

TeleInterACTION! – VR/AR-Kopplung im Praxistest

Madeleine Berger¹, Nicole Holz², Danny Rüffert³, Alexander Kögel³

¹ ULT AG

² IMSYS Immersive Systeme GmbH & Co. KG

³ Professur Arbeitswissenschaft und Innovationsmanagement, TU Chemnitz

Zusammenfassung

Die im Projekt TeleInteraction-XR entwickelte Kollaboration zwischen einem VR- und einem AR-Nutzenden wurden in zwei Anwendungsfällen mit den Projektpartnern ULT AG und IMSYS Immersive System GmbH & Co. KG getestet. Die Ergebnisse bestätigen die grundsätzliche Eignung des Konzepts und zeigen Möglichkeiten für Weiterentwicklungen auf.

1 Einleitung

Die beiden Anwendungspartner im Projekt TeleInteraction-XR ULT AG und IMSYS GmbH & Co. KG stehen wie viele andere Unternehmen vor der Herausforderung, in einem schwierigen Umfeld ihre Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten. Ihre Geschäftsmodelle basieren zu einem erheblichen Teil auf technikbezogene Services wie Inbetriebnahmen und Wartung. Diese Services müssen effizient und ohne lange Wartezeiten für die Kundinnen und Kunden erbracht werden. Zugleich gilt es, Fachkräfte für solche Aufgaben zu binden bzw. neu zu gewinnen. Auf beide Zielsetzungen – reaktionsschnelle, effiziente Services und Arbeitgeberattraktivität – zählt das Vermeiden von Dienstreisen ein [1].

Vor diesem Hintergrund wurde – nachdem die Anwendungspartner bereits bei der Anforderungserhebung mitwirkten – der im Projekt entwickelte Demonstrator eines VR/AR-Kollaborationssystems in je einem Anwendungsfall getestet.

2 Anwendungsfälle

2.1 Filterwechsel bei lufttechnischen Anlagen (ULT)

Die ULT AG befasst sich seit vielen Jahren mit der Produktion, dem Vertrieb sowie mit Forschung und Entwicklung im Bereich von lufttechnischen Anlagen. Die Vermarktung des vielfältigen Portfolios erfolgt neben dem nationalen und europäischen Markt auch stark in Asien und den USA. Das heißt auch, dass Kundinnen und Kunden mit Aftersales-Services weltweit zu betreuen sind.

Sowohl in den Bereichen Inspektion, Wartung und Instandsetzung als auch für Anlernprozesse besteht ein großer Bedarf für eine bessere Fernunterstützung durch Telepräsenz und Teleinteraktion. Dies betrifft unter anderem den Austausch von Filterelementen an den von der ULT AG hergestellten lufttechnischen Anlagen. Eine fehlerhafte Reparatur oder Wartung von Abluftanlagen – z. B. durch einen unzureichend unterwiesenen Betreiber – kann schwerwiegende Folgen nach sich ziehen (z. B. Brände, chronische Lungenschäden).

Ziel der ULT AG war deshalb die Entwicklung und Erprobung einer VR/AR-Kollaboration bei der eine in einer VR-Umgebung agierende Expertin bzw. ein Experte (Remotearbeitsplatz bei der ULT AG) einen Techniker oder eine Technikerin bzw. Servicemitarbeitende bei der Kundschaft unterstützen kann. Abbildung 1 zeigt beispielhaft eine Filteranlage, wie sie für die Absaugung von Laserstaub und -rauch eingesetzt wird.

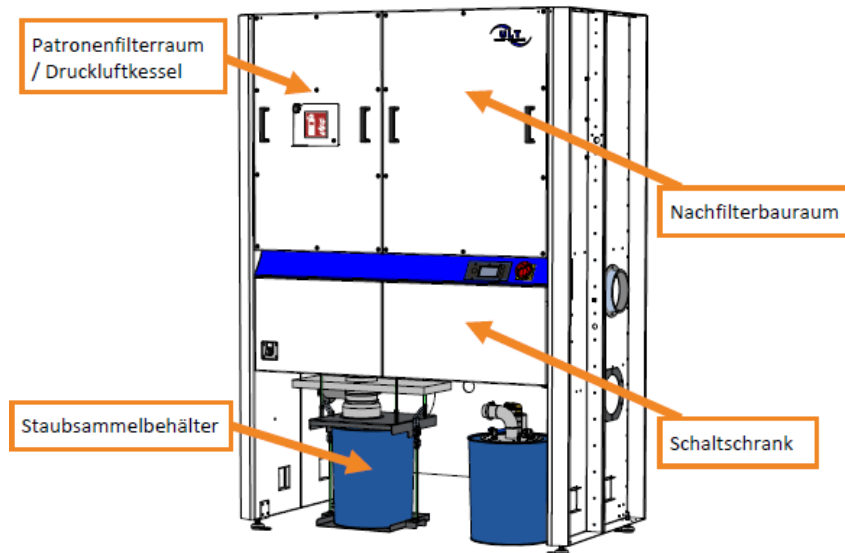


Abbildung 1: Filteranlage der Firma ULT AG

Für die Testung der VR/AR-Kollaboration wurde eine typische Kundensituation bei der Wartung an einer Filteranlage nachgestellt: Ein Techniker oder eine Technikerin ist beauftragt, die Filterelemente einer Anlage zu tauschen. Ihm oder ihr fehlen jedoch die notwendigen Kenntnisse zur korrekten Handhabung der spezifischen Anlage. Die Person vor Ort benötigt Unterstützung durch einen Experten oder eine Expertin. Beide verbinden sich über die entwickelte VR/AR-Teleinteraktion. Der Experte bzw. die Expertin in der VR-Umgebung weist den Techniker oder die Technikerin über das AR-Headset an und erklärt verbal sowie durch Manipulation des virtuellen Umgebungsmodells die Handlungsschritte. Die Technikerin oder der Techniker setzt diese Schritte am realen Objekt um.

2.2 Projektoren-Montage in einer 3-Seiten-Cave (IMSYS)

Die IMSYS GmbH & Co. KG ist seit über 20 Jahren eine der führenden Agenturen für Beratung, Planung und Projektierung von digitalen Arbeitsumgebungen, die auf Mixed Reality (XR) basieren. Eines ihrer Aufgabengebiete liegt im Aufbau kundenspezifischer Systeme wie Mehrseiten-Caves, Powerwalls oder LED-Projektionswände. Obwohl IMSYS eine hohe Expertise im Bereich XR-Technologien besitzt, war bisher die XR-basierte Fernunterstützung

eigener Mitarbeitender oder von Kundinnen und Kunden bei der Montage solcher Systeme noch nicht möglich.

Ziel der IMSYS war die Entwicklung und Erprobung einer VR/AR-Kollaboration, mit der ein in einer VR-Umgebung agierender Experte oder eine Expertin (Remotearbeitsplatz bei IMSYS) einem vor Ort bei der Kundschaft agierenden Servicemitarbeitenden unterstützen kann.

Für den Test der VR/AR-Kollaboration wurde der Anwendungsfall Aufbau einer 3-Seiten-Cave gewählt (Abbildung 2). Das Hauptaugenmerk liegt dabei auf der korrekten Ausrichtung der Projektoren (Abstand zur Wand, Bildgröße, Trapezverzerrung etc.). Das Servicepersonal vor Ort benötigt dafür die Unterstützung durch einen Experten oder eine Expertin aus der Firmenzentrale.

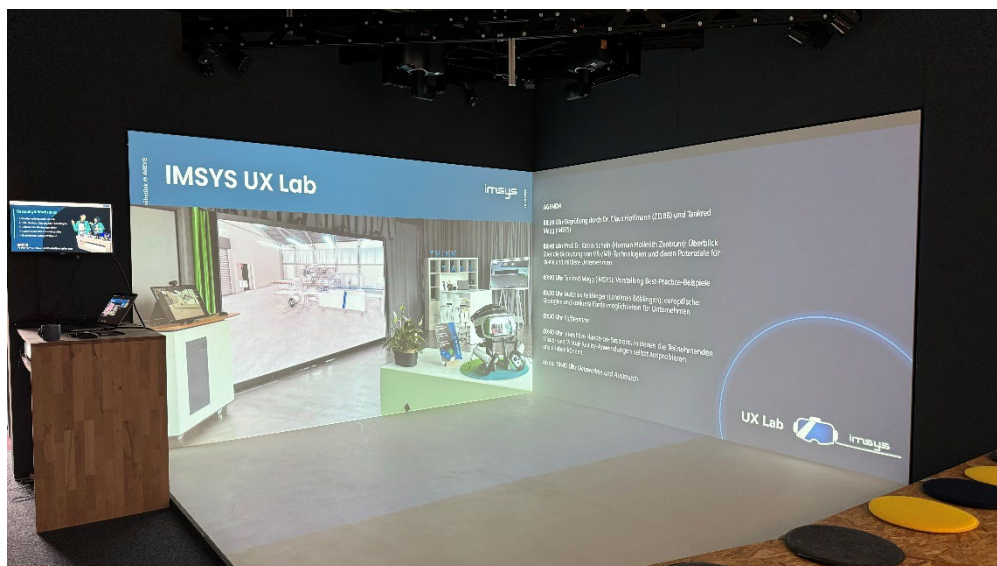


Abbildung 2: 3-Seiten-Cave der IMSYS GmbH & Co. KG

3 Erprobung

Für beide Anwendungsfälle wurde die VR/AR-Kollaboration in einer Probandenstudie getestet. Bei den Probanden handelte es sich um Mitarbeitende der jeweiligen Unternehmen (ULT AG: $n = 6$, IMSYS: $n = 4$). Den Probanden waren die eigenen Produkte bekannt, aber die Expertise hinsichtlich der jeweiligen Prozesse im Anwendungsfall fehlte. Die Rolle der in der VR-Umgebung agierenden Expertin bzw. des Experten übernahm jeweils eine mit dem

Prozess vertraute Person. Der technische Aufbau und das prinzipielle Vorgehen waren für beide Anwendungsfälle identisch.

Mithilfe der entwickelten VR/AR-Kopplung konnte die mit einer VR-Brille Meta Quest3 ausgerüstete Fachkraft die Situation, wie sie sich Mitarbeitenden vor Ort darstellte, in der VR-Umgebung realitätsnah miterleben. Dabei standen in der VR zur Verfügung:

- die vorgefertigten Modelle der jeweiligen Testumgebung (Basisvariante),
- zusätzliche 360°-Videostreams (zweite Umsetzungsvariante) und
- die in Echtzeit dreidimensional erfasste, erweiterte Umgebung (dritte Umsetzungsvariante) sowie
- zusätzlich ein Videofeed mit der Sicht der vor Ort agierenden Person.

Die Person an der Anlage nutzte ein HoloLens2 Seethrough-AR-Headset. Darin waren ein Avatar der in der VR agierenden Person und das von ihr manipulierbare Modell der Testumgebung (Filterschrank oder Projektor) zu sehen. Die Lage und Ausrichtung der Objekte und Avatare wurde in Echtzeit bidirektional zwischen der VR-Umgebung des Experten bzw. der Expertin und der AR-Umgebung des technischen Personals synchronisiert und lagegerecht an der Realumgebung der Anlage ausgerichtet. Beide Personen konnten mittels Gesten auf Objekte zeigen und die aus der Ferne unterstützende Person konnte Handlungen direkt am (virtuellen) Objekt vorführen. Darüber hinaus stand ein bidirektionaler Sprachkanal zur direkten Kommunikation zur Verfügung.

Je nach Anwendungsfall war das Ziel der Teleinteraktion, den Filter am realen Objekt zu wechseln (ULT AG) bzw. den Projektor korrekt auszurichten (IMSYS). Eine Besonderheit des Tests bestand darin: Nach dem ersten Durchgang wurden die Rollen getauscht, so dass auch der vormalige AR-User, nun mit dem vermittelten Wissen über den Vorgang ausgestattet, sich in der Expertenrolle wiederfand. Auf diese Weise wurde implizit der Erfolg des Wissenstransfers geprüft.

Abbildung 3 zeigt schematisch den Versuchsablauf. Abbildung 4 zeigt beispielhaft eine Real- und die zugehörige VR-Szene aus der Erprobung im Anwendungsfall Filterwechsel. Für den Anwendungsfall 3-Seiten-Cave illustriert Abbildung 5 die Situation vor Beginn des Einbaus des Projektors aus VR-Sicht.

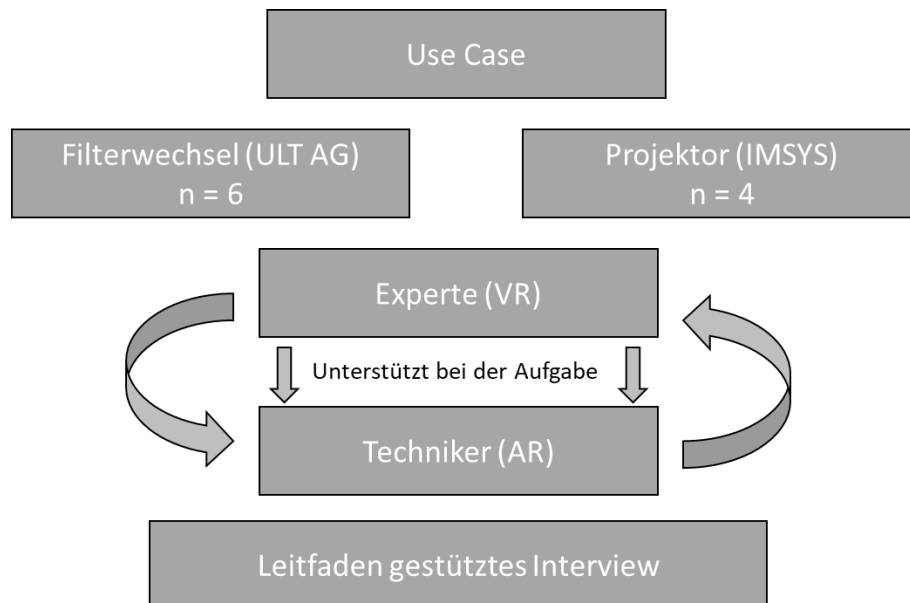


Abbildung 3: Versuchsablauf

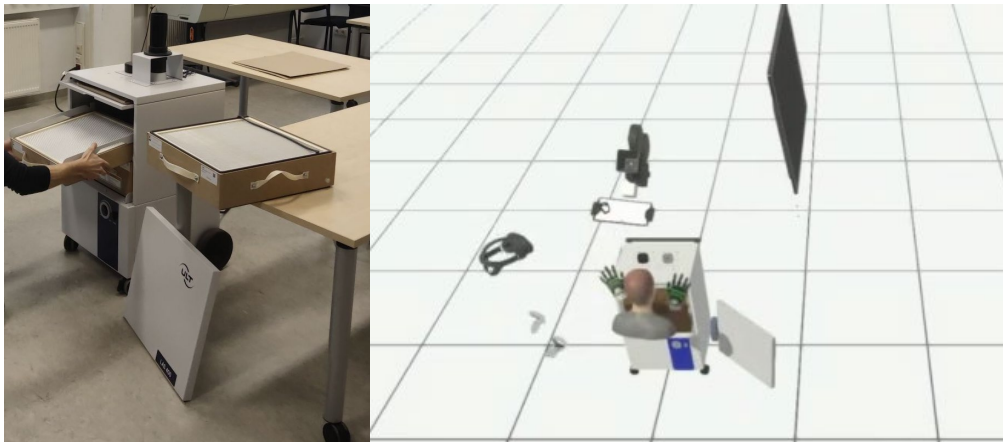


Abbildung 4: Real- und VR-Szene aus der Erprobung im Anwendungsfall Filterwechsel

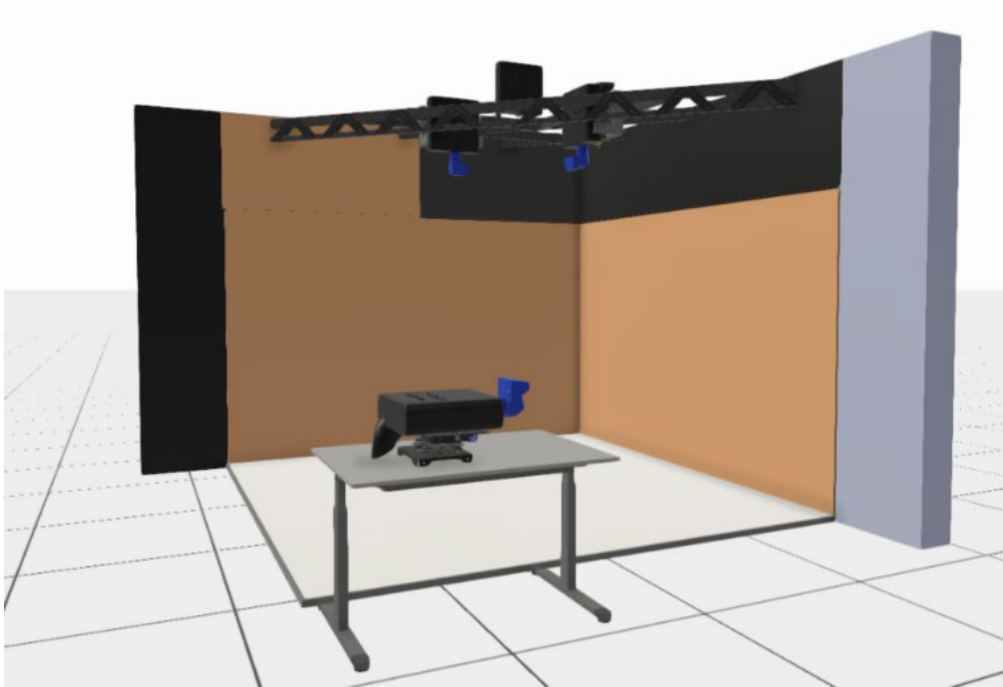


Abbildung 5: Projektor vor dem Einbau in die 3-Seiten-Cave in der VR-Sicht

Nach der Erprobung wurde mit den Probanden der beiden Anwendungsfälle ein leitfadengestütztes Interview zu deren Erfahrungen durchgeführt. Die Leitfragen betrafen

- die Zufriedenheit mit dem Prozessablauf mit VR/AR-Kollaboration,
- die Vor- und Nachteile der VR/AR-Kollaboration,
- gewünschte zusätzliche Funktionalitäten sowie
- die Zufriedenheit mit Stil und Detailtreue der Darstellung.

Aus den Interviews konnten Aussagen zur Eignung des VR/AR-Kollaborationssystems, zu Herausforderungen und Hemmnissen sowie zu gewünschten Zusatzfunktionen abgeleitet werden.

4 Ergebnisse

4.1 Validierung des Kollaborationskonzepts

Ein wesentliches Ergebnis der Praxistest ist, dass die vor Ort agierenden Service-Mitarbeitenden eine auf einer VR/AR-Kopplung basierende Unterstützung durch einen remote agierenden Experten bzw. eine Expertin als sehr hilfreich empfinden. Die Arbeit vor Ort wird erleichtert und Fehler werden reduziert.

Besonders die direkte visuelle Unterstützung in Echtzeit wurde von den Anwendenden als große Hilfe empfunden. Der Vorteil der Verwendung von AR-Brillen gegenüber anderen Lösungen (Video-Call mit Smartphones etc.) liegt in der „Hands Free“-Nutzung bei gleichzeitiger Sichtbarkeit aller Informationen im jeweils aktuellen Arbeitsbereich.

Besonders hervorgehoben wurde, dass die Expertinnen und Experten durch den Wegfall von Reisezeiten flexibler einsetzbar sind und mehrere Unterstützungsaufträge pro Zeiteinheit erledigen können. Dies führt zu einer besseren Ressourcennutzung und schnellerer Reaktionsfähigkeit des Service.

Eine Novität bei der Fernunterstützung im industriellen Umfeld war die Darstellung des jeweiligen Gegenübers als Avatar. Hier bestätigten die Testpersonen, dass die stilisierte Darstellung von Kopf, Oberkörperansatz und Händen ausreicht bzw. gegenüber einer realitätsnahen Darstellung sogar bevorzugt wird. Auch andere Studien bestätigen, dass aufwandsärmere Teilkörpervisualisierungen genügen, um hohe Präsenz und Akzeptanz zu erzeugen [2]. Wichtig sei vor allem, dass die Position des Gegenübers, seine Blickrichtung und die Orientierung der Hände erkennbar sind.

4.2 Herausforderungen und Hemmnisse

Trotz der Zustimmung zur prinzipiellen Tauglichkeit der VR/AR-Kollaboration zeigen die Interviews zu den Tests auch eine Reihe noch bestehender Herausforderungen:

Technische Infrastruktur: In vielen Fällen fehlt es an grundlegender Netzwerkinfrastruktur und ausreichender Hardware, um den reibungslosen Einsatz der Technologie zu gewährleisten.

Datensicherheit und Datenschutz: Die sichere Übertragung von Daten sowie die Einhaltung von Datenschutzvorgaben sind kritische Punkte, die

organisatorische Anpassungen oft auch auf Kundenseite erfordern. Dies betrifft nicht nur die Absicherung der über das öffentliche Internet übertragenden Daten, sondern auch grundlegende Fragen zum Einsatz Kamera-basierter Systeme in Hinblick auf Geschäftsgeheimnisse und die Wahrung der Persönlichkeitsrechte.

Realitätstreue, Detailliertheit und Aktualität der in die VR-Umgebung übertragenen Daten:

- *CAD generierte 3D-Modelle*: Eine korrekte Unterstützung durch VR-Experten oder Expertinnen setzt voraus, dass digitale 3D-Modelle mit den realen Gegebenheiten übereinstimmen. In der Praxis können jedoch Bauabweichungen oder nachträglich ein- und angebrachte Zubehörteile, die nicht dokumentiert wurden, Probleme verursachen. Hierbei können die im Projekt eingesetzten Umsetzungsvarianten 360°-Videostream und Live Volumetric Streaming der Realumgebung Abhilfe schaffen. Diese unterliegen jedoch eigenen, nachfolgend genannten Beschränkungen.
- *360°-Videostream*: Durch die fixe, nicht mit der Position des Experten oder der Expertin gekoppelte Perspektive entstehen Erkennungs- und Verdeckungs-Probleme, die eine häufige Umpositionierung der aufnehmenden Kamera nach sich ziehen. Außerdem fehlen Tiefeninformationen.
- *Live Volumetric Stream*: Durch den Einsatz der ursprünglich für Navigationszwecke entwickelten Sensorik der HoloLens2 waren die so erfassten dreidimensionalen Abbilder der Realumgebung einfarbig, niedrig auflösend und nicht in Echtzeit übertragbar. Sie helfen, sich in der Gesamtsituation vor Ort zu orientieren, befriedigen jedoch nicht, wenn sie als alleinige Datenquelle genutzt werden.
- Die Kombination aus vorgefertigten und live erfassten 3D-Daten mit 360°-Kamerastreams kann einige der individuellen Schwächen der Umsetzungsvarianten abmildern, jedoch nicht vollständig aufheben.

Geschäftsmodell und Kundenbindung: Die VR/AR-Kopplung kann (auf der AR-Seite vor Ort) auch vom Kunden oder der Kundin selbst genutzt werden, um ohne Hilfe eines Mitarbeitenden des Ausrüsters bestimmte Serviceaufgaben assistiert durchzuführen. Die trägt zu einem Wissensaufbau auf Kundenseite bei und kann langfristig den Bedarf an Servicepersonal reduzieren, was potenziell Auswirkungen auf die Erlöse durch das Servicegeschäfts und die Kundenbindung haben kann.

Arbeitsumweltbedingungen: Örtliche Gegebenheiten wie Beleuchtung, Lärm und Platzverhältnisse spielen eine entscheidende Rolle für die Qualität der bei der AR/VR-Kollaboration übertragenen Bilder und Sprache.

Zusätzliche Einschränkungen liegen vor, wenn persönliche Schutzausrüstung (z. B. Schutzbrille, Gehörschutz, Atemschutzmaske) getragen werden muss. Das Tragen eines AR-Headsets ist in diesen Fällen kaum kombinierbar.

4.3 Zusätzlich gewünschte Funktionalitäten

Bereits während der Entwicklungsarbeiten im Projekt TeleInteraction-XR wurden Wünsche der Nutzenden, die im Rahmen der Anforderungsanalyse erhoben wurden, aufgegriffen und umgesetzt. Dies betraf Basisfunktionalitäten wie das Markieren und Hervorheben von Bauteilen in der VR-Umgebung.

In den Interviews nach den Tests wurden von den Testnutzenden noch folgende weitere Zusatzfunktionen gewünscht:

- Zusätzliche **Annotationsmöglichkeiten** in der VR- bzw. AR-Umgebung (für technische Parameter, Prüfkriterien etc.).
- Möglichkeit eines **Videomitschnitts** zur Prozessprotokollierung (in Verbindung mit Annotationen)
 - für die Beweisführung bei Reklamationen oder Regressforderungen und
 - als Wissensspeicher für künftige Einweisungen etwa im Fall des Wechsels von Mitarbeitenden (Wissensmanagement von teils eher implizitem Wissen).
- **Physikalische Simulation** des 3D-Modells bezüglich
 - der Körpergrenzen, um Kollision zu erkennen.
 - der Verbindungen und Gelenke, um Freiheitsgrade beim Bewegen nachvollziehen zu können (für Instruktionen wie „Die Abdeckungen nach oben und dann nach vorn ziehen, bis es einrastet“.)
- **Vorgefertigte Animationen**, um die Wiederholgenauigkeit bei der Demonstration von Vorgängen zu verbessern (auch in Kombination mit der Simulation der Objektphysik).
- **Multi-User-Modus**, mit dem auch mehr als zwei Personen (z. B. zusätzliche Trainees) die VR/AR-Kollaboration nutzen können (Basistechnologien sind vorhanden, wurden aber bisher nicht explizit getestet).

5 Fazit

Tests in zwei Anwendungsfällen zeigen, dass das im Projekt TeleInteraction-XR als Demonstrator entwickelte VR/AR-Kollaborationssystem geeignet ist, Servicetätigkeiten durch Experten bzw. Expertinnen aus der Ferne zu unterstützen. Die Servicekräfte vor Ort empfinden die Unterstützung

insbesondere durch die gegenüber Telefonaten zusätzlichen visuellen Möglichkeiten und die „Hands Free“-Arbeitsweise als hilfreich. Die Unterstützung leistenden Expertinnen und Experten sparen durch vermiedene Geschäftsreisen wertvolle Zeitressourcen und können schneller und effizienter reagieren.

Zukünftig sollten die Systeme weiterentwickelt werden, um bestehende Hemmnisse, wie die Infrastruktur- und Sicherheitsanforderungen, zu überwinden und zusätzliche Funktionen, wie das Dokumentieren durch Videomitschnitt, zu implementieren.

Die Forschungs- und Entwicklungsarbeit wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung im Fachprogramm „Zukunft der Wertschöpfung“ und der Fördermaßnahme „Innovative Arbeitswelten im Mittelstand“ im Projekt TeleInteraction-XR (Förderkennzeichen 02L21B550-4) gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für den Inhalt der Veröffentlichung liegt beim Autor.

6 Literaturverzeichnis

- [1] Rüffert, D., Kögel, A., Löffler, T. (2025) So fern und doch so nah – Telepräsenes Arbeiten in der Industrie. In: Bullinger-Hoffmann, A.C. (2025) Telepräsenes Fernunterstützung in der Industrie - Abschlusspublikation der Projekte PraeRI und TeleInteraction-XR
- [2] Brade, J; Kögel, A.; Fuchs, C.; Klimant, P.: Impact of first person avatar representation in assembly simulations on perceived presence and acceptance. Proceedings of the 15th International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications - Volume 1: GRAPP, 27.02.-29.02.2020, Valletta, Malta, p. 17-24. - Science and Technology Publications Lda, Scitepress digital library, 2020. DOI: 10.5220/0008878700170024.

Autoren

Madeleine Berger

Madeleine Berger arbeitet seit 2017 im Bereich Forschung und Entwicklung bei der ULT AG Umwelt-Lufttechnik.

Aufgabengebiete sind die Netzwerkkoordination zu Partnern aus Forschung, Industrie und Projektträgern für öffentlich geförderte Forschungsprojekte und industrielle Entwicklungsprojekte. Die ULT AG entwickelt und fertigt Anlagen zur

effektiven Beseitigung luftgetragener Schadstoffe oder zur Reduzierung der Luftfeuchte.



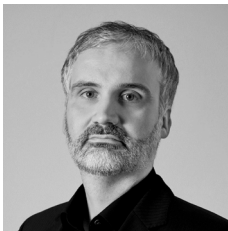
Nicole Holz

Dipl.-Ing. Nicole Holz ist Teamleiterin für Consulting und Customer Success bei IMSYS und beschäftigt sich seit 20 Jahren mit der Entwicklung und Implementierung innovativer Softwarelösungen sowie der digitalen Transformation. Ihr Fokus liegt auf Prozessoptimierung, Technologieintegration und nachhaltigen Lösungen in den Branchen Automotive, Aerospace und Machinery.



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.