



INSTANCE: Immersive Industrial Innovation Ecosystems

Infrastruktur und Anwendungsfälle für das Metaverse – Erweiterte Realitäten in verteilten Arbeitswelten

Hrsg.: Katharina Hölzle | Steffen Braun

In Zusammenarbeit mit

Im Rahmen des Projekts

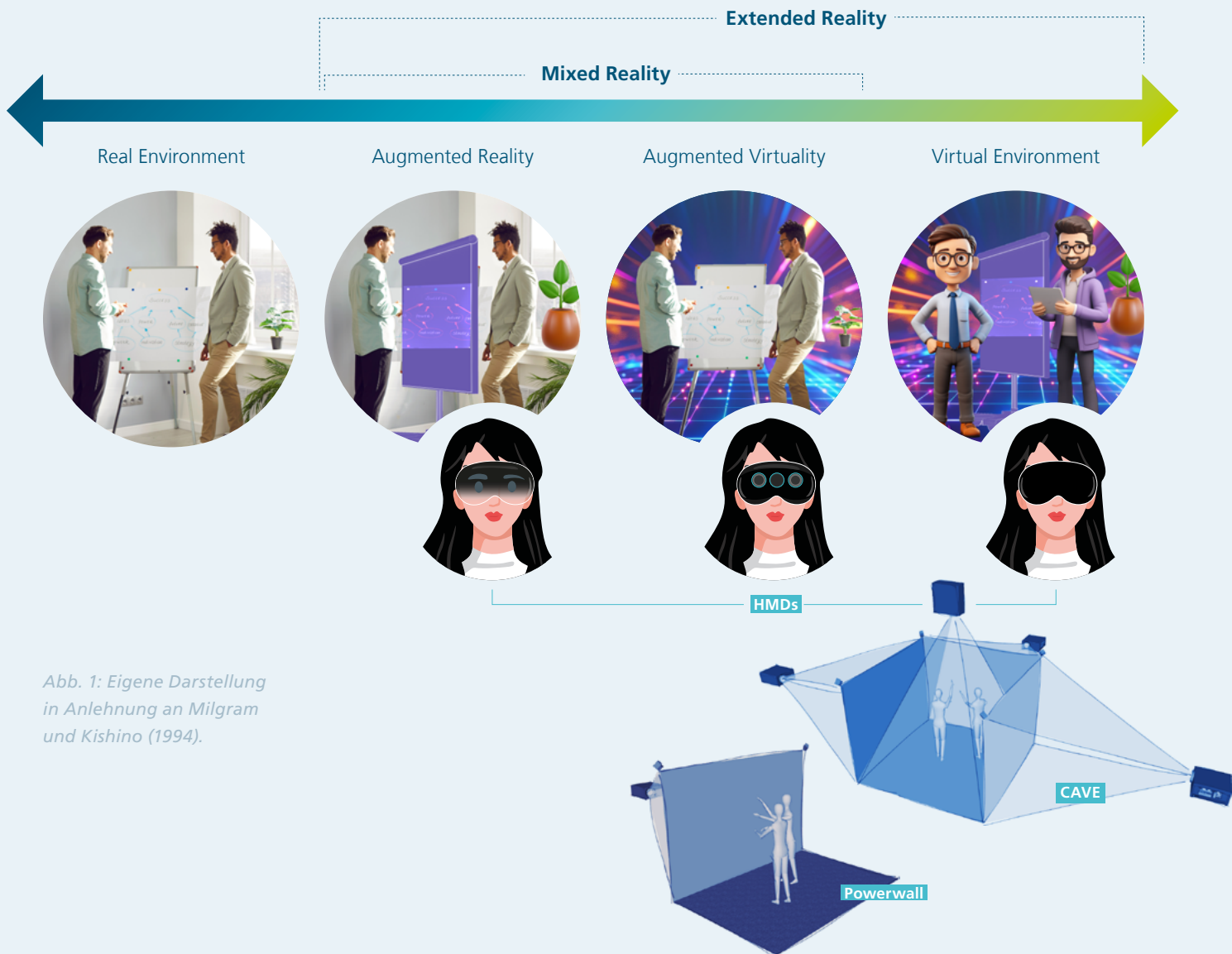


Abb. 1: Eigene Darstellung in Anlehnung an Milgram und Kishino (1994).

Der Begriff **CAVE** (Cave Automated Virtual Environment) wurde durch Cruz-Neira et al. (1992) geprägt und bezeichnet mehrseitige Stereoprojektionsräume, deren Wände (und ggf. Boden) 3D-Stereobilder ähnlich denen in einem 3D-Kino zeigen. Mit Hilfe von getrackten 3D-Brillen und Interaktionsgeräten werden virtuelle Umgebungen immersiv erlebbar. CAVEs zählen zu VR-Displays und sind eine Alternative zu Head Mounted Displays (»VR-Brillen«)

Eine **Powerwall** ist ein großformatiges, möglichst hochauflösendes, meist bodentiefe 3D-Display. Powerwalls gelten als VR-Displays, weil sie durch ihre Größe ein relativ großes Sichtfeld abdecken. Streng nach den Begrifflichkeiten von Milgram und Kishino (1994) könnte man sie auch unter den Augmented-Virtuality-Displays einsortieren, da sie »nur« wie ein Schaufenster in die Virtualität fungieren. Technisch können Powerwalls über Projektion – mit einem oder mehreren Projektoren – gekachelte Monitore oder LED-Displays umgesetzt werden. Sie verfügen über Tracking-Systeme, um Interaktion zu ermöglichen und die Immersion zu verbessern.

Head Mounted Displays (HMDs) sind XR-Display-Systeme, die ähnlich einer Skibrille getragen werden. Ein VR-HMD besteht in der Regel aus je zwei kleinen Displays und Linsen, die direkt vor den Augen positioniert sind. Heutzutage sind viele HMDs mit Kameras ausgestattet, deren Bilder auf die Displays durchgegeben werden können. Durch dieses »Video Passthrough« oder »Video Seethrough« sind diese HMDs oft auch für Augmented Virtuality und Augmented Reality verwendbar. »Optical Seethrough«-Augmented Reality-HMDs platzieren keine geschlossenen Displays vor den Augen, sondern erlauben die Durchsicht auf die Realität. Hier werden virtuelle Objekte beispielsweise in die Brillengläser und damit ins Sichtfeld der Nutzenden projiziert. HMDs verfügen über Tracking-Systeme, um sich selbst (und damit Nutzende) im Verhältnis zur Realität und in der Virtualität zu verorten, Interaktion zu ermöglichen und die Immersion zu verbessern.

Inhalt

1	Management Summary	4
2	Einführung	5
2.1	Projektbeschreibung INSTANCE	5
2.2	Einordnung des Forschungsgebiets am Institut	6
3	Anwendungsfall »Model Instance«	9
3.1	Einführung und Motivation	10
3.2	Zielsetzung	11
3.3	Stand der Wissenschaft und Technik	11
3.4	Vorerfahrungen und Vorarbeiten	12
3.5	Detaillierte Beschreibung des Anwendungsfalls	13
4	Anwendungsfall »Collaboration & Creative Work«	17
4.1	Einführung und Motivation	18
4.2	Zielsetzung	18
4.3	Stand der Wissenschaft und Technik	18
4.4	Detaillierte Beschreibung des Anwendungsfalls	21
5	Anwendungsfall »Innovation Workshop – InnoAssist«	24
5.1	Einführung und Motivation	25
5.2	Zielsetzung	26
5.3	Stand der Wissenschaft	26
5.4	Detaillierte Beschreibung des Anwendungsfalls	28
5.5	Beispiel Anwendungsszenario	31
5.6	Erste Überlegungen zu Erweiterungsmöglichkeiten	32
6	Weitere Anwendungsfälle	33
6.1	Repräsentation und Recruiting	34
6.2	Strategiekommunikation	35
6.3	Joseph von Fraunhofer als XR-Avatar	36
7	Entwicklung der technischen Infrastruktur	38
7.1	CAVE im Immersive Participation Lab	39
7.2	CoLEDWall++ im Visual Technologies Lab	40
7.3	XR-Portale an weiteren Institutsstandorten ...	40
7.4	»XR-Visualizer«	41
7.5	AR in VR: Visual Positioning Systems für XR im Stadtraum	42
8	Ausblick	44
	Abkürzungsverzeichnis	47
	Literaturverzeichnis	48
	Impressum	53

1 Management Summary

Der vorliegende Bericht beschreibt die ersten Aktivitäten im Forschungsprojekt »INSTANCE – Immersive Industrial Innovation Ecosystems« des Fraunhofer IAO und des IAT der Universität Stuttgart zum Thema Metaverse, mit dem Fokus auf eXtended Reality (XR) in verteilten Arbeitswelten. Dazu werden beispielhafte Anwendungsfälle entwickelt, pilotiert und evaluiert, jeweils mit eigenen Forschungsfragen.

Nach einer Einführung des Forschungsgebiets und einer Einordnung in die bisherigen Arbeiten der Virtual- und Augmented Reality-Forschung und -Anwendung am Institut der letzten Jahrzehnte wird der erste Anwendungsfall »Model Instance« im Bereich des virtuellen Änderungsmanagements in der Produktentwicklung beschrieben, der sich durch seine hohe Relevanz für die produzierende Industrie auszeichnet und dabei gleichzeitig auf State-of-the-art Technologieentwicklung beruht.

Der zweite Anwendungsfall »Collaboration & Creative Work« beschäftigt sich mit der Forschungsfrage, inwieweit Kreativ- und Ideenentwicklungsprozesse in verteilten virtuellen Welten durchgeführt werden oder zukünftig sogar besondere Mehrwerte aufweisen können. Der dritte Anwendungsfall »Innovation Workshop – InnoAssist« zeigt auf, welche Rolle generative Künstliche Intelligenz, im Speziellen Large Language Models (LLMs), in Zukunft in Innovationsprozessen für Produkt- oder Service-Entwicklungen spielen können – insbesondere in Kombination mit Erweiterter Realität. Beispielhaft werden weitere Anwendungsfälle, die intern entwickelt und erprobt werden, skizziert.

Neben der Anwendungsseite untersucht das Projekt insbesondere auch die technologischen Handlungsoptionen, die standortunabhängige kollaborative Arbeit in verteilter Erweiterter Realität erfordert. Der Anspruch der Forschungsinitiative INSTANCE geht hier weit über die Verwendung von einfachen Head-Mounted Displays (HMD) wie gängigen VR-Brillen hinaus. Die einzigartige Hard- und Software-Infrastruktur, die aktuell über die einzelnen Institutsstandorte des Fraunhofer IAO hinweg realisiert wird, wird im vorliegenden Bericht näher beschrieben. Im Kern steht hierbei die technische Erweiterung der CAVE im Immersive Participation Lab des Zentrums für Virtuelles Engineering (ZVE) mit hochauflösenden, lichtstarken Projektoren, einer flexiblen Architektur zur Grafikberechnung und großflächigem Trackingsystem.

Mit INSTANCE startet das Institut eine Innovationsoffensive zur Gestaltung von kollaborativer Arbeit in XR und bringt Unternehmen branchenübergreifend zusammen, um für das, in und mit dem Metaverse neue Produkte, Geschäftsmodelle und Dienstleistungen von morgen zu entwickeln.

2 Einführung

Katharina Hölzle, Steffen Braun, Matthias Aust, Matthias Bues

2.1 Projektbeschreibung INSTANCE

Das Metaverse hat das Potenzial, unser Verständnis von technologiegestützter Zusammenarbeit grundlegend zu verändern. Die Beantwortung der Frage, wie Metaverse-Technologien Menschen optimal bei der Innovationsarbeit und bei Engineering-Prozessen unterstützen können, erfordert daher einen interdisziplinären Ansatz, der die Bereiche eXtended Reality (XR), Künstliche Intelligenz (KI), sowie Ergonomie und Innovationsmanagement umfasst. Deswegen wird am Fraunhofer IAO im Rahmen eines Forschungsprojektes über alle vier Institutsstandorte hinweg eine einzigartige Hard- und Software-Infrastruktur in Form von vernetzten XR-Laboren entwickelt und aufgebaut, die es Teams mit unterschiedlichen Expertisen und Forschungsschwerpunkten ermöglicht, beispielhafte Metaverse-Anwendungsszenarien zu entwerfen, auszuprobieren und zu evaluieren. Vielversprechende Anwendungsfälle werden im weiteren Verlauf des Projekts in kontrollierte Experimente überführt und eingehend untersucht.

Ziel des Projekts INSTANCE ist es einerseits, über das Entwickeln und Evaluieren solcher Anwendungsfälle eine breitere Wissensbasis zu Kollaboration und Innovation im Metaverse zu schaffen, und andererseits konkrete Leistungsangebote für verschiedene Industrien zu kreieren, die mit der entwickelten Hard- und Software-Infrastruktur erste Schritte im Metaverse gehen können. So werden erste prototypische Demonstratoren für beispielhafte Anwendungsfälle geschaffen, die eine Testumgebung für multi-lokale, kollaborative XR-Technologien mit eigenen Daten bieten.

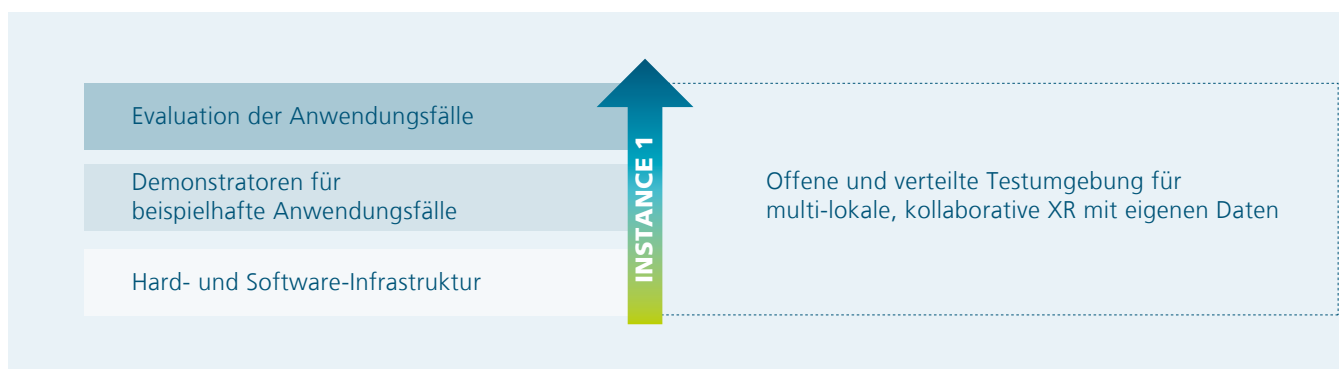


Abbildung 2: Links: Forschung und Entwicklung (F&E) zu kollaborativer XR im Rahmen des INSTANCE-Projekts. Rechts: Resultierende F&E-Angebote für Partnerunternehmen.

2.2 Einordnung des Forschungsgebiets am Institut

Das Fraunhofer IAO gemeinsam mit dem Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement IAT der Universität Stuttgart haben auf dem Gebiet der technologiegestützten kollaborativen Arbeit über die vergangenen Jahrzehnte eine umfangreiche Expertise aufgebaut und beforschen das Thema sowohl aus arbeitswissenschaftlicher als auch aus technologischer Sicht. So wurde bereits 1992 das Competence Center Virtual Environments (CCVE) gegründet, aus dem später die heutigen Forschungsteams eXtended Environments und Visual Interactive Technologies hervorgingen. Seither leistet das Institut wichtige Beiträge zur Weiterentwicklung von XR in Deutschland – in der in der Technologieentwicklung und in ihrer Anwendung.

Schon 2001 wurde dort erste PC-basierte VR-System vorgestellt und zum Patent angemeldet, wodurch Virtual Reality (VR) erstmals auch für mittelständische Unternehmen zugänglich wurde. (Bues, et al., 2001) (Bues, 2002) (Deutschland Patentnr. DE10125075B4, 2004). Im CCVE wurde die VR-Software »Lightning« (Bues, Gleue, & Blach, 2008) entwickelt und mit »VRfx« erweitert (Bues, 2009). Hier heraus entstand das Spin-Off IC:IDO (IC.IDO | Virtual Reality Engineering Software). VRfx lief außerdem bis vor wenigen Jahren in vielen unterschiedlichen VR-Anlagen am Institut – von der projektionsbasierten Schreibtisch-VR »Picasso« (Stefani, Hoffmann, Patel, & Haselberger, 2004) über die 6-Seiten CAVE »HyPI6« (Hagenmeyer, et al., 2003) bis zur großen 4-Seiten-CAVE im heutigen **Immersive Participation Lab¹** im Zentrum für Virtuelles Engineering ZVE (zu »CAVE« siehe Abbildung 1 auf Seite 2).



Abbildung 3: links: »Fakespace BOOM 3C« (1994) am Fraunhofer IAO, rechts: Eigenentwicklung »Picasso« (2004).

¹ <https://www.iao.fraunhofer.de/de/labors-ausstattung/immersive-participation-lab.html>

Das ZVE selbst wurde als nationales Modellprojekt (eine der ersten DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e.V.)-Zertifizierungen in Deutschland) mithilfe von VR-Methoden unter Beteiligung seiner späteren Nutzer*innen geplant – eine neuartige Vorgehensweise von der Entwurfs- bis zur Ausführungsphase, die ebenfalls am Institut entwickelt wurde (Bullinger, Bauer, Wenzel, & Blach, 2010).

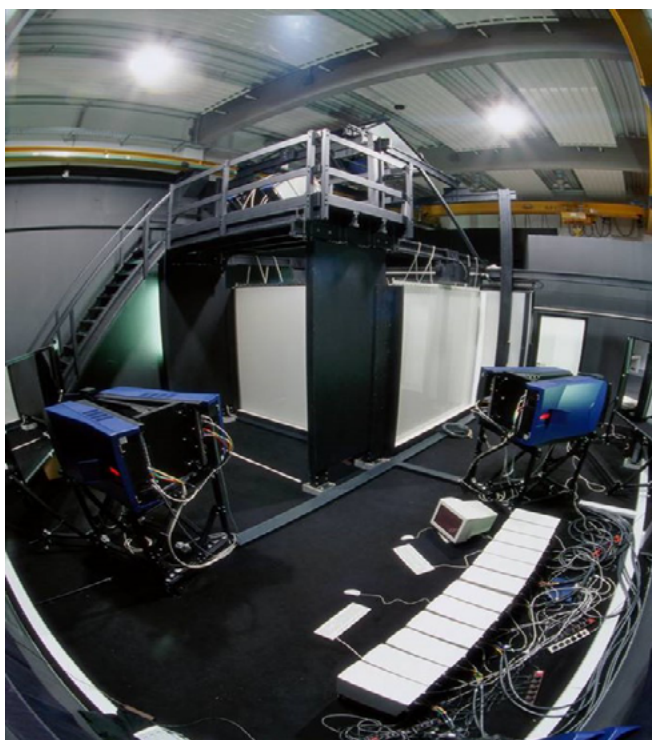
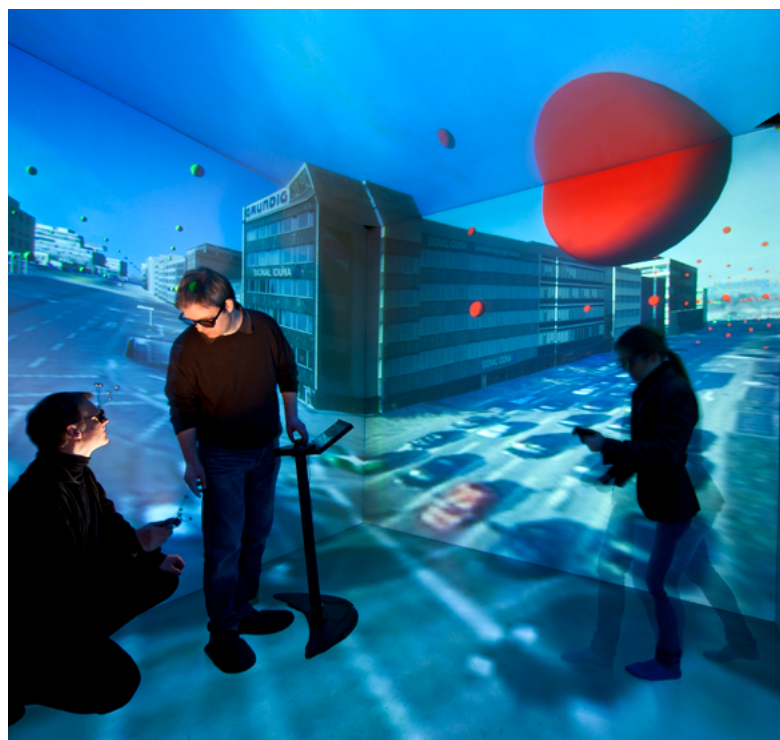


Abbildung 4: HyPI6 von außen und innen.

Im Team Visual Interactive Technologies wurde der »ProTable«² entwickelt, inklusive der Basis-Software »VD1« (Bues, Wingert, & Riedel, 2018), sowie die »CoLEDWall«³, eine Multiview-fähige LED-Powerwall: Beides sind prototypische Technologieentwicklungen, die neue Möglichkeiten in co-located XR (mehrere Nutzer*innen physisch am selben Ort) eröffnen. Die CoLED-Wall wird im Rahmen des Projekts INSTANCE verwendet und weiterentwickelt.

Das Team eXtended Environments betreibt die CAVE im Immersive Participation Lab, die in INSTANCE ein technologisches Update erfährt, und realisierte in den letzten Jahren mehrere Projekte mit dem Thema Multi-User-Virtual-Reality in den unterschiedlichsten Anwendungsbereichen. Stellvertretend seien hier die Projekte »ExoHaptik:PflegeKraft« (Bundesministerium für Bildung und Forschung, 2022) und »BIMprove«



(BIMprove H2020, 2023) angeführt. In ExoHaptik wurde gemeinsam mit Pflege-Expertinnen des IAO eine Multi-User-VR-Anwendung zum Training von Pflegekräften entwickelt. In BIMprove kam, in diesem Fall für die Baubranche, die Eigenentwicklung »XR-Visualizer« zum Einsatz, eine Multi-User-VR-Software, die ebenfalls im INSTANCE-Projekt weiterentwickelt wird.

² https://www.engineering-produktion.iao.fraunhofer.de/de/produkte-und-loesungen/visuelle-werkzeuge/Portfolio_ProTable.html

³ <https://www.iao.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/aktuelles/die-richtige-perspektive-fuer-alle-in-der-virtuellen-kollaboration.html>

Die angewandte Arbeitswissenschaft und damit insbesondere die Forschungsfrage, wie Menschen gut, kreativ und effektiv zusammenarbeiten, um Innovationen entstehen zu lassen, sind ein zentrales Forschungsgebiet des Instituts. Dazu seien beispielhaft zwei Innovationsverbände genannt:

- Im Innovationsnetzwerk »Office21®«⁴ wird bereits seit 1996 zusammen mit den Partnerunternehmen untersucht, wie sich die Büro- und Wissensarbeit in der Zukunft verändert, um daraus Handlungsempfehlungen für Unternehmen abzuleiten.
- Der Innovationsverbund »Connected Work Innovation Hub« ging 2021 mit der Frage an den Start, wie wir in der Post-Corona-Zeit arbeiten werden. Hier werden Herausforderungen der hybriden Arbeitswelt allgemein und der virtualisierten Zusammenarbeit im Speziellen beleuchtet und untersucht. Zahlreiche Publikationen dokumentieren jeweils die gewonnenen Erkenntnisse.

Beim Thema technologiegestützte kollaborative Arbeit ist heutzutage Künstliche Intelligenz nicht mehr wegzudenken. Seit 2019 arbeitet das Forschungs- und Innovationszentrum Kognitive Dienstleistungssysteme KODIS am Bildungscampus in Heilbronn als mittlerweile eigener Forschungsbereich des Fraunhofer IAO an der Entwicklung und Umsetzung digitaler Service-Produkte und datenbasierter Geschäftsmodelle. Ein besonderer Fokus liegt u. a. in der Anwendung von KI-Verfahren. Ein Team des KODIS arbeitet zusammen mit Kolleg*innen des Teams Angewandte Künstliche Intelligenz vom Hauptstandort Stuttgart, das sich seit mehreren Jahren intensiv mit dem Thema KI und spezifisch der Textanalyse beschäftigt, am INSTANCE Anwendungsfall »Innovation Workshop – InnoAssist«.

Abschließend sei hier die durch das Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Baden-Württemberg geförderte »Cyberländ«-Studie von 2023 genannt, für die das Institut gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA und dem Virtual Dimension Center Fellbach die Potenziale des Metaverse für Unternehmen im Land untersucht hat (Hölzle, et al., 2023). Sie zeichnet u. a. eine Metaverse-Kompetenzlandkarte, um die Kompetenzen von über 600 Firmen und Forschungseinrichtungen in Baden-Württemberg für die Zukunft zu vernetzen und weiterzuentwickeln.

4 <https://office21.de/>



3 Anwendungsfall »Model Instance«

Matthias Bues, Benjamin Schneider

3.1 Einführung und Motivation

Das Änderungsmanagement ist für produzierende Unternehmen verschiedener Branchen eine Kernaktivität, in der sehr viele Bereiche und Disziplinen miteinander kollaborieren müssen, um optimale Lösungen für notwendige Anpassungen an einem Produkt zu realisieren. Zunehmend komplexe, technische Systeme steigern die Anzahl der involvierten Disziplinen und somit auch die zu beachtenden Schnittstellen. Der Anwendungsfall Model Instance schlägt hierfür einen Lösungsansatz vor, der auf dem Advanced Systems Engineering basiert und die Lösungselemente Industrial Metaverse, Digitaler Zwilling, Model-Based Systems Engineering (MBSE) und interaktive räumliche Kollaboration miteinander verbindet. Der Ansatz zielt darauf ab, sowohl die Identifikation der Auswirkungen von Änderungen als auch die interdisziplinäre Erarbeitung einer aus Unternehmenssicht optimalen Lösung zu verbessern.

Produzierende Unternehmen verschiedener Branchen sehen sich durch Megatrends wie Globalisierung, Digitalisierung, Individualisierung und Nachhaltigkeit mit einer steigenden Komplexität in der Produktentstehung konfrontiert. Das Advanced Systems Engineering (ASE) beschreibt, aus diesen Trends motiviert, Advanced Systems als zukünftige Marktleistungen, die sich durch Autonomie, dynamische Vernetzung, sozio-technische Interaktion und Aspekte von Produkt-Service-Systemen auszeichnen. Die Systeme sind durch das Zusammenwirken verschiedener Disziplinen wie Mechanik, Elektronik, Software, Service, I&K-Technik und auch der Psychologie gekennzeichnet. (Dumitrescu, Albers, Riedel, & Stark, 2021)

Systems Engineering und Advanced Engineering stellen im ASE-Bausteine dar, mit denen die Komplexität handhabbar gemacht und eine interdisziplinäre Produktentstehung mithilfe agiler Organisationsformen, digitaler Technologien und Künstlicher Intelligenz optimal unterstützt werden soll. Ein zentrales Lösungselement stellen Digitale Zwillinge dar, die als virtuelle Repräsentation von realen oder noch in Planung befindlichen Systemen Zusammenhänge visualisieren und detaillierte Einblicke in Teile eines Gesamtsystems ermöglichen (Stark, Anderl, Thoben, & Wartzack, 2020). Grundlage für die Digitalen Zwillinge sind modellbasierte und durchgängig verknüpfte Daten, insbesondere strukturbeschreibende Daten wie eine Stückliste oder ein auf MBSE basierendes Systemmodell sowie prozessbeschreibende Daten, wie ein Prozessmodell.

Diese Daten werden in der unternehmerischen Praxis in der Regel in Systemen für das Produktlebenszyklusmanagement (PLM) verwaltet. Zentral ist die digitale und durchgängige Verknüpfung der verschiedenen Daten und Informationen, welche in ihrer Gesamtheit eine möglichst vollständige Charakterisierung des in Entwicklung befindlichen Systems ermöglichen sollen. (Riedel, Kürümlüoglu, & Schneider, 2020)

Multiviewer Virtual Reality Umgebungen schaffen für mehrere Personen einen räumlichen, visuellen Zugang zu den Modellen und Daten, aus denen sich ein Digitaler Zwilling eines Systems zusammensetzt. Sie ermöglichen so eine optimierte lokale Zusammenarbeit mehrerer Personen. (Wingert et al. 2023)

Zentrale Herausforderung in der Entwicklung zukünftiger Advanced Systems sind die optimale Unterstützung und Orchestrierung der interdisziplinären Kollaboration sowie die Unterstützung der Entwickler*innen im Umgang mit komplexer werdenden, datengetriebenen Systemen. (Dumitrescu, Albers, Riedel, & Stark, 2021)

3.2 Zielsetzung

Der Anwendungsfall Model Instance stellt das Änderungsmanagement in den Mittelpunkt der Betrachtung und beschreibt hierfür einen Ansatz zur Kombination zweier Lösungselemente: (1) die interdisziplinäre visuelle Kollaboration, in Multiviewer VR-Umgebungen und (2) die durchgängige und modell-basierte Verknüpfung der Daten, die ein System und dessen Eigenschaften, im Sinne eines Digitalen Zwillinges, charakterisieren. Der Beitrag beleuchtet, wie die beiden Lösungselemente im Zusammenspiel (a) Verständnis und Transparenz von Zusammenhängen und Abhängigkeiten in komplexen Systemen optimieren, also den Menschen im ASE unterstützen, und (b) die interdisziplinäre Zusammenarbeit über den Produktlebenszyklus optimieren.

3.3 Stand der Wissenschaft und Technik

Änderungsmanagement und Model-Based Systems Engineering

Das Änderungsmanagement nimmt eine zentrale Rolle in der Produktentwicklung ein und beansprucht in Unternehmen bis zu einem Viertel der gesamten F&E-Kapazität (Langer, Wilberg, Maier, & Lindemann, 2012). Bis zu einem Drittel der Änderungen werden hierbei als kritisch, also den Produkterfolg gefährdend, bewertet (Langer, Wilberg, Maier, & Lindemann, 2012). Ein Engineering Change, also eine erforderliche Änderung an einem Produkt, kann als Änderung oder Anpassung im Hinblick auf Struktur, Verhalten, Funktionalität oder das Zusammenspiel dieser Eigenschaften eines bereits freigegebenen Produktes angesehen werden (Hamraz, Caldwell, & Clarkson, 2013).

Für einen Überblick zu bestehenden Änderungsmanagement Methoden sei auf die Arbeiten von Martin et al. (2022) und Tryczak et al. (2023) verwiesen. Viele dieser Methoden weisen jedoch eine hohe Komplexität auf (Tryczak, Lis, Ziemiański, & Czyżewicz, 2023).

Im Kontext des ASE und des zugehörigen MBSE liegt der Fokus auf dem modellbasierten Änderungsmanagement. Martin et al. (2022) beschreiben mit dem Advanced Engineering Change Impact Approach einen modellbasierten Ansatz für das Änderungsmanagement. Weitere modellbasierte Ansätze sind in Meißner et al. (2021) oder Nonsiri et al. (2013) beschrieben.

Digitaler Zwilling im Industrial Metaverse

Der Digitale Zwilling beschreibt eine virtuelle Repräsentation eines Systems. Er setzt sich hierfür in der Regel aus verschiedenen verknüpften Modellen zusammen, welche die Eigenschaften eines Systems beschreiben, die für dessen Entwicklung, Herstellung oder Betrieb relevant sind. (Stark, Anderl, Thoben, & Wartzack, 2020)

Bitkom (Angerer, et al., 2023) folgend ermöglicht das Industrial Metaverse mittels Technologien der Virtuellen und Erweiterten Realität (VR und AR) einen intuitiven visuellen Zugang zum Digitalen Zwilling von Produkt und Produktionssystem. Heute gängige CAD-, CAE- und Produktionsplanungssysteme bieten bereits (3D-) Visualisierung, diese ist jedoch nicht domänenübergreifend nutzbar.

Im Kontext des Industrial Metaverse existieren bereits einige, auch kollaborative Applikationen zur VR-basierten Engineering-Visualisierung (Angerer, et al., 2023). Einschränkungen bestehen hier aktuell in der Bearbeitbarkeit von bspw. CAD-Modellen und der fehlenden Einbindung von ergänzenden Produktinformationen, wie das Verhalten des Produkts im Einsatz oder Daten mit Bezug zur Produktion.

Interdisziplinäre Kollaboration und Handhabung von Komplexität

Die steigende Komplexität von Produkten und Systemen und die zunehmende Integration von Funktionalitäten erfordern interdisziplinäre Kollaboration bei der Erstellung von technischen Systemen (Dumitrescu, Albers, Riedel, & Stark, 2021). Expert*innen können in der Erstellung und Handhabung komplexer Systeme, welche durch eine zunehmende Menge an Daten und komplexe Systemmodelle geprägt sind (Dumitrescu, Albers, Riedel, & Stark, 2021), durch visuelle Zugänge wie VR unterstützt werden.

Neue Technologien wie Multiviewer-Powerwalls ermöglichen eine lokale räumliche Zusammenarbeit (Wingert et al. 2023). Studien zur Remote-Zusammenarbeit in VR haben gezeigt, dass Head-Mounted-Displays (HMDs, siehe Abbildung 1 auf Seite 2) das Gefühl der räumlichen Präsenz und der Kopräsenz gegenüber klassischen Lösungen verbessern (Bayro, Ghasemi, & Jeong, 2022).

Um eine vollständige interdisziplinäre Kollaboration im ASE-Kontext entlang des gesamten Produktlebenszyklus zu ermöglichen, muss ein bidirektionaler Zugang zu den Autorensystemen (CAD, CAE) und dem PLM, welches die Daten verwaltet, hergestellt werden. Damit können Anwender*innen fachspezifische Daten um geometrische und strukturelle Informationen ergänzen, tiefere Einblicke in das System und dessen Zusammenhänge erhalten und somit den Lösungsprozess bestmöglich unterstützen.

3.4 Vorerfahrungen und Vorarbeiten

Für die Realisierung des Anwendungsfalls kann auf umfangreiche Vorarbeiten zurückgegriffen werden. Die am Institut entwickelte CoLEDWall ermöglicht mehreren Personen das kollaborative Arbeiten an virtuellen Objekten, ohne dass dafür VR-Brillen (HMDs, siehe Abbildung 1 auf Seite 2) benötigt werden; es genügen vielmehr leichtgewichtige Shutterbrillen ähnlich denen, die bei herkömmlichen Powerwalls oder CAVEs eingesetzt werden (siehe Abbildung 5). Im Gegensatz zu letzteren sehen an der CoLEDWall jedoch zwei Personen jeweils eine eigene, korrekte Perspektive, womit erst die Voraussetzung für echte Kollaboration geschaffen wird. Im internen Forschungsprojekt »Cognitive Engineering and Production« wurden Workflows und Methoden für einen durchgehend modellbasierten Produktentstehungsprozess entwickelt, auf die im Anwendungsfeld Model Instance aufgebaut werden soll.

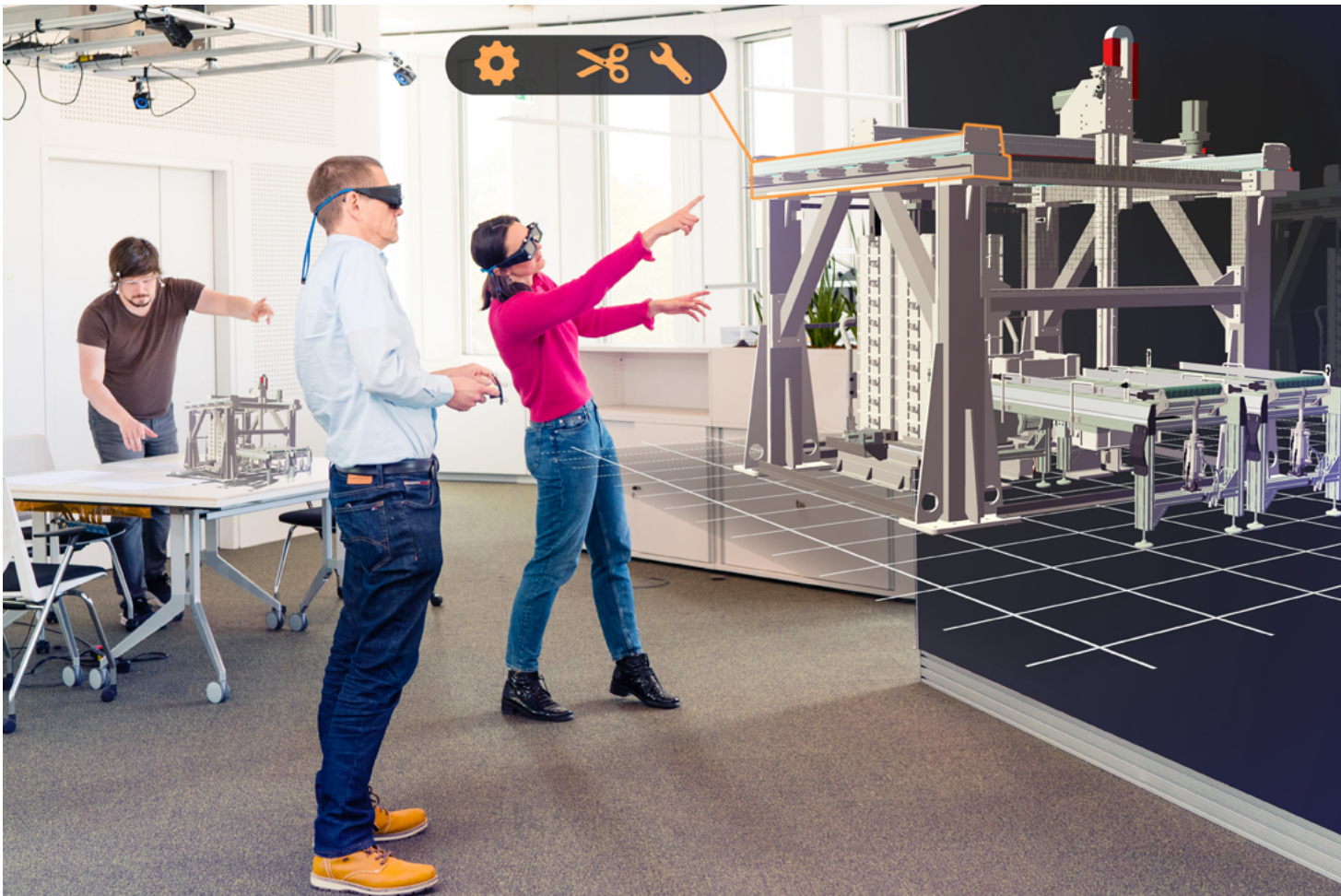


Abbildung 5: Darstellung der CoLEDWall. Im Hintergrund der ProTable. Foto: Ludmilla Parsyak.

3.5 Detaillierte Beschreibung des Anwendungsfalls

Im Folgenden wird zunächst die heute in vielen Unternehmen übliche Vorgehensweise für einen Änderungsprozess ausgeführt. Weiter werden der angestrebte, modellbasierte Änderungsprozess sowie zwei beispielhafte Schnittstellen, an denen die Vorteile der modellbasierten, visuellen und interdisziplinären Kollaboration anschaulich gemacht werden, beschrieben.

Obwohl die Forschung, wie in Abschnitt 3.3 beschrieben, bereits viele Methoden und Ansätze für ein effizientes und durchgängiges Änderungsmanagement bietet, findet dieses in der unternehmerischen Praxis oftmals nicht anhand digital durchgängiger Informationsflüsse oder einer modellbasierten Transparenz statt, sondern basiert auf manuellen Schnittstellen und nicht verknüpften Daten oder Modellen. Zentrale Herausforderungen bestehen weiterhin in der modellbasierten Nachverfolgbarkeit der Auswirkungen von Änderungen sowie der interdisziplinären Abstimmung auf der Basis gemeinsam definierter und verstandener Modelle von Produkt und System. (Langer, Wilberg, Maier, & Lindemann, 2012)

Der hier vorgestellte Ansatz kombiniert ein modellbasiertes Änderungsmanagement mit einem visuellen Zugang im Sinne des Industrial Metaverse. Dies realisiert die bisher fehlende Durchgängigkeit in den Modellen und Informationen, welche für eine Nachverfolgbarkeit der Auswirkungen einer Änderung zentral relevant ist, sowie eine optimale Unterstützung der interdisziplinären Zusammenarbeit bei der detaillierten Ausarbeitung der Änderung. Abbildung 6 zeigt die eingesetzten Werkzeuge und Schnittstellen bzw. Austauschformate, auf denen das modellbasierte Änderungsmanagement realisiert wird. Zentral sind Anforderungen und deren modellbasierte Beschreibung, welche über eine ReqIF-Schnittstelle (Requirements Interchange Format) die Ausgangsbasis für das MBSE und die entsprechenden Systemmodelle bilden.

Als Vorgehensmodell für das modellbasierte Änderungsmanagement werden die in Abschnitt 3.1 referenzierten Vorarbeiten als Orientierung herangezogen. Die Analyse und Durchführung der Änderung zwischen den Stakeholdern aus verschiedenen Unternehmensbereichen und Disziplinen werden durch die interaktive, räumliche Kollaboration an verschiedenen Arten von Modellen unterstützt, die in ihrer Gesamtheit den Digitalen Zwilling bilden.

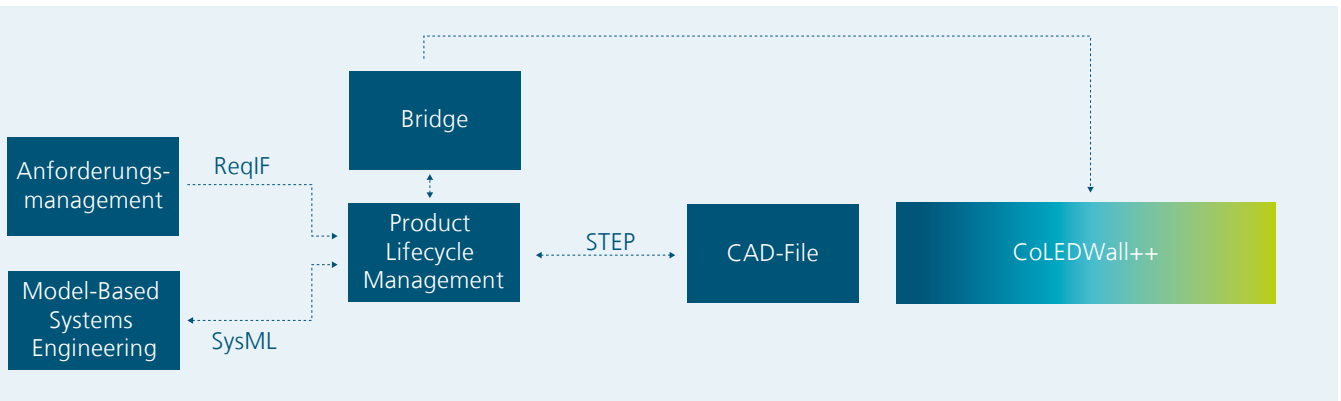
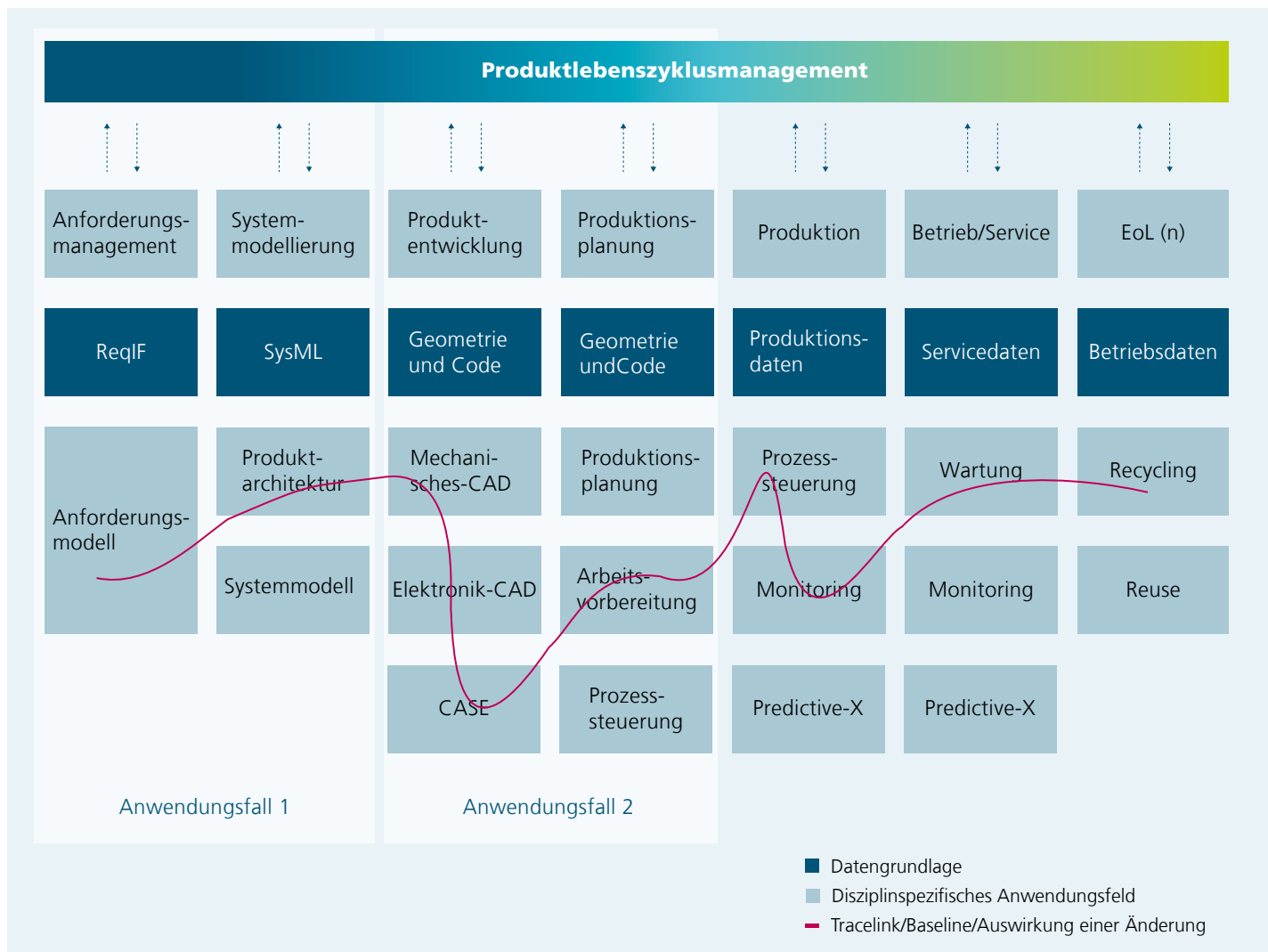


Abbildung 6: Werkzeuge, Schnittstellen und Austauschformate des modellbasierten Änderungsmanagements in Model Instance (Eigene Darstellung, Bild © Fraunhofer IAO).

Abbildung 7 visualisiert den unternehmensinternen Durchlauf einer Änderung vom Anforderungsmanagement über die Produktentwicklung und die Produktion bis hin zu Betrieb und Service. Die rote Linie stellt den Pfad der Änderung durch die verschiedenen Phasen des Produktlebenszyklus sowie die Nachverfolgbarkeit der Auswirkungen eines Engineering Change dar.



Für die prototypische Umsetzung und Evaluation der Methodik sollen zunächst zwei besonders relevante Anwendungsfälle betrachtet werden.

Anwendungsfall 1 beschreibt, wie Abbildung 7 zu entnehmen ist, die frühe Phase eines Engineering Change und bezieht sich auf die Schnittstelle zwischen dem Anforderungsmanagement und der Systemmodellierung. Beide bilden die Grundlage für eine spätere Nachverfolgbarkeit von Änderungen. Im geplanten Szenario treffen sich die jeweiligen Disziplinexpert*innen an der CoLEDWall und bringen ihre disziplinspezifischen, aber modellbasiert miteinander verknüpften Modelle mit. Diese werden gemeinsam betrachtet, Auswirkungen einer Anforderungsänderung auf die im Systemmodell beschriebene Systemarchitektur analysiert, verschiedene Lösungsoptionen diskutiert und zusammen priorisiert. Durch das gemeinsame Betrachten der disziplinspezifischen Modelle wird ein kollektives Verständnis für die Auswirkungen einer Änderung erzeugt und eine für alle Seiten optimale Lösung identifiziert.

Abbildung 7: Visualisierung des Digital Thread (roter Faden) durch die verschiedenen Phasen des Produktlebenszyklus. Änderungen können aus verschiedenen Quellen resultieren und Abstimmungen zwischen verschiedenen Disziplinen und Phasen erfordern. (Eigene Darstellung).

In Anwendungsfall 2 wird zu großen Teilen analog zu Anwendungsfall 1 vorgegangen. Der Unterschied besteht darin, dass M-/E-CAD Entwickler*innen und Produktionsplaner*innen die im Systemmodell beschriebenen Strukturinformationen nutzen, diese aber um ihre disziplinspezifischen Modelle erweitern, die Geometrien und Prozesse beschreiben. Diese Modelle können ebenfalls auf der CoLEDWall angezeigt und gemeinsam betrachtet werden. Auch hier können aus der geänderten Systemstruktur resultierende Änderungen an der Geometrie und deren Auswirkungen auf die Fertigungsprozesse zusammen analysiert und eine für alle Seiten optimale Lösung identifiziert werden.

Um die Mehrwerte, die durch die Kombination der modellbasierten und gemeinsamen, visuellen und räumlichen Kollaboration für das Änderungsmanagement entstehen, messbar zu machen, wird ein zweistufiges Verfahren angewandt. In Stufe eins sollen die aus der modellbasierten Verknüpfung der disziplinspezifischen Modelle erreichbaren Mehrwerte bei der Identifikation der Auswirkungen von Änderungen ermittelt werden. Hierbei können Kenngrößen, wie die Anzahl der Interaktionen zwischen verschiedenen Disziplinen oder weitere Performance-Indikatoren, für den Engineering Change (Kattner, Wang, & Lindemann, 2016) betrachtet werden. In Stufe zwei sollen die aus der visuellen, räumlichen Kollaboration resultierenden Mehrwerte für die Identifikation der für das Unternehmen aus betriebswirtschaftlicher Perspektive optimalen Lösung für den Engineering Change bewertet werden. Hierfür ist u. A. die Durchführung von Nutzungsstudien geplant.

Hinweis

Dieser Beitrag wurde in ähnlicher Form bereits in Ausgabe 6-2024 der »wt Werkstatttechnik online« publiziert (Schneider et al., 2024).
<https://doi.org/10.37544/1436-4980-2024-06-6>



4 Anwendungsfall »Collaboration & Creative Work«

Stefan Strunck, Leon Rasztar, Anna Kreutz, Dennis Stolze

4.1 Einführung und Motivation

Kollaborative Arbeit mit digitalen Hilfsmitteln hat sich – beschleunigt durch die COVID19-Pandemie – mittlerweile weitgehend etabliert, wodurch Onlinemeetings und virtuelle Zusammenarbeit Teil des »neuen Normal« der Arbeitswelt wurden. Diese Entwicklungen eröffnen das Potenzial zur Nutzung des Metaverse als nächsten Schritt der digitalen Transformation der Arbeit. Somit ist die Nutzung von VR- und AR-Technologien für Collaboration & Creative Work ein vielversprechender Anwendungsfall, der in Zukunft weiter an Bedeutung gewinnen wird.

Virtuelle Zusammenarbeit wird bleiben, funktioniert heute jedoch nur bedingt gut. Einerseits können wichtige visuelle Hinweise der Körpersprache nur unzureichend wahrgenommen werden, andererseits gibt es zahlreiche Effekte, die unter dem Begriff »Nonverbal Overload« zusammengefasst werden und dazu führen, dass virtuelle Meetings via Zoom, Microsoft Teams und Co. als anstrengend empfunden werden. Kognitive Belastungen entstehen zum Beispiel durch den ständigen Blick aus nächster Nähe – der Monitor befindet sich in der Regel in der »Intimzone«, in die wir sonst nur engste Freund*innen, Familie oder Partner*in hineinlassen – oder durch die ständige Selbstbeobachtung beim Starren auf das eigene Videobild sowie durch die eingeschränkte körperliche Beweglichkeit während einer Videokonferenz (Bailenson, 2021; Shockley, et al., 2021).

Simulierte Umgebungen und virtuelle Co-Locations können durch unterschiedliche, wirklichkeitsgetreue Nachahmungen von bekannten und neuen Umgebungen auf Besprechungen, die Teilnehmer*innen und die Besprechungskultur wirken und so die virtuelle Zusammenarbeit durch immersives »Beieinandersitzen« verbessern.

4.2 Zielsetzung

Das Ziel dieses Anwendungsfalls ist es, die Auswirkungen von simulierten Umgebungen auf Besprechungen zu untersuchen und zu messen. Dabei kommen verschiedene Meeting- und Arbeitssituationen (z. B. Verhandlung, Kreativmeeting) im Hinblick auf Kreativität, Stimmung, Gruppenkohäsion sowie weitere Aspekte in Betracht. Es soll untersucht werden, inwieweit Kreativität in einer virtuellen Umgebung möglich ist und wie die Zusammenarbeit zielgerichtet gestaltet werden kann. In Abhängigkeit unterschiedlicher Aufgabenstellungen, virtueller Umgebungen, virtueller Tools und Gegenstände soll hierzu die Anregung zu Kreativität, Qualität der Zusammenarbeit und lösungsorientiertem Denken analysiert werden.

4.3 Stand der Wissenschaft und Technik

Kollaboration in XR

Die Wirkung von Virtual Reality auf individuell Nutzende wurde bereits intensiv erforscht, während der Collaboration-Ansatz, also die Nutzung von Realitäten mit mehreren Personen, zum Ziel einer Zusammenarbeit noch weniger erforscht ist. In der Literaturrecherche von Hamad und Jia (2022) wurden das Potenzial und die bestehenden Anwendungen von VR in verschiedenen Sektoren zusammengetragen, z. B. aus den Bereichen Bildung und Ausbildung, Simulationen, Prototyping und architektonische Gestaltung. Die Zusammenarbeit zwischen zwei Personen wurde dabei in nur sehr wenigen Literaturangaben durchgeführt. Dennoch ist das Thema nicht gänzlich neu, bereits 2018 untersuchten etwa Mütterlein et al. (2018), welche Aspekte bei

der Zusammenarbeit in der Virtuellen Realität eine Rolle spielen. Sie konstatierten auch, dass Forschungsergebnisse aus der individuellen VR nicht übertragbar sind auf eine gemeinsame Nutzung einer solchen Umgebung. Vielmehr spielen soziale Aspekte bei der Zusammenarbeit in Telepräsenz eine Rolle, wie Interaktionen, Vertrauen und Körpersprache. Einen guten Überblick dazu gab Foxman (2023) in der Zeitschriftenreihe »Social Grammars of Virtuality«, welche 2023 die erste Ausgabe sozialwissenschaftlicher Themen in XR herausbrachte. Darin wird beispielsweise unterschieden zwischen Aspekten der Gemeinschaft, der sozialen Präsenz und der räumlichen Präsenz. Es werden auch Grenzen beschrieben wie die Identifikation mit Avataren beziehungsweise eines unheimlichen Gefühls, welches einer Gradwanderung – Uncanny Valley – gleicht (Mori, MacDorman, & Kageki, 2012). Bei der Zusammenarbeit in virtuellen Räumen ist die Immersion besonders wichtig, zeitliche Verzögerungen und beispielsweise fehlende Designelemente wirken sich negativ auf die Verkörperung und damit auf die Natürlichkeit der Zusammenarbeit aus (Bengtsson & van Couvering, 2023).

Design Thinking

Weitere Forschungsergebnisse konnten im Bereich Design Thinking gesammelt werden. Speziell in den Phasen Ideation und Prototyping kann VR die Abläufe verbessern. In der Ideation-Phase können Teilnehmer*innen von Design Thinking-Workshops im rein virtuellen bzw. hybriden Setting zwar in einer Videokonferenz mit interaktivem Whiteboard zusammengeschaltet werden (Bader, Kruse, Dreßler, & Müller, 2020), sie experimentieren häufig jedoch weiterhin in 2D, mit analogen Materialien oder rein textbasiert (Hochfeld & Duchek, 2022). Die für den Erfolg des Design Thinking-Prozesses entscheidende assoziative Arbeit mit Material und Räumlichkeit zur Integration und Kommunikation von implizitem Wissen bleibt somit in diesen Settings aus. Dies gilt umso mehr für die Prototyping-Phase, in der die Ergebnisse aus der Ideation-Phase u. a. in physischer Form oder auch in Rollenspielen greifbar gemacht werden. Dies ist rein virtuell nur bedingt umsetzbar.

In der Prototyping-Phase werden die Ideen innerhalb der Gruppe anhand von vereinfachten Prototypen greifbar gemacht. Die Teilnehmer*innen können sich so auf die wichtigen Aspekte konzentrieren, Feedback erhalten und diskutieren (Wölbling, et al., 2012). Ein Prototyp ist eine Darstellung einer Designidee unabhängig vom Medium (Houde & Hill, 1997). Obwohl Prototypen häufiger in physischer Form erstellt werden, gilt es hervorzuheben, dass Prototypen auch in nicht-physischer Form existieren können (Wölbling, et al., 2012). Neben den nicht-physischen Prototypen ist im Metaverse jedoch auch die Abbildung von physischen Prototypen vorstellbar, die über die Immersivität und den dreidimensionalen Raum wichtige Informationen aus Räumlichkeit und ggf. Materialität – ähnlich wie im Anlogon – für den Prozess zusätzlich zur Verfügung stellen (Dwivedi, et al., 2022).

Der aktuelle Stand der Forschung zeigt, dass VR-/AR-Technologien die Lernleistung verbessern können, indem sie die kognitiven Fähigkeiten steigern und eine lernoffene Einstellung fördern (van Ginkel, et al., 2019). Der Einsatz von VR/AR hat in verschiedenen Szenarien zu einer Verbesserung der Ergebnisqualität der Ideation- und Prototyping-Phasen geführt (Roupé, Johansson, Maftai, Lundstedt, & Viklund-Tallgren, 2020). Die stetige Weiterentwicklung der Technologie selbst, die Verbesserung der Rechenleistung und die schnelleren Internetgeschwindigkeiten führen zu einem wachsenden Einsatz von VR/AR in Design Thinking-Prozessen (Lyu, Watanabe, Umemura, & Murai, 2023). Es besteht die allgemeine Auffassung, dass jeder Schritt des Design Thinking-Prozesses in die digitale Welt übertragen werden kann (Thornhill-Miller & Dupont, 2016). Die Frage, wie genau diese Transformation aussehen wird und ob sie auf alle oder nur auf einzelne Arbeitsprozesse übertragen wird, ist noch offen (Vogel, Schuir, Thomas, & Teuteberg, 2020). Vor dem Hintergrund der großen Verbreitung von DT-Ansätzen im Innovationsmanagement und dem großen Potenzial des Metaverse geht es darum, den Prozess so wirkungsvoll wie möglich in ein digitales oder hybrides Setting im Metaverse zu übertragen und entsprechende wissenschaftlich fundierte Werkzeuge für die Teilnehmer*innen zur Verfügung zu stellen.

Raumpychologie

Neben den Aspekten aus der Zusammenarbeit lassen sich auch Erkenntnisse aus realen Umgebungen auf einen virtuellen Raum übertragen. Eine Möglichkeit stellen hier Umgebungsaspekte dar wie Licht, Temperatur, Design und Geruch. Beispielsweise wurde gezeigt, dass Menschen bei warmem Licht (3000 K) kreativer sind, während die Konzentrationsfähigkeit bei kaltem Licht (6000 K) am besten ist (Weitbrecht, Bärwolff, Lischke, & Jünger, 2015). Auch die positive Wirkung auf Wohlbefinden, Stressempfinden und Performanz durch Pflanzen, Farben, Duft und die Verwendung von Holz (Pan & Rief, 2019) könnten in einer simulierten Umgebung ebenfalls Einflüsse aufweisen.

Collaboration & Creative Work

Um dem Themenkomplex wissenschaftlich zu begegnen, wurden folgende Themen und Fragestellungen für den vorliegenden Anwendungsfall definiert:

- **Virtuelle Co-Location:** Wie kann virtuelle Zusammenarbeit auf ein neues Niveau gehoben werden durch ein immersives Beieinandersitzen? Wie kann Interaktion natürlicher wirken und die Wahrnehmung von remote eingebundenen Kolleg*innen erhöht werden?
- **Unternehmenskulturbildung:** Wie entsteht bzw. was ist eine Unternehmenskultur in simulierten Umgebungen? Wie kann Unternehmenskultur mithilfe von VR-, AR- und weiteren Technologien weiterentwickelt werden? Wie verändert sich Kollaboration und wie wird das wahrgenommen?
- **Innovationsprozesse:** Wie können Innovationsprozesse in simulierten Umgebungen funktionieren? Welche Vorteile bietet die Nutzung von VR-, AR- und weiteren Technologien für Innovationsprozesse im hybriden Arbeitsumfeld? Können klassische »in Präsenz«-Prozesse hybridisiert werden?
- **Wirkung simulierter Umgebungen auf Besprechungen:** Wie wirken unterschiedliche, simulierte Umgebungen auf verschiedene Meeting- und Arbeitssituationen (z. B. Verhandlung, Kreativmeeting) im Hinblick auf Kreativität, Stimmung, Gruppenkohäsion sowie weitere Aspekte?

Den Anfang der Untersuchung und damit den Anwendungsfall bilden die beiden letzten Themen. Hierzu wurden Szenarien entwickelt, die im Laufe des Projektes auch technisch umgesetzt und evaluiert werden.

4.4 Detaillierte Beschreibung des Anwendungsfalls

Als Zielgruppe dieses Anwendungsfalls werden Kleingruppen von bis zu vier Personen definiert. Dabei sollen die Personen in einer virtuellen Umgebung zusammentreffen, wobei eine Erweiterung auf hybride Formen möglich sein soll, wie etwa einzelne Personen aus der Ferne und eine Gruppe von mindestens zwei Personen physisch in einem Raum, die sich im virtuellen Raum begegnen.

In einem ersten Schritt soll es Institutsmitarbeiter*innen möglich sein, in einem experimentellen Umfeld einzelne Forschungsfragen zu bearbeiten und gleichzeitig als Pilot-Teilnehmer*innen zu fungieren.

Dabei werden Meetings untersucht, die eine starke Kollaboration aufweisen, wie Brainstormings oder Kreativ-Workshops. Es sollen verschiedene Ideation- und Prototyping-Methodiken mit virtuellen Materialien und Objekten sowie neuen visuell-räumlichen Settings erprobt werden. In Abgrenzung zu anderen Anwendungsfällen steht kein Produkt oder konkretes Objekt im Mittelpunkt, sondern die Zusammenarbeit, wobei virtuelle oder hybride Boards genutzt werden sollen.

Im Rahmen von ko-kreativen Ideation- und Prototyping-Workshops wird die Übertragung insbesondere der physischen und haptischen Elemente des Design Thinking im Metaverse getestet. Dazu werden die Teilnehmer*innen in mehrere Gruppen aufgeteilt, die zeitlich versetzt verschiedene Aufgabenstellungen durchlaufen, bei denen ein Artefakt entwickelt, getestet und anhand von Feedback angepasst werden soll. So wird eine Vergleichbarkeit geschaffen, die die Identifikation von Potenzialen und Schwachstellen ermöglicht. Als Kriterien für den Vergleich der Gruppen werden die bereits in früheren Studien verwendeten Kriterien Kreativität, Verständnis, Partizipation, Kommunikation und Kollaboration herangezogen (Roupé, Johansson, Maftei, Lundstedt, & Viklund-Tallgren, 2020).

In einer Nutzungs-Session in der VR-Umgebung gibt es verschiedene Szenarien, die sowohl für Moderator*innen als auch für Teilnehmer*innen von Interesse sind. Moderator*innen möchten beispielsweise schnell und einfach zwischen verschiedenen Szenen wie 3D-Umgebungsmodellen und Lichtstimmungen wechseln können. Dies ermöglicht es, verschiedene Stimmungen zu erzeugen und konzentrationsfördernde oder kreativitätsanregende Settings zu schaffen. Ein Beispiel ist die virtuelle sekundäre Umgebung namens »Emotional Sky«, die Moderator*innen nutzen können, um beruhigende Umgebungen zu erzeugen und Ängste abzubauen oder Teilnehmer*innen während unterschiedlicher Workshopphasen zu motivieren und zu animieren.

Im Beispiel einer klassischen Meetingsituation spielen Vermittlung von Informationen und der Austausch eine wichtige Rolle. Die VR-Umgebung kann so gestaltet werden, dass die Teilnehmer*innen sich in einer Stimmung maximaler Aufnahmebereitschaft befinden und sich möglichst viele Informationen merken können. Für kreative Workshops bietet die VR-Umgebung hingegen zahlreiche Möglichkeiten zur Anregung und Zusammenarbeit. Die Umgebung für Kreativ-Workshops regt die Teilnehmer*innen maximal an, gemeinsam kreativ zu sein und

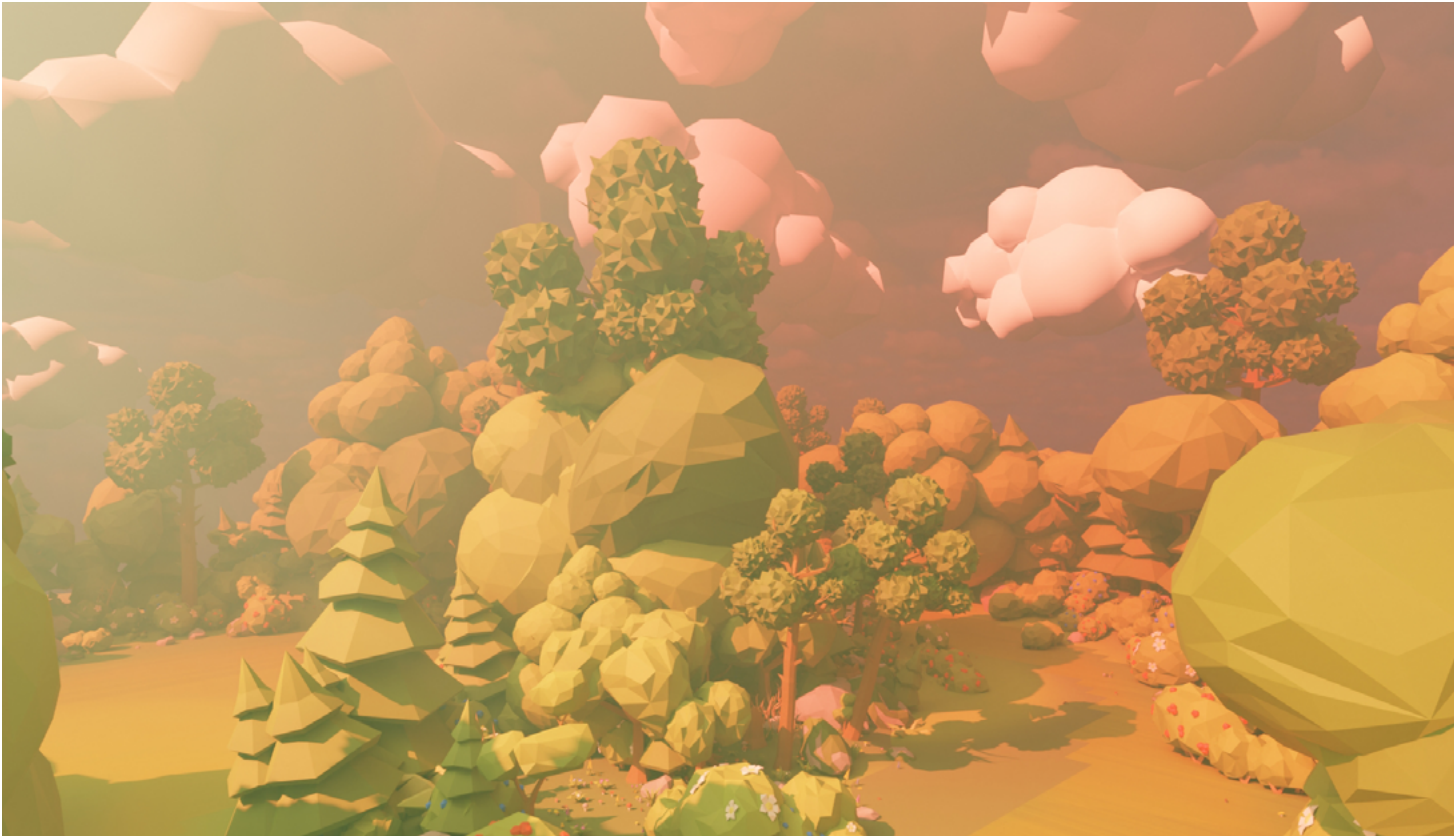
schnell zahlreiche Lösungsansätze zu entwickeln.

Ein weiteres wichtiges Element ist ein virtuelles Whiteboard, das Workshopteilnehmer*innen zur Verfügung steht. Dies ermöglicht eine interaktive Zusammenarbeit und das Festhalten von Ideen während des Workshops. Für die Interaktion mit dem Whiteboard wird eine Speech-to-Text-Lösung vorgesehen. Zusätzlich werden »spielerische Erweiterungen« angeboten, wie Timer, Notizen und gängiges Workshopequipment virtuell und dreidimensional eingeblendet, um die Steuerung des Workshops zu vereinfachen und Ergebnisse zu sammeln. Kreativ-Methoden aus der physischen Welt (z. B. Lego Serious Play) sind in der virtuellen Welt abgebildet (z. B. als Bausteinkasten). Dabei werden bewusst die Grenzen des Physischen überschritten (z. B. Überdimensionierung der Steine).

Es werden unterschiedliche Umgebungen in VR dargestellt. Die drei geplanten Umgebungen bilden einen virtuellen Meetingraum ab, in dem Ideen gesammelt werden, eine Wiese, auf der Interaktionen stattfinden und ein »Kreativwald«, der mit comicartigen Elementen die reale Umgebung hinter sich lässt. Durch Variation der Lichtverhältnisse soll die Stimmung ebenfalls angepasst werden können.



Abbildung 8: Als erstes Beispielszenario für den Anwendungsfall Collaboration & Creative Work wird ein fotorealistisches Modell des »Farnsworth House« von Architekt Mies van der Rohe dienen. Die umgebende Wiese ist zusätzlicher Interaktionsraum.



Dieses Anwendungsfallkonzept wird im nächsten Schritt einer eingehenden Evaluation unterzogen, um zu prüfen, ob in XR-Umgebungen im Metaverse mindestens genauso gute kollaborative Kreativ-Workshops durchgeführt werden können wie in physischer Präsenz, bzw. ob sich, wie erhofft, durch die zusätzlichen Möglichkeiten der XR bessere Ergebnisse erzielen lassen.

Abbildung 9: Der Kreativwald in warmem Licht.

Die Evaluation wird dazu beitragen, dass passende digitale Tools entwickelt und eingesetzt werden können, die es erlauben, die Potenziale des Metaverse vollumfänglich zu nutzen. Der Vergleich der erarbeiteten Ergebnisse der unterschiedlichen Workshopformate kann verwendet werden, um weitere Erkenntnisse über das wenig erforschte Feld des digitalen Collaboration-Prozesses im Arbeitskontext zu gewinnen und potenzialträchtige Einsatzszenarien sowie digitale Tools für kreative Zusammenarbeit im Metaverse zu entwickeln (Vogel, Schuir, Thomas, & Teuteberg, 2020).

Die im Rahmen dieses Anwendungsfalls konzeptionierten Szenarien werden nicht nur als Demonstrator implementiert und evaluiert, sie werden mit den entwickelten virtuellen Umgebungen, Tools und Funktionalitäten im nächsten Schritt Kund*innen des Instituts verfügbar gemacht, um diese Metaverse-Workshopformate zu testen.



5 Anwendungsfall »Innovation Workshop – InnoAssist«

Tobias Gabeler, Felix Scheerer, Paul Christian Gerlach

5.1 Einführung und Motivation

Die Idee dieses Anwendungsfalls ist es, XR- und KI-Technologien zu kombinieren, indem im Metaverse abgehaltene Kreativ-Workshops durch einen virtuellen KI-Assistenten unterstützt und dadurch auf ein neues Level gehoben werden. Dafür soll die inhärente Stärke generativer KI genutzt werden, neue Inhalte wie Texte, Bilder oder auch Code zu erzeugen. Die Besonderheit generativer KI liegt dabei in der Effektivität bei der Ideenfindung. Insbesondere in der frühen Phase der Ideenfindung können Menschen in ihrer Kreativität durch den Einsatz von großen Sprachmodellen unterstützt werden (Bouschery, Blazevic, & Piller, 2023).

Wie schon in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben, lässt sich VR nutzen, um kreativitätsfördernde Umgebungen zu schaffen. Mithilfe von KI können Inhalte strukturiert und visualisiert, Informationen umfassend präsentiert und jederzeit abgerufen werden. Darüber hinaus können Denkanstöße gegeben und bewertet werden.

Ein entscheidender Mehrwert für einen solchen virtuellen KI-Assistenten wäre dessen Visualisierung als Avatar. Forschung in maschinellem Lernen und KI-Entscheidungsfindung spielen hierbei eine entscheidende Rolle. Durch die Integration von Natural Language Processing (NLP) und Spracherkennung (Chowdhary K. R., 2020) wird die natürliche Kommunikation mit KI-Avataren ermöglicht, was immersive und interaktive Erfahrungen fördert. Ein weiterer Eckpfeiler ist die Emotionserkennung und die darauf basierende Reaktion des Avatars, wodurch nicht nur auf gesprochene Worte, sondern auch auf emotionale Nuancen in der Stimme oder im Gesichtsausdruck (Peters, 2021) reagiert wird. Hierbei spielt die Forschung im Bereich der Psychologie und sozialer Interaktion eine wesentliche Rolle. Die Fortschritte in Sensor- und Tracking-Technologien ermöglichen die präzise Erfassung von Bewegungen der Benutzer*innen, wodurch der KI-Avatar nahtlos in die physische Umgebung integriert werden kann.

Diese Technologien sind entscheidend für die Entwicklung von Verhaltensmodellen, die dem Avatar erlauben, authentisch auf verschiedene Benutzer*inneninteraktionen und -szenarien zu reagieren. wird die natürliche Kommunikation mit KI-Avataren ermöglicht, was immersive und interaktive Erfahrungen fördert. Ein weiterer Eckpfeiler ist die Emotionserkennung und die darauf basierende Reaktion des Avatars, wodurch nicht nur auf gesprochene Worte, sondern auch auf emotionale Nuancen in der Stimme oder im Gesichtsausdruck (Peters, 2021) reagiert wird. Hierbei spielt die Forschung im Bereich der Psychologie und sozialer Interaktion eine wesentliche Rolle. Die Fortschritte in Sensor- und Tracking-Technologien ermöglichen die präzise Erfassung von Bewegungen der Benutzer*innen, wodurch der KI-Avatar nahtlos in die physische Umgebung integriert werden kann. Diese Technologien sind entscheidend für die Entwicklung von Verhaltensmodellen, die dem Avatar erlauben, authentisch auf verschiedene Nutzungsinteraktionen und -szenarien zu reagieren.

Die Integration von KI-Avataren in kollaborative VR-/AR-Anwendungen eröffnet neue Perspektiven für effektive Zusammenarbeit und interaktiven Wissenstransfer. Insgesamt basiert der Einsatz von VR-/AR-Technologie (Haase, et al., 2020) im Kontext von KI-Avataren auf einer interdisziplinären Grundlage, die Erkenntnisse aus KI-Forschung, Mensch-Computer-Interaktion, Sensorik und Verhaltenswissenschaften vereint. Diese ganzheitliche Herangehensweise ermöglicht die Schaffung einzigartiger und immersiver Erfahrungen, in denen KI-Avatare menschenähnliche Fähigkeiten entfalten können.

5.2 Zielsetzung

Die Vision hinter dem Anwendungsfall Innovation Workshop – InnoAssist besteht darin, ein immersives Workshoptool in Form eines KI-Assistenten namens »InnoAssist« zu schaffen, der moderieren, protokollieren, auf Unstimmigkeiten reagieren, Informationsbedarfe decken, sowie Ideen und Konzepte reflektieren und visualisieren kann. Drei verschiedene Forschungsbereiche des Fraunhofer IAO und des IAT der Universität Stuttgart, namentlich Mobilitäts- und Innovationssysteme, Kognitive Dienstleistungssysteme und Digital Business, widmen sich spezifischen Funktionen des Assistenten, darunter die Interaktion mit dem KI-basierten Assistenten und die Dokumentenverarbeitung mit Hilfe von KI und die Gestaltung und Visualisierung der Avatare.

5.3 Stand der Wissenschaft

Die Grundlagen für die Funktionen des Assistenten werden, abgeleitet von den jeweiligen Forschungsbereichen, in drei Bereiche untergliedert. Die wissenschaftlichen Erkenntnisse der Interaktion mit KI, die Grundlagen der Verarbeitung von Dokumenten mit KI und die Möglichkeiten, die sich bei der Visualisierung von Personen in VR ergeben.

Interaktion mit einem KI-basierten Assistenten

Die Kommunikation mit dem InnoAssist beruht auf der Interaktion mit generativer KI. Dessen Wissen basiert auf großen Sprachmodellen, den sogenannten Large Language Models (LLMs). LLMs werden mit riesigen Datenmengen trainiert und verwenden Milliarden von Parametern, um Ausgaben für Aufgaben wie das Beantworten von Fragen, das Übersetzen von Sprachen und das Vervollständigen von Sätzen zu generieren.

Spätestens mit der Veröffentlichung von Chat-GPT hat sich gezeigt, dass die Kommunikation mit LLMs die Gesellschaft nachhaltig verändern wird. Ein Werkzeug, das Menschen bei sprachbasierten Aufgaben unterstützt, verfügt über enormes Potenzial. Doch sollten LLMs menschliche sprachbasierte Arbeiten nicht ersetzen, sondern unterstützen. Beispielsweise empfiehlt es sich, in Prewriting-Prozessen mit LLMs innerhalb eines iterativen Mensch-KI-Ko-Kreativitätsprozesses dem Menschen eine dominante Rolle zuzuweisen (Wan, et al., 2023). Ebenso zeigt sich, dass in klassischen Kreativprozessen wie zum Beispiel einer Brainstorming-Session der Einsatz von KI-Systemen wie LLMs in einer hybriden Form den Optimalfall liefert. Solche KI-Systeme sollten hier die Assoziationen einer/s Nutzer*in ergänzen, um die Mensch-KI-Interaktion erfolgreich zu gestalten (Salikutluk, Koert, & Jäkel, 2023).

Eine Untersuchung mit transformerbasierten LLMs wie GPT-3 zeigt, dass diese Modelle die menschliche Kreativität fördern und Produktivitätsverluste in Brainstorming-Gruppen ausgleichen können. Hybridgruppen, die menschliches und KI-Brainstorming kombinieren, steigern nicht nur die Anzahl der generierten Ideen, sondern benötigen auch nur halb so viele menschliche Ressourcen. Eine vollständige Ersetzung menschlicher Ideenfindung durch KI wird jedoch als voreilig betrachtet (Bouschery, Blazevic, & Piller, 2023).

Insgesamt zeigt sich, dass der Einsatz von generativer KI in frühen Phasen der Ideenfindung das größte Potenzial in einer unterstützenden Form liefert, um die menschliche Kreativität zu fördern.

Protokollierung und Dokumentationsverarbeitung

KI bietet in Workshopszenarien einen zusätzlichen Mehrwert bei der Analyse und Strukturierung von Dokumenten: Ein Bereich, der in der Dokumentenverarbeitung und -analyse schon lange etabliert ist. Bereits in den 1950er Jahren entstanden die ersten Systeme zur Informationsextraktion aus Dokumenten (Sanderson & Croft, 2012). In Branchen mit umfangreichem Schriftverkehr »Dunkelverarbeitung« bekannt, bei der Dokumente automatisch verarbeitet und analysiert werden, um Zeit und Personal zu sparen (Kotzahn & Hartweg, 2022). Diese Analysen ermöglichen es, Kund*innenanliegen teilweise vollständig ohne menschliches Zutun zu bearbeiten. Frühere Ansätze waren regelbasiert und nutzten z. B. reguläre Ausdrücke, um wiederkehrende Textfragmente zu erkennen und entsprechend zu reagieren. Allerdings führten Variabilitäten in den Texten, wie Rechtschreibfehler oder unerwartete Dokumentenstrukturen, oft zu fehlerhaften oder fehlenden Datenextraktionen. Aus diesem Grund haben Machine Learning-Techniken diese älteren Ansätze an vielen Stellen abgelöst (Ebener, 2020), da sie auch aus ungleichmäßig formatierten Texten wesentlich mehr Informationen gewinnen können.

Visualisierung des Avatars

Die Visualisierung von Avataren in virtuellen Umgebungen beruht auf einem interdisziplinären Ansatz, der aktuelle wissenschaftliche Erkenntnisse und technologische Fortschritte umfasst. In Bezug auf Innovationsprozesse und Kreativitätsworkshops sind verschiedene Grundlagen entscheidend:

Die realistische Darstellung von Avataren profitiert von Fortschritten in der Computergrafik, insbesondere durch Technologien wie Physically Based Rendering (PBR), die authentische Oberflächenmaterialien und -reflexionen (Akenine-Möller, et al., 2018) ermöglichen. Bewegung und Animation von Avataren werden durch Forschung in den Bereichen Kinematik und Animationstechniken (Kupfer, 2010) vorangetrieben, wobei Motion-Capture-Technologien (Bockholt, et al., 2017), und biomechanische Modelle die Umsetzung natürlicher Bewegungen realisieren, während die Integration von KI und NLP (Natural Language Processing) Avataren erlaubt, komplexe Aufgaben zu bewältigen und natürlich zu kommunizieren (Nadkarni, Ohno-Machado, & Chapman, 2011).

Die kontinuierliche Forschung und Entwicklung in diesen Bereichen tragen dazu bei, dass Avatare in virtuellen Umgebungen zunehmend realistischer, interaktiver und intuitiver agieren können, was das Potenzial hat, die Effektivität von Kreativitätsworkshops und Innovationsprozessen zu verbessern.

5.4 Detaillierte Beschreibung des Anwendungsfalls

Wie können diese Erkenntnisse in ein Workshopszenario integriert werden? Im Folgenden wird beschrieben, wie ein Nutzungsszenario eines Workshops in VR mit der Anwendung eines KI-basierten Assistenten in der Praxis aussehen könnte.

Nutzungsszenario Workshop

In diesem Szenario können die Teilnehmer*innen mittels VR-Brillen (HMDs, siehe Abbildung 1, Seite 2) in eine immersive virtuelle Workshopumgebung eintauchen. Dabei ermöglicht VR eine Beteiligung unabhängig vom physischen Standort. Alle Akteur*innen werden durch Avatare repräsentiert, die für die anderen sichtbar sind, was das Gefühl der Präsenz stärken und dadurch die Interaktion unterstützen soll.

Die virtuelle Workshopumgebung ist mit einem Screen ausgestattet, der als zentrale Plattform für die Zusammenarbeit dient. Hierüber kann mit dem KI-basierten Assistenten InnoAssist interagiert werden. Die Kommunikation mit dem InnoAssist erfolgt sowohl durch sprachliche als auch textbasierte Ein- und Ausgabe. Die Teilnehmer*innen können dem InnoAssist Dokumente zur Verfügung stellen, welche für den Workshop inhaltlich von Bedeutung sind. Das Wissen über diese Dokumente kann der InnoAssist abrufen und in seine Antworten einbinden. Während des Workshops sammeln die Teilnehmer*innen ihre Ideen in einer Liste auf dem Screen. Der InnoAssist kann per Anfrage in den Ideenfindungsprozess einbezogen werden. Dies erfolgt über ein Chatfenster oder per Spracheingabe, wodurch der Assistent flexibel und interaktiv genutzt werden kann. Weiterhin kann der InnoAssist verschiedene Rollen einnehmen und somit die Ideen aus unterschiedlichen Perspektiven bewerten.

Dabei nimmt der Avatar des InnoAssist auch visuell diese Rolle ein. Diese Rollenvisualisierung hilft den Teilnehmer*innen, die Beiträge des InnoAssist besser nachvollziehen zu können. Insgesamt bietet dieses Nutzungsszenario eine dynamische und kooperative Workshop-Erfahrung und vielfältige Möglichkeiten, Anwendungsfälle weiter auszuarbeiten.



Workshop Inhalt

Wie genau soll der KI-basierte Assistent bei der Ideenfindung unterstützen? Hierfür wurde explizit ein Software-Tool entwickelt, welches auf generativer KI basiert und bei der Findung von Ideen unterstützen soll.

KI-Tool zur Unterstützung bei der Ideenfindung »aideation«

Der Kern des Workshop-Assistenten InnoAssist ist ein Tool, welches im Forschungsbereich KODIS unter dem Namen »aideation« entwickelt wird. aideation beschreibt ein Ideenfindungstool, welches die Nutzer*innen bei der Ideengenerierung und -entwicklung mittels KI unterstützt, unter anderem durch die Betrachtung von Problemen aus unterschiedlichen Perspektiven. Hierfür wird die inhärente Stärke von LLMs genutzt, neue Texte zu erzeugen. Die Einbindung von aideation im InnoAssist liefert, neben der Förderung der Kreativität, spielerisch die Möglichkeiten der Interaktion mit generativer KI kennenzulernen. Darüber hinaus schafft das Tool einen Rahmen, Forschungsfragen zur Interaktion zwischen Menschen und generativer KI sowie die Effektivität von generativer KI in Kreativprozessen weiter zu untersuchen.

Abbildung 10: Beispielhaftes Nutzungsszenario des »InnoAssist« (eigene Darstellung).

Der Inhalt des Workshops konzentriert sich auf die Ideenfindung und -entwicklung in einer frühen Phase. In der Phase der ko-kreativen Ideengewinnung ist die sogenannte »Walt-Disney-Methode« anerkannt (Tausch, Nußberger, & Hußmann, 2015). Die Kernidee ist die Betrachtung eines Problems aus unterschiedlichen Perspektiven, um möglichst viele Aspekte des Problems zu berücksichtigen. Bei der Anwendung der Methode nehmen die Teilnehmer*innen nacheinander unterschiedliche Positionen ein. Zuerst wird das Problem oder die Fragestellung von einer Träumer-Perspektive, dann von einer Realisten-Perspektive und zuletzt von einer Kritiker-Perspektive betrachtet. Die Methode kann sowohl von einer Einzelperson als auch von einer Gruppe durchgespielt werden (Zec, 2023). Abbildung 11 zeigt die verschiedenen Rollen der Walt-Disney-Methode.



Die Methodik zur Ideenfindung mit aideation baut auf der Walt-Disney-Methode auf; dabei werden der KI die verschiedenen Rollen zugewiesen. Die Rollen können dem KI-basierten Assistenten per Systemprompt vorgegeben werden. Der Systemprompt ist dabei die Beschreibung der Rollen, welche der Assistent in dem entsprechenden Workshopszenario einnehmen soll.

Das Einnehmen diverser Rollen durch die KI ist eine Möglichkeit, die Kreativität in Ideenfindungsszenarien zu fördern. Eine andere Möglichkeit bietet die Wissens-erweiterung der KI. Große Sprachmodelle können mittels Feintuning Expertise anreichern. Dadurch ist es möglich, KI-generierte Expert*innen im Ideenfindungsprozess zu nutzen, indem sie mittels ihrer Expertise die Ideen in der jeweiligen Domäne bewerten. Ebenso kann das Domänenwissen des LLMs fokussiert werden, indem man ihm spezifische Dokumente zur Verfügung stellt. Durch den im vorherigen Abschnitt beschriebenen Zugriff auf Dokumente, kann der KI-basierte Assistent den Inhalt der Dokumente

Abbildung 11: Bewertungsrollen nach der Walt-Disney-Methode (eigene Darstellung).

in sein Wissen integrieren. aideation nutzt hierfür Retrieval-Augmented Generation (RAG). Hierbei wird die Ausgabe von LLMs so optimiert, dass es vor der Generierung einer Antwort auf eine externe Wissensbasis verweist, die außerhalb seiner Trainingsdatenquellen liegt. Hierdurch muss das Wissen, das zur Beantwortung eines Prompts erforderlich ist, nicht mehr aus dem LLM kommen, sondern es wird den angebotenen Quellen entnommen. Die Aufgabe des Large Language Models besteht dann nur noch darin, die Suchergebnisse im Sinne der ursprünglichen Anfrage (des Prompts) zu verwerten, z. B. zusammenzufassen. Ein modernes LLM kann mithilfe eines dem Prompt hinzugefügten Textes sehr zuverlässig Fragen beantworten bzw. andere Aufgabenstellungen lösen – viel zuverlässiger, als wenn es auf implizit angeeignetes Wissen zurückgreifen muss (Honroth, Siebert, & Kelbert, 2024). RAG erweitert die interne Wissensbasis einer Organisation, ohne dass das Modell neu trainiert werden muss. Dies ist ein kostengünstiger Ansatz zur Verbesserung der LLM-Ergebnisse, welche dadurch in verschiedenen Kontexten relevanter (durch die einfache Integration von domänenspezifischem Wissen), genauer (weniger Halluzinationen) und nützlicher werden.

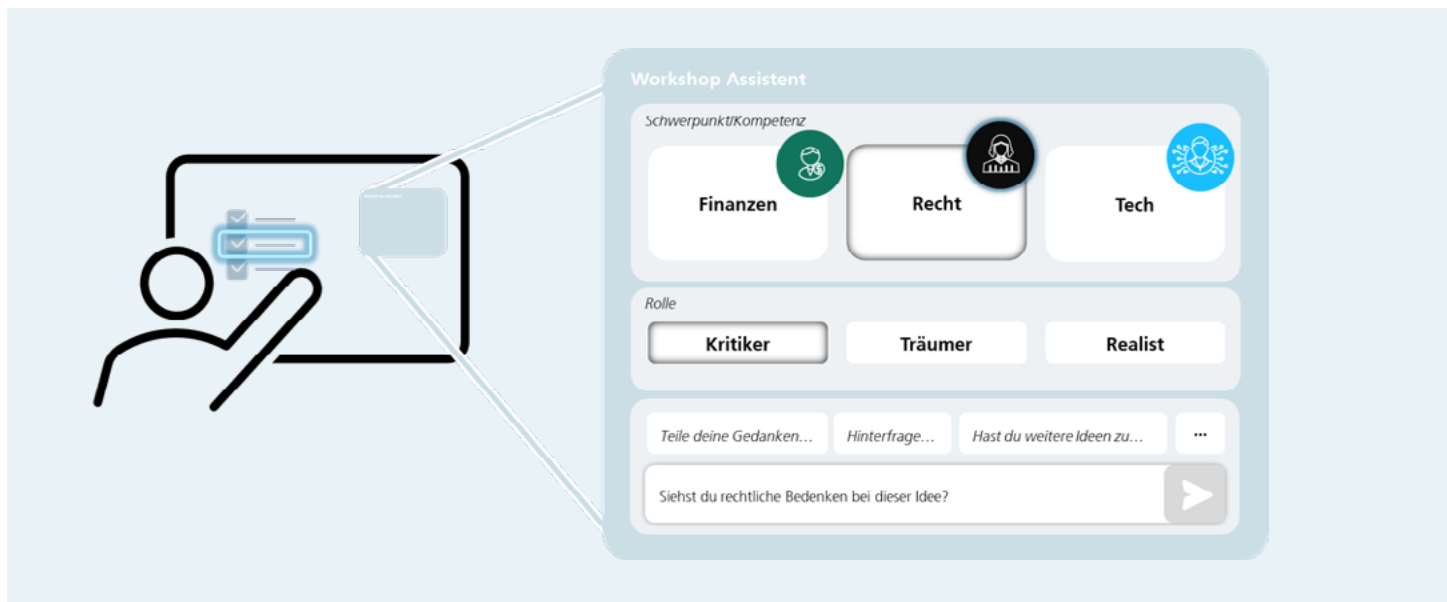
5.5 Beispiel Anwendungsszenario

InnoAssist mit integriertem aideation kann für verschiedene Szenarien angewendet werden. Im folgenden Beispiel werden die Rollen in einem unternehmerischen Kontext betrachtet. Der KI-basierte Assistent kann zum Beispiel eine oder mehrere Expert*innenperspektiven aus verschiedenen Unternehmensbereichen annehmen, die Perspektive von Projektpartner*innen oder die der Kund*innen abbilden und somit Probleme oder Prozesse aus diversen Blickwinkeln bewerten.

Ablauf

Die Teilnehmer*innen eines Unternehmens wollen einen KI-Anwendungsfall entwickeln. Sie tauchen per VR-Brillen in die virtuelle Workshopumgebung ein. Hier finden sie einen Screen. Um das Wissen des InnoAssist inhaltlich auf die Thematik vorzubereiten, liefern die Teilnehmer*innen zuallererst Kontextdaten. Hier beschreiben sie ihr Unternehmen und zu welchem Thema sie den Ideenfindungsworkshop durchführen wollen. Weiterhin können die Teilnehmer*innen per Upload Dokumente zum Thema zur Verfügung stellen.

Auf dem Screen platzieren sie daraufhin ihre eigenen Ideen zur Thematik. Sobald die Teilnehmer*innen Hilfestellung benötigen, können sie den InnoAssist hinzuschalten. Dabei kann dieser für den Anwendungsfall neue Ideen generieren und Ideen priorisieren. Weiterhin kann er hinsichtlich seiner Rolle bzw. Haltung konfiguriert werden (z. B. träumerisch, kritisch oder realistisch) sowie seiner Expertise (z. B. Finanzwesen, Recht oder Technik). Durch das Kontextwissen kann der InnoAssist verschieden und spezifisch zur Diskussion beitragen. Auf Anfrage äußert er aus jeder konfigurierbaren Rolle und Expertise seine Meinung zu einer Idee, hinterfragt die Idee der Teilnehmer*innen oder beantwortet Fragen. Abbildung 12 stellt eine beispielhafte Nutzungsoberfläche einer Ideenfindungssession dar.



Die inhaltlichen Erweiterungsmöglichkeiten des InnoAssist sind vielfältig. Sie werden im folgenden Abschnitt diskutiert.

Abbildung 12: aideation Konzept (eigene Darstellung).

5.6 Erste Überlegungen zu Erweiterungsmöglichkeiten

Der Entwicklungszustand des InnoAssist liefert eine optimale Basis, um die Weiterentwicklung im Rahmen einer Projektkooperation mit einem externen Partner, zum Beispiel einem Unternehmen, zu gestalten. So könnte man beispielsweise ein speziell auf das Unternehmen zugeschnittenes Workshopszenario ausrichten. Hierfür würde der Ablauf des Workshops auf das Unternehmen und dessen spezifische Problemstellungen angepasst, sowie das Wissen des InnoAssist explizit darauf trainiert.

Denkbar wäre es auch, einen umfangreicheren Prozess abzubilden. Das könnte bedeuten, weitere KI-Assistenten einzubeziehen, um über die Ideenfindung hinaus zusätzliche Schritte bis hin zu einem fertigen Geschäftsmodell abzudecken. Beispielsweise könnte man für den nächsten Prozessschritt einen KI-Assistenten einsetzen, der einen Umsetzungsplan für die Ideen erstellt.



6 Weitere Anwendungsfälle

Steffen Braun, Stephan Wilhelm, Moritz Häcker

Neben den in den Kapiteln 2 bis 4 beschriebenen Anwendungsfällen erprobt das Institut forschungsbereichsübergreifend kontinuierlich weitere Ideen für den Einsatz von Metaverse- und XR-Technologien. Drei davon werden im Folgenden vorgestellt.

6.1 Repräsentation und Recruiting

Wirtschaftsunternehmen und Forschungsinstitute gleichermaßen suchen in Zeiten des Fachkräftemangels nach qualifiziertem Personal und Talenten. Könnten sie sich auf Metaverse-Plattformen besser in Szene setzen als nur auf Jobportalen und einschlägigen Messen? Dies erprobt das Institut im Anwendungsfall »Presentation and Recruiting« im Selbstversuch, nachdem Borkmann et al. (2023) bereits für die Hotelbranche beschrieben haben, dass reale Destinationen von Selbstpräsentation im virtuellen Raum profitieren können und auch Recruiting-Prozesse erleichtert werden.



Abbildung 13: Für »Repräsentation und Recruiting« wurde der virtuelle Zwilling des Zentrums für Virtuelles Engineering ZVE mit Informationen angereichert: An den Wänden des Foyers und des Auditorium sind interaktive Präsentationen platziert.

Anstatt Stellenanzeigen durchzuscrollen, sollen sich Interessierte in der virtuellen Version der Institutsgebäude umschaun und informieren können. So können potenzielle Bewerber*innen mögliche zukünftige Arbeitsplätze begutachten, das Institut kann mit seiner modernen Labor- und Büroinfrastruktur Eigenwerbung betreiben und Informationen können räumlich verortet – bspw. Labore mit offenen Stellen markiert werden.

In einem ersten Testlauf kam der Prototyp – umgesetzt auf der Plattform »Hyperfy« (Hyperfy, 2024) – auf der IT-Jobmesse der Universität Heidelberg (Universität Heidelberg, 2024) zum Einsatz, um Nutzer*innen-Feedback zu sammeln.

6.2 Strategiekommunikation

Dasselbe 3D-Modell des Institutsgebäudes wie für »Presentation and Recruiting« wird am Institut auch als Setting für interne Werte- und Strategiekommunikation verwendet. Auf mehrere Räume verteilt finden sich hier verschiedene Informationskulpturen, die beispielsweise Zusammenhänge zwischen verschiedenen Projekten und Forschungsthemen oder Gestaltungsfelder kreativ visualisieren. Zielgruppe ist hier die eigene Belegschaft, um den internen Austausch und die Wissensvermittlung im Rahmen des Strategieprozess anzuregen. So ist die Grundidee auch nicht die Präsentation eines statischen virtuellen Hochglanz-Showrooms, sondern ein agiler Prototyp für innovative Wissensvermittlung, der sich entlang von realen Daten-Updates weiterentwickelt.

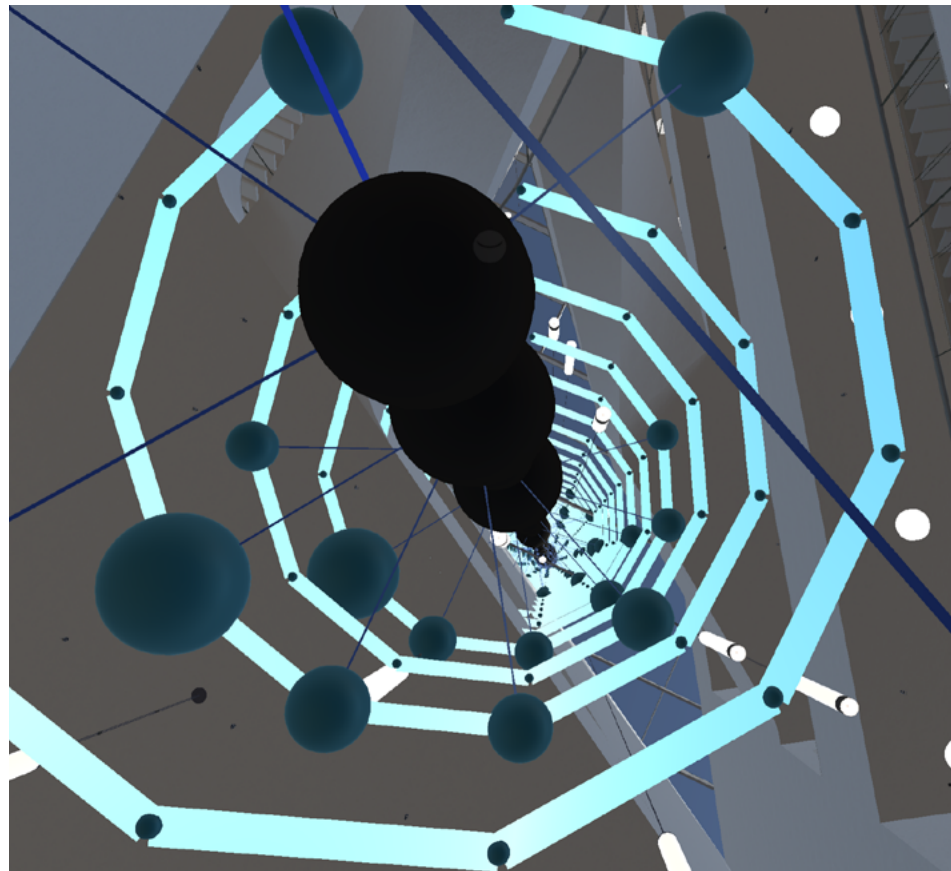
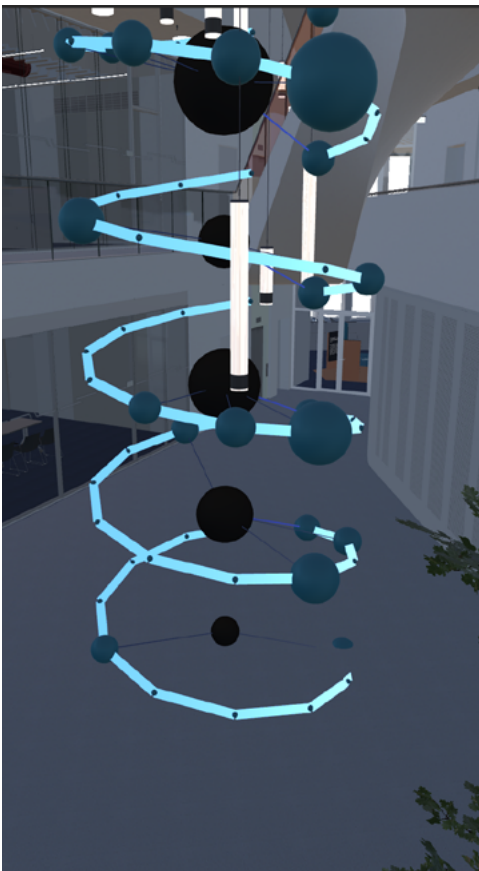


Abbildung 14: Eine virtuelle Skulptur, die Projektvolumen in verschiedenen Forschungsbereichen als Kugeln repräsentiert.

6.3 Joseph von Fraunhofer als XR-Avatar

Der »digitale Joseph« ist ein Demonstrator für Metaverse-Technologien, der bereits seit 2022 gemeinsam mit der Stuttgarter Digitalagentur b.ReX (b.ReX GmbH, 2024) entwickelt wird, dem INSTANCE Projekt also voranging. Auf einer fast acht Quadratmeter großen LED-Displaywand sieht man Joseph von Fraunhofer vor einigen seiner Erfindungen im Kloster Benediktbeuren stehen. Tritt jemand in den Trackingbereich vor dem Display, dreht sich Josephs fotorealistischer Avatar in dessen Richtung, schaut ihn an und fragt zur Begrüßung beispielsweise »Guten Tag, wie kann ich Ihnen behilflich sein?« – der Start einer natürlichsprachlichen Konversation zwischen Mensch und KI, genauer gesagt dem »GPT-4«-Algorithmus von OpenAI (openai.com, 2015-2024), der zusätzlich speziell mit Informationen zum Leben und zur Arbeit Joseph von Fraunhofers trainiert wurde. Die LED-Wand kommt von der Firma xCave (xCave Technology GmbH, 2023), mit der das Fraunhofer IAO auch für die Entwicklung der CoLEDWall zusammenarbeitet.

Der restliche Technologie-Stack des Demonstrators besteht aus neuester Gaming-Technologie: Der Avatar ist ein Unreal »Metahuman« (MetaHuman | Creator-App für realistische Personen – Unreal Engine, 2004-2024), dessen Bewegungen per Motion Capturing trainiert wurden; er kann sein menschliches Gegenüber fixieren, weil dieses mit einer Microsoft Kinect Kamera (Kinect für Windows - Windows apps, 2024) getrackt wird – eine Technologie, die ursprünglich für die Xbox entwickelt wurde – und hat eine realistische, emotionale Mimik, die ebenfalls mit KI, nämlich mit Audio2Face von NVIDIA (NVIDIA Corporation, 2024), erzeugt wird. Die Szene wird in der Unreal Game-Engine zusammengeführt.

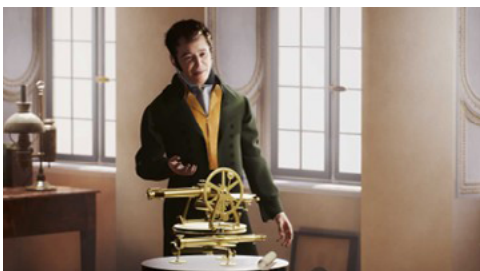


Abbildung 15: Der »digitale Joseph« – oben das Exponat, unten Screenshots.
(© Aristidis Schnelzer).

7 Entwicklung der technischen Infrastruktur

Matthias Aust, Matthias Bues, Jörg Frohnmayer, Alexandros Giannakidis

Die in den vorangegangenen Kapiteln beschriebenen Metaverse-Anwendungsfälle werden im Rahmen des Projekts INSTANCE in nutzbare Test Cases und Demonstratoren umgesetzt. Um im ersten Schritt Mitarbeiter*innen und anschließend Partnerunternehmen die Möglichkeit zu bieten, diese Demonstratoren

zu vernetzen und zu einem »Metaverse-Sandkasten« erweitern, in dem man auch weitere eigene Anwendungsfälle ausprobieren kann, baut das Institut über seine vier Standorte hinweg eine einzigartige XR-Infrastruktur auf.

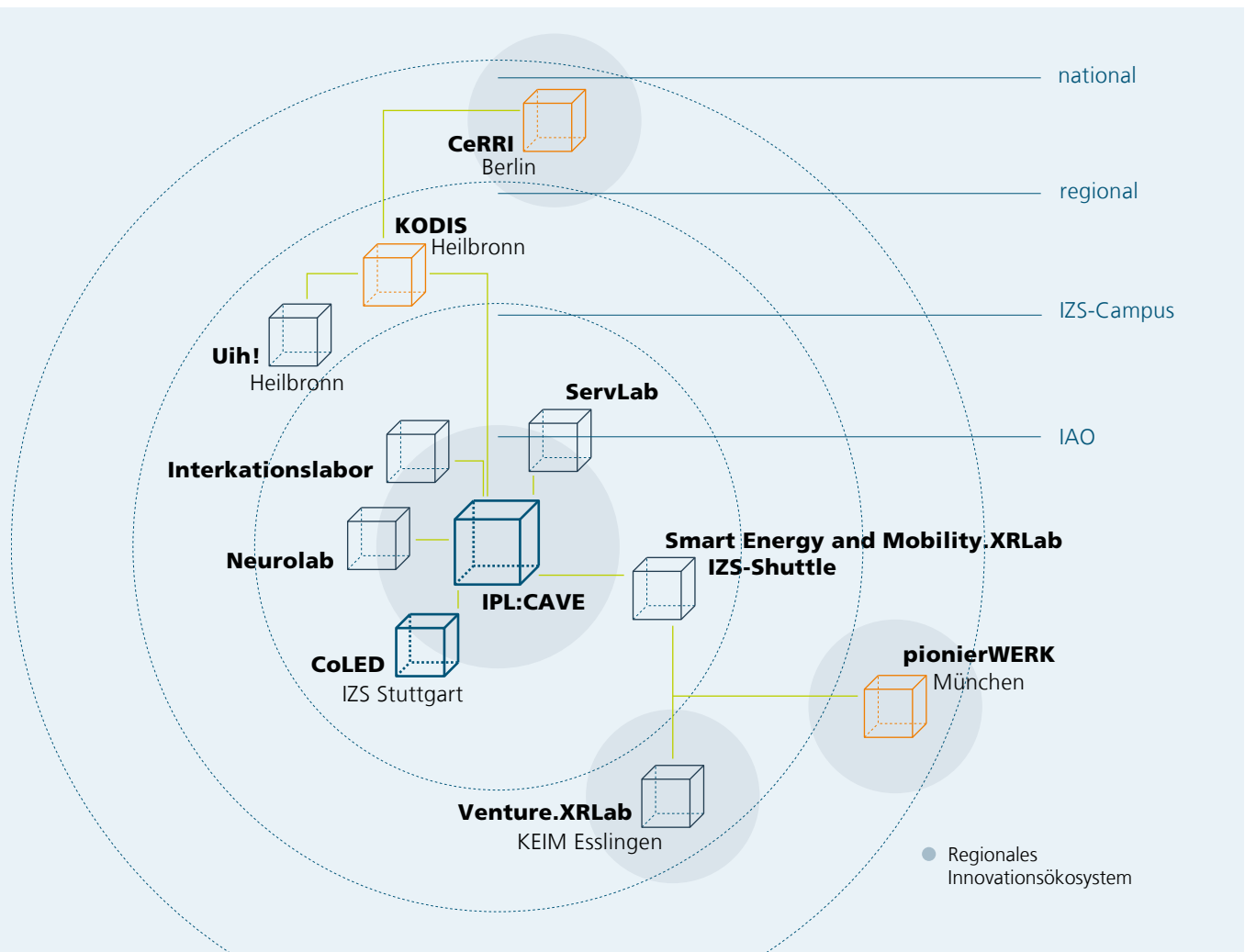


Abbildung 16: Überregionales Netzwerk aus INSTANCE XR-Portalen.

7.1 CAVE im Immersive Participation Lab

Die CAVE (siehe Abbildung 1 auf Seite 2) im **Immersive Participation Lab IPLab**⁵ zeichnet sich im Vergleich zu anderen CAVEs durch ihre besondere Form und die Art und Weise aus, wie sie sich in die Besprechungsinfrastruktur des Labors einfügt. Durch ihre L-Form integriert sie eine große (5,5m breite und 3,4m hohe) Powerwall und eine Vier-Seiten-CAVE (siehe Abbildung 17). Sie wird von elf 3D-Projektoren in Kombination mit einem Rechner-Cluster aus elf Grafikknoten, einem Steuerungsrechner und einem weiteren PC betrieben, der ein hochpräzises optisches Trackingsystem integriert.

mit langlebigen Laser-Phosphor-Lichtquellen ersetzt, die insgesamt ca. 45 Millionen Pixel (im Stereo-Modus) erzeugen und noch kontrast- und lichtstärker (>12 000 ISO-Lumen) sind.

Das bestehende Cluster aus Grafikworkstations wird aktualisiert, um 3D-Daten aus verschiedenen Datenquellen, wie z. B. auch große Punktwolken aus 3D-Scans, in Echtzeit visualisieren zu können. Zusätzlich zum Cluster wird zukünftig ein einzelner GPU-Server, ausgestattet mit vier leistungsstarken Grafikkarten, eingesetzt, um neben dem Cluster- auch

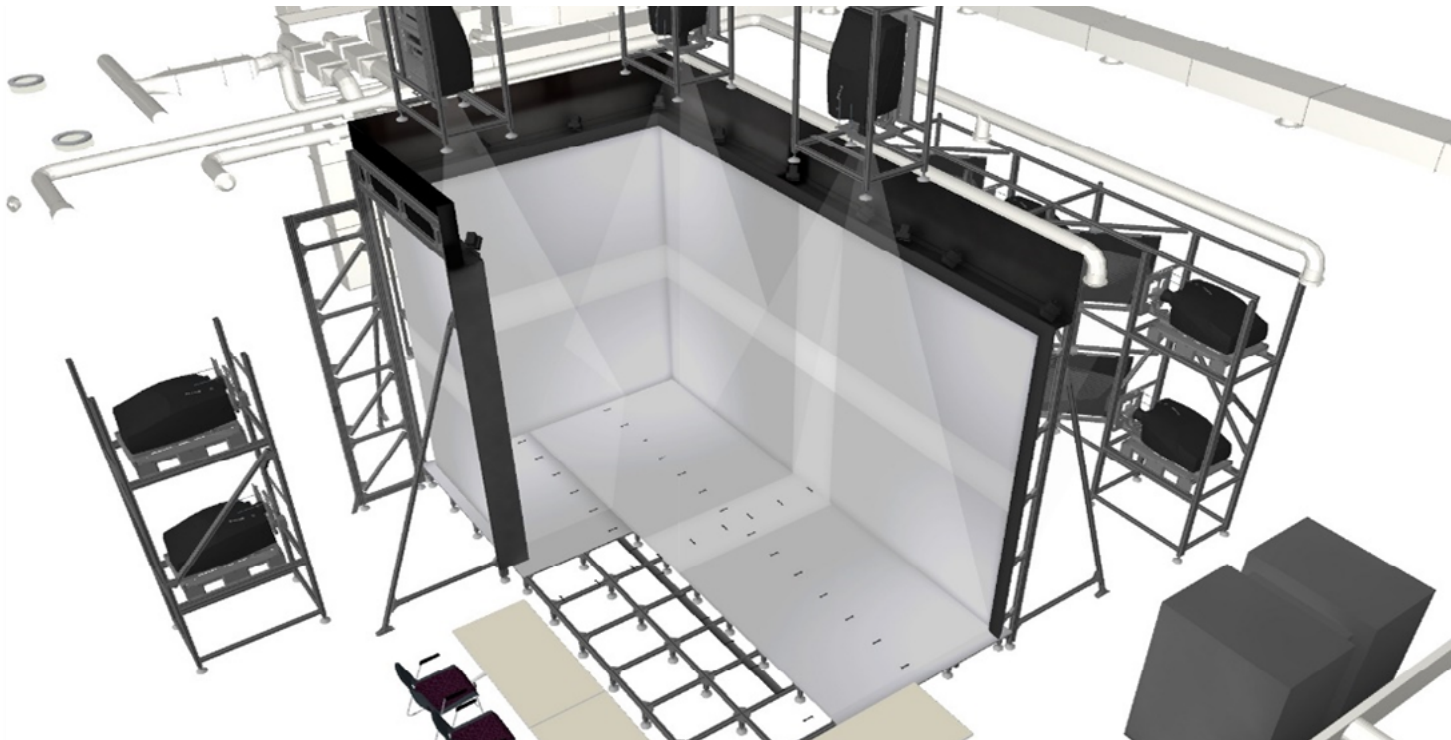


Abbildung 17: 4-Seiten CAVE im IPLab.

Im IPLab wird »Virtual Prototyping« auf verschiedene Branchen angewendet. D. h. es steht nicht nur VR-Technik im Forschungsfokus, sondern auch die Methodik zur Gestaltung anwendungsfallangepasster »VR-Sessions« zur kollaborativen Entscheidungsfindung.

Im Rahmen von INSTANCE erfährt die CAVE ein technologisches Update und die Funktionalitäten werden erweitert. Die elf Xenon-Projektoren werden durch noch leistungsfähigere

den Single-Server-Betrieb vergleichend testen zu können. Im Zuge des Upgrades des Trackingsystems wird die Infrastruktur des gesamten Labors erweitert und flexibilisiert: Über ein Traversensystem, an dem die neuen Trackingkameras befestigt werden, kann einerseits der durch das Tracking erfasste Interaktionsraum vom CAVE-Bereich auf das gesamte Labor ausgeweitet werden, und andererseits weiteres Labor-Equipment wie Beobachtungskameras, Mikrofone oder weitere Trackingsysteme für beispielsweise HMDs (XR-Brillen, siehe Abbildung 1 auf Seite 3) angebracht werden. Ziel ist es, ein Mixed-Reality-Labor zu entwickeln, das hybride XR-Meetings ermöglicht. Dies soll in einem nächsten Schritt softwareseitig so unterstützt werden, dass Nutzer*innen aus der Ferne nicht nur per Videokonferenz an CAVE-Sessions teilnehmen können, sondern auch immersiv per HMD oder ähnlich einem 3D-Computerspiel am PC mit Monitor.

⁵ <https://www.iao.fraunhofer.de/de/labors-ausstattung/immersive-participation-lab.html>

7.2 CoLEDWall++ im Visual Technologies Lab

Im Rahmen der ersten Phase des INSTANCE-Projektes wird vom Team Visual Interactive Technologies die CoLEDWall++ realisiert. Wie der Name schon andeutet, wird damit das CoLEDWall-Konzept auf eine neue Ebene gebracht und ermöglicht die Erschließung neuer Anwendungsfelder wie Model Instance (siehe Kapitel 3).

Die CoLEDWall++ wird bis zu vier unabhängige 3D-Perspektiven unterstützen und damit die möglichen Anwendungsfälle für kollaborative Sessions nochmals erheblich erweitern. Zudem wird die CoLEDWall++ ein Bodensegment und zwei Seitenwände und damit eine CAVE-artige Geometrie aufweisen, wie in folgender Abbildung skizziert:

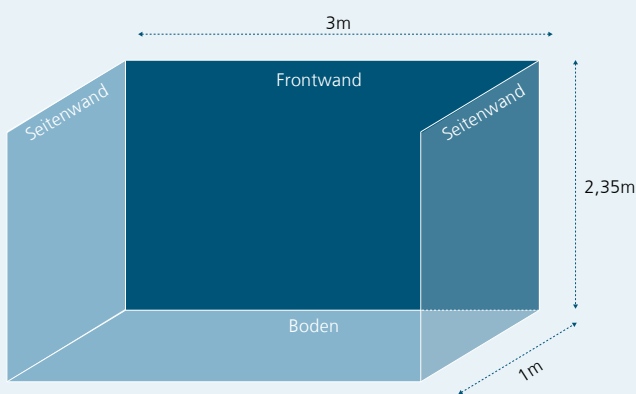


Abbildung 18: Skizze der CoLEDWall++, die Größe und Geometrie zeigt.

Durch die rechtwinklige Anordnung mehrerer Wände entstehen neue Anforderungen an die Displaytechnik, insbesondere die Korrektur der blickwinkelabhängigen Farbabweichungen, die eine inhärente Eigenschaft von LED-Matrixdisplays ist. Hierfür wird am Institut ein echtzeitfähiges Korrekturverfahren entwickelt.

7.3 XR-Portale an weiteren Institutsstandorten

Neben den in den beiden vorangegangenen Abschnitten beschriebenen großen XR-Systemen am Institutshauptstandort Stuttgart entstehen weitere XR-Portale an den Standorten des Forschungs- und Innovationszentrums Kognitive Dienstleistungssysteme KODIS in Heilbronn, des Center for Responsible Research and Innovation CeRRI in Berlin, sowie des Forschungsteams District Innovation Ecosystems in München. Die dortigen Labore werden zunächst mit HMDs ausgestattet, die dann im Falle von München und Berlin durch kleine Powerwalls ergänzt werden. Es wird hochwertige Gaming-Hardware verwendet, die erstens einen guten Kompromiss zwischen einfacher Bedienbarkeit und Leistung darstellt, und für die zweitens einfach Software-Prototypen entwickelt werden können. Die INSTANCE-Portale verwenden den XR-Visualizer (siehe folgender Abschnitt). Über dessen Multi-User-Funktionalität werden standortübergreifende XR-Meetings möglich, wie sie beispielsweise in den Anwendungsfällen Collaboration & Creative Work und Innovation Workshop – InnoAssist erprobt werden (siehe Kapitel 4 und 5). So sind am Anwendungsfall Collaboration & Creative Work Teams mit unterschiedlichen Expertisen aus Stuttgart, München und Berlin beteiligt, und der InnoAssist wird in Heilbronn und Stuttgart gemeinsam entwickelt und getestet.

Die Bereitstellung der Hard- und Software an den »Außenstellen« des Instituts initiiert den in der Einleitung dieses Kapitels beschriebenen »Metaverse-Sandkasten«, in dem Forschungsteams und Partnerunternehmen gleichermaßen spielen können. Er wird, angepasst an Anwendungsfälle und technologische Entwicklungen, kontinuierlich weiter ergänzt werden.

7.4 »XR-Visualizer«

Der XR-Visualizer⁶ ist ein XR-Softwaretool, das ursprünglich im Projekt »Applikationszentrum V/AR«⁷ vom Fraunhofer IAO entwickelt wurde, um Unternehmen den Einstieg in XR zu ermöglichen. 3D-CAD-Daten können in üblichen Austauschformaten in einem bestimmten Ordner abgelegt und über den XR-Visualizer sofort in einem VR Head Mounted Display, auf einem AR-Tablet oder in einer 3D-Desktop-Anwendungen begutachtet werden. Menüs, beispielsweise zum sichtbar-, unsichtbar- oder halbtransparent-Schalten der einzelnen 3D-Modelle, werden automatisch erstellt. Im Projekt BIMprove (BIMprove H2020, 2023) wurde der XR-Visualizer um Multi-User-Funktionalität erweitert, d. h. die 3D-Daten werden auf die einzelnen

teilnehmenden Endgeräte verteilt und die Interaktionsdaten werden live über einen zentralen Server ausgetauscht. Bis zu 30 Nutzer*innen können so von unterschiedlichen Standorten aus und mit unterschiedlichen Endgeräten (bspw. HMD oder Desktop-Rechner) an gemeinsamen Sessions teilnehmen.

Im Projekt INSTANCE wird der XR-Visualizer in den Anwendungsfällen Collaboration & Creative Work und Innovation Workshop – InnoAssist eingesetzt und weiterentwickelt. Technisch basiert der XR-Visualizer auf der Game-Engine »Unity« (Unity Technologies, 2024).



Abbildung 19: XR-Visualizer-Screenshot aus dem Projekt BIMprove.

⁶ <https://www.muse.iao.fraunhofer.de/de/leistungsspektrum/v-ar-gestuetzte-bauvisualisierung.html>

⁷ <https://www.engineering-produktion.iao.fraunhofer.de/de/forschung/applikationszentren-v-ar.html>

7.5 AR in VR: Visual Positioning Systems für XR im Stadtraum

Augmented Reality (AR) bezeichnet das Visualisieren virtueller Objekte in der Realität (siehe Abbildung 1 auf Seite 2). Technologisch kann dies über verschiedene Endgeräte umgesetzt werden: Smartphones oder Tablets, auf denen Apps virtuelle Objekte ins Live-Kamerabild einblenden, oder »AR-Brillen«, also entweder Brillen, in deren Gläser die virtuellen Objekte projiziert werden (»optical see through«), oder Head Mounted Displays, die das Live-Kamerabild durch die virtuellen Objekte ergänzen (»video passthrough«). Neben Spielen wie »Pokémon Go« (Pokémon Go, 2024) haben kommerzielle Apps wie »IKEA Place« (Launch of new IKEA Place app – IKEA Global, 2017) oder auch »Google Maps« (Google Maps, 2024) AR bekannt gemacht. Erstere ermöglichte es, auf dem Smartphone oder Tablet virtuelle Möbel maßstabsgetreu »in der eigenen Wohnung« zu platzieren, letztere stellt im Fußgänger-Navigationsmodus virtuelle Pfeile auf den Gehweg. Google verwendet dazu sein eigenes Visual Positioning System (VPS).

Ein VPS ist ein Trackingsystem, über das sich das Smartphone oder Tablet selbst im Außenraum lokalisieren kann. Durch den Vergleich mit Daten aus Google Street View und mit Hilfe von Bildverarbeitung und Machine Learning »weiß« VPS auf wenige Zentimeter genau (Fehlerbereich <50cm), wo sich die Kamera befindet, und zwar in allen sechs Freiheitsgraden. Je genauer die Ausgangsdaten, d. h. je besser die Umgebung bekannt ist, desto genauer wird das Tracking. Auf dem Softwaremarkt stehen verschiedene Visual Positioning Systems mit Programmierschnittstellen zur Verfügung und können für eigene Anwendungen genutzt werden.

Ein Problem bei der Entwicklung solcher AR-Anwendungen für den Außenraum, bspw. die Augmentierung bestimmter Gebäude in einer Stadt, ist der große Aufwand, der für Tests betrieben werden muss. Soll z. B. eine eigentlich relativ einfache AR-App entwickelt werden, die zeigt, wie verschiedene Varianten einer Fassadenbegrünung an einem Hochhaus wirken, muss man sich zum Testen der App jedes Mal zu diesem Hochhaus begeben. Giannakidis et al. (2024) stellen eine Vorgehensweise vor, die das umgeht: Hier wird die oben beschriebene CAVE im Immersive Participation Lab (siehe Abschnitt 7.1) verwendet, um die visuelle Umgebung zu simulieren, in der sich das VPS orientiert. Wenn also – um beim obigen Beispiel des Hochhauses zu bleiben – ausreichend 3D-Daten, z. B. aus Building Information Models (BIM), des Hochhauses und seiner Umgebung vorhanden sind, und sie hinreichend realistisch dargestellt werden können, lokalisiert sich das AR-Endgerät über VPS auch in der virtuellen Variante der Realität, und die AR-App-Entwickler*innen können in der CAVE testen, anstatt zum echten Hochhaus fahren zu müssen.

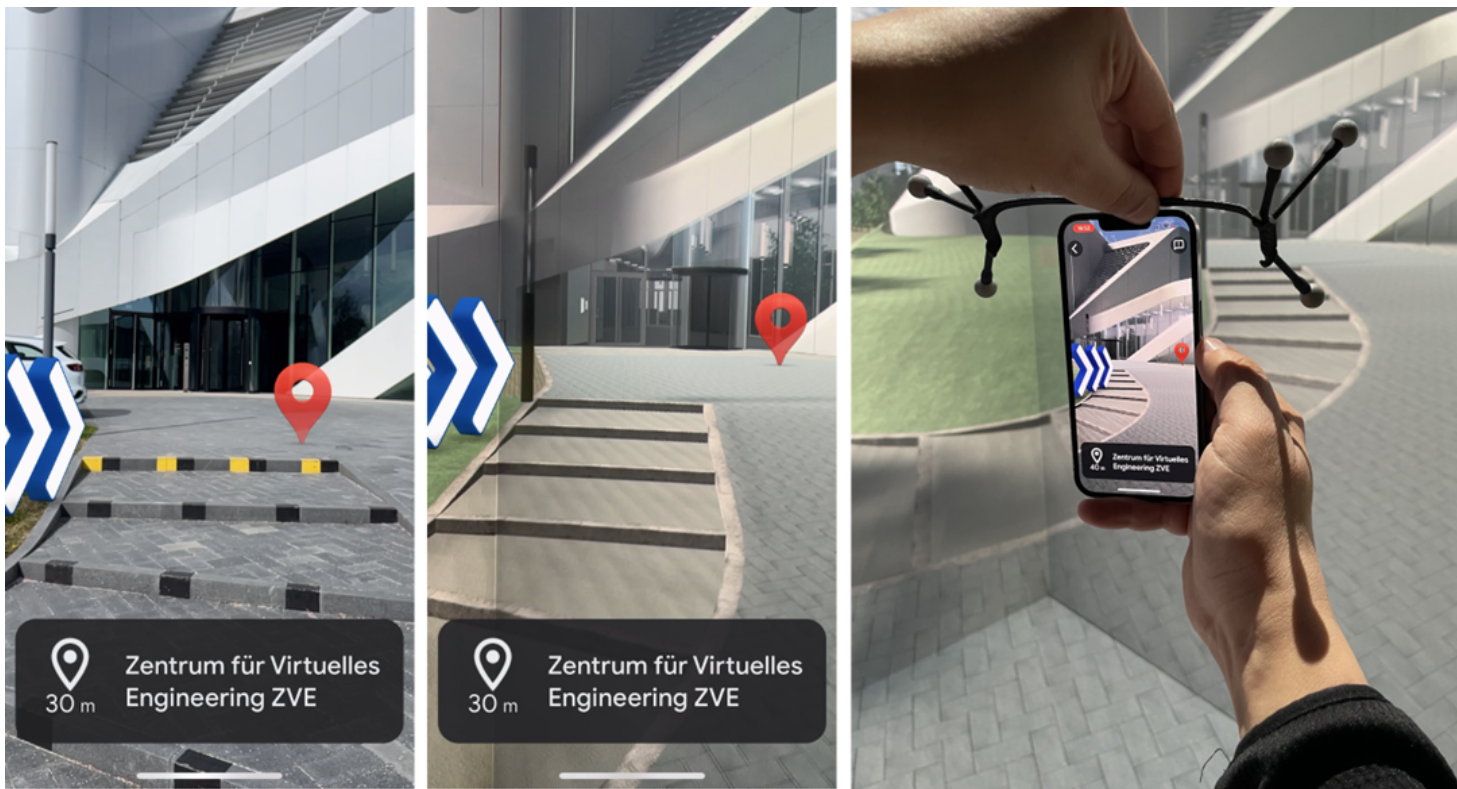


Abbildung 20: Test mit Google Maps Live View: Links ein Screenshot aufgenommen am realen Ort; Mitte: Simuliert in der CAVE; Rechts: Der Experimentalaufbau in der CAVE, mit Tracking-Target am Smartphone. (Beispiele aufgenommen mit einem iPhone 13 Pro).

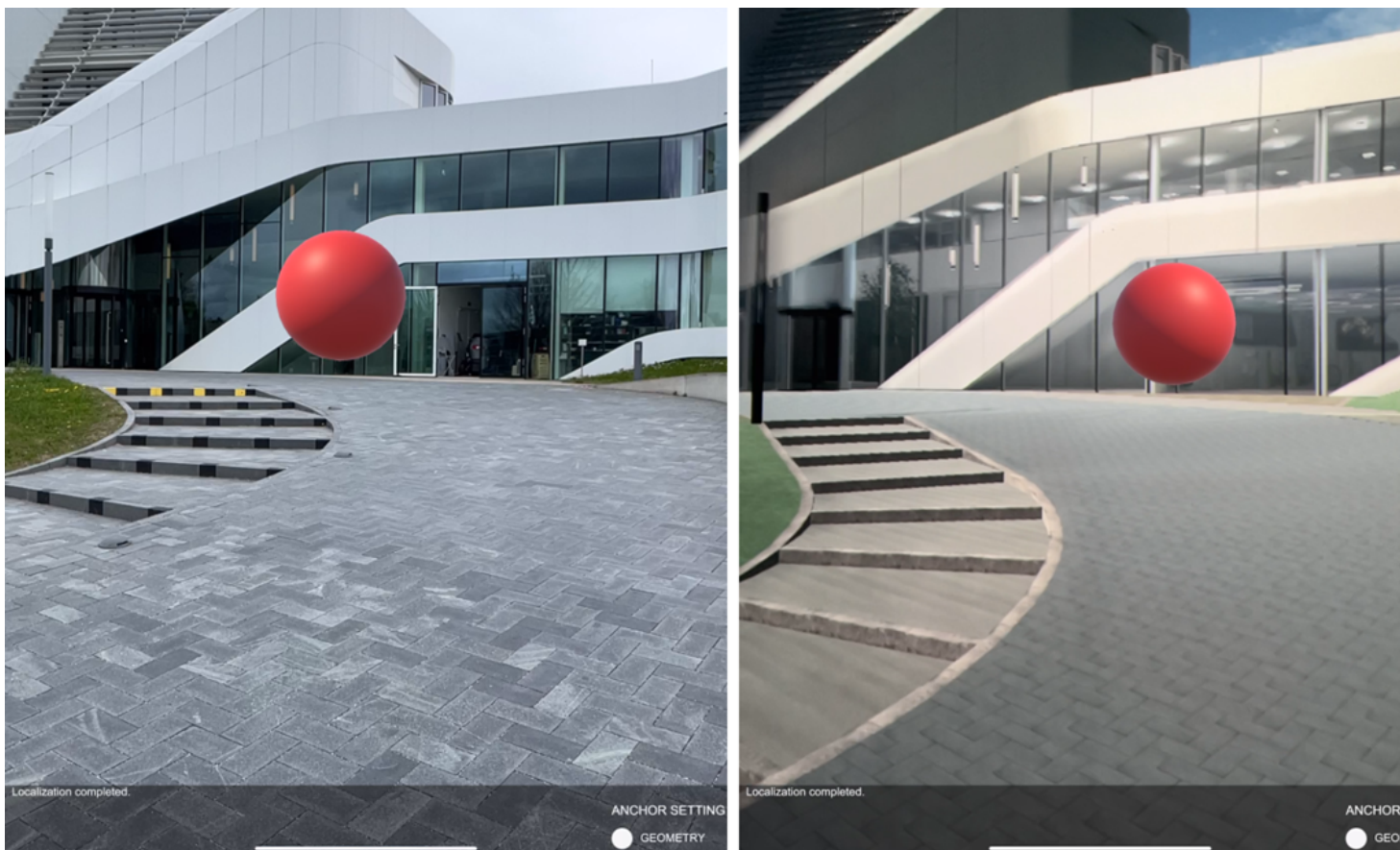


Abbildung 21: Platzieren eines eigenen virtuellen Objektes. Links: VPS-AR in der Realität; Rechts: In der Simulation in der CAVE.

8 Ausblick

Matthias Aust, Steffen Braun, Katharina Hölzle, Mathias Vukelić, Günter Wenzel

Im vorliegenden Bericht »Infrastruktur und Anwendungsfälle für das Metaverse – Erweiterte Realitäten in verteilten Arbeitswelten« wird die initiale Phase des INSTANCE Projekts dargestellt. Diese Phase umfasst die Konzeption diverser Anwendungsfälle, die sich durch unterschiedliche Zielsetzungen und Zielgruppen auszeichnen, sowie durch den Auf- und Ausbau einer umfassenden Hard- und Software-Infrastruktur. Beide Aspekte verfolgen das übergeordnete Ziel, die Rahmenbedingungen am Fraunhofer IAO und am IAT der Universität Stuttgart für die Erprobung von Metaverse-Technologien und deren Anwendung zu optimieren – zunächst für die eigenen Mitarbeiter*innen und in der Folge auch für Partnerunternehmen.

Im nächsten Schritt des Projekts werden die in diesem Bericht beschriebenen Anwendungsfälle einer umfassenden Evaluation unterzogen. Diese wird im Wesentlichen aus Nutzungstests bestehen. Im Falle des Anwendungsfalls Collaboration & Creative Work beispielsweise werden sich Kolleg*innen aus München, Berlin und Stuttgart im Selbstversuch zu kollaborativen Workshops zusammenschalten, um Workshopformate und -inhalte zu testen. Die Ergebnisse der Evaluation werden der Öffentlichkeit durch Publikationen zugänglich gemacht sowie die entwickelten Demonstratoren und Testszenarien Partnerunternehmen zur Verfügung gestellt.

INSTANCE – Phase 2

Das Projekt wird in einer zweiten Phase im Jahr 2025 weiter ausgebaut: Die bisher verwendeten Untersuchungsmethoden und Testszenarien werden durch zusätzliche Verfahren ergänzt und weiterentwickelt. Ziel wird es sein, die Qualität von Kollaboration besser messbar zu machen und zu erforschen, welche Interaktions- und Feedbackmechanismen dazu beitragen können, eine Gruppe während einer kollaborativen Aufgabe »im Flow« zu halten. Um diese Ziele zu erreichen, werden KI-assistierte qualitative Analysen sowie neurowissenschaftliche Verfahren entwickelt und eingesetzt. Hierzu sollen Methoden der Verhaltensbeobachtung sowie der qualitativen Inhalts- und Konversationsanalyse durch große Sprachmodelle automatisiert werden, um damit Kollaborationsprozesse zu evaluieren. Aktuell vollzieht die Forschung zu Brain-Computer Interfaces

(BCI) und anderen physiologisch basierten Technologien einen Übergang von medizinischen Anwendungen zu industriellen, Verbraucher*innen- und Mixed-Reality-Anwendungen. Die Kombination von Neurotechnologien mit KI ermöglicht eine personalisierte und symbiotische Gehirn-Körper-Erfahrung, bei der das Engagement der Nutzer*innen eine Schlüsselrolle spielt. Durch den rasanten Fortschritt in Neurotechnologie und KI ist es nur eine Frage der Zeit, bis BCIs Teil unserer alltäglichen Lebens- und Arbeitswelt werden. Dies bietet große Chancen für die angesprochene nächste Phase des INSTANCE-Projekts.

Die in der ersten Projektphase entwickelte Infrastruktur aus Hard- und Software sowie die Demonstratoren für Beispielanwendungsfälle werden in der zweiten Phase zu einem wissenschaftlichen Ökosystem ausgebaut, das Technologie und Methodik verbindet und es so ermöglicht, neuronale Signale als Element der Mensch-Maschine- und der Mensch-Mensch-Interaktion in Mixed-Reality-Anwendungen zu nutzen. Der Ansatz zielt darauf ab, eine Entwicklungsplattform (»Hypersensing & Hyperfeedback Plattform«) zu schaffen, die in Deutschland und der Europäischen Union eine führende Rolle einnimmt und dabei sowohl einen Wettbewerbsvorteil als auch eine ethische und sichere Zukunft für diese neuen Technologien sicherstellt. Diese modulare Plattform wird nicht-invasive Neurotechnologien, fortschrittliche Signalverarbeitung und maschinelles Lernen integrieren. Sie kombiniert Daten aus Kontext- und physiologischen Sensoren und unterstützt Anwendungen mit XR und taktilen Schnittstellen. Dabei werden folgende Kriterien berücksichtigt:

- **Förderung von Forschungsumgebungen:** Schaffung eines Forschungsökosystems für BCIs, das Synergien zwischen fNIRS- und EEG-Entwicklungen sowie einen nahtlosen Dialog mit modernen Mensch-Computer-Interaktionstechnologien bietet

- **Zugänglichkeit und Standardisierung:** Hardware- und Software-Schnittstellen sowie Datenverarbeitung sind auf industrielle Anwendungen und Industriestandards ausgerichtet, um Interoperabilität, Vertrauen und Marktwachstum über verschiedene Anwendungsbereiche hinweg zu gewährleisten.
- **Ethik- und Datenschutzrahmen:** Sicherstellung, dass Systementwürfe und Implementierungen den Aspekten Datenschutz und Ethik gerecht werden und mit den Werten der beteiligten Interessengruppen übereinstimmen.
- **Praxistauglichkeit und Wirksamkeit für Verbraucher*innen:** Hardware- und Software-Schnittstellen priorisieren die Nutzer*innen, ihre individuellen Anforderungen, Bedürfnisse und Fähigkeiten sowie die Gebrauchstauglichkeit und ein positives Nutzungserlebnis.

Die Erfüllung dieser Kriterien wird die Grundlage für eine breite Kommerzialisierung in Hard- und Software schaffen. Dies wird durch die Verlagerung der Entwicklungen von kontrollierten Laborexperimenten hin zu unbeschränkten Alltagsumgebungen erreicht. Es ist wichtig zu betonen, dass die Plattform ein greifbares Ergebnis des methodisch-technologischen Ansatzes sein wird. Damit eine Technologie erfolgreich und schnell sowie weit verbreitet angenommen wird, muss sie bei den meisten Nutzer*innen die meiste Zeit funktionieren. Die Wirksamkeit

und Bedeutung von INSTANCE wird durch Proof-of-Concept-Prototypen in den Demo-Anwendungen für spezifische Anwendungsfälle demonstriert. Dafür werden die in diesem Bericht konzipierten Anwendungsfälle für kollaborative XR weiterentwickelt und durch weitere ergänzt. Zwei Forschungsthemen werden fokussiert:

- **Informationsaufnahme im kollaborativen Lernen:** Hierbei wird die Interaktion mehrerer Lernender hinsichtlich der Aufmerksamkeit und des Engagements untersucht. Dies ist sowohl in analogen als auch digitalen Lernumgebungen von Bedeutung, um die situative Wahrnehmung und das Nutzungs- und Aufgabenengagement verbessern zu können.
- **Kollaboratives Gruppenengagement:** Hier wird untersucht, wie mehrere Nutzer*innen zusammenarbeiten, um eine kognitive Aufgabe (z. B. ein Brainstorming) zu lösen, die verschiedene Erfahrungszustände wie Überlastung, Unterforderung und Flow hervorrufen kann. Das System soll dabei die Multi-User-Aufmerksamkeit und das Engagement, einschließlich Flow, erfassen und durch personalisiertes Feedback fördern.

Diese Verfahren werden es ermöglichen, tiefgehende Einblicke in die Dynamik von Kollaborationsprozessen zu gewinnen.

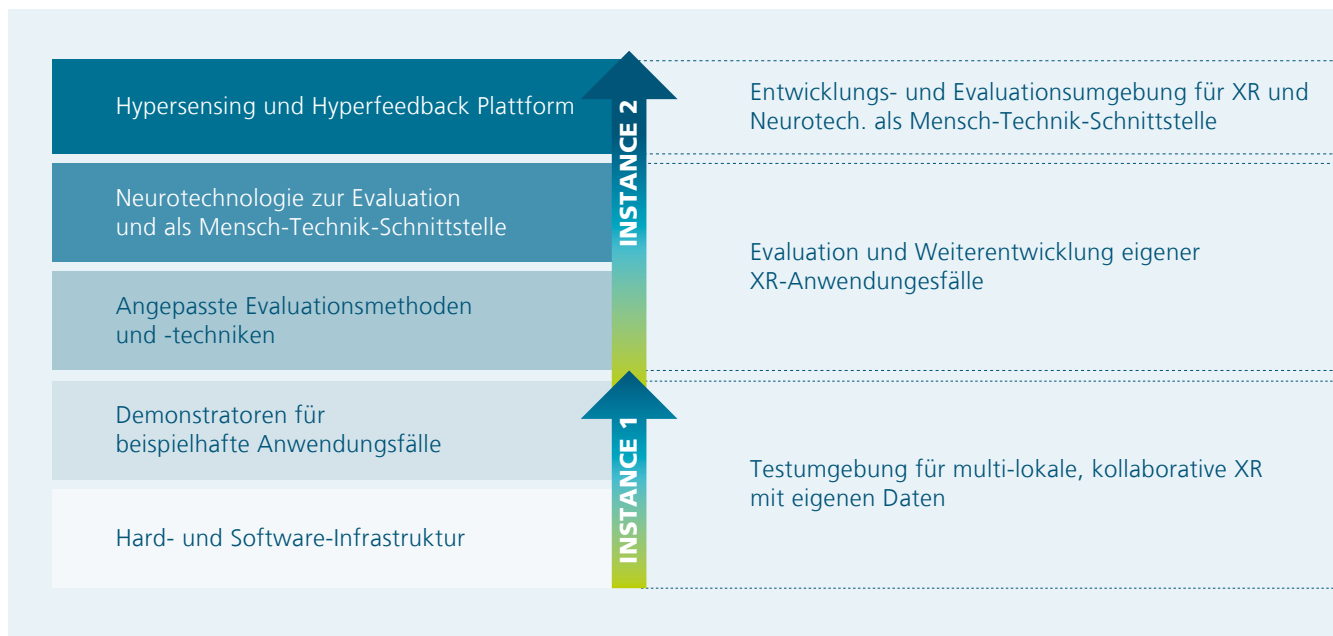


Abbildung 22: Links: Forschung und Entwicklung (F&E) zu kollaborativer XR im Rahmen des INSTANCE-Projekts. Rechts: Resultierende F&E-Angebote für Partnerunternehmen.

Abbildung 22 fasst die aufeinander aufbauenden Arbeiten und Ergebnisse der beiden INSTANCE-Phasen sowie die dadurch entstehenden Angebote des Instituts für Partnerunternehmen zusammen.

INSTANCE als branchenübergreifendes Innovationsnetzwerk

Diese Angebote sollen außerdem durch das im Aufbau befindliche INSTANCE Innovationsnetzwerk ausgebaut und ergänzt werden. Geplant ist hierfür ein Verbund von Anbieter*innen und Anwender*innen von Metaverse-Technologie (i.w.S.), deren gemeinschaftliche Fragestellungen das Institut beforscht und die durch das Netzwerk eine einzigartige Austauschplattform erhalten.

Folgende Leistungsbausteine sind vorgesehen:

- **INSTANCE-Infrastruktur** als Testumgebung zur Einführung in XR für Unternehmen oder zur Umsetzung eigener Anwendungsfälle mit XR-SW-Lösungen, XR-Plattform-Lösungen, Streaming-Server, XR-Hardware (CAVE, Powerwall, 3D-Screen, diverse HMD, HMD-AR, Tablet-AR, Trackingsystemen, Motion Capturing Systemen)
- **INSTANCE-Werkstatt-Formate** für die Erstellung erster eigener Anwendungsfälle (Konzepterstellung, Anforderungsanalyse, angeleitete Umsetzung, Entwicklungsdienstleistung)
- **INSTANCE-Content-Generation-Workflow** zur Unterstützung bei der Aufbereitung eigener Daten und Modellierungs-Dienstleistungen
- **INSTANCE-Evaluation:** Methodik für die Auswertung der Ergebnisse und Dokumentation der Erkenntnisse
- **INSTANCE-Business-Engineering** – Beratungsleistung bei der Erweiterung der Wertschöpfungskette um digitale XR-basierte Produkte und Dienstleistungen
- **INSTANCE-Screening:** Newsletter zu aktuellen Entwicklungen
- **INSTANCE-Networking:** Austausch mit Akteur*innen entlang der Wertschöpfungsketten

Mit all diesen Maßnahmen leistet das Projekt INSTANCE nicht nur einen wichtigen Beitrag zur Evaluation und Weiterentwicklung von Metaverse-Technologien, sondern treibt ihre sinnvolle und effiziente Anwendung in der Arbeitswelt aktiv voran.

Abkürzungsverzeichnis

AR	Augmented Reality
ASE	Advanced Systems Engineering
BCI	Brain-Computer Interface
BIM	Building Information Modeling
CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
CAVE	CAVE Automated Virtual Environment
CCVE	Competence Center Virtual Environments
CeRRI	Center for Responsible Research and Innovation
DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e.V.
DT	Design Thinking
EEG	Elektroenzephalografie
F&E	Forschung und Entwicklung
fNIRS	funktionelle Nahinfrarotspektroskopie
GPU	Graphics Processing Unit
HMD	Head Mounted Display
I&K	Informations- und Kommunikationstechnik
IAO	(Fraunhofer) Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation
IAT	Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement (der Universität Stuttgart)
KI	Künstliche Intelligenz
KODIS	Forschungs- und Innovationszentrum Kognitive Dienstleistungssysteme
LED	Light-Emitting Diode
LLM	Large Language Model
MBSE	Model-Based Systems Engineering
NLP	Natural Language Processing
PBR	Physically Based Rendering
PC	Personal Computer
PLM	Produktlebenszyklusmanagement
RAG	Retrieval-Augmented Generation
VPS	Visual Positioning System
VR	Virtual Reality
XR	eXtended Reality
ZVE	Zentrum für Virtuelles Engineering

Literaturverzeichnis

- Akenine-Möller, T., Haines, E., Hoffman, N., Pesce, A., Iwanicki, M., & Hillaire, S. (2018). Real-time rendering, 4th edn. In Lehrbuch zu fortgeschrittenen Themen der Computergraphik, das einen umfassenden Überblick über Techniken zur Echtzeit-Darstellung von 3D-Objekten gibt. Taylor & Francis.
- Angerer, H., Bliesch, F., Lehmann-Brauns, S., Claasen, D., Eckertz, D., Hawa, R. K., . . . Rüchard. (2023). Leitfaden Industrial Metaverse; Use Cases, Mehrwerte und Potenziale für den Wirtschaftsstandort Deutschland. (B. e. V., Hrsg.) Berlin. Von <https://www.bitkom.org/Bitkom/Publikationen/Industrial-Metaverse-Leitfaden> abgerufen
- b.ReX GmbH. (2024). b.ReX - Der virtuelle Firmengründer. (b. GmbH, Herausgeber) Abgerufen am 19. 06 2024 von b.ReX: <https://www.b-rex.de/referenzen/097f0845-ced7-4d43-ba99-18f7ec688d26>
- Bader, L., Kruse, A., Dreßler, N., & Müller, W. (2020). Virtual design thinking - Experiences from the transformation of design thinking to the virtual domain. ICERI Proceedings - 13th annual International Conference of Education, Research and Innovation. doi:10.21125/iceri.2020.201
- Bailenson, J. N. (2021). Nonverbal Overload: A Theoretical Argument for the Causes of Zoom Fatigue. *Technology, Mind, and Behavior*, 2 (1). doi:10.1037/tmb0000030
- Bayro, A., Ghasemi, Y., & Jeong, H. (2022). Subjective and Objective Analyses of Collaboration and Co-Presence in a Virtual Reality Remote Environment. 2022 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW), (S. 485-487). doi:10.1109/VRW55335.2022.00108
- Bengtsson, L. R., & van Couvering, E. (2023). Stretching immersion in virtual reality: How glitches reveal aspects of presence, interactivity and plausibility. *Convergence: The International Journal of Research into New Media Technologies* 29 (2). doi:10.1177/13548565221129530
- BIMprove H2020. (2023). BIMprove - Build Smarter, Cleaner, Cheaper. Abgerufen am 25. 06 2024 von BIMprove - Build Smarter, Cleaner, Cheaper: <https://www.bimprove-h2020.eu/>
- Bockholt, U., Bochtler, T., Enderlein, T., Olbrich, V., Olbrich, M., Otto, M., . . . Wirsching. (2017). Motion Capturing. Web-basierte Anwendungen Virtueller Techniken: Das ARVIDA-Projekt–Dienstebasierte Software-Architektur und Anwendungsszenarien.
- Borkmann, V., Schubert, F., & Pardek, C. P. (2023). FutureHotel - Extended Realities. The Metaverse and its Potential for Hotel Business. (O. Riedel, K. Hölzle, W. Bauer, & S. Braun, Hrsg.) Stuttgart: Fraunhofer Verlag. Von <https://www.bookshop.fraunhofer.de/buch/futurehotel-extended-realities/255867> abgerufen
- Bouschery, S. G., Blazevic, V., & Piller, F. T. (24. 07 2023). AI-Augmented Creativity: Overcoming the Productivity Loss in Brainstorming Groups. Abgerufen am 19. 12 2023 von Academy of Management: <https://doi.org/10.5465/AMPROC.2023.11938abstract>
- Bues, M. (2002). Personal Immersion - skalierbare VR-Systeme und Anwendungen im Automotive Engineering. *Virtual Environments für Prototyping und Testing*. Von <https://publica.fraunhofer.de/handle/publica/341906> abgerufen
- Bues, M. (2009). Ein System zum visuell hochwertigen Echtzeit-rendering für Virtuelle Umgebungen. Heimsheim: Jost-Jetter Verlag. doi:10.24406/publica-fhg-278216
- Bues, M., Blach, R., Stegmaier, S., Häfner, U., Hoffmann, H., & Haselberger, F. (2001). Towards a Scalable High Performance Application Platform for Immersive Virtual Environments. In B. Fröhlich, J. Deisinger, & H.-J. Bullinger (Hrsg.), *Immersive Projection Technology and Virtual Environments 2001* (S. 165-174). Wien: Springer Vienna. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-7091-6221-7_17

- Bues, M., Gleue, T., & Blach, R. (2008). Lightning. Dataflow in motion. Software engineering and architectures for realtime interactive systems (SEARIS). Von <https://publica.fraunhofer.de/handle/publica/358043> abgerufen
- Bues, M., Häfner, U., & Blach, R. (2004). Deutschland Patentnr. DE10125075B4.
- Bues, M., Wingert, B., & Riedel, O. (2018). VD1: a technical approach to a hybrid 2D and 3D desktop environment. In IEEE (Hrsg.), 2018 IEEE 11th Workshop on Software Engineering and Architectures for Real-time Interactive Systems (SEARIS), (S. 1-7).
- Bullinger, H.-J., Bauer, W., Wenzel, G., & Blach, R. (2010). Towards user centred design (UCD) in architecture based on immersive virtual environments. *Computers in industry*, 61(4), 372-379.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung. (2022). Ergebnissteckbrief ExoHaptik. Abgerufen am 25. 06 2024 von Miteinander durch Innovation: <https://www.interaktive-technologien.de/service/ergebnissteckbriefe/ergebnissteckbriefe-var1/ergebnissteckbrief-exohaptik>
- Chowdhary, K. R. (2020). Natural language processing. In K. R. Chowdhary (Hrsg.), *Fundamentals of artificial intelligence* (S. 603--649). Springer. doi:10.1007/978-81-322-3972-7_19
- Chowdhary, K., & Chowdhary, K. R. (2020). Natural language processing. In *Fundamentals of artificial intelligence*, 603-649.
- Cruz-Neira, C., Sandin, D. J., DeFanti, T. A., Kenyon, R. V., & Hart, J. C. (1992). The CAVE: audio visual experience automatic virtual environment. *Commun. ACM*. 35, S. 64–72. Association for Computing Machinery.
- Dumitrescu, R., Albers, A., Riedel, O., & Stark, R. G. (2021). Engineering in Deutschland - Status quo in Wirtschaft und Wissenschaft: Ein Beitrag zum Advanced Systems Engineering. Reihe: Kooperationspublikationen, Paderborn. Von <https://www.acatech.de/publikation/engineering-in-deutschland/> abgerufen
- Dwivedi, Y. K., Hughes, L., Baabdullah, A. M., Ribeiro-Navarrete, S., Giannakis, M., Al-Debei, M. M., . . . Hinsch, C. (2022). Metaverse beyond the hype: Multidisciplinary perspectives on emerging challenges, opportunities, and agenda for research, practice and policy. *International Journal of Information Management*, 66. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2022.102542>
- Ebener, S. (2020). Die Anwendung von Machine Learning zur Gewinnung von Erkenntnissen aus Dokumentenstapeln. In R. H. Buchkremer, *Künstliche Intelligenz in Wirtschaft & Gesellschaft*. FOM-Edition. Wiesbaden: Springer Gabler.
- Engelbach, M., Klau, D., Scheerer, F., Drawehn, J., & Kintz, M. (2023). Fine-Tuning and Aligning Question Answering Models for Complex Information Extraction Tasks. In *Proceedings of the 15th International Joint Conference on Knowledge Discovery, Knowledge Engineering and Knowledge and Knowledge Management* (S. SciTePress, pages 196-205). KDIR; DOI: 10.5220/0012159000003598; <https://arxiv.org/abs/2309.14805>.
- ESI Group. (2024). IC.IDO | Virtual Reality Engineering Software. Abgerufen am 30. 05 2024 von IC.IDO | Virtual Reality Engineering Software: <https://www.esi-group.com/products/ic-ido>
- Feike, M., Neuhüttler, J., & Kutz, J. (2023). Towards A Reference Process for Developing Cognitive Service Systems. 14th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2023).
- Foxman, M. (2023). Theories in XR 2022. Social Grammars of Virtuality, 1. doi:<https://doi.org/10.58117/9V01-G296>
- Giannakidis, A., Häcker, M., Sulzmann, F., & Frohnmayer, J. B. (2024). Hacking Visual Positioning Systems to Scale the Software Development of Augmented Reality Applications for Urban Settings. In S. Y. Yurish, *Proceedings of the 6th International Conference on Advances in Signal Processing and Artificial Intelligence (ASPAl' 2024)*, 17-19 April 2024, Funchal (Madeira Island) Portugal (S. 26 - 32). IFSA Publishing.
- Google Maps. (2024). Abgerufen am 17. 06 2024 von iOS App Store: <https://apps.apple.com/de/app/google-maps-transit-essen/id585027354>
- Haase, T., Keller, A., Radde, J., Berndt, D., Friedrich, H., & Dick, M. (2020). Anforderungen an die lerntheoretische Gestaltung arbeitsplatzintegrierter VR-/AR-Anwendungen. In *Digitaler Wandel, digitale Arbeit, digitaler Mensch*, 1-6.
- Hagenmeyer, L., Braun, M., Haselberger, F., Berner, O., Radjapour, M., Einsiedler, K., & Häußler, E. (2003). Arbeitsgestaltung und Virtual Reality. *Wt Werkstatttechnik online*, 1(2), 69-74.
- Hamad, A., & Jia, B. (2022). How Virtual Reality Technology Has Changed Our Lives: An Overview of the Current and Potential Applications and Limitations. *International journal of environmental research*.

- Hamraz, B., Caldwell, N. H., & Clarkson, P. J. (06. August 2013). A Holistic Categorization Framework for Literature on Engineering Change Management. *Systems Engineering*, 16(4), 473-505. doi:10.1002/sys.21244
- Hartmann, T., Klimmt, C., & Vorderer, P. (2001). Avatare: soziale Beziehungen zu virtuellen Akteuren. *M&K Medien & Kommunikationswissenschaft*, 49(3), 350-368.
- Hochfeld, K., & Duchek, S. (2022). Development of a Blueprint for a Hybrid Design Thinking Process. Conference: ISPIM Innovation Conference, Copenhagen. Von <https://publica.fraunhofer.de/handle/publica/434385> abgerufen
- Hölzle, K., Neuhüttler, J., Wenzel, G., Gladilov, N. C., Rasztar, L. A., Rose, R., . . . Alexiadis, I. (2023). CyberLänd. Potenziale des Metaverse für Unternehmen in Baden-Württemberg. Fraunhofer IAO. doi:10.24406/publica-2135
- Honroth, T., Siebert, J., & Kelbert, P. (13. 05 2024). Retrieval Augmented Generation (RAG): Chatten mit den eigenen Daten. Abgerufen am 26. 06 2024 von <https://www.iese.fraunhofer.de/blog/retrieval-augmented-generation-rag/>
- Houde, S., & Hill, C. (1997). What do Prototypes Prototype? In *Handbook of Human-Computer Interaction (Second Edition)* (S. 367-381). doi:<https://doi.org/10.1016/B978-044481862-1.50082-0>
- Hyperfy. (2024). Abgerufen am 18. 06 2024 von Hyperfy: <https://hyperfy.io/>
- Kattner, N., Wang, T., & Lindemann, U. (2016). Performance metrics in engineering change management - Key Performance Indicators and engineering change performance levels. 2016 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), (S. 1180-1184). doi:10.1109/IEEM.2016.7798064
- Kinect für Windows - Windows apps. (2024). Abgerufen am 19. 06 2024 von Microsoft - Cloud, Computer, Apps und Gaming: <https://learn.microsoft.com/de-de/windows/apps/design/devices/kinect-for-windows>
- Klöß, S. (2023). Die Zukunft der Consumer Technology 2023. Bitkom Studie.
- Kotzahn, F., & Hartweg, H. (2022). Dokumentenmanagement und Dunkelverarbeitung – Digitalisierung von Geschäftsprozessen. In H. K. Hartweg, Krankenkassen- und Pflegekassenmanagement. https://doi.org/10.1007/978-3-7089-2121-1_10. Wiesbaden: Springer Gabler.
- Kupfer, D. (2010). Entwicklung und Implementierung einer Animationstechnik zur Simulation natürlicher Bewegungen in Computerspielen.
- Langer, S., Wilberg, J., Maier, A., & Lindemann, U. (2012). Änderungsmanagement-Report 2012: Studienergebnisse zu Ursachen und Auswirkungen, aktuellen Praktiken, Herausforderungen und Strategien in Deutschland. Technische Universität München.
- Launch of new IKEA Place app - IKEA Global. (12. 09 2017). (& Inter IKEA Systems B.V. 1999 - 2024) Abgerufen am 17. 06 2024 von Hej! Welcome to IKEA Global: <https://www.ikea.com/global/en/newsroom/innovation/ikea-launches-ikea-place-a-new-app-that-allows-people-to-virtually-place-furniture-in-their-home-170912/>
- Lyu, Q., Watanabe, K., Umemura, H., & Murai, A. (2023). Design-thinking skill enhancement in virtual reality: A literature study. *Frontiers in Virtual Reality*, 4. doi:10.3389/frvir.2023.1137293
- Martin, A., Kaspar, J., Pfeifer, S. A., Mandel, C., Rapp, S., & Albers, A. (2022). Advanced Engineering Change Impact Approach (AECIA) - Towards a model-based approach for a continuous Engineering Change Management. 2022 IEEE International Symposium on Systems Engineering (ISSE), (S. 1-7). doi:10.1109/ISSE54508.2022.10005534
- Meißner, M., Jacobs, G., Jagla, P., & Sprehe, J. (2021). Model based systems engineering as enabler for rapid engineering change management., 100, S. 61–66. doi:10.1016/j.procir.2021.05.010
- MetaHuman | Creator-App für realistische Personen - Unreal Engine. (2004-2024). (Epic Games, Inc.) Abgerufen am 19. 06 2024 von Das leistungssärkste Werkzeug für 3D-Echtzeit-Entwicklung - Unreal Engine: <https://www.unrealengine.com/de/metahuman>
- Milgram, P., & Kishino, F. (1994). A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. *IEICE Transactions on Information and Systems*, E77-D, S. 1321-1329. doi:10.1.1.102.4646
- Mori, M., MacDorman, K. F., & Kageki, N. (2012). The Uncanny Valley. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, Band 19, S. 98-100. doi:10.1109/MRA.2012.2192811
- Mütterlein, J., Jelsch, S., & Hess, T. (2018). Specifics of Collaboration in Virtual Reality: How Immersion Drives the Intention to Collaborate. PACIS 2018 Proceedings, Artikel 318.

- Nadkarni, P. M., Ohno-Machado, L., & Chapman, W. W. (2011). Natural language processing: an introduction. In *Journal of the American Medical Informatics Association*, 18(5), 544-551.
- Nonsiri, S., Coatanea, E., Bakhouya, M., & Mokammel, F. (2013). Model-based approach for change propagation analysis in requirements. *Institute of Electrical and Electronics Engineers 2013 – IEEE International Systems Conference SysCon*, (S. 497–503). doi:10.1109/SysCon.2013.6549928
- NVIDIA Corporation. (2024). Omniverse Audio2Face KI-gestützte Anwendung. (NVIDIA Corporation) Abgerufen am 19. 06 2024 von Weltweit führender Anbieter von KI-Computing: <https://www.nvidia.com/de-de/ai-data-science/audio2face/>
- openai.com. (2015-2024). Abgerufen am 19. 06 2024 von openai.com: <https://openai.com/de-DE/>
- Pan, Y., & Rief, S. (2019). *Raumpychologie für eine neue Arbeitswelt*. (W. Bauer, Hrsg.) Stuttgart: Fraunhofer Verlag.
- Peters, R. (2021). Emotionserkennung mittels künstlicher Intelligenz–Perspektiven und Grenzen von Technologien zur Analyse von Gesichtsbewegungen.
- Pokémon Go. (2024). (Niantic, Inc.) Abgerufen am 17. 06 2024 von Pokémon Go: <https://pokemongolive.com/>
- Riedel, O., Kürümlüoğlu, M., & Schneider, B. (2020). Advanced Systems Engineering. In O. Riedel, K. Hölzle, S. Schlund, & D. Spath (Hrsg.), *Handbuch Unternehmensorganisation* (S. 1-24). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Roupé, M., Johansson, M., Maftai, L., Lundstedt, R., & Viklund-Tallgren, M. (2020). Virtual Collaborative Design Environment: Supporting Seamless Integration of Multitouch Table and Immersive VR. *Journal of Construction Engineering and Management*, 146(12). doi:[https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0001935](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0001935)
- Salikutluk, V., Koert, D., & Jäkel, F. (2023). Interacting with Large Language Models: A Case Study on AI-Aided Brainstorming for Guesstimation Problems.
- Sanderson, M., & Croft, W. B. (2012). »The History of Information Retrieval Research.«. In *Proceedings of the IEEE* vol. 100, no. Special Centennial Issue, doi: 10.1109/JPROC.2012.2189916. (S. pp. 1444-1451).
- Shockley, K., Gabriel, A., Robertson, D., Rosen, C., Chawla, N., Ganster, M., & Ezernis, M. (2021). The fatiguing effects of camera use in virtual meetings: A within-person field experiment. *Journal of Applied Psychology*, 106(8), S. 1137-1155.
- Stark, R., Anderl, R., Thoben, K.-D., & Wartzack, S. (2020). WiGeP-Positionspapier: „Digitaler Zwilling“. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, S. 47–50. doi:10.3139/104.112311
- Statista. (2023). Statista - Umfrage zur Nutzung eines digitalen Avatars in Deutschland 2022. Abgerufen am 17. 12 2023 von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1302633/umfrage/nutzung-eines-digitalen-avatars-in-deutschland/>
- Stefani, O., Hoffmann, H., Patel, H., & Haselberger, F. (2004). Extending the Desktop Workplace by a Portable Virtual Reality System. *CD Proceedings of the IPT2004 Immersive Projection Technology Workshop*, (S. 58-72).
- Tausch, S., Nußberger, F., & Hußmann, H. (2015). Supporting the Disney Method with an Interactive Feedback System. *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems* (S. 1013–1018). Seoul, Republic of Korea: Association for Computing Machinery. doi:10.1145/2702613.2732827
- Thornhill-Miller, B., & Dupont, J.-M. (2016). Virtual Reality and the Enhancement of Creativity and Innovation: Under Recognized Potential Among Converging Technologies? *Journal of Cognitive Education and Psychology*, 15(1), S. 102-121. doi:10.1891/1945-8959.15.1.102
- Tryczak, J., Lis, A., Ziemiański, P., & Czyżewicz, J. (2023). Towards a Universal Model of Engineering Change Management. *J Knowl Econ (Journal of the Knowledge Economy)*. doi:10.1007/s13132-023-01576-3
- Tümmeler, J. (2007). *Avatare in Echtzeitsimulationen*. Kassel university press GmbH.
- Unity Technologies. (2024). Echtzeitentwicklungsplattform von Unity | 3D, 2D, VR- und AR-Engine. (Unity Technologies) Abgerufen am 18. 06 2024 von Echtzeitentwicklungsplattform von Unity: <https://unity.com/de>
- Universität Heidelberg. (2024). IT-Jobmesse Uni Heidelberg | Universität Heidelberg. Abgerufen am 18. 06 2024 von heiSkills - Universität Heidelberg: <https://www.heiskills.uni-heidelberg.de/de/ueber-uns/career-service/angebote-fuer-studierende-doktorandinnen-und-absolventinnen/it-jobmesse-uni-heidelberg>
- van Ginkel, S., Gulikers, J., Biemans, H., Noroozi, O., Roozen, M., Bos, T., . . . Mulder, M. (2019). Fostering oral presentation competence through a virtual reality-based task for delivering feedback. *Computers and Education*, S. 78-97. doi:10.1016/j.compedu.2019.02.006

Vogel, J., Schuir, J., Thomas, O., & Teuteberg, F. (2020). Gestaltung und Erprobung einer Virtual-Reality-Anwendung zur Unterstützung des Prototypings in Design-Thinking-Prozessen. HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik. doi:10.1365/s40702-020-00608-9

Wan, Q., Hu, S., Zhang, Y., Wang, P., Wen, B., & Lu, Z. (2023). »It Felt Like Having a Second Mind«: Investigating Human-AI Co-creativity in Prewriting with Large Language Models. <https://arxiv.org/pdf/2307.10811.pdf>.

Weitbrecht, W. U., Bärwolff, H., Lischke, A., & Jünger, S. (2015). Wirkung der Farbtemperatur des Lichts auf Konzentration und Kreativität. Fortschritte der Neurologie-Psychiatrie 83 (6), S. 344-348. doi:10.1055/s-0035-1553051

Wingert, Benjamin; Bues, Matthias; Hofmann, Jan; Riedel, Oliver (2023): (2023). Co-located collaborative Virtual Reality to accelerate the engineering process. To appear in: Lecture Notes in Production Engineering.

Wölbling, A., Krämer, K., Buss, C. N., Dribbisch, K., LoBue, P., & Taherivand, A. (2012). Design Thinking: An Innovative Concept for Developing User-Centered Software. Management for Professionals, S. 121-136. doi:10.1007/978-3-642-31371-4_7

xCave Technology GmbH. (2023). Home of xCave Technology GmbH. Abgerufen am 19. 06 2024 von Home of xCave Technology GmbH: <https://www.xcave-technology.de/>

Zec, M. (31. 08 2023). Kreativitätstechniken.info. Abgerufen am 19. 12 2023 von <https://kreativitätstechniken.info/ideen-generieren/walt-disney-methode/>

Impressum

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart
www.iao.fraunhofer.de

Kontakt

Matthias Aust
Tel. +49 711 970-2353
matthias.aust@iao.fraunhofer.de

Autor*innen

Hölzle, Katharina (Hrsg.)
Braun, Steffen (Hrsg.)
Aust, Matthias
Bues, Matthias
Schneider, Benjamin
Strunck, Stefan
Rasztar, Leon
Kreutz, Anna
Stolze, Dennis
Gabeler, Tobias
Scheerer, Felix
Gerlach, Paul Christian
Wilhelm, Stephan
Häcker, Moritz
Frohnmayr, Jörg
Giannakidis, Alexandros
Vukelić, Mathias,
Wenzel, Günter

Satz und Layout

Franz Schneider, Fraunhofer IAO

Titelbild

© Gorodenkoff – Adobe Stock

Fraunhofer-Publica

<http://dx.doi.org/10.24406/publica-3750>

Alle Rechte vorbehalten

© Fraunhofer IAO, Oktober 2024



Kontakt

Matthias Aust
Tel. +49 711 970-2353
matthias.aust@iao.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Arbeits-
wirtschaft und Organisation IAO
Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

www.iao.fraunhofer.de