Jenseits von Medienvergleichen: Komplexe Zusammenhänge des Lernens in Virtual Reality am Beispiel des Anne Frank VR House, *DuEPublico: Duisburg-Essen Publications online, University of Duisburg-Essen, Germany*, https://duepublico2.uni-due.de/receive/duepublico_mods_00076929
- Phillips J, Klein JD (2023) Change management: from theory to practice. *TechTrends* 67:189–197. <https://doi.org/10.1007/s11528-022-00775-0>
- Raabe, K. (2024). Unterstützung von strategischen Entscheidungen in kollektiven Planungssituationen mittels Assoziativer-Scanning-Methode: Am Beispiel der Entwicklung zuverlässiger Werkstoffkomponenten auf Basis veränderter Anforderungen durch die Einbindung nachhaltiger Rohstoffe (Doctoral dissertation, Universität Kassel, 2023).
- Sträter O (2019) Nachhaltige menschengerechte Gestaltung von Arbeitssystemen. In: GfA-Herbstkonferenz 2019. Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, S 38–49 (https://www.gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de/inhalt/dokumente/gfa_herbstkonferenz_2024.pdf#page=39)
- Sträter O (2023) Basisarbeit und menschengerechte Arbeitsgestaltung – Strategische Erfordernisse und Ansätze. *Z Arb Wiss* 77(4):4. <https://doi.org/10.1007/s41449-023-00398-y>
- Sträter O, Bengler K (2019) Positionspapier Digitalisierung der Arbeitswelt. *Z Arb Wiss* 73(3):243–245. <https://doi.org/10.1007/s41449-019-00161-2>
- Sträter O, Jennerich M, Klose E (2020a) Studie zur effektiven Aus- und Fortbildung von Fahrdienstleitern. *Deine Bahn* 9:48–55

- Sträter O, Jennerich M, Klose E (2020b) Wirksamkeit von Simulationstechnologien in der Aus- und Fortbildung von Fahrdienstleitern. Deine Bahn
- Sträter O, Klose E, Jennerich M (2020) Nutzen von Blickbewegungsanalysen für eine effektive und wirksame Aus- und Fortbildung von Fahrdienstleitern. Deine Bahn

Hinweis des Verlags Der Verlag bleibt in Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutsadressen neutral.