

So fern und doch so nah – Telepräsenztes Arbeiten in der Industrie

Danny Rüffert¹, Alexander Kögel¹, Thomas Löffler¹

¹ Professur Arbeitswissenschaft und Innovationsmanagement, TU Chemnitz

Zusammenfassung

Nicht physisch vor Ort, aber dennoch präsent zu sein, beschreibt den Kontext der Telepräsenz. In diesem Beitrag werden zwei differierende technologische Ansätze der Telepräsenz näher vorgestellt. Im Projekt PraeRI wurde dazu ein Telepräsenzroboter (TPR) verwendet, wogegen das Projekt TeleInteraction-XR auf der Nutzung von virtuellen und erweiterten Realitäten aufbaut. Beide Projekte adressieren das telepräsenztes Arbeiten im industriellen Feld.

1 Motivation

Von 2009 bis 2019 stieg die Zahl der Geschäftsreisen in deutschen Unternehmen um 24 Prozent auf 195,4 Millionen pro Jahr. Diese Zahl sank während der Corona-Pandemie auf 32,7 Millionen, wuchs dann aber wieder auf 116,7 Millionen Reisen im Jahr 2023 an [1]. Gleichzeitig sind die Kosten pro Geschäftsreise innerhalb von 5 Jahren um ca. 100 € auf durchschnittlich 409 € in 2023 gestiegen [2]. Zu diesem Betrag müssen noch die Personalkosten für die Reisezeiten addiert werden, so dass die mit Geschäftsreisen verbundenen Kosten einen erheblichen Faktor bilden. Geschäftsreisen strapazieren zudem die Vereinbarkeit von Beruf und Privatleben und tragen zu CO₂-Emissionen bei. Wie die Corona-Pandemie zeigte, sind Alternativen zu Geschäftsreisen – und damit zu Präsenzterminen – nötig und möglich [3].

Dafür haben sich in erster Linie Videobesprechungen mit PCs, Notebooks und Smartphones etabliert. Sie sind in Büroumgebungen gut geeignet, um „telepräsenz“ an einem entfernten Ort an Meetings oder bilateralen Besprechungen teilzunehmen.

Videokonferenzen zeigen allerdings Schwächen im industriellen Kontext – etwa, um Besprechungen direkt an Maschinen, technischen Anlagen oder Produkten abzuhalten:

- Das Sichtfeld der PC-, Notebook-, Tablet- und Smartphone-Kameras ist eingeschränkt.
- Besprechungsteilnehmer können sich an den jeweils entfernten Ort nicht frei im Raum bewegen bzw. nicht einmal umsehen.
- Es fehlt es an Interaktionsmöglichkeiten, die über das reine Sehen und Hören hinausgehen, insbesondere an der Möglichkeit, durch Gesten auf etwas zu zeigen.
- In vielen Situationen (z. B. bei Wartungs- oder Inbetriebnahme-Arbeiten) sind „freie Hände“ gefragt, so dass Notebook, Tablet oder Smartphone nicht gehalten werden können.

Vor diesem Hintergrund wurden in zwei vom BMBF geförderten Projekten zwei unterschiedliche Technologien erprobt und für den Einsatz in der Industrie weiterentwickelt. Dabei wurde auch berücksichtigt, dass Industrieservices wie Inbetriebnahme, Wartung und Schadensdetektion war bei und teilweise von den Betreibern ausgeführt werden, aber oft Expertenwissen der Hersteller der Ausrüstungen verlangen. Der Einsatz hochqualifizierter Fachkräfte der Hersteller vor Ort beim Kunden ist aber schon aus logistischen und Kapazitätsgründen nicht immer (sofort) möglich. Die telepräsenste Fernunterstützung ist auch daher eine attraktive Alternative.

2 Zwei Lösungsansätze – zwei Projekte

2.1 PraeRI – Präsenzroboter für Industrie

Das Projekt PraeRI hatte zum Ziel, Potenziale, Hemmnisse und Voraussetzungen des Einsatzes von Telepräsenzrobotern in der Industrie zu erforschen und Demonstrator-Lösungen für deren Etablierung zu entwickeln.

Ein Telepräsenzroboter (TPR) ist ein fahrbares, über Fernzugriff steuerbares Videokonferenzsystem. Charakteristisch für die Nutzung von TPR ist, dass sich TPR-Fernanwender, die sich an einem Ort 1 (remote) befinden, mittels Fernsteuerung über das Internet autark in der Umgebung, in der sich der Roboter befindet – dem Ort 2 –, bewegen und dort mit Personen interagieren können [4-6]. Grundsätzlich bestehen TPR-Systeme aus dem vor Ort agierenden Roboter (Sensoren, Aktoren, Bildschirm) und der remote bedienten Steuerungs-Schnittstelle. Abbildung 1 zeigt das Funktionsprinzip der Kommunikation über TPR.

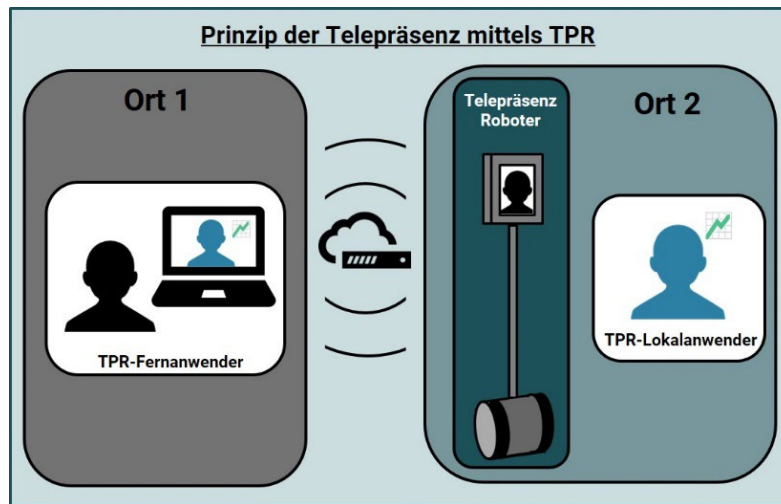


Abbildung 1: Prinzip der Telepräsenz mittels TPR

Die Bewegungsfreiheit des TPR bietet dem Fernanwender die Möglichkeit, die Position im Raum und das Sichtfeld beliebig zu verändern, was bei einem herkömmlichen Videoanruf nicht erreicht werden kann. Die Kommunikation wird durch die scheinbar physische Anwesenheit des Fernanwenders über das auf dem Bildschirm des TPR angezeigte Bewegtbild, über den Ton und die Bewegung des TPR als natürlicher wahrgenommen und steigert somit das Präsenzepfinden [4]. Die Person, die mit dem TPR am Ort 2 interagiert, muss keine zusätzliche Ausrüstung mit sich führen und kann somit freihändig arbeiten.

Die Einsätze von TPR sind in der Vergangenheit mehr oder weniger erfolgreich in den Bereichen Büro, Gesundheitswesen, Pflege sowie Lehre und Forschung getestet worden. Anwendungsfälle waren:

- virtuelle Teilnahmen an Konferenzen und Besprechungen [4, 7],
- virtuelle Beratungen mit medizinischem Personal, um die Kommunikation mit isolierten Patienten bzw. Bewohnern von Altersheimen zu erleichtern [5, 8-10],
- virtuelle Treffen von Lehr- und Lernenden [11, 12].
- virtuelle Teilhabe von Menschen mit eingeschränkter Mobilität [13].

Als spezifische Anwendungsfelder im industriellen Feld eruierten die Projektpartner – auf Basis erster Tests verschiedener TPR-Modelle – folgende Anwendungsfälle:

- Projektbesprechungen an der Anlage,
- Einweisungen, Abnahmen und Unterstützung bei Inbetriebnahmen von Anlagen/Maschinen,
- Anlagenbegehung,
- Qualitätskontrollen,
- Wartungen.

Projektpartner waren Actimage GmbH (Entwicklung von Informations- und Kommunikationstechnologie), HLS Robotik GmbH (Engineering von Produktionsanlagen), LiGenium GmbH (Hersteller von Ladungsträgern, Fördertechnik und Leichtbauprofilen), LS Software Engineering GmbH (Entwicklung von Visualisierungs- und Simulationssoftware) sowie die TU Chemnitz, Professur Arbeitswissenschaft und Innovationsmanagement.



Abbildung 2: Qualitätskontrolle Großladungsträger mit TPR Ohmni Pro

Basierend auf diesen Anwendungsfällen wurden nutzungsspezifische Anforderungen identifiziert, die innerhalb der Projektlaufzeit umgesetzt und evaluiert werden sollten. Tabelle 1 zeigt eine Zusammenfassung wichtiger Anforderungen, um einen handelsüblichen TPR für das Niveau „Industry Ready“ zu befähigen.

Tabelle 1: Weiterentwicklungsbedarfe für TPR

Anforderung	Beschreibung
Zeigefunktion	Die Integration einer Zeigefunktion ermöglicht eine intuitive und effiziente Kommunikation zwischen den Nutzern.
Anruftaste	Ein Anruf kann bisher nur über den Fernanwender initiiert werden. Mit einer Anruftaste kann der Lokalanwender den Fernanwender direkt kontaktieren und somit schneller Unterstützung anfordern.
Gebäudekommunikationsschnittstelle	Die Interaktion mit der Gebäudeautomation (Licht, Türen, Fahrstuhl) erhöht die Unabhängigkeit zu physisch echtem Personal vor Ort.
Gestensteuerung	Bietet die Möglichkeit, dass auch der Lokalanwender den TPR steuern kann. Anwendungsfälle finden sich in Gefahrensituationen oder Arealen mit Geheimhaltung.
Alternative Internetverbindung	Ein TPR sollte unabhängig von lokalen Internetverbindungen sein. Firmeninterne Netzwerke sind aufgrund von Datenschutz und Datengeschwindigkeit oftmals nur begrenzt nutzbar.
Headset Anbindung	Ein Headset verbessert die Kommunikation und den Datenschutz zwischen TPR-Lokal- und Fernanwender
Umgebung abdecken/ausblenden	Produktionslinien oder Ausrüstungen die der Geheimhaltung unterliegen, können bei Bedarf für den Fernanwender ausgeblendet werden.
Digitale Karte	Mittels einer digitalen Karte kann der TPR autonom zum vereinbarten Treffpunkt fahren, ohne dass der Fernanwender am unbekannten Ort navigieren muss.
Digitale Ausweisfunktion	Um Missbrauch des Video-Feedback-Systems zu verhindern, sollte für den TPR-Fernanwender ein Besucherausweis erstellt werden. So kann der TPR fernbetrieben werden, als ob TPR-Fernanwender vor Ort wäre.
Gesichtserkennung	Benutzeridentifikation vor Ort bei größeren Gesprächsrunden und bei für Fernanwender unbekannten Lokalanwendern.
Online QM-Protokoll	Eine App für ein QM-Protokoll mit dem Fern- und Lokalanwender gemeinsam Qualitätsmaßnahmen durchführen, am TPR protokollieren und signieren können.

Im vorliegenden Sammelband wird eine Methode zur TPR-Auswahl vorgestellt [14]. Weitere Beiträge beschreiben die prototypischen Entwicklungen einer Anruftaste [15], einer Gestensteuerung [16], einer Zeigefunktion mittels Laserpointer [17] und einer Ankopplung an die Gebäudesteuerung [18]. Außerdem werden wünschenswerte Erweiterungen der Softwarefunktionalität [19] sowie Chancen und Grenzen des TPR-Einsatzes aus Anwendersicht [20] thematisiert.

2.2 TeleInteraction-XR - Augmented Reality für die Fernwartung

Auch Technologien der Virtual und Augmented Reality (VR/AR) bieten das Potenzial, dass die Expertinnen und Experten telepräsente Unterstützung aus der Ferne leisten und so Reisen zu physischen Präsenzterminen vermeiden.

Ziel des Projekts TeleInteraction-XR war die Entwicklung eines Demonstrators, der im Kontext komplexer Service- und Trainingsaufgaben eine möglichst natürliche kollaborative Mensch-Mensch-Interaktion zwischen einem aus der Ferne unterstützenden Experten oder einer Expertin und einer vor Ort agierenden Person ermöglicht.

Dazu erfolgte eine Weiterentwicklung und Integration von bisher separat genutzten Systemen der Entwicklungspartner CMC-Kiesel (Multi-User VR-Viewer) und Oculavis GmbH (AR-Support) in ein interaktives Gesamtsystem. Verantwortlich für die Anforderungsanalysen, Erprobungen und Evaluationen waren die Anwendungspartnern ULT AG (Herstellung von lufttechnischen Anlagen) und IMSYS Immersive Systeme GmbH & Co. KG (Beratung, Planung und Projektierung von digitalen Arbeitsumgebungen) begleitet von der Professur Arbeitswissenschaft und Innovationsmanagement der TU Chemnitz.

Technisch basiert die Kopplung von VR und AR auf einem identischen Bezugssystem, in dem reale und digitale Informationen in Echtzeit übermittelt werden (siehe Abb. 1). So können Experten von einem beliebigen Ort die orts-entfernte reale Feldumgebung mit immersiven Visualisierungskonzepten in VR erkunden. Gleichzeitig werden dem Nutzenden vor Ort mittels Augmented Reality in 3D repräsentierte Handlungsanweisungen des Experten oder der Expertin (bspw. in Form digitalisierter Handanleitungen) in Echtzeit und räumlich korrekt visualisiert.

Beide Personen sind räumlich getrennt, aber jeweils virtuell präsent. Der vorhandene Sprachkanal über die bestehende Multi-User-Anwendung ergänzt die visuellen Rückmeldungen und ermöglicht eine multimodale Interaktion. Dadurch kann der Experte bzw. die Expertin trotz physischer Distanz als „Third-person“ in natürlicher Weise „hinter“ der Person im Feld über deren „Schulter schauen“ oder diese als „first-person“ begleiten.

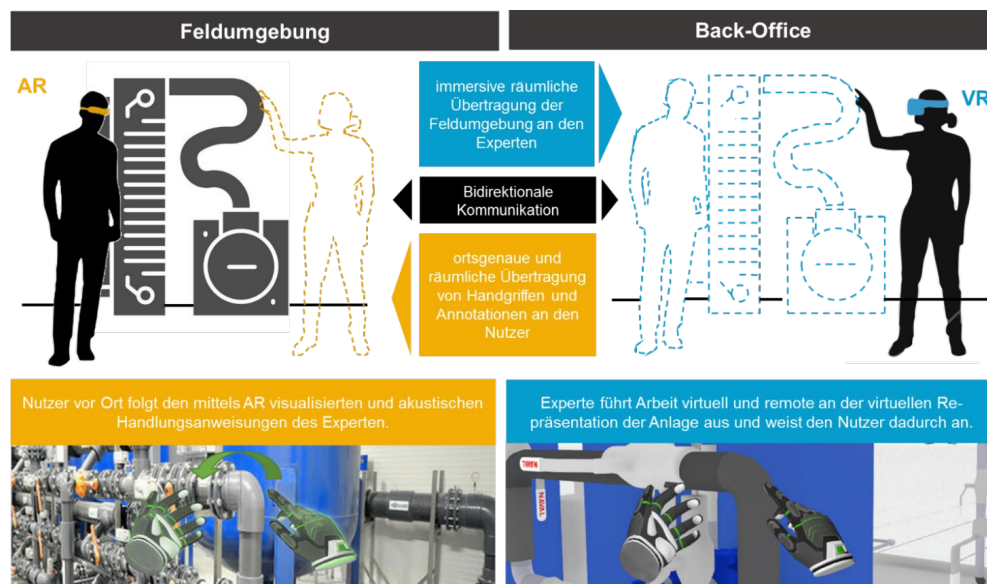


Abbildung 3: Fernunterstützung durch VR/AR-Kollaboration

Zur Umsetzung der VR/AR-Kollaboration wurden folgende drei aufeinander aufbauende Entwicklungs- bzw. Integrationsschritte durchgeführt, die im weiteren Verlauf des Sammelbands genauer beschrieben werden:

1. Vorab erstellte 3D-Modelle [21],
2. Live Videostream [22] und
3. Live Volumetric Streaming [23].

Grundlagen der VR/AR-Kollaboration sind in [24] und praktische Erfahrungen in [25] dargelegt.

3 Zusammenfassung

Sowohl der Einsatz von TPR als auch die VR/AR-Kollaboration zeigen ein hohes Potenzial, Industrieservices durch telepräsente Expertinnen und Experten aus der Ferne zu unterstützen. Dadurch können der Ressourceneinsatz für vor Ort-Besuche reduziert, die Reaktionsschnelligkeit erhöht und die Attraktivität der Arbeit erhöht werden. Praktische Limitationen und Herausforderungen werden besonders in den Beiträgen [20, 25] erörtert.

Die Forschungs- und Entwicklungsarbeit wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung im Fachprogramm „Zukunft der Wertschöpfung“ und

der Fördermaßnahme „Innovative Arbeitswelten im Mittelstand“ in den Projekten PraeRI (Förderkennzeichen 02L21B000-4) sowie TeleInteraction-XR (Förderkennzeichen 02L21B550-4) gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für den Inhalt der Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

4 Literaturverzeichnis

- [1] Verband Deutsches Reisemanagement. (6. August, 2024). Anzahl der Geschäftsreisen von deutschen Unternehmen in den Jahren von 2004 bis 2023 (in Millionen) [Graph]. In Statista. Zugriff am 13. März 2025, von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/72112/umfrage/anzahl-der-geschaeftsreisen-seit-2004/>
- [2] Verband Deutsches Reisemanagement. (6. August, 2024). Durchschnittliche Kosten pro Geschäftsreise in deutschen Unternehmen von 2005 bis 2023 [Graph]. In Statista. Zugriff am 13. März 2025, von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/72171/umfrage/tourismus-kosten-pro-geschaeftsreise-seit-2005/>
- [3] Hoffmann, A. & Wintermann, O. (2020). ZUKUNFTSSTUDIE MÜNCHNER KREIS. Sonderstudie zur Corona-Pandemie. Bertelsmann Stiftung. Online verfügbar unter <https://www.bertelsmann-stiftung.de/de/publikationen/publikation/did/sonderstudie-corona-all>, zuletzt geprüft am 13.03.2025
- [4] Björnfor, P., Bergqvist, J., & Kaptelinin, V. (2018). Non-technical users' first encounters with a robotic telepresence technology: An empirical study of office workers. In: Paladyn, Journal of Behavioral Robotics 9 (1), S. 307–322. DOI: 10.1515/pjbr-2018-0022.
- [5] Kehl, C. (2018). Robotik und assistive Neurotechnologien in der Pflege - gesellschaftliche Herausforderungen. Vertiefung des Projekts »Mensch-Maschine-Entgrenzung«. Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB). Online verfügbar unter <https://www.tab-beim-bundestag.de/de/pdf/publikationen/berichte/TAB-Arbeitsbericht-ab177.pdf>, zuletzt geprüft am 13.03.2025.
- [6] Kristoffersson, A., Coradeschi, S., & Loutfi, A. (2013). A Review of Mobile Robotic Telepresence. In: Advances in Human-Computer Interaction 2013 (5), S. 1–17. DOI: 10.1155/2013/902316.
- [7] Lee, M. K., & Takayama, L. (2011). Now, I have a body. In: Desney Tan, Geraldine Fitzpatrick, Carl Gutwin, Bo Begole und Wendy A. Kellogg (Hg.): Proceedings of the 2011 annual conference on Human factors in computing systems - CHI '11. the 2011 annual conference. Vancouver, BC, Canada, 07.05.2011 - 12.05.2011. New York, New York, USA: ACM Press, S. 33.
- [8] Lee, WH., Park, J., & Park., C. H. (2018). Acceptability of Tele-assistive Robotic Nurse for Human-Robot Collaboration in Medical Environment. In: Kanda, Šabanović et al. (Hg.) 2018 – Companion of the 2018 ACM/IEEE, S. 171–172.
- [9] Valérie, J. (2019). Einsatz von Telepräsenzrobotern für ärztliche Konsultationen. Online verfügbar unter <https://irf.fhnw.ch/bitstream/handle/11654/30275/Jungo%20Val%C3%A9rie.pdf?sequence=1>, zuletzt geprüft am 13.03.2025.

- [10] Tischler, N. W. (2017). „Assistive Social Robots“ für Personen mit Demenz in der institutionellen Pflege. Online verfügbar unter https://online.medunigraz.at/mug_online/wbAbs.showMaskAbsBe-treuer?pOrgNr=1&pPersNr=67508&pSort=4%3B2%3B6&pPageNr=1, zuletzt geprüft am 22.07.2020.
- [11] Puarungroj, W., Boonsirirumpun, N. (2020). Multiple Device Controlled Design for Implementing Telepresence Robot in Schools. In: Simon K. S. Cheung, Richard Li, Kongkiti Phusavat, Naraphorn Paoprasert und Lam-For Kwok (Hg.): Blended Learning. Education in a Smart Learning Environment. Cham: Springer International Publishing (12218), S. 405–415.
- [12] Gallon, L. (2014). Immersion dans un TP en téléprésence.
- [13] Herring, S. (2013). Telepresence robots for academics. DOI: 10.1002/meet.14505001156.
- [14] Hernandez, F., Rüffert, D., Löffler, T. (2025). Die Qual der Wahl – Welcher Telepräsenzroboter ist der Richtige? In: Bullinger-Hoffmann, A.C. (2025). Telepräsenzte Fernunterstützung in der Industrie. aw&I – Wissenschaft und Praxis.
- [15] Hernandez, F., Rüffert, D. (2025). Ich brauche Unterstützung – Kontaktaufnahme über TPR-Anruffunktion. In: Bullinger-Hoffmann, A.C. (2025). Telepräsenzte Fernunterstützung in der Industrie. aw&I – Wissenschaft und Praxis.
- [16] Schnabel, F. (2025). Bitte folge mir – Steuerung eines TPR über Gesten. In: Bullinger-Hoffmann, A.C. (2025). Telepräsenzte Fernunterstützung in der Industrie. aw&I – Wissenschaft und Praxis.
- [17] Venepally, R., Hernandez, F., Rüffert, D. (2025). Kannst Du mir das zeigen? Entwicklung und Evaluation einer Zeigefunktion für einen TPR. In: Bullinger-Hoffmann, A.C. (2025). Telepräsenzte Fernunterstützung in der Industrie. aw&I – Wissenschaft und Praxis.
- [18] von Lonski, N. (2025). Roboter öffnen Türen – Neue Wege der Telepräsenz. In: Bullinger-Hoffmann, A.C. (2025). Telepräsenzte Fernunterstützung in der Industrie. aw&I – Wissenschaft und Praxis. DOI
- [19] Eichhorn, E., Schmidt, G., Stüring, S., Venepally, R. (2025). Erweiterung der Softwarefunktionalität von TPR zum Einsatz in der Industrie. In: Bullinger-Hoffmann, A.C. (2025). Telepräsenzte Fernunterstützung in der Industrie. aw&I – Wissenschaft und Praxis.
- [20] Eichhorn, E., Schnabel, F., Heinicker, T., Rudolph, G. (2025). Chancen und Grenzen von Telepräsenzrobotern in der Industrie aus Anwendersicht. In: Bullinger-Hoffmann, A.C. (2025). Telepräsenzte Fernunterstützung in der Industrie. aw&I – Wissenschaft und Praxis.
- [21] Kiesel, M., Kögel, A. (2025). Ich habe etwas vorbereitet – 3D-Modell-basierte AR-/VR-Kopplung. In: Bullinger-Hoffmann, A.C. (2025). Telepräsenzte Fernunterstützung in der Industrie. aw&I – Wissenschaft und Praxis.
- [22] Wulf-Misaki, D. (2025). Kamera, Licht, Action! - Videostream-basierte AR/VR Kollaboration. In: Bullinger-Hoffmann, A.C. (2025). Telepräsenzte Fernunterstützung in der Industrie. aw&I – Wissenschaft und Praxis.
- [23] Kiesel, M., Wulf-Misaki, D. (2025). Mehr als oberflächlich! – Live Volumetric Streamings für die AR/VR-Kollaboration. In: Bullinger-Hoffmann, A.C. (2025). Telepräsenzte Fernunterstützung in der Industrie. aw&I – Wissenschaft und Praxis.

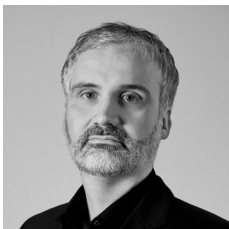
- [24] Kögel, A. (2025). Wer und was ist wo? - Synchronisation von Virtueller und Erweiterter Realität. In: Bullinger-Hoffmann, A.C. (2025). Telepräsenste Fernunterstützung in der Industrie. aw&I – Wissenschaft und Praxis.
- [24] Berger, M., Holz, N., Rüffert, D., Kögel, A. (2025). TeleInterACTION! – VR/AR-Kopplung im Praxistest. In: Bullinger-Hoffmann, A.C. (2025). Telepräsenste Fernunterstützung in der Industrie. aw&I – Wissenschaft und Praxis.

Autoren



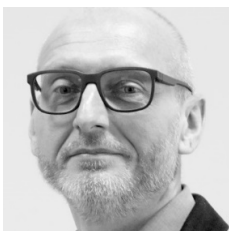
Rüffert, Danny

Danny Rüffert studierte Sports Engineering an der Technischen Universität Chemnitz. Seit 2014 arbeitet er als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur Arbeitswissenschaft und Innovationsmanagement im Cluster Industrial Engineering. Seine Aufgaben umfassen die Themenfelder Alterssimulation und Ergonomie sowie die Forschung an Mensch-Maschine-Schnittstellen.



Kögel, Alexander

Alexander Kögel studierte Medientechnik (B.Eng.) und Medienmanagement (M.Eng.) an der HTWK Leipzig. Seit 2017 ist er an der TU Chemnitz als wissenschaftlicher Mitarbeiter tätig. Schwerpunkte sind VR-Anwendungen, das Präsenz-Empfinden in virtuellen Umgebungen und der Erschließung der Potenziale der Digitalisierung, Vernetzung und Industrie 4.0.



Löffler, Thomas

Dr.-Ing. Thomas Löffler studierte Maschinenbau an der Technischen Universität Chemnitz. Er arbeitete anschließend als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur Fabrikplanung und Fabrikbetrieb, als Werkstrukturplaner bei bse engineering Leipzig GmbH sowie als Geschäftsführer des Instituts IREGIA e. V. Seit 2011 ist er an der Professur Arbeitswissenschaft und Innovationsmanagement als Clusterleiter Industrial Engineering tätig.