VAR² 2019 – Realität erweitern

5. Fachkonferenz zu VR/AR-Technologien in Anwendung und Forschung an der Professur Werkzeugmaschinenkonstruktion und Umformtechnik

Tagungsband

Technische Universität Chemnitz

Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. Matthias Putz

Dr.-Ing. Philipp Klimant

Franziska Klimant

Impressum

ISBN
978-3-00-064420-7

Herausgeber
Prof. Matthias Putz
Dr. Philipp Klimant
Franziska Klimant

Redaktion
Eckhart Wittstock
Dr. Philipp Klimant

Layout/Gestaltung
Karin Eßbach
Franziska Klimant

© TU Chemnitz 2019

Inhaltsverzeichnis

Klimant, P.; Klimant, F.; Allmacher, C.; Putz, M.

Trends der virtuellen und erweiterten Realität mit dem Fokus auf virtueller Inbetriebnahme 7

Fell, T.

Blended Reality – Virtual-/Augmented Reality (VR/AR) im Corporate Learning 29

Hirt, C.; Spahni, M.; Kompis, Y.; Jetter, D.; Kunz, A.

Alles rund um die Maschine - Begehbare virtuelle Schulung an Werkzeugmaschinen 43

Brade, J.; Kögel, A.

Presence in Virtual Reality – der Schlüssel zu Akzeptanz und Übertragbarkeit?! 59

Ritter, M.; Vodel, M.; Roschke, C.; Vogel, R.; Heinzig, M.

Explorative Studie zur computergestützten Analyse im Bereich Fahrsimulationen 73

Lernen, Training und Therapie mit virtuellen Techniken

Dudczig, M.; Winkler-Dudczig, Chr.

VR und 360° Medien als interaktive Schulungsmittel in der Automobillogistik 87

Sitter, R.

Lernen & Extended Reality am Beispiel Neotrie VR 95

Jahn, G.; Klimant, P.

Mensch-Technik-Interaktion in hybriden Gesellschaften..... 109

Hofmann, J.

Augmented Reality Einsatz in der praktischen Ausbildung (ARES): Learnings und Ausblick 119

Linde, M.; Kiesel, M.; Beisheim, B.

Nutzung von Mixed Reality Szenarios für Training und Service..... 127

Wahrnehmung und Interaktion in virtuellen Welten

Minow, A.; Stüring, S.; Böckelmann, I.

VR-Simulation von Assistenzfunktionen in der manuellen Montage – ein Ansatz für arbeitsphysiologische Vergleiche nutzerbezogener Aspekte im Entwurfsprozess 139

Dammann, M.; Steger, W.; Stelzer, R.; Bertelmann, K.

Aspekte der Interaktionsgestaltung in mobilen AR/VR-Anwendungen im Engineering 151

Zachmann, G.

Effects of Presence and Immersion in VR on Emotions and Behavioral Change 163

Terhoeven, J.; Wischniewski, S.

Arbeitswissenschaftliche Fragestellungen beim Einsatz von Datenbrillen 177

Rothe, S.

Design Space für Selektionsmethoden in Virtual Reality Anwendungen 189

Deckers, J.; Fritz, S.; Jaenicke, M.; Ovtcharova, J.

Neue Interaktions-Paradigmen für den einfachen Zugang zu wissenschaftlichen Erkenntnissen durch Virtual Reality 203

Anwendungen in der Produktionstechnik

Trezl, J.; Bernhagen, M.; Dittrich, F.

Partizipative Gestaltung von Menü-strukturen in der Virtual Reality am Beispiel einer Applikation zur Prototypenevaluation 217

Eggert, M.; Flügge, W.

Digitale Assistenz bei der Wartung von Offshore-Windparks durch AR-Technologie 223

Nguyen, T.B.M.; Marczinzik, C.

User Experience / User Interface-Design und Best Practices für VR/AR-Anwendungen 233

Herold, R.; Kämpf, M.
Datenbrille mit Indoor-Navigation zur AR-gestützten Kommissionierung 249

Häfner, U.
Reproduzierbare Analyse von VR-Sessions 265

Bender, J.; Deckers, J.; Kirsch, L.; Ovtcharova, J.
VR-gestütztes Closed-Loop-Engineering für schnelle Rekonfigurationsprozesse im Anlagenbau 273

Trends der virtuellen und erweiterten Realität mit dem Fokus auf virtueller Inbetriebnahme

Klimant, P.[1]; Klimant, F.[1]; Allmacher, C.[1]; Putz, M.[1]

[1] TU Chemnitz, Professur Werkzeugmaschinenkonstruktion und Umformtechnik

Abstract

Die inzwischen fünfte VAR²-Konferenz *VAR² 2019 – Realität erweitern* gibt einen Überblick über aktuelle Trends in der Forschung sowie den industriellen Einsatz Virtueller Techniken. In zwei Plenarsessions sowie den Sessions zu Lernen, Training und Therapie mit virtuellen Techniken, Wahrnehmung und Interaktion in virtuellen Welten sowie Anwendungen in der Produktionstechnik, stellen renommierte Forscher neueste Entwicklungen und Unternehmensvertreter industrielle VR/AR-Anwendungen vor. In der Abteilung Prozessinformatik und Virtuelle Produktentwicklung an der Professur Werkzeugmaschinenkonstruktion und Umformtechnik befassen wir uns seit mehr als 15 Jahren mit Virtuellen Technik. Dieses Paper gibt einen kurzen Überblick über aktuelle Forschungstrends unserer Abteilung und zum anderen einen detaillierten Einblick in Forschungsergebnisse auf dem Gebiet der Virtuellen Inbetriebnahme.

1 Einleitung

Aktuelle Trendthemen die die Forschung auf dem Gebiet der Virtuellen Techniken vorantreiben sind nach wie vor die zunehmende Digitalisierung mit den Herausforderungen der Datengewinnung, -verarbeitung und -aufbereitung bzw. -nutzung. Ebenso werden die Virtual- und Augmented-Reality-(VR/AR)-Hardwaresysteme immer weiter entwickelt und mit neuen Funktionen ausgestattet.

Dennoch gibt es nach wie vor Hemmnisse Virtuelle Techniken einzusetzen. In klein- und mittelständigen Unternehmen sind sicherlich die mit der Einführung neuer Technologien verbundenen Investitionskosten sowie der anfänglich hohe personelle Aufwand (bspw. zur Modellaufbereitung, Datenbereitstellung, etc.) wesentliche Hinderungsgründe. Aber auch persönliche Präferenzen und Bedenken spielen eine große Rolle. Das reicht von unterschiedlichen Vorstellungen über geeignete Visualisierungs- und Interaktionsmethoden, über eine unterschiedliche Wahrnehmung

der virtuellen Inhalte bis hin zu Ressentiments gegenüber Virtuellen Techniken als Assistenzsysteme im Arbeitsprozess (Überwachung, Bevormundung, um zwei Befürchtungen zu nennen).

Dem trägt auch unsere Forschung Rechnung. Neben den klassischen Themen wie Maschinensimulation und Kollisionsvermeidung bei Werkzeugmaschinen, der Weiterentwicklung von AR- und VR-Anwendungen sowie dem Virtuellen Zwilling rückt mehr und mehr der Mensch, als Nutzer der Virtuellen Techniken in das Zentrum und den Fokus der Entwicklungen. Dabei spielen Themen wie Presence (das Gefühl in der virtuellen Welt zu sein) und individuelle Wahrnehmung von virtuellen Welten sowie der Einfluss verschiedener Visualisierungs- und Interaktionsmethoden auf diese, aber auch Fragen der Akzeptanz eine wesentliche Rolle in der Forschung (siehe hierzu auch [1])

2 Aktuelle Forschungstrends

Beispielhaft für die vielfältigen Forschungsprojekte[1] unserer Abteilung Prozessinformatik und Virtuelle Produktentwicklung stehen die nachfolgend beschriebenen Forschungsbereiche.

2.1 VR-Trainings- und AR-Assistenzsysteme

Virtual-Reality-Trainingssysteme

Virtual Reality (VR) versucht ein möglichst realistisches Abbild der Realität zu generieren. Je nach verwendetem VR-System sind die Nutzer mehr oder weniger stark von der sie umgebenden Realität abgeschottet (entweder allein oder als Gruppe von Nutzern). Vor allem bei der Nutzung von Head Mounted Displays findet dabei fast ausschließlich eine Interaktion innerhalb der virtuellen Umgebung statt. Bei projektiven VR-Systemen, wie bspw. einer CAVE, können mehrere Personen gleichzeitig in der virtuellen Umgebung aber auch untereinander und in beschränktem Maße mit realen Gegenständen interagieren. Auf der anderen Seite bietet die VR nahezu unerschöpfliche Möglichkeiten der Visualisierung. Unter anderem diese Charakteristika führen dazu, dass VR neben der Nutzung als Präsentations- und Marketing Instrument immer häufiger als Trainings- und Schulungswerkzeug genutzt wird.

Die Nutzung von VR als Trainings- und Schulungswerkzeug hat dabei mehrere entscheidende Vorteile. Zum einen können Arbeitsabläufe trainiert werden, wenn die Arbeitsgegenstände (bspw. eine neu beschaffte Maschine) noch nicht vorhanden sind bzw. im Augenblick anderweitig genutzt werden. Darüber hinaus können

[1] Siehe dazu auch: https://www.tu-chemnitz.de/mb/WerkzMasch/lufa/vrcp/#projekte

Arbeitsabläufe trainiert werden, bei denen Fehler in der Ausführung Gefahren für Leib und Leben sowie für die Arbeitsmittel selbst beinhalten. Nicht zu vernachlässigen ist zudem der Aspekt der Ressourcenschonung, indem Arbeitsabläufe trainiert werden können ohne die notwendigen Rohstoffe bzw. Materialien zu verschwenden.

Alle drei genannten Aspekte spielen bei der Ausbildung von Ärzten, hier speziell Chirurgen eine Rolle. So ist beispielsweise das Einsetzen künstlicher Hüften, mit über 220.000 eingesetzten künstlichen Hüften, bezogen auf das Jahr 2017, eine der am häufigsten durchgeführten Operationen Deutschlands. Gegenwärtig erfolgt das Training von Chirurgen für den Einsatz eines künstlichen Hüftgelenkes anhand von Köperspendern und lebenden Tieren. Neben ethischen Aspekten, stellen die geringe Verfügbarkeit und der niedrigere Realitätsgrad Einschränkungen bzgl. des Trainingserfolges dar. Nach diesen Trainings erfolgt ein Anlernen der verschiedenen Operationsschritte im realen Operationsalltag, unter der Anleitung erfahrener Chirurgen. Trotz großer Sorgfalt und Vorsicht kommt es besonders bei diesen angeleiteten OPs zu Fehlern, die teilweise nicht korrigiert werden können. Um das Training der auszubildenden Chirurgen zu verbessern und den Erfolg von Hüftgelenkoperationen zu erhöhen, wurde mit HIPS[2] der weltweit erste Virtual-Reality-basierte (VR) Trainingssimulator mit haptischem Feedback für konventionelle OPs entwickelt [2,3].

Da haptische VR-OP-Trainingssimulatoren derzeit nur für minimalinvasive und nicht für konventionelle OPs existieren, gibt es kein vergleichbares Konkurrenzsystem, mit dem HIPS verglichen werden könnte. Der innovative Kern von HIPS ist die Verwendung des Leichtbauroboters KUKA iiwa als haptisches Interaktionssystem [4]. Der KUKA iiwa erlaubt es Kräfte von mindestens 140 N zu simulieren, während bestehende Haptikgeräte bei 42 N ihre Leistungsgrenze erreichen. Erst durch diesen Sprung bei den darstellbaren Kräften ist es überhaupt möglich die operativen Schritte einer Hüft-OP zu simulieren. Dies geschieht auf der Grundlage eines Echtzeit-Materialmodells, welches den Materialabtrag mit simuliert [5].

Mit HIPS kann realitätsnah, aber gefahrlos und beliebig oft virtuell trainiert werden. Die angehenden Chirurgen verfügen so vor ihrer ersten realen OP bereits über ein großes Erfahrungswissen. Auch erfahrene Chirurgen können von diesem Trainingssimulator profitieren, z.B. durch das Trainieren von komplizierten, selten durchgeführten Eingriffen, bspw. bei anatomischen Besonderheiten des Patienten. Indem sich Chirurgen bereits mit HIPS auf ihre ersten realen OPs vorbereiten, werden weniger Komplikationen entstehen und das Risiko für den Patienten minimiert.

[2] HIPS – HüftImplantat PfannenfräsSimulator war ein Gemeinschaftsprojekt im Rahmen des Kunstgelenk-Netzwerks Endoprothetik mit insgesamt vier Partnern aus Industrie und Forschung welches vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie von 2016 bis 2019 gefördert worden ist.

HIPS überzeugte auch die Jury des Deutschen Instituts für Virtual Reality (DIVR). Das Institut verlieh „HIPS“ den DIVR Award 2019 in der Kategorie „best tech“.Die Jury lobte die hervorragende Qualität, den hohen technologischen Innovationsgrad und den gesellschaftlichen Einfluss der Virtual-Reality-Simulation.

Der Einsatz von VR zur Schulung von Beschäftigten birgt enorme Potenziale hinsichtlich der Verkürzung des Produktentwicklungsprozesses und damit der Einsparung von Kosten und Zeit. Im BMBF-geförderten Verbundvorhaben VirMont[3] werden diese Potentiale nutzbar gemacht. Es wird ein VR-Anlernsystem entwickelt, das es ermöglicht, Beschäftigte bereits vor dem Start der Produktion für die Montage anzulernen. Zur Erstellung des virtuellen Trainingsszenarios werden die Daten/ Ergebnisse aus dem, ebenfalls im Vorhaben entwickelten, VR-Planungssystem genutzt. Das VR-Planungssystem unterstützt die am Produktentwicklungsprozess beteiligten Bereiche der Entwicklung, der Konstruktion, dem Industrial Engineering (Arbeitsplanung und Ergonomiebewertung) und der Arbeitsvorbereitung. Am virtuellen Modell können dabei Prototypen, geplante Prozesse und Arbeitsplätze erstellt und vorab getestet und bewertet werden. Ein Ziel des Vorhabens besteht zudem in der Integration klassischer Bewertungsverfahren wie MTM-Analysen in den virtuellen Planungsprozess.

Darüber hinaus findet das im Planungssystem erstellte Szenario auch einen ganz direkten Weg in den finalen Montagevorgang. Ein Tablet-basiertes Augmented-Reality-Assistenzsystem begleitet den Werker und hilft so, unter anderem, Montage- und Produktionsfehler zu vermeiden und Qualität zu steigern.

Augmented-Reality-Assistenzsysteme

Im Gegensatz zur VR-Technologie reichert Augmented Reality (AR) die reale Umgebung, also beispielsweise den eigenen Arbeitsplatz, mit virtuellen Informationen an. Hier befindet sich der Nutzer weiterhin in der realen Umgebung und kann die virtuellen Informationen zusätzlich nutzen. Deshalb ist AR prädestiniert zur Entwicklung von Assistenzsystemen für verschiedenste industrielle Anwendungsfälle.

Im Forschungsprojekt „ServAR“[4] wird ein AR-System zur Unterstützung der Inbetriebnahme und Instandhaltung von Maschinen entwickelt. Ziele sind die robuste Einsatzfähigkeit in industriellen Umgebungen, die Verbesserung der manuellen Tätigkeiten des Menschen und die Einbeziehung der Instandhaltungsplanung als

[3] VirMont – Mitarbeiterzentriertes Gestalten, Anlernen und Unterstützen menschlicher Arbeit in der Montage mittels VR- und AR-Technologien ist ein Gemeinschaftsprojekt im Rahmen des Förderprogrammes „Zukunft der Arbeit“ welches vom Bundesministerium für Bildung und Forschung von 2018 bis 2021 gefördert wird.

[4] ServAR – Augmented-Reality-basiertes System zur Unterstützung von Inbetriebnahme, Wartung und Instandhaltung an Maschinen ist ein Gemeinschaftsprojekt mit vier Partnern aus Industrie und Forschung welches von 2017 bis 2019 vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördert wird.

wichtigen Unternehmensprozess. Dazu wird eine neue AR-Brille entwickelt, die für den industriellen Einsatz geeignet und für den Instandhalter komfortabel über einen längeren Zeitraum zu tragen ist. Die AR-Anwendung wird auf Basis des von der Professur Werkzeugmaschinenkonstruktion und Umformtechnik entwickelten AR-Frameworks „ARViewer“[5] [6] entworfen und ermöglicht die Nutzung verschiedener Geräte mit unterschiedlichen Visualisierungs- und Interaktionskonzepten als auch die automatisierte Integration der definierten Instandhaltungsdokumentation. Um die Instandhaltungsplanung im Unternehmensprozess effizient zu gestalten, steht die Nutzung von bestehenden Daten und Systemen der Unternehmensinfrastruktur, z. B. dem CAD- und PDM-System, im Fokus.

2.2 Industrielle AR-Wartungsunterstützung

In den letzten Jahren verlagern sich industrielle Augmented Reality (AR)-Anwendungen immer mehr von der Forschung in die produktive Nutzung. Allerdings werden viele von ihnen noch immer ausschließlich in Pilotanwendungen getestet. Nur einige davon sind bereits in der Produktion im Einsatz [7]. Im Rahmen des Horizion2020-Projekts PreCoM[6] (Predictive Cognitive Maintenance Decision Support System) werden AR-Anwendungen zur Wartungsunterstützung entwickelt, die den komplexen Anforderungen der Industrie gerecht sein sollen. Um dies zu erreichen stehen drei verschiedene industrielle Testumgebungen zur Verfügung: eine Zellstoffproduktionsmaschine, die spanende Bearbeitung von Windkraftanlagennaben sowie Schleifprozesse für Hochpräzisionsgetriebe. In den Workshops vor Ort bei den Anwendungspartnern wurden die Produktionsumgebungen, die Arbeitsbedingungen, der aktuelle Wartungsprozess und die gewarteten Maschinen untersucht. Strukturierte Interviews mit Wartungspersonal verdeutlichten ihre Erwartungen an das AR-Unterstützungssystem hinsichtlich seiner Funktionalitäten, Interaktionen und der für die Wartungsunterstützung relevanten Informationen. Die sich daraus ergebenden Anforderung zeigten, dass die Wartungsabteilungen oft unterbesetzt sind. Zudem verfügen oft nur sehr wenige und oft auch nur ältere Mitarbeiter über das Expertenwissen zur Wartung jeder Maschine. Neue oder jüngere Kollegen sind in der Regel zwar für die Instandhaltung von Maschinen qualifiziert, verfügen aber oft nicht über das spezifische Wissen und die Erfahrung zur Durchführung von komplexen Wartungsaufgaben an den Maschinen in der Fertigung. Die Wartungsabteilungen arbeiten oft eng mit ihren Maschinen- und Komponentenlieferanten zusammen, die häufig um Rat gefragt werden und Teile der Wartungsarbeiten durchführen. Wenn Mitarbeiter der Maschinen- und Komponentenlieferanten zu

[5] Seit 2017 sind die Rechte am ARViewer in die Ausgründung auvirea GmbH überführt.

[6] PreCom ist ein Gemeinschaftsprojekt mit 17 Partnern aus sechs Ländern welches im Rahmen der Ausschreibung FOF-09-2017 in Horizon2020 von 2017 bis 2020 von der Europäischen Union gefördert wird. www.precom-project.eu

den Unternehmen kommen, bedeutet dies oft interkontinentale Reisen für einfache und schnelle Reparaturen, die mit einer verbesserten Kommunikation hätten vermieden werden können. In PreCoM wurden zwei Tablet-basierte AR-Anwendungen entwickelt, um beide Probleme zu lösen: AR Guidance System und AR Remote Service System [8,9].

Das AR Guidance System ermöglicht es neuen oder unerfahrenen Wartungsmitarbeitern, Aufgaben mittlerer bis hoher Komplexität durchzuführen, indem Schritt-für-Schritt-Anweisungen befolgt werden, die sonst normalerweise nur die wenigen, sehr erfahrenen Mitarbeiter ausführen würden. Durch die Digitalisierung und Anpassung bestehender papierbasierter Anweisungen und deren Ergänzung mit AR-Visualisierung, Bildern und Videos kann diese Verlagerung der Arbeit und eine Reduzierung der Wartungszeit erreicht werden. Darüber hinaus können die Nutzer Videos und Bilder mit Notizen und Zeichnungen erstellen, die in die Wartungsanweisungen integriert werden können. Im Gegensatz zu bestehenden ähnlichen AR-Anwendungen sind im AR Guidance System Maschinen- und Sensordaten (z.B. Achspositionen) zugänglich, so dass Gang zur Maschinensteuerung vermieden werden kann.

Das AR Remote Service System ermöglicht es dem lokalen Wartungspersonal, einen Sprach-/Videostream mit internen oder externen Experten zu starten. Durch diesen Live Feed ist ein schnellerer und besserer Kommunikationsprozess möglich. Beide Seiten sind außerdem in der Lage, den Videostream mit Zeichnungen, Textnotizen und 3D-Modellen zu ergänzen, Screenshots und Videos zu erstellen sowie Dokumente auszutauschen. Dies sollte zu weniger Reisen von externen Experten und weniger Arbeitsaufwand für die internen Experten führen.

2.3 Digitaler und Virtueller Zwilling

Ein wesentlicher Forschungstrend über viele Branchen und Anwendungsgebiete hinweg ist der Digitale bzw. Virtuelle Zwilling[7], also die Einführung eines digitalen Abbildes von bspw. Maschinen / Anlagen und Produkten aber auch Prozessen.

Im Projekt HEIGHT[8] wird an einer verbesserten Prozesskette, von der Entstehung bis zu hin zur Endbearbeitung, für generativ gefertigte metallische Bauteile geforscht. Dabei wird der gesamte Prozess von einem Virtuellen Zwilling begleitet. Ein wichtiger Kernpunkt dieses Virtuellen Zwillings ist es, neben der Strukturierung von großen Datenmengen und der Erstellung einer durchgängigen Datenintegration zwischen Plan- und Realdaten, die eindeutige und zeitorientierte Verortung der

[7] Zur Definition des Digitalen Zwilling und Abgrenzung des Virtuellen Zwilling dazu, siehe u.a. [10]

[8] Das Projekt InnoTeam HEIGHT – Entwicklung einer hochintegrativen Prozesskette zur generativen Fertigung von metallischen Hochleistungsbauteilen samt dazugehörigem virtuellen Zwilling – wird von 2016 bis 2020 durch die Europäische Union und den Freistaat Sachsen gefördert

Informationen an einen virtuellen 3D-Modell zu ermöglichen. Um den Virtuellen Zwilling im Rahmen der Industrie 4.0 einsetzen zu können, ist es erforderlich eine Echtzeit-Visualisierung für bestimmte Datensätze zu ermöglichen. So kann der im Projekt entwickelte Zwilling mithilfe der Game Engine Unity Informationen aus der NC-Steuerung einer Werkzeugmaschine über das standardisierte OPC-UA-Protokoll lesen und während des Prozesses verschiedene Parameter in Echtzeit überwachen. Beispielshaft können Daten einer ebenfalls im selben Projekt entwickelte Kraftsteuerung der Werkzeugmaschine zur Laufzeit direkt visualisiert und aufgezeichnet werden. In den nächsten Projektschritten soll diese Visualisierung auch als Augmented-Reality-Anwendung umgesetzt werden.

Einen anderen erweiterten Ansatz verfolgt das Projekt „Collaborativer Digitaler Zwilling in Wertschöpfungsnetzwerken (CoTWIN)[9]“. Um der engen Kooperation des Mittelstandes im Maschinen und Anlagenbau Rechnung zu tragen, wird der Ansatz des digitalen Zwillings erweitert, um die Zusammenarbeit in der gesamten Wertschöpfungskette bis hin zum Kunden zu verbessern. Um dies zu ermöglichen wird ein gemeinsames Datenmodell des realen oder geplanten Produkts geschaffen, das aus unterschiedlichen Sichten betrachtet werden kann. Diese Sichten geben beispielsweise Auskunft über verbaute Komponenten, Betriebsdaten, beteiligte Partner und damit verbundene Dienstleistungen oder Visualisierungsdaten. Auf Basis dieses Modells können mit Hilfe einer Wissensbasis unterschiedliche Anwendungsfälle unterstützt werden; z. B. das Finden eines geeigneten Zulieferers oder eine direkte visuell unterstützte Darstellung für den Kunden.

2.4 VR als Entwicklungs- und Testumgebung

Bei der Durchführung von VR-Design-Reviews diente die VR-Umgebung schon immer als Testumgebung, um Maschinen und Anlagen zu analysieren und zu bewerten. Im EU-Projekt uTRUSTit[10] wurde die VR erstmalig als Umgebung für umfangreiche Nutzertests eingesetzt. Ziel war es die im Projekt zu entwickelnden Nutzeroberflächen (zur Interaktion mit Smart Devices und zur Rückmeldung über transferierte Daten) und Smart Devices (wie der intelligente Medizinschrank) bereits in einem frühen Entwicklungsstadium durch verschiedene Nutzergruppen bewerten zu lassen, um so Rückschlüsse für den Entwicklungsprozess ziehen zu können [11]. In den letzten Jahren wurden VR-Umgebungen immer häufiger als Entwicklungs- und Testumgebung eingesetzt. Meist jedoch ohne sich die Frage zu stellen, wie dies überhaupt auf den Nutzer wirkt und welche unterschiedlichen Ausprägungen (bspw.

[9] Das Projekt Co-TWIN – Collaborativer Digitaler Zwilling in Wertschöpfungsnetzwerken – ist ein Gemeinschaftsprojekt mit acht Partnern aus Industrie und Forschung. Es wird von 2019 bis 2022 vom Bundesministerium für Bildung Forschung gefördert.

[10] uTRUSTit – Usable Trust in the Internet of Things war ein Gemeinschaftsprojekt mit Partnern aus Österreich, Norwegen, Schweden, Belgien und Ungarn, welches im Rahmen des 7. Europäischen Rahmenprogramms (FP7) von 2010 bis 2013 durch die Europäische Union gefördert wurde.

hinsichtlich Visualisierungs- oder Interaktionsmethoden) welchen Einfluss auf den Nutzer haben.

Hier setzt das Projekt InnoTeam PRESENCE[11] an, dessen zentrale Fragestellung es ist, wie die Presence, also das Gefühl des Eintauchens in eine virtuelle Welt, erhöht werden kann. Die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse werden unter anderem in einem Methodenkatalog für Presence-Kriterien in verschiedenen Use Cases festgehalten, welcher die Entwicklung von VR- und AR-Anwendungssystemen unterstützen kann.

In einer ersten Studie wurde die Wirkung von verschiedenen Avatarrepräsentationen in einem HMD-basierten, virtuellen Montageszenario mittels einer within-subject-Studie untersucht. Die in dieser Studie erzielten Ergebnisse lassen annehmen, dass bei Szenarien, in denen nicht der gesamte Körper im Fokus der Betrachtungen steht, sondern − etwa bei Montagetätigkeiten − das Hauptaugenmerk nur auf Teilen des virtuellen Körpers liegt, eine Avatar-Visualisierung vergleichsweise minimalistisch umgesetzt werden kann, ohne die Presence und damit auch die Akzeptanz solcher Szenarien negativ zu beeinflussen .

Im Projektverlauf werden vielfältige VR- und AR-Technologien für weitere Studien eingesetzt, beispielsweise soll in die, im Virtual Reality Center Production Engineering installierte 5-Seiten CAVE, ein auf einem realen Fahrrad basierender Fahrradsimulator installiert werden, mit welchem der Presence-Einfluss verschiedener Interaktionsmethoden mit VR-Szenarien untersucht werden wird.

Einen weiteren interessanten Anwendungsfall stellt das Projekt „Virtual-Reality-basierte Beurteilung von manuellen Fertigungsaktivitäten anhand von Methods-Time-Measurement VR-MTM“[12] dar. Ziel des Projektes ist es die Planung und Analyse von manuellen Fertigungsaktivitäten durch den Einsatz von Virtual Reality zu vereinfachen und den Aufwand zu reduzieren, um dies auch kleinen und mittelständischen Unternehmen zu ermöglichen. Dazu wird die Fertigungssituation in Virtual Reality abgebildet und analysiert. Ein Schwerpunkt des Projektes erforscht die Möglichkeiten durchgeführte Bewegungen zu erkennen und automatisch in MTM-Basisbewegungen zu zerlegen. Damit auch kollaborative Arbeitsgänge bzw. längere Laufwege dargestellt werden können, werden in einem zweiten Forschungsbereich die Methoden und Möglichkeiten erforscht, um dies in der virtuellen Umgebung zu ermöglichen. Intensiv betrachtet wird dabei unter anderem die Methode des „Redirected Walking“, das den Nutzer glauben lässt „virtuell“ längere geradlini-

[11] Das InnoTeam PRESENCE wird von 2018 bis 2010 durch die Europäische Union und den Freistaat Sachsen gefördert.

[12] Das Eurostars-Projekt wird gemeinsam von Deutschen und Schweizer Partnern durchgeführt und von 2020 bis 2022 durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung und die Schweiz gefördert.

ge Wege zurückzulegen, während er sich in der Realität in einem kleineren Raum auf gekrümmten Strecken bewegt.

3 Virtuelle Inbetriebnahme

3.1 Stand der Technik

In der modernen Produktion steigt der Anteil an Software in den Maschinen und gewinnt deshalb an Bedeutung für den Produktentstehungsprozess. Zugleich steigen die Erwartungen an kürzere Entwicklungszeiten und eine höhere Produktqualität [12].

In diesem Spannungsfeld stellt die Virtuelle Inbetriebnahme (VIBN) eine Methode zum entwicklungsbegleitenden Testen und späteren in Betrieb nehmen von Komponenten und Funktionen eines Automatisierungssystems dar [13]. Sie verkürzt die Dauer des Produktentstehungsprozesses, siehe Bild 1, indem die Inbetriebnahme teilweise vorgezogen wird.

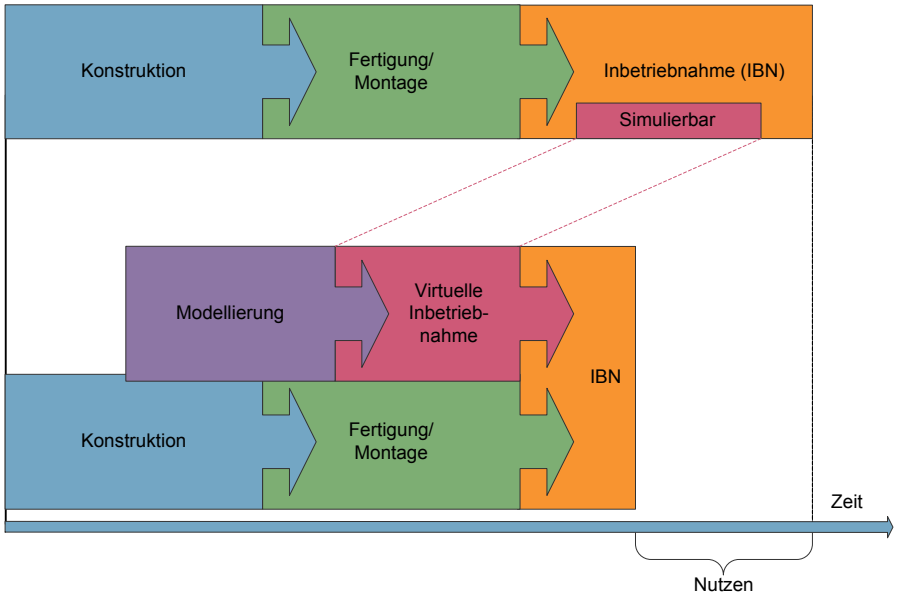


Bild 1: Produktentstehungsprozess mit der virtuellen Inbetriebnahme, angelehnt an [14].

Bei der virtuellen Inbetriebnahme wird die Steuerungssoftware an einen virtuellen Prototyp der Maschine gekoppelt und getestet. Dieser virtuelle Prototyp beinhaltet insbesondere alle Sensoren und Aktuatoren der Maschine, welche mit der Steue-

rungssoftware kommunizieren. Die virtuellen Sensoren generieren Eingangsdaten für die Produktionssoftware, welche diese verarbeitet und daraus Steuerungssignale für die virtuellen Aktuatoren errechnet. Im Sinne eines mechatronischen Produktes wird dieser Kreislauf aus Sensoren, Steuerungssoftware und Aktuatoren durch den Rest der Maschine, dem sogenannten Basissystem, geschlossen (siehe Bild 2).

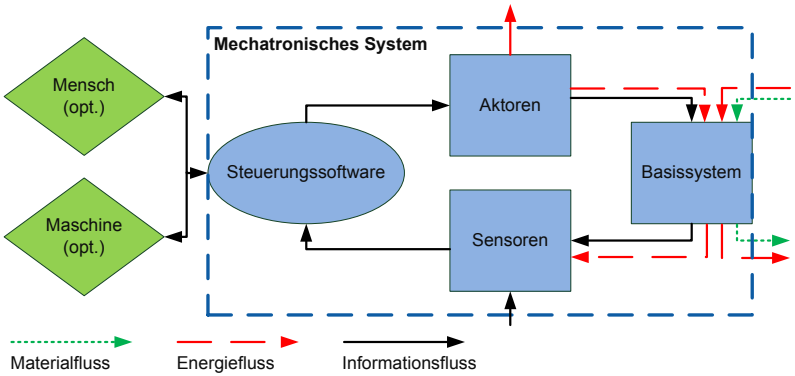


Bild 2: Aufbau eines mechatronischen Systems nach [15]

Die Aktuatoren verändern den Zustand des Basissystems und die Sensoren können diesen wiederum überwachen und Änderungen der Steuerungssoftware melden. Eine optionale Kommunikation der Steuerungssoftware zu Maschinen oder Menschen ist möglich.

Es existieren verschiedene Varianten der virtuellen Inbetriebnahme. Verbreitet sind die Methoden Software-in-the-Loop (SIL) und Hardware-in-the-loop (HIL). Bei der SIL wird die Hardware, auf welcher die Steuerungssoftware ausgeführt wird, emuliert. Demgegenüber wird bei der HIL die originale Hardware zum Ausführen der Steuerungssoftware verwendet. Bei beiden Methoden werden alle Sensoren und Aktuatoren des Systems simuliert. Darüber hinaus gibt es auch die hybride Inbetriebnahme (HIBN). Diese beginnt als SIL und dann werden sukzessive virtuelle gegen reale Komponenten ausgetauscht, sodass die HIBN schlussendlich in die reale Inbetriebnahme übergeht.

Die virtuelle Inbetriebnahme und ihre Varianten werden ebenfalls in anderen technischen Bereichen eingesetzt. In der Robotik werden sie verwendet, um frühzeitig Funktionen von Robotern oder fahrerlosen Transportfahrzeugen zu testen [16, 17]. In der Automobilindustrie wird zumeist der Begriff „Virtuelle Integration“ benutzt [18]. Diese wird eingesetzt, um autonome Fahrfunktionen zu testen und zukünftig den aufwendigen Validierungsprozess zu ermöglichen.

Der darunterliegende Ablauf aller Methoden umfasst die Schritte Modellierung, Planung, Durchführung und Auswertung. Aktuelle Herausforderungen liegen dabei

zum einen im Bereich der Modellierung. Dabei sollen mit so wenig Aufwand wie nötig passende Modelle in der erforderlichen Modellierungstiefe erstellt werden [19]. Zum anderen werden im Bereich der Planung und Durchführung sowie Auswertung vereinheitlichte Prozeduren und Vorgehen benötigt, um eine systematische Nutzung der VIBN zu ermöglichen.

3.2 Anwendung der VIBN im Projekt FOLLOWme

Die virtuelle Inbetriebnahme wurde intensiv im BMBF-geförderten Projekt FOLLOWme eingesetzt. In diesem Projekt wurde ein fahrerloses Transportfahrzeug (FTF) entwickelt, siehe Bild 3. Dieses zeichnet sich durch seine kollaborativen Eigenschaften aus, denn es verfügt neben dem autonomen Modus über einen Folgemodus und ist für die Zusammenarbeit mit dem Menschen konzipiert.

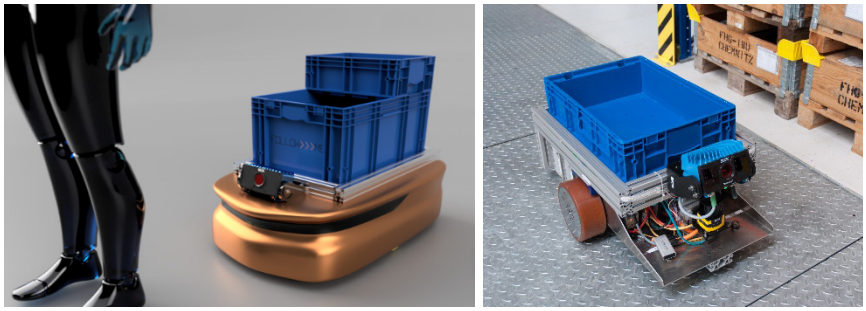


Bild 3: Fahrerloses Transportfahrzeug des Projekts FOLLOWme

Die Komponenten des FTF können dem Aufbau eines mechatronischen Produktes (Bild 2) zugeordnet werden. Dabei kommt der Steuerungssoftware eine zentrale Bedeutung zu, denn sie beinhaltet die Intelligenz des Fahrzeuges. Um die autonomen Fahrfunktionen zu realisieren, muss die Steuerungssoftware das FTF zunächst lokalisieren, das heißt seine Pose im Hallenkoordinatensystem bestimmen. Auf dieser Basis lässt sich eine lokale Pfadplanung und Hindernisvermeidung durchführen, welche sowohl die Zielpose als auch aktuelle Sensordaten berücksichtigt. Zuletzt verfolgt das FTF den errechneten Pfad zum Ziel. Die Algorithmen, welche diese Funktionen ermöglichen, sowie ihre Integration, müssen während der Entwicklung ausgiebig getestet und schlussendlich in Betrieb genommen werden.

Um dieser Herausforderung zu begegnen wurde bereits in frühen Entwicklungsphasen die VIBN eingesetzt. Als Variante wurde zunächst SIL benutzt. Dazu wurde ein Setup entworfen und mittels der Software Unity3D[13] implementiert, siehe Bild 4.

[13] https://unity.com/

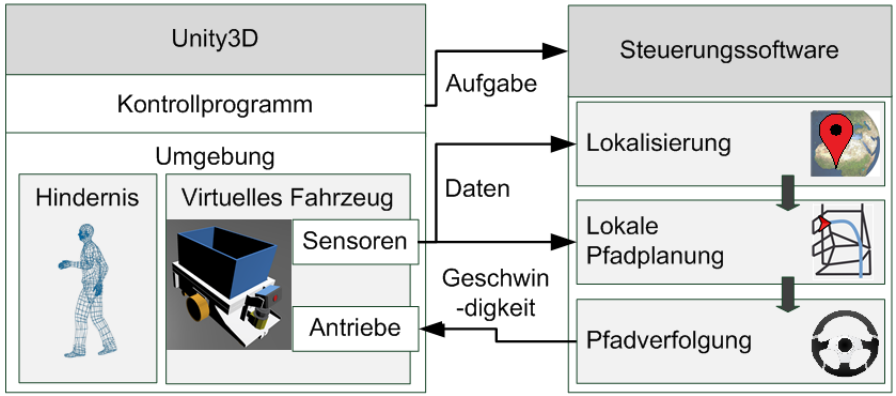


Bild 4: Software-in-the-Loop-Setup in FOLLOWme [20]

Die Steuerungssoftware (rechte Seite Bild 4) beinhaltet die oben genannten Funktionen. In Unity3D (linke Seite Bild 4) wird das Kontrollprogramm nachgebildet, welches Fahraufgaben an die Steuerungssoftware schicken kann. Diese sind vergleichbar mit jenen Aufträgen, welche durch einen Flottenmanager versendet werden, um einen Kommissionierauftrag zu realisieren. Weiterhin wird in Unity3D das virtuelle Fahrzeug simuliert, welches die Sensoren und Antriebe beinhaltet. Die Sensoren erfassen die Zustände des Fahrzeuges und nehmen die Umgebung sowie Hindernisse wahr. Ferner können Sie auch Menschen detektieren, und deren Position als Basis des Folgemodus an die Steuerungssoftware schicken. Diese Daten bilden gemeinsam mit der durch das Kontrollprogramm verschickten Aufgabe die Eingangsdaten der Steuerungssoftware, welche als Resultat den Antrieben eine Sollgeschwindigkeit vorgibt, um die Aufgabe zu erfüllen.

Erster Schritt im Ablauf der SIL ist die Modellbildung des virtuellen Fahrzeuges, der Umgebung und ihrer Objekte. Zum Beispiel ist der light-detection-and-ranging-(LIDAR)-Sensor, welcher eine 2D-Punktwolke generiert, zu modellieren. Der LIDAR-Sensor ist von zentraler Bedeutung für das korrekte Verhalten der Fahrfunktionen. Deshalb ist während der Modellbildung ein spezieller Fokus auf die realitätstreue Emulation des Verhaltens zu setzen und Experimente zur Modellvalidierung durchzuführen [21]. Diese resultierten in Formel 1, welche als mathematisches Modell den LIDAR-Sensor beschreibt.

$$dist_{noisy} = (1 - \epsilon_{max}) * (dist_{real}(\alpha, \alpha_{max}) + \epsilon_{bias} + \epsilon_{ray}) + \epsilon_{max} * dist_{max} \quad (1)$$

Dabei wird in Unity3D die ideale Distanz $dist_{real}$ mit zwei Gaußverteilungen überlagert, welche zufällige und systematische Messfehler des Sensors darstellen. Zusätzlich werden der Auftreffwinkel des Laserstrahls, sowie zufällige Fehlmessungen aufgrund absorbierender Materialien berücksichtigt. Das Modell wurde unter Nut-

zung von Raytracing in Unity3D implementiert. Ebenso wurden die weiteren Modelle aufgebaut, welche meistens lediglich eine 3D-Geometrie mit Collidern besitzen.

Das Setup wurde zum Testen und Optimieren der Algorithmen genutzt. Wesentlicher Bestandteil der lokalen Bahnplanung und Hindernisvermeidung ist beispielsweise ein Fuzzylogik-Regler. Dieser kann nicht nur auf seine korrekte Funktion überprüft werden, sondern mithilfe des SIL-Setups auch optimiert werden. Denn die Parameter des Fuzzylogik-Reglers beeinflussen die Geschwindigkeit des FTFs, den Fehler der Trajektorie (siehe Bild 5) sowie die Stabilität des Reglers.

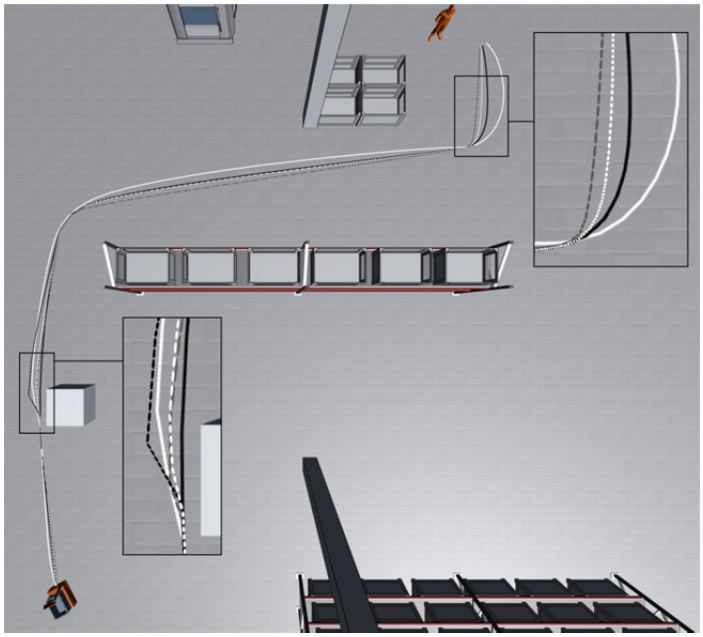


Bild 5: Visualisierte gefahrene Trajektorie mit unterschiedlichen Parametern des Fuzzylogik-Reglers [22]

Durch das Aufzeichnen von relevanten Kriterien, beispielsweise der Pfadlänge und Zeit zum Ziel, während der Durchführung und einer visuellen Beurteilung, können die Parameter in der Phase der Analyse angepasst und verbessert werden. Ebenso wurden auch die weiteren Funktionen der Steuerungssoftware erst modular getestet und später integriert. All dies konnte mithilfe der SIL ohne jeglichen realen Prototyp und ohne Testinfrastruktur durchgeführt werden.

Im Rahmen der Entwicklung und Inbetriebnahme des physischen Prototyps wurde das SIL-Setup als Basis für eine hybride Inbetriebnahme verwendet. Bild 6 zeigt die verschiedenen Stadien des physischen Prototyps.

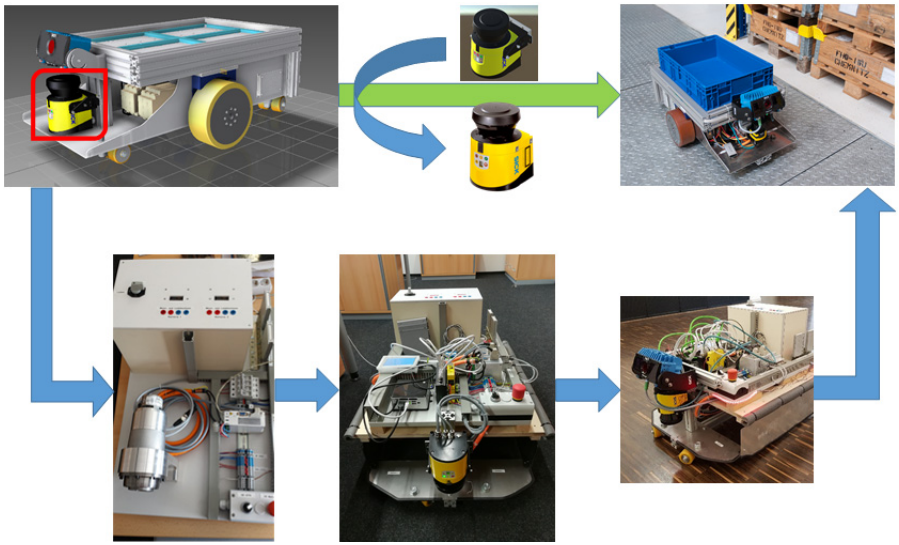


Bild 6: Hybride Inbetriebnahme im Projekt FOLLOWme

Grundidee der hybriden Inbetriebnahme ist das sukzessive Austauschen von einzelnen Komponenten, besonders der Sensoren und Aktuatoren. Im Projekt FOLLOWme wurden zuerst die Aktuatoren ausgetauscht (Bild 6 unten links). Ziel war es zum einen die Leistungselektronik der Antriebe zu parametrieren und gleichzeitig das Modell der virtuellen Antriebe zu validieren. Dazu wurden die Sollgeschwindigkeiten der Steuerungssoftware an die Antriebe geschickt. Deren darauffolgende Bewegung wird von Encodern erfasst, deren Signale wiederum zur Lokalisierung des Fahrzeuges mitgenutzt werden. Dies ermöglicht die Fortbewegung des virtuellen Fahrzeuges in der Unity3D-Umgebung und dadurch einen ersten Vergleich zu den virtuellen Antrieben. Allerdings ist das Verhalten der Antriebsregler von der Last abhängig, weshalb eine finale Parametrierung und Validierung erst nach Fertigstellung des gesamten physischen Prototyps möglich ist. Dann wurden erst der LIDAR-Sensor und anschließend die 3D-Kamera ausgetauscht und weiterhin die Software getestet. Dieser schrittweise Austausch ermöglicht eine genauere Fehlerzuordnung und beschleunigt dadurch den Entwicklungs- und Testprozess. Eine detaillierte Beschreibung des methodischen Vorgehens kann [21] entnommen werden. Resultat war ein getesteter physischer Prototyp des FTF, dessen autonomer Modus im Speziellen validiert worden ist.

Das FTF des Projekts FOLLOWme zeichnet sich über den im Stand der Technik üblichen autonomen Modus hinaus durch sein kollaboratives Design aus. Dieses beinhaltet zum einen den Folgemodus, aber auch eine intuitive Mensch-Technik-Interaktion. Ziel war es deshalb das SIL-Setup zu erweitern und eine Virtual-Reality-

Testumgebung (VRT) zu schaffen, um zum einen den Folgemodus und zum anderen die Mensch-Technik-Interaktion testen und optimieren zu können. Diese umfasst im Wesentlichen den Dreiklang aus Mensch, FTF und Mensch-Technik-Interaktion, siehe Bild 7.

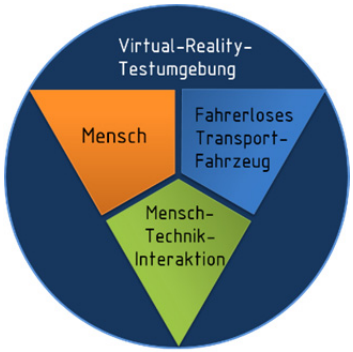


Bild 7: Aufbau der Virtual-Reality-Testumgebung [23]

Das FTF ist bereits fester Bestandteil des Setups. Dieses muss folglich noch um den Menschen und die Mensch-Technik-Interaktion erweitert werden. Der Mensch kann mittels Bewegungserfassung in die VRT integriert werden. Zur Bewegungserfassung existieren verschiedene Ansätze, von denen in der Industrie besonders optische und Inertialsensor-Systeme bevorzugt werden. Beide Systemtypen eignen sich grundsätzlich für die Aufgabe und besitzen verschiedene Vor- und Nachteile. Inertialsensorsysteme besitzen eine unbegrenzte Aufnahmefläche. Optische Systeme zeichnen sich demgegenüber durch ihre absolute Messung im Bezug zur Umgebung aus. Als konkrete Umsetzungen wurden sowohl eine inverse Kinematik auf Basis des HTC Lighthouse Trackings[14] als auch der Inertialsensoranzug MTw Awinda[15] erfolgreich getestet. Als Virtual-Reality-Ausgabegerät wird eine HTC VIVE für beide Bewegungserfassungssysteme verwendet. Bezüglich der Mensch-Technik-Interaktion wurden verschiedene Geräte auf ihre Eignung in einer Vorstudie untersucht [24]. Für das Logistikszenario, welches in FOLLOWme anvisiert ist, wurde dabei von den Testkandidaten eine Smartwatch als das geeignetste Gerät identifiziert. Diese ermöglicht eine intuitive Bedienung des FTFs. Mittels der ausgewählten Systeme für die Bewegungserfassung und Mensch-Technik-Interaktion konnte das Setup für die VRT erstellt werden, siehe Bild 8.

[14] https://www.vive.com

[15] https://www.xsens.com/products/mtw-awinda

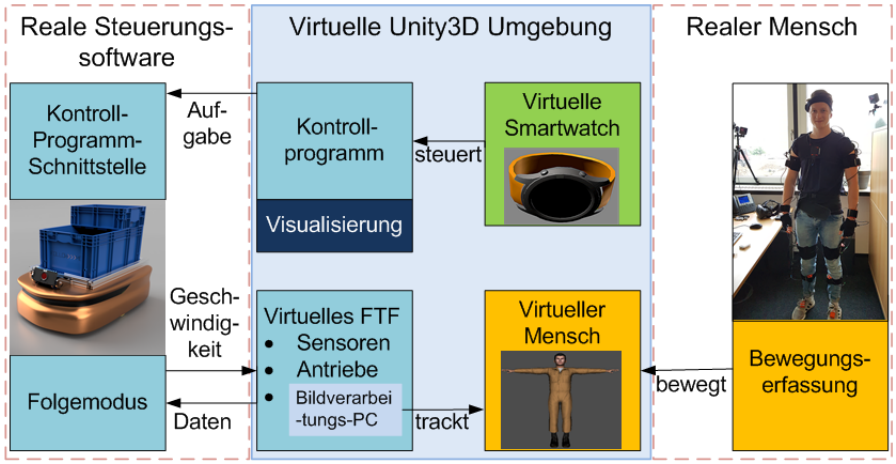


Bild 8: Setup der Virtual-Reality-Testumgebung [25]

Das VRT-Setup ist eine Erweiterung des SIL-Setups, um die Smartwatch als Interaktionsgerät und ein virtuelles Menschmodell, welches mittels Bewegungserfassung animiert wird.

Mithilfe des VRT-Setups kann insbesondere der Folgemodus des FTF getestet und parametriert werden. Dies war relevant, um die Algorithmen des Folgemodus grundsätzlich testen zu können. Darauf aufbauend konnten Parameter, wie beispielsweise der zu haltende Abstand zum Menschen, optimiert werden. Großer Vorteil des Einsatzes von Virtual Reality an dieser Stelle ist, dass der Entwickler einen räumlichen Eindruck von der Auswirkung des Parameters hat. Dadurch kann er bereits den Platzbedarf zwischen virtuellem Menschmodell und FTF mittels der VRT beim Durchführen von Kommissionieraufgaben in die Parameteroptimierung mit einbeziehen. Des Weiteren können User Interfaces für die Smartwatch frühzeitig untersucht und im Ablauf des Kommissionierprozesses erprobt werden. Dies ermöglicht frühzeitige Entscheidungen betreffend der Hardware und des Designs, welche in Unity3D schnell nach Bedarf angepasst werden können.

3.3 Zukünftiger Mehrwert

Die VIBN, besonders in Kombination mit VR und unter Einbeziehung des Menschen, verspricht kürzere Zeiten im Entwicklungsprozess sowie eine höhere Qualität der resultierenden Produkte. Dies ist auf eine verkürzte Inbetriebnahmezeit und die mögliche Parallelisierung von Software- und Hardwareentwicklung zurückzuführen. Das präsentierte Projekt FOLLOWme ist ein Beispiel dieser Vorteile und wäre ohne die VIBN nicht erfolgreich umgesetzt worden. Weiterhin ist ein durchgängiges Testen komplexer Algorithmen, wie die des autonomen Fahrens, ohne Ansätze wie

SIL oder HIL nicht vorstellbar. Besonders sicherheitskritische Funktionen können vorab getestet und validiert werden.

Diesen Vorteilen stehen einige Hürden gegenüber. Im Entwicklungsprozess entsteht ein Mehraufwand für die Erstellung der nötigen Modelle und deren Validierung. Deshalb ist ein Ziel aktueller Forschung den Aufwand der Modellerstellung zu minimieren, bspw. durch adaptive Modellierungstiefen oder die Automatisierung von Prozessen. Ein weiterer Forschungspunkt liegt auf geeigneten Methoden bezüglich der Durchführung der VIBN. Neben der systematischen Erstellung von Testfällen und der dadurch erzielten Abdeckung von möglichen Szenarien oder des Softwarecodes, ist die Übertragbarkeit der virtuellen auf die realen Tests von großer Bedeutung. Denn lediglich wenn die mittels der VIBN gewonnen Resultate belastbar sind, lohnt der Mehraufwand der Modellerstellung und Durchführung.

Zukünftig kann das VRT-Setup erweitert werden, um Ergonomieuntersuchungen frühzeitig durchführen zu können. Daraufhin können weitere Designentscheidungen getroffen werden.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Der Beitrag stellt aktuelle Forschungstrends der Abteilung Prozessinformatik und Virtuelle Produktentwicklung der Professur Werkzeugmaschinen und Umformtechnik im Bereich der virtuellen und erweiterten Realität vor. Vor allem die Mensch-Technik-Interaktion sowie die Wahrnehmung und das Presence-Empfinden des Menschen spielen eine immer zentralere Rolle in der VR- und AR-Forschung. Komplexe Entwicklungen, wie autonom agierende Fahrzeuge und Roboter, wären ohne Techniken der virtuellen Inbetriebnahme undenkbar. In Zukunft werden auch der Wandel der Gesellschaft, welcher durch die Zunahme von autonom agierenden Agenten forciert wird, eine zentrale Rolle im VR- und AR-Bereich einnehmen. Einerseits, da in VR frühzeitig bspw. Interaktion mit und Verhalten von autonomen Fahrzeugen gefahrlos getestet werden können und andererseits, da mittels AR zusätzliche Informationen, bspw. der Zielpfad eines fahrerlosen Fahrzeugs, dem Menschen gegeben werden können und somit die Mensch-Maschine-Interaktion zentral unterstützt und sicherer gestaltet werden kann.

Danksagung

Das Forschungsprojekt “FOLLOWme ILS – Intralogistiksystem mit Fahrerlosen-Transport-Systemen” wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung unterstützt.

Literaturangaben

[1] Brade, J.; Kögel, A.: Presence in Virtual Reality – der Schlüssel zu Akzeptanz und Übertragbarkeit?!. In: Putz, M.; Klimant, P.; Klimant, F. (Hrsg.): VAR² 2019 – Realität erweitern. Tagungsband zur 5. Fachkonferenz zu VR/AR-Technologien in Anwendung und Forschung an der Professur für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik. Technische Universität Chemnitz, 04.-05.12.2019. S. 59-72. ISBN: 978-3-00-064420-7.

[2] Kaluschke, M.; Weller, R.; Zachmann, G.; Pelliccia, L; Lorenz; M.; Klimant, P.; Knopp, S.; Atze, J.P.G.; Möckel, F.: A Virtual Hip Replacement Surgery Simulatorwith Realistic Haptic Feedback. *In 2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)* (IEEE2018), pp. 759-760.

[3] Kaluschke, M.; Weller, R.; Zachmann, G.; Pelliccia, L; Lorenz; M.; Klimant, P.; Knopp, S.; Atze, J.P.G.; Möckel, F.: HIPS - A Virtual Reality Hip Prosthesis Implantation Simulator. *In 2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)* (IEEE2018), pp. 591-592.

[4] Knopp, S.; Lorenz, M.; Pelliccia, L.; Klimant, P.: Using Industrial Robots as Haptic Devices for VR-Training. In *2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)* (IEEE2018), pp. 607-608.

[5] Kaluschke, M.; Weller, R.; Zachmann, G.; Lorenz, M.: A Continuous Material Cutting Model with Haptic Feedback for Medical Simulations. In *2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)* (IEEE2019), pp. 1002-1003.

[6] Klimant, P.; Kollatsch, C.; Schumann, M.: Augmented Reality Solutions in Mechanical Engineering. ASME. International Manufacturing Science and Engineering Conference, Los Angeles, California, USA, June 4-8, 2017. Volume 3: Manufacturing Equipment and Systems doi:10.1115/MSEC2017-2858

[7] Serván, J.; Mas, F.; Menéndez, J.L.; Ríos, J.: Using augmented reality in AIRBUS A400M shop floor assembly work instructions. In AIP Conference Proceedings (AIP2012), pp. 633-640

[8] Kollatsch, C.; Schumann, M.; Klimant, P.; Lorenz, M.: Industrial Augmented Reality: Transferring a Numerical Control Connected Augmented Realty System from Marketing to Maintenance. In 2017 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR-Adjunct) (IEEE2017), pp. 39–41.

[9] Lorenz, M.; Knopp, S.; Klimant, P.: Industrial Augmented Reality: Requirements for an Augmented Reality Maintenance Worker Support System. In 2018 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct) (IEEE2018), pp. 151–153.

[10] Klimant, P.; Klimant, F., Wittstock, E., Kollatsch, C., Putz, M.: Arbeiten mit virtuellen Techniken – Industrieller Einsatz, aktuelle Forschung und zukünftiger Mehrwert. In: Neugebauer, R.; Putz, M.; Klimant, P. (Hrsg.): VAR² 2017 – Realität erweitern. Tagungsband zur 4. Fachkonferenz zu VR/AR-Technologien in Anwendung und Forschung an der Professur für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik. Technische Universität Chemnitz, 06.-07.12.2017. S. 05-18. ISBN: 978-3-00-058419-0.

[11] Pürzel, F.; Lorenz, M.; Wittstock, E.; Wittstock, V.; Neugebauer, R.: Applications of a Modular Interaction Framework for Virtual Reality Testing in a Smart Environment. 2nd CIRP Global Web Conference. Beyond Modern Manufacturing: Technology for the factories of the future. Procedia CIRP (2013) pp. 35-39. DOI: 10.1016/j.procir.2013.06.164

[12] Brökelmann, J.: Systematik der virtuellen Inbetriebnahme von automatisierten Produktionssystemen, Universität Paderborn Dissertation. Paderborn 2014

[13] VDI/VDE 3693 Blatt 1:2016-08-00. Virtuelle Inbetriebnahme – Modellarten und Glossar

[14] Wünsch, G.: Methoden für die virtuelle Inbetriebnahme automatisierter Produktionssysteme, Technische Universität München Dissertation. München 2007

[15] VDI 2206:2004-06. Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme

[16] Metzner, M.; Bönig, J.; Blank, A.; Schäffer, E.; Franke, J.: “Human-In-The-Loop”- Virtual Commissioning of Human-Robot Collaboration Systems. Tagungsband des 3. Kongresses Montage Handhabung Industrieroboter. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg 2018, S. 131-138

[17] Erős, E.; Dahl, M.; Hanna, A.; Albo, A.; Falkman, P.; Bengtsson, K.: Integrated virtual commissioning of a ROS2-based collaborative and intelligent automation system. 2019 24th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA). 2019, S. 407-413

[18] Hakuli, S.; Krug, M.: Virtuelle Integration. In: Winner, H., Hakuli, S., Lotz, F.; Singer, C. (Hrsg.): Handbuch Fahrerassistenzsysteme: Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden 2015, S. 125-138

[19] Lee, C.G.; Park, S.C.: Survey on the virtual commissioning of manufacturing systems. Journal of Computational Design and Engineering 1 (2014) 3, S. 213-222

[20] Allmacher, C.; Klimant, P.: Test Course Creation for Automated Guided Vehicles. In: Putz, M.; Schlegel, A. (Hrsg.): ASIM 2019. Simulation in Pro-duktion und Logistik. Auerbach /Vogtl.: Wissenschaftliche Scripten 2019, S. 305-314

[21] Allmacher, C.; Schumann, M.; Klimant, P.; Putz, M.: Optimizing develop-ment time through hybrid commissioning of control software. Procedia CIRP 79 (2019), S. 450-455

[22] Allmacher, C.; Dudczig, M.; Klimant, P.; Putz, M.: Virtual Prototyping Technologies Enabling Resource-Efficient and Human-Centered Product Development. Procedia Manufacturing 21 (2018), S. 749-756

[23] Allmacher, C., Dudczig, M., Maier, T. u. Klimant, P.: Analyse und Optimierung von Mensch-Maschine-Interaktionen mittels Virtueller Technologien. 25Tth Interdisziplinäre Wissenschaftliche Konferenz Mittweida. Digitalisierung in Industrie und Gesellschaft - Arbeiten und Leben im Umfeld der 4. Industriellen Revolution. 2018, S. 91-94

[24] Brade, J.; Dudczig, M.; Klimant, P.: Using Virtual Prototyping Technologies to Evaluate Human-Machine-Interaction Concepts. Innovation der Innovation - neu gedacht, neu gemacht, in Druck (2018)

[25] Allmacher, C.; Dudczig, M.; Knopp, S.; Klimant, P.: Virtual Reality for Virtual Commissioning of Automated Guided Vehicles. 2019, S. 838-839

Plenarvorträge

Blended Reality - Virtual-/Augmented Reality (VR/AR) im Corporate Learning

Fell, T.[1]

[1] Institute for Immersive Learning

Abstract

Ziel des vorliegenden Kapitels ist es, aufzuzeigen, dass die sogenannte Immersion bei der Virtual Reality (VR) neue Ebenen im Lernen und Arbeiten eröffnet und das Mixed Reality (MR) Lernen und Arbeiten zusammenbringt, wie es bisher noch nicht möglich war. Dies wird insbesondere im Umfeld Industrie 4.0 und der neuen Arbeitswelt – NewWork – eine Rolle spielen und die Basis bilden.

Um kurz die Begriffe Virtual Reality, kurz VR, und Augmented Reality-/Mixed-, kurz AR/MR, vorab für Sie zu erläutern, nur so viel jetzt:

Virtual Reality (VR) bringt den Nutzer an jeden Ort, während Augmented Reality (AR) alles zum Nutzer bringt. Die Begriffe vermischen lediglich in unterschiedlichem Grad des Realen und des Digitalen: Während Augmented-/Mixed- Reality (AR/MR) die Realität um digitale Elemente erweitert, blendet Virtual Reality (VR) die Realität zugunsten des Digitalen vollkommen aus.

1 Einleitung

Am Anfang stehen drei kühne Aussagen:

- Die Auswirkungen von der virtuellen Realität, der erweiterten Realität und der vermischten Realität wird beim Arbeiten und Lernen enorm sein.
- Die virtuelle Realität (VR) und die erweiterte Realität (AR)/vermischte Realität (MR) wird das Arbeiten und Lernen maßgeblich verändern.
- Diese ersten beiden Aussagen werden viel früher in Erfüllung gehen, als Sie denken.

Dass es sich nicht um einen weiteren technischen Hype handelt, soll anhand einiger Beispiele und Überlegungen aufzeigt werden, ebenso wie die Tatsache, dass erhebliche Veränderung auf uns zukommen werden. Insbesondere wenn es um sogenannte immersiven Lernerfahrungen geht. Aber auch im Umfeld von Industrie

4.0 und NewWork sind die Veränderungen in manchen Organisationen schon spürbar. Was hierbei Immersion bedeutet, wird im Anschluss erläutert.

Darüber hinaus wird die Diskussion Arbeiten=Lernen, Lernen=Arbeiten mit den neuen Möglichkeiten der erweiterten und der vermischten Realität (AR/MR) neu belebt. Diese schaffen Lernszenarien die vor ein bis zwei Jahren nicht möglich gewesen wären. Dies zahlt auch in die zurückliegenden Interpretationen der 70:20:10-Formel ein. Die dort mit 70% angenommenen informellen Lernprozesse werden insbesondere durch die Mixed Reality (MR) erweitert und bilden auch für Zielgruppen im Umfeld Blue-Color, die bisher garkeinen Zugang zu PC/Notebooks hatten eine neue Grundlage und schaffen Möglichkeiten.

1.1 Warum jetzt gerade? – Rahmen verändern sich

Warum spielt gerade jetzt das Thema VR und AR eine Rolle in der Diskussion im Umfeld Lernen und Bildung?

Die Unternehmen stecken im notwendigen Wandlungsprozess. Die “digitale“ Business Transformation betrifft alle Bereiche im Unternehmen. Neue Prozesse, Dienstleistungen und das Verständnis von Arbeiten in der Zukunft entsteht. Ansätze wie Industrie 4.0, Arbeitswelt 4.0 und Leadership 2.0 gehen in den Organisationen um. Dabei spielt in den meisten Fällen die Digitalisierung eine wichtige Rolle in den Überlegungen des Wandels. Digitale Zwillinge von Maschinen und Anlagen entstehen, neue Wartungs- und Supportprozesse halten Einzug, neue Dienstleistungen und Services gegenüber den Kunden entstehen. Dies führt in vielen Fällen zu neuen Anforderungen der Arbeitswelt, des Arbeitsplatzes und der notwendigen technischen Unterstützung. Die Skills der Mitarbeitenden verändern sich, neue Kompetenzen, Fertigkeiten und Fähigkeiten werden benötigt. Die Arbeit wird meist komplexer und Zusammenhänge vielschichtiger.

Neue Anforderungen an Mensch und Maschine entstehen. Die reale Welt wird zunehmend digital und damit virtuell. Maschinen können von jedem Punkt der Welt gelenkt und beeinflusst werden. Teilweise autonome Prozesse müssen nur bei Bedarf gewartet werden, die Vernetzung der “Internet of Things“ schreitet voran, die Prozesse funktionieren damit zunehmend Predictive und basieren auf Smart Data und künstlicher Intelligenz. Damit ist klar, dass auch die Schnittstellen Mensch und Maschine sich wandeln muss. Ganz gleich, ob es um die Unterstützung bei der Planung, beim Bau, beim Beratungs-/Verkaufsprozess, bei Support/Wartung und bei der täglichen Betreuung von Anlagen, Maschinen und Fertigungsprozessen geht.

Überall halten Digitalisierung und neue Schnittstellen der Unterstützung Einzug. Sprachassistenten, Roboter, intelligente Systeme und automatisierte Prozesse. Eingaben über Tastatur, Maus oder einen nicht mobilen Bildschirm sind nicht mehr

zielführend. Virtuelle Realität und digitale Informationen im Kontext sind sinnvoll und not- wendig geworden. Gleichzeitig haben sich die technischen Möglichkeiten auch hier, was die Darstellung der virtuellen Welten angeht, maßgeblich verändert. Consumer- Produkte, wie z.B. die Oculus Rift, sind für 350 Euro kaufbar geworden. Die Qualität steigt von Monat zu Monat, Funktionen im AR-Umfeld halten Einzug auf jedem Smartphone. Der Zugang zur virtuellen Welt auf der Nase wird smarter und für jeden möglich. Auch im Lern- und Bildungskontext. Dazu werden die Begrifflichkeiten in der Folge definiert.

1.2 Was bedeutet nun VR/AR und MR?

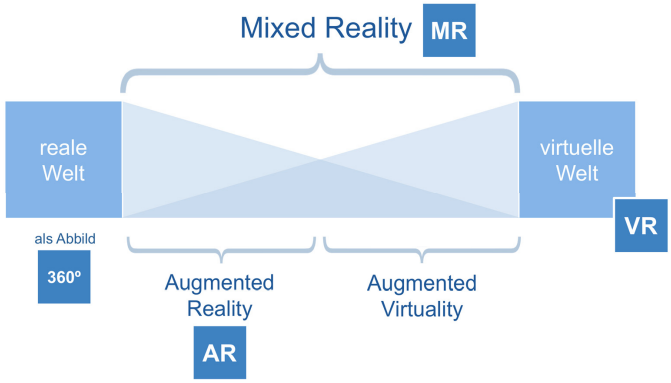


Bild 1: Torsten Fell - angelehnt an Reality–Virtuality Continuum von Milgram and Kishino's (1994)

In Bild 1 werden Formen des Reality-Virtuality-Continuums nach dem Grad der Realität bzw. Virtualität sortiert. Links steht hierbei die reale Umwelt, also jene, die vollkommen auf virtuelle Elemente verzichtet. Als Gegensatz auf der rechten Seite ist die virtuelle Umwelt (oft auch “Virtual Reality”), die ausschließlich aus virtuellen Elementen besteht und gänzlich auf reale Elemente verzichtet.

Bei allem, was zwischen diesen beiden Extremen liegt, wird von der Mixed Reality (MR) gesprochen. Es wird deutlich, dass Augmented Reality (AR) eine Form der Mixed Reality (MR) ist. 360-Grad Videos oder Foto stellen das Abbild der Realität dar. Der Lerner ist aber nicht aktiver Teil dieses virtuellen Abbilds, sondern nur Zuschauer. Es ist kaum Interaktion hier möglich. Die Immersion ist somit in der VR am größten.

1.3 Immersion das unbekannte Wesen

Was steckt nun hinter den neuen Möglichkeiten? Welcher Faktor ist hier entscheidend?

Virtual Reality erlaubt das Abtauchen in eine virtuelle Welt, mit der ich interagieren kann, was mir das Gefühl vermittelt, aktiver Teil der wahrgenommenen Welt zu sein, auch Immersion genannt. Diese immersive Lernerfahrungen oder neudeutsch “Experience“ ermöglicht es, neue Lernszenarien abzubilden. Augmented- und Mixed-Reality(AR/MR) hingegen erweitern unsere reale Welt mit digitalen Objekten und Informationen. Je nach Einsatzgebiet und verfolgtem Ziel kann die Technologie rund um Augmented- und Mixed-Reality für Lernprozess und arbeitsplatznahe Performance-Support- oder Wartungs-/Service-Prozesse eingesetzt werden.

In der virtuellen Umgebung werden Sinne, wie visuelle Wahrnehmung, akustische und taktile Reize aktiviert. Hierbei ist das Ziel der VR dem Anwender ein Gefühl zu geben, dass er sich in der virtuellen Umgebung befinden. Die Tiefe der Wahrnehmung hängt davon ab, wie intensiv die Sinne (Sehen, Hören und Fühlen) in einer virtuellen Welt während einer Simulation wahrgenommen werden und wie interaktiv der Lerner in dieser virtuellen Welt eingreifen, Objekte manipulieren und damit die virtuelle Welt verändern kann und direktes Feedback bekommt.

Die Intensität des Gefühls des Eintauchens in die virtuelle Welt hängt jedoch nicht zwingend mit der Abbildung möglichst realistischer grafischer Umgebungen zusammen. Fiktive Umgebungen, verfälschtes physisches Verhalten von Objekten oder Situationen, die in der realen Welt unmöglich erscheinen, sind eher als Teil der Geschichte (Story-Telling) zu sehen, welche innerhalb der VR erzählt wird. Je spannen- der die Geschichte ist, je neugieriger Nutzer auf die neue virtuelle Umgebung sind, je mehr Interaktionsmöglichkeiten zur Verfügung stehen, desto höher ist das Gefühl der Immersion. Sofern der Einstieg für den Nutzer hinsichtlich Bewegung, Sicht und Interaktion mit Objekten einfach verständlich gestaltet wird, kann die Immersion durch besondere, thematisch fesselnde und interessante Eigenschaften der virtuellen Umgebung sogar noch gesteigert werden. Immer mehr werden auch im Lernumfeld hier Gamification-Elemente eingesetzt.

Natürlich werden auch möglichst reale Abbildungen der Wirklichkeit verwendet, z.B. wenn es um das Abbilden technischer Anlagen oder Maschinen in Lebensgröße geht. In einem physischen Raum können so per Auswahl beliebige Maschinen und Anlagen interaktiv abgebildet werden. Dabei können unterschiedliche Prozesse durchlaufen werden. Der Lerner schlüpft jedes Mal in eine andere Rolle, die von ihm als Realität wahrgenommen wird. Er identifiziert sich hier mit der Rolle und Handlung.

Da mit der virtuellen Realität die wahrgenommene Wirklichkeit des Nutzers ersetzt wird, geht hier eine enorme Verantwortung für die Gestaltung der Learning Experience einher.

Das Verwenden von Betroffenheit, Empathie und Schockmomenten hinterlässt erheblich mehr Wirkung als dies bisher in elektronischen Lernmitteln überhaupt möglich war. Sehr schön zu sehen ist dies, beim Einsatz von virtuellen Welten bei der Phobie-Behandlung wie Höhenangst oder Platzangst. Die körperlichen Symp-

tome treten sofort bei den Nutzern ein: Schweiß, Blutdruck-Anstieg, Pulsrassen usw. – die Experience geht also unter die Haut. Natürlich wollen wir dies auch beim Lernen – mit Bedacht und sinnvollem Einsatz bitte. Gefahrensituationen zu simulieren, ist natürlich in der VR möglich und auch sinnvoll, wenn diese die Auswirkungen berücksichtigen und mit Bedacht erzählt und erlebbar werden.

1.4 Abgrenzung AR/MR zu VR

Während der Verwendung von VR tauchen Nutzer vollständig in eine künstliche Welt ein und sehen die reale Welt um sich herum nicht. AR hingegen erlaubt dem Nutzer, die reale Welt zu sehen, die durch virtuelle Objekte und Informationen ergänzt wird. Dementsprechend erweitert AR die Realität, während VR diese ersetzt.

Die häufigsten AR Anwendungen konzentrieren sich aktuell meist auf die Einblendung von Zusatzinformationen in das Sichtfeld des Nutzers, jedoch ist AR nicht auf die Erweiterung der Optik eines Nutzers begrenzt.

Augmented Reality (AR) erweitert die Wahrnehmung der realen Welt um einzelne virtuelle Aspekte, wie z. B. Richtungspfeile, die bei AR-Navigationsanwendungen über das Sichtfeld auf den Weg gelegt werden.

Virtual Reality bietet dem Nutzer visuell sowie z. T. auch akustisch eine ganzheitliche Erfahrung und ist – im Gegensatz zu AR – in den meisten Fällen unabhängig vom aktuellen Standort bzw. der aktuellen Situation des Nutzers anwendbar.

Mixed Reality und AR finden ihren Einsatz in erster Linie in den Arbeitsprozessen. Im eigentlichen Sinne geht es hier um Performance Support. In der Kommunikation stehen Experten, zentrale Service-/Support-Einheiten und Kollegen im Fokus.

2 Lernen in und mit der virtuellen Realität

If you tell me, I will listen. If you show me, I will see.

But if you let me experience, I will learn.

KONFUZIUS, *551 v. Chr. †479 v. Chr

Bei VR bietet sich eine konstruktivistisch geprägte Auffassung des Lernens z.B. nach Prof. Mandl, sowie der problemorientierte Ansatz zur Gestaltung von Lernumgebungen (Reinmann, Rothmeier & Mandl, 2001) an. Dabei sind folgende Sichtweisen prägend:

- Lernen anhand von authentischen Problemen
- Lernen in multiplen Kontexten
- Lernen in einem sozialen Kontext – mit Multi-User-VR möglich
- Berücksichtigung mehrerer Sichtweisen – Rollen und Perspektivenwechsel

- Lernen mit instruktionaler Unterstützung – durch Trainer/Coach oder Experten (auch virtuelle Avatare)

Auch zu anderen Ansätzen lassen sich Verbindungen herstellen. Rolf Arnold spricht in seinem Ansatz der Ermöglichungsdidaktik von der Inszenierung von Erfahrungsräumen, die sich an den Lerner anpassen und es ihm erlauben, sich selbstorganisiert zu bewegen. Damit schließt sich auch der Kreis zur aktuellen Diskussion zur Kompetenzentwicklung. Werner Sauter spricht hier von mehreren Stufen: der Praxis-, Coaching- und der Trainingsstufe. Alle lassen sich heut mit vertretbarem Aufwand abbilden und realisieren. Fragen Sie sich bitte bei einer Realisierung immer, was wäre ist die Alter- native? Sie werden in vielen Fällen dann tatsächlich bei VR landen.

Leibniz-Preisträger Onur Güntürkün drückte es auf der Learntec 2016 wie folgt aus: “Das menschliche Gehirn lernt nicht nur Inhalte, es lernt Situationen!”. In der Situation vereinen sich das kognitive Wissen und die Gefühle mit unbewusst wahrgenommen Erlebnissen zu einer Erfahrung. Also mit einer gut gemachten Learning Experience in einer virtuellen Welt, kann dies geleistet werden.

Daraus ergeben sich für das Lernen neue Möglichkeiten und neue Szenarien. Die Handlungsorientierung und die Wahrnehmung des Erlebten ermöglichen eine Steigerung des Lernerfolgs und der Lernerfahrung. Die dazu in Konkurrenz stehenden WBTs oder Lernvideos stellen eher passive Lernangebote dar – meist ohne viel Interaktionsmöglichkeiten und natürlich fehlender Immersion für den Lerner. Selbst eine 3D-Lernwelt am PC/Notebook kann auf keinen Fall die wahrgenommene Immersion in er VR erreichen.

2.1 Vorteile einer virtuellen Lernwelt

Der Vorteil von virtuellen (virtual), vermischten (mixed) und erweiterten (augmented) Lernumgebungen:

- Sie sprechen alle Sinne an.
- Sie erhöhen die Motivation und das Engagement des Lerners.
- Sie unterstützen das selbstgesteuerte Lernen.
- Sie fördern die Zusammenarbeit.
- Sie verbessern die Lernleistung und die Verankerung im Langzeitgedächtnis.
- Sie machen räumliche Strukturen nachvollziehbar.

Dies sind nur einige Vorteile die genannt werden können, es gäbe noch sehr viel mehr. Ich will drei weitere besonders hervorheben und anhand von Beispielen verdeutlichen:

- **Lernen durch Perspektivenwechsel**

Stellen Sie sich vor, Sie stehen in einer Chemieanlage und wollen das Verfahren verstehen. In Rohren fließen Flüssigkeiten, deren Zusammensetzung Sie gerne kennen würden. In der virtuellen Welt kein Problem. Sie gehen mit auf- gesetzter VR-Brille einfach durch die Rohrummantelung in die Rohrleitung, Sie sehen die Flüssigkeit fließen, und die ersten Informationen werden eingeblendet. Durch eine einfache Kopfbewegung fordern Sie ein noch genaueres Bild und sind plötzlich auf Molekularebene. Sie stehen direkt neben den Bausteinen der Flüssigkeit und erhalten ein genaues Bild von deren chemischer Zusammensetzung. Dies ist entdeckendes Lernen, oder?

Ein vergleichbares Beispiel ist auch das Eintauchen in den menschlichen Blutkreislauf, mit der Möglichkeit, die Blutplasma-Teilchen virtuell anfassen zu können und eine Erklärung des gesamten Kreislaufsystems zu erhalten.

Auch die Problematik der Produktion von Plastik könnte anschaulich und als Erlebnis gestaltetet werden: von der Entstehung, über die Nutzung, hin zur Entsorgung im Meer, wo die kleinen Plastikpartikel in die Mägen von Fischen gelangen, die dann wiederum von Vögeln gefressen werden.

- **Lernen durch Rollenwechsel**

Sie können in der virtuellen Realität andere Rollen einnehmen, wobei Sie nicht, wie bei einem Video, die Situation von außen betrachten, sondern Sie erleben die Situation aus der Sicht der angenommenen Rolle. Dies schafft Empathie für die erlebte Rolle und sorgt für ein Verständnis, das sonst nicht gegeben wäre.

Die Möglichkeiten für weitere Anwendungen sind unbegrenzt. Verkaufs- oder Führungsgespräche können in jeder Konstellation und jeder Rolle erfahrbar gemacht werden, die Welt kann aus Sicht eines Kindes mit den entsprechenden räumlichen Verhältnissen und Abmessungen gezeigt und erlebt werden oder aus Sicht eines Menschen mit Behinderung oder einer anderen Hautfarbe.

- **Lernen durch Bewegung – Motorisches Lernen**

Das Lernen einer Bewegung, eines Handgriffs, einer Abfolge von Bewegungsabläufen oder einfach nur die Bedienung eines technischen Geräts steht beim motorischen Lernen im Vordergrund. Anders als in einem WBT geschieht dies nicht mit der Maus oder an Mobile Devices durch Touchgesten, sondern durch genau die Bewegungen, die auch im realen Arbeitsprozess gefordert werden. Die Vorteile liegen auf der Hand: Bei Sicherheitstrainings kann auch mal was schiefgehen, bei dem Mixen von Chemikalien auch, und ebenso beim Bedienen von Maschinen. In der virtuellen Welt ereignen sich diese Unglücke gleichfalls, aber sie sind nicht real. Da fällt keine echte Produktion aus, und es kommt auch niemand zu Schaden. Hier

kann es nach einer Feedback-Runde gleich weitergehen und alles noch einmal geübt werden.

Ein schönes Beispiel ist das virtuelle Jonglieren, bei dem der Lerner einfach die Erdanziehungskraft verringern kann, um den Bewegungsablauf zu verlang- samen, und so leichter üben kann. Nach und nach kann dann eine Anpassung an die reale Geschwindigkeit vorgenommen werden. Auch das frustrierende Aufheben der Bälle vom Boden erledigt sich durch einen Klick am Controller, mit dem wieder alle Bälle auf dem Tisch liegen.

Auch in der Medizin können so neue Operationsverfahren erlernt und erprobt werden und das ohne Tierversuche. Das Handhaben von Instrumenten und Werkzeugen in einer OP kann so in einer realitätsnahen Umgebung erlernt werden, wenn es gut gemacht ist in einem höheren Level mit einem Problem des Patienten, bei der ich richtig reagieren muss und im Stress bin.

2.2 Neue Rahmenbedingungen im Lernen mit und in VR

Die oben geschilderten Beispiele führen zu neuen Herausforderungen im Umfeld Learning. Neue Skills zur Begleitung sind notwendig, neue Rahmenbedingungen (VR-Learning-Lab) und Prozesse (Anbindung an LMS) unabdingbar. Auch wenn heute noch einige technische Rahmenbedingungen nicht ideal sind, hier ist z.B. bei einer VR-Brille noch das Kabel zum PC zu nennen oder eine bestimmte Betriebssystemversion, wenn es um AR geht. Diese Punkte werden aber in den nächsten Wochen und Monate schnell der Vergangenheit angehören. Wenn es einigen Menschen noch schlecht wird und die Motion Sickness sie packt, dies wird durch immer wieder bessere Darstellungsmöglichkeiten und Rechengeschwindigkeit in Zukunft der Vergangenheit angehören.

Eine neue Lernmethode Virtual Reality (VR) / Augmented Reality (AR) ist im Repertoire von Blended Learning, Video Learning, Social Learning, Mobile Learning usw. dazugekommen. Sie bedarf neuer Lernkonzepte und Rahmenbedingungen. Ich empfehle jedem Unternehmen hier schnell eigene Erfahrungen zu sammeln und sich aktiv zu informieren, was der Einsatz in der eigenen Organisation bedeuten könnte.

Alle aktuellen Trendreports enthalten das Thema VR/AR als eines der zukünftigen Themen. Es ist an uns diese Lernmethode sinnvolle und gezielt einzusetzen. Ob in der Schule, bei der die Praxis in das Klassenzimmer Einzug hält oder im Unternehmen bei der realen Simulation von Arbeits- und Teamprozessen.

Probieren Sie selber die Unterschiedlichen Umsetzungsarten von VR/AR aus und diskutieren Sie dann die Möglichkeiten und Grenzen für Ihr Unternehmen und Ihre Zielgruppe.

2.3 Praxisbeispiele aus unterschiedlichen Bereichen

Wartungs- und Supportprozesse in der Industrie

In der Industrie sind weitgehende Anwendungsszenarien für Virtual Reality und 360 Grad vorstellbar. Bei der MR-Technologie sind vor allem Wartungs- und Supportprozesse interessant. Erste Beispiele zeigen auch, dass die Integration von Mixed Reality in Kundengespräche einen Mehrwert bieten kann. Da die Industrie zumeist über 3D- Modelle ihrer Geräte und Anlagen verfügt, ist eine Übernahme in die Virtual Reality relativ einfach zu bewerkstelligen. Die Mitarbeitenden können so an "echten" virtuellen Abbildungen ihrer Geräte und Anlagen oder Maschinen in der virtuellen Welt lernen und Arbeitsprozesse kennen- und Zusammenhänge verstehen lernen. Neue Perspektiven geben ein neues Verständnis für komplexe Abläufe. Alle Anbieter von Landwirtschaftsmaschinen, Baufahrzeugen, Logistik-Fahrzeugen und Sonderanlagenbau sollten sich schnell die Möglichkeiten der unterschiedlichen Macharten von Virtual Reality ansehen. Selbst im Produkt-Design werden bereits VR-Lösungen eingesetzt.

Sicherheitsunterweisungen in der Chemie-Branche

Neben Themenfeldern in der Ausbildung – angefangen bei Grundlagenwissen von der Zusammensetzung von Molekülen oder der Simulation von Laboren, in denen interaktiv chemische Elemente zusammen gemixt werden können – sind meist Sicherheitsunterweisungen und das Abbilden von kritischen Situationen ein Thema.

Weiterhin werden Anwendungsverfahren und Anlagen simuliert und hier insbesondere Kernprozesse, wie der Betrieb, der Service oder die Wartung, interaktiv dargestellt. Hierbei sind die Anlagen virtuell begehbar, und der Mitarbeitende kann interaktiv die Anlage bedienen und bekommt, wenn gewünscht, direkt Feedback. Unterschiedliche Szenarien erlauben, für unterschiedliche Themenfelder und Rollen an der "virtuellen" Anlage zu trainieren. Und das alles ohne wirkliche Gefahr.

Anders sieht es beim Einsatz von Mixed Reality aus. Hier können in den Anlagen echte Service-/Supportprozesse durchgeführt werden. Experten können sich standortüber- greifend, z. B. per Skype-Session, hinzuschalten und bei Störungen von Anlagen helfen. Über MR kann auch virtuelle Anlagenplanung durchgeführt werden, und es können so schnell neue Werke begehbar und optimiert werden.

Logistik-Branche

Im Umfeld der Logistik geht es um die Fahrzeuge und deren Bedienung, bis hin zu deren richtigen Be- und Entladung. Auch können Wartungs- oder Konfigurationsprozesse geübt werden. Insbesondere, wo große Maschinen im Einsatz sind, bietet VR einen klaren Vorteil: Auf kleinstem Raum kann die Bedienung großer Maschinen simuliert und damit geschult werden, ohne dass diese Maschine physisch vor Ort vorhanden sein müssen. Mit Mixed Reality ist eine Unterstützung von Service- und Supportprozessen in einer modernen, vernetzen Welt möglich. Auch kann die

Leistungsfähigkeit von Pickingsystemen mit AR-Unterstützung deutlich gesteigert werden.

2.4 Wie sieht die Zukunft im VR Lernen aus?

Einige Unternehmen haben bereits erste Learning Experience in virtuellen Welten um- gesetzt und sammeln Erfahrungen diese für Ihre Zielgruppen zu gestalten. Themen gibt es erfahrungsmäßig in den Unternehmen mehr als genug. Auch stehen die Kosten und der Nutzen meist im Einklang. Die Entwicklung von VR und AR Learning Content wird in Zukunft über Autorenwerkzeuge weiter unterstützt. Heute wird dies punktuell bereits ermöglicht. Z.B. bei der Erstellung von 360Grad-Learning-Apps, diese sind mit Hilfe von Autorensystem in wenigen Stunden realisierbar.

Um ansprechende und interaktive Lernsetting zu erstellen, bedarf es heute noch einigen Aufwand bei der Optimierung der meist vorhandenen CAD/CAM 3D-Modellen. Dies wird in Zukunft einfacher und automatisiert erfolgen können. Das wird die Kosten erheblich verringern.

3 Arbeitsprozesse mit und in VR und AR/MR

3.1 Arbeitswelt 4.0

Neben den aufgezeigten Veränderungen im Lernumfeld, integrieren zunehmend Organisationen, meist im Zusammenhang mit Ihren Digital Transformation – Strategie - die neuen Technologien im Umfeld VR/AR/MR. Hier wird die gesamte Bandbreite von Einsatzszenarien als Leuchtturmprojekte genutzt.

Angefangen von Planungsprozessen bei neuen Anlagen, Produkten oder Prozessen, bis zur gemeinsamen kreativen Prozessen in der Produktentwicklung oder im Verkaufs- und Beratungsprozess. Auch in der Produktion direkt werden AR/MR-Technologien eingesetzt. Im Moment entstehen an vielen Orten erste Umsetzungen, wie VR/AR in einer neuen NewWork-Welt integriert werden kann. Auch werden erste räumliche Anpassungen für den Einsatz mit und in VR/AR realisiert. Interne VR-Labs entstehen und bieten den Beteiligten die Möglichkeit sich in der virtuellen Umgebung zu bewegen und einzutauchen. AR und MR ziehen in den Arbeitsprozessen ein und unterstützen konkrete Handlungen und Abläufe.

Wir müssen also, wenn wir über eine neue Arbeitswelt 4.0 und Industrie 4.0 nachdenken, die Einsatzvarianten von Virtual Reality (VR) und Augmented Reality (AR) mit in die Überlegungen einbeziehen. Insbesondere auch deshalb, weil die Technologie sich weiter entwickeln werden: permanente Verbesserungen der Qualität, noch mehr Funktionen, leichtere und kleinere Lösungen. Nicht zuletzt haben die

Ankündigungen einer Hololens 2 von Mircosoft hier aufgezeigt in welche Richtung es gehen kann.

Organisationen, die sich bereits jetzt mit VR/AR-Einsatzszenarien und VR/AR-Lösungen beschäftigen, haben in Zukunft einen klaren Wissensvorsprung. In der Industrie 4.0 sind Beratungs- und Verkaufsprozesse direkt mit der Produktion verbunden. Wartung und Service-/Support werden sich grundlegend ändern. Predictive Data und intelligente Vernetzung im Umfeld IoT spielen hier die zentralen Rollen. Das “Dazuschalten” eines Experten erleichtert es jedem Service-Techniker – egal an welchem Standort der Welt, schnell und kompetent Probleme beim Kunden zu lösen. So können z.B. die Bearbeitungszeiten im Servicebereich und die Qualität der Fehlersuche nachweislich verbessert werden.

3.2 Beispiele und Anwendungsszenarien

Die folgenden Beispiele sollen die Bandbreite der Einsatzszenarien aufzeigen und bieten Anknüpfungspunkte für die eigene Organisation.

Anlagenplanung

Die Arbeit mit der virtuellen Realität gehört in Zukunft zum Alltag. Teams erstellen digitale Abbilder von Anlagen; diese virtuellen Maschinen werden dann programmiert. Funktioniert alles wie gewünscht, wird die Software auf die echte Anlage übertragen. Das spart Zeit und Geld, zudem können Kunden durch komplexe, in der Realität nicht einsehbare Produktionszellen spazieren und ihre Anlage in allen Details bei der Arbeit betrachten.

So können Kunden mit der VR-Brille ihr zukünftiges Lagerhaus oder Produktionshalle erkunden, sich ansehen, wie Mitarbeiter mit den Maschinen interagieren oder testen, wie Zugangswege und Leitungen optimal positioniert werden können.

Auch können Sicherheitstraining direkt schon in der VR durchgeführt werden, bevor der erste Stein in der Realität steht.

Ein schönes Beispiel bildet im Moment ein Projekt, bei dem der Hamburger Hafen abgebildet und neue Teile simuliert werden. Hier werden sowohl bestehende Teile digitalisiert und mit echten Daten in einer VR/MR-Anwendung dargestellt, wie auch anstehende neue Projekte virtuell integriert und damit simuliert.

Ein weiteres Beispiel kommt aus dem Chemie-Umfeld. Hier werden neue Anlagen konzipiert und Verfahrenstechniken simuliert. Die Ausbildung der Betriebsfeuerwehr gleich mit realisiert.

Einsatz von Material, Prozesswege von Material und Produkten und Sicherheitskonzepte können in Lebensgröße begehbar abgebildet und optimiert werden. Dies ermöglicht in der Planung schon einige Vorteile. Die Daten die hier entstehen können aber später in anderen Einsatzszenarien eingesetzt und zur Realisierung von weiteren VR-/AR-Experience verwendet werden.

Produktion

In der Produktion werden handfreie Systeme, wie die Mircosoft Hololens oder die Google Class 2 immer mehr zum Einsatz kommen. Bessere Objekterkennung und Scanning der Umgebung werden weitere Einsatzfelder schaffen. In Qualitätsmanagementprozessen und beim Einsatz von “nicht“ Fachleuten kann dies sehr gut eingesetzt werden. Das abarbeiten von Checklisten und Abläufe, gepaart mit der gleichzeitigen Dokumentation der Arbeitsschritte – durch eingebaute Kamerasysteme – bietet hier neue Möglichkeiten in komplexen Umfeldern.

In der Luftfahrtindustrie können so Wartungsprozesse unterstützt und dokumentiert werden. Die Bedingung von Anlagen kann Fehlerfrei bzw. Fehlerminimiert stattfinden. Das Durchführen von Arbeitsprozessen durch fehlende Fachkräfte wäre denkbar. Sollten Fragen entstehen, könnten die Personen die zentralen Fachkräfte per Skype kontaktieren und die Probleme interaktiv gemeinsam lösen. Die eingebauten Kameras übertragen die “echte“ Umgebung und der Experte kann interaktive diese mit virtuellen Objekten ergänzen, die wiederum die andere Person eingeblendet bekommt.

In der Chemieindustrie wird so komplexe Verfahrenstechnik interaktiv unterstützt. Ganze Anlagen stehen virtuell zur Verfügung und in Echtzeit können Ventile geschlossen werden oder Messwerte abgelesen werden. Dabei steht der Mitarbeiter vielleicht tausende Kilometer entfernt von der Anlage und sieht diese Lebensgroß vor sich stehen.

Die Automobileindustrie setzt MR bereits für die holografische Abbildung von Robotern ein, die es erlauben diese virtuell zu programmieren und dann dem Digitalen Zwilling zu übertragen oder in Echtzeit diesen zu steuern.

Die Vernetzung in ERP, CRM und anderen Systemen spielt genauso eine Rolle wie die Kommunikation über IoT und MES. Das Mensch-Maschine-Interface (MMI) steht hierbei im Mittelpunkt. Durch AR/MR rückt diese immer näher an den Körper des Menschen und bezieht die unterschiedlichen Sinne mit in die Experience ein.

Nicht zuletzt hat Mircosoft mit Sharepoint.Space klargemacht, dass alle Dokumente und zukünftigen Inhalte auch VR/AR fähig sein werden.

Logistik

Schon heute werden in der Logistik einige Systeme zur Optimierung von Prozessen eingesetzt und stellen sicher, die Anzahl der benötigten Arbeitsmaterialien für den nächsten Prozessschritt zusammengestellt zu haben (Pick-and-Place). Das “Leiten“ auf dem kürzesten Weg zu den passenden Gegenständen und damit Weg und Zeitoptimierung wird in Zukunft immer mehr mit AR/MR-Systemen durchgeführt werden.

Erste Beispiele zeigen auch, dass Bepacken von LKWs oder Containern wird mit MR unterstützt, damit Sichergestellt, dass dem Paket nichts passiert und es Dokumentiert ist, wo es sich gerade auf dem Weg befindet.

Die sogenannte Inhouse-Navigation kann hier mit Markern mit AR unterstützt und vereinfacht werden.

Wartungs-/Serviceprozesse

Erste AR/MR-Projekte laufen mit dem Ziel der digitalen Unterstützung für Servicetechniker und Fernwartung. Über Brillen wie der Microsoft Hololens sehen Nutzer 3D-Projizierungen in ihrer realen Umgebung, wie zum Beispiel zusätzliche Informationen zu Produkten oder Simulationen. Hier sieht die Industrie große Vorteile. Was aber sehr schnell vergessen wird, ist der Einbezug von Echtdaten aus den Systemen und die Möglichkeit mit Objekten zu interagieren. Dies ist in vielen Umgebungen noch gar nicht realisierbar.

Verkaufs-/Beratungsprozesse

In Produktverkaufs- und Beratungsprozessen wird über AR/MR vermehr die Produkte und Dienstleistungen erlebbar einem potentiellen Kunden dargestellt. Dies ist insbesondere dann interessant, wenn die Produkte nicht mit zum Kunden genommen wer- den können, z.B. wenn diese einfach zu groß sind oder nicht alle Varianten mitgenommen werden können. Auch können die Produkte erlebbar gemacht werden.

Von der Rolltür, einer Schraubenverbindung, über Autos oder Fenster – es ist alles denkbar. Die Objekte können z.B. über ein Smartphone einfach auf den Tisch beim Kunden gestellt werden, oder Lebensgroß in den Raum platziert werden. Interaktion ermöglicht die Funktionsweise des Produktes zu erläutern und den Mehrwert dem Kunden deutlicher zu machen. Auch VR-Lösungen sind denkbar. Z.B. wenn es um Anlagenbau geht, hier könnte mit dem Kunden gemeinsam die Anlage in der virtuellen Welt verändert und angepasst werden und dies in Lebensgröße.

Selbst im Privatumfeld halten diese Technologien schon Einzug. Ein großes Einrichtungshaus nutzte AR als Assistenten, über den Kunden das virtuelle Sofa testweise in ihrem Wohnzimmer platzieren konnten. Oder wenn Sie Wandfliesen oder Bademöbel schon einmal in das eigene Bad platzieren wollen.

Im Beratungs- und Verkaufsumfeld sind fast keine Grenzen denkbar. Hier könnte eine intelligente Vernetzung mit der Produktion in einen wirklichen Mehrwert für Kunden und für die Produktionskosten münden. Biege- und Schweißroboter, die direkt nach dem gemeinsamen Erstellen des Produktes im Verkaufsprozess produziert werden könnten. Dies Materialschonend und schnell.

Die Einsatzszenarien zeigen, dass weder nur bestimmte Branchen noch Unternehmensgrößen betroffen sind, sondern alle in den nächsten Jahren mit dem Thema in Kontakt kommen werden.

4 Auf den Punkt gebracht...

“Die Welt wird immer komplexer. Virtual Reality (VR) und Augmented Reality (AR) können durch neue Visualisierungen Themen begreiflicher machen und den Zugang vereinfachen”, sagt der Autor Torsten Fell, Vorstandsmitglied des Ersten Deutschen Fachverbands für Virtual Reality.

Die Möglichkeiten sind vielfältig: “Ich kann Daten mit den Händen greifen und bearbeiten und so das Thema Big Data erfahrbar machen oder digitale Zwillinge von Maschinen bewegen.” Auch wenn es noch dauern wird, bis die Technologie in voller Breite Anwendung findet.

Der Zugang zur Hardware und die Leistungsfähigkeit wird schnell einfacher sein und um das Vielfache wachsen. Durch Geräte wie das iPhoneX oder die neuen Mixed Reality (MR)-Brillen z.B. Magic Leap oder Microsoft Hololens 2 wird es für ein breite Ziel- gruppe möglich sein, neue Settings und Szenarien zu erleben.

Insbesondere die Integration und das direkte Vernetzen im Industrieumfeld wird in 2019 erheblich an Fahrt aufnehmen. Roboter die bereits heute mit einer VR-Brille von einem anderen Standort gesteuert werden können, werden komplett virtualisiert und erlebbar werden. Holografische Abbildungen von ganzen Industrieanlagen sind machbar und werden ansatzweise umgesetzt werden. Das Training wird immer realitätsnaher standfinden, durch bessere Grafik und zusätzliche Eingabegeräte bzw. einfache Handsteuerungen und Gestenerkennung.

“Firmen, die jetzt schon Erfahrungen damit sammeln, werden später im Vorteil sein, weil sie die Technologie kennen.”, Torsten Fell

Wer also die neue Technologie versteht und sinnvoll und zielführend in die Prozesse integrieren kann und die technischen und organisatorischen Rahmenbedingungen schafft, hat einen Vorsprung. Starten Sie noch heute damit.

Alles rund um die Maschine - Begehbare virtuelle Schulung an Werkzeugmaschinen

Hirt, C.[1], Spahni, M.[1], Kompis, Y.[1], Jetter, D.[1], Kunz, A.[1]

[1] ETH Zürich, Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung

Abstract

An in-depth training of new personnel on machine tools is crucial in order to avoid faulty parts or even machine damage due to faulty operation of the machine tool. However, machine-hours are costly and during the training, the machine cannot be used for regular production purposes. Here, virtual real-size models could offer a solution by providing certain basic operation principles that should be taught to new personnel. While this possibility has existed for several years, it is yet unknown whether a virtual teaching is similar to a real teaching scenario regarding the learning efficiency. This paper thus gives insights in a study that compares a virtual training session on a machine tool with a real-life counterpart and addresses the question whether the virtually achieved knowledge can be successfully applied to real world settings. It turned out that the virtually taught group slightly outperformed the group that was taught on the real machine tool in a real control task regarding the number of errors and the completion time.

Zusammenfassung

Das sorgfältige Anlernen der Bediener an Werkzeugmaschinen ist ein wichtiger Vorgang, um später Ausschussteile oder gar Maschinenschäden zu vermeiden, die auf eine fehlerhafte Maschinenbedienung zurückzuführen sind. Maschinenstunden sind jedoch teuer, und während der Ausbildung steht die Maschine nicht für den regulären Produktionsprozess zur Verfügung. Hierfür können virtuelle Maschinenmodelle Abhilfe schaffen, indem sie grundlegende Bedienoperationen zur Verfügung stellen, die von neuen Bedienern erlernt werden müssen. Obwohl solche Möglichkeiten schon seit einiger Zeit existieren, ist bislang noch unklar, ob solche virtuellen Trainings einen vergleichbar guten Lerneffekt erzeugen können wie eine reale Schulung. Dieses Paper stellt daher die Ergebnisse einer Studie vor, in welcher eine virtuelle Trainingsumgebung mit einer realen verglichen wird hinsichtlich der Frage, ob ein virtuell erlerntes Wissen in gleichem Masse in einer realen Maschinenumgebung angewendet werden kann. Es zeigt sich, dass im Vergleich zu

einer realen Schulung die virtuell geschulte Gruppe in einer späteren realen Kontrollaufgabe weniger Fehler gemacht hat und eine leicht geringere Zeit zur Erledigung der Gesamtaufgabe benötigte.

1 Einleitung

Es ist eines der wichtigsten Ziele der Virtuellen Realität (VR), komplexe Geometrien oder Zusammenhänge visuell darzustellen, um hiermit dem Anwender ein besseres Gesamtverständnis zu vermitteln. Anfänglich waren es aber die begrenzten grafischen Darstellungsmöglichkeiten und die komplexe Bedienung der für die VR notwendigen Infrastruktur, welche den Einsatz sehr stark einschränkten. Hinzu kamen unzulängliche Ausgabetechniken, welche nicht ohne weiteres in laufende Arbeitsprozesse integriert werden konnten. So bedeutete der Einsatz der VR immer ein Bruch im Arbeitsablauf oder gar einen zusätzlichen Mehraufwand, falls Daten speziell für die Darstellung in der VR aufbereitet werden mussten, um diese anschließend in einigen wenigen technischen Installationen darstellen zu können.

Die komplexe Bedienung der technischen Systeme wie beispielsweise einer CAVE [3] erforderte zudem geschultes Bedienpersonal, weshalb der eigentlich Anwender die VR nur passiv erleben konnte, d.h. er wurde an die entsprechenden Stellen geführt. Ein selbstständiges exploratorisches Verhalten oder gar eine Modifikation der VR war nicht möglich. Dies hatte natürlich Konsequenzen für das “Gefühl der Einbezogenheit” (SoP, Sense of Presence), welches trotz hohen Technikaufwandes sehr limitiert war. Spätere Erweiterungen der technischen Systeme erlaubten dann eine Navigation in der VR durch sprunghaftes Bewegen an eine andere Stelle (“Teleportation”), was jedoch ebenfalls eine geringe Natürlichkeit aufweist. So ist es nicht verwunderlich, dass anfänglich die VR nicht nutzbringend für eine virtuelle Ausbildung verwendet werden konnte, obgleich diese Vision von Beginn an bestand. Erst in jüngerer Zeit hat die Technik der VR einen Stand erreicht, der einen sinnvollen Einsatz für Ausbildungszwecke erlaubt. Dies betrifft nicht nur die Qualität der visuellen Darstellung und einen Wechsel von Projektionssystemen hin zu Datenhelmen (HMD, Head-mounted Displays), sondern auch die Möglichkeit, wie der Anwender selbst mit der virtuellen Welt interagieren kann, somit also von einem passiven hin zu einem explorativen Verhalten wechselt. Es sind damit die Voraussetzungen gegeben, VR als Ausbildungsmöglichkeit für das Erlernen komplexer Handhabungsvorgänge einzusetzen, wie beispielsweise das Bedienen einer Werkzeugmaschine (WZM).

Eine virtuelle Ausbildung bietet gegenüber einer herkömmlichen Ausbildung nennenswerte Vorteile. Dies sind vorderhand die eingesparten Maschinenstunden, die bis anhin für die Ausbildung eingesetzt werden mussten. Hinzukommen aber auch eingesparte Werkzeug- und Materialkosten, die während einer herkömmlichen

Ausbildung anfallen würden. Zusätzlich entfällt auch die Gefahr eines realen Personen- oder Maschinenschadens, welcher durch eine falsche Handhabung entstehen könnte. Weitere Vorteile einer virtuellen Ausbildung liegen aber auch in der Möglichkeit, dass Ausbildungssequenzen mehrfach unter exakt gleichen Bedingungen wiederholt werden können, die Ausbildung an jeder beliebigen Stelle zu unterbrechen ist, oder dass der Schwierigkeitsgrad der Ausbildung automatisch an den Lernfortschritt angepasst werden kann.

Es stellt sich somit die Frage, ob heutige VR in der Lage ist, die traditionelle Ausbildung in der Handhabung einer WZM bereits zu ersetzen, und ob das in VR angeeignete Wissen später auch nutzbringend in der realen Bedienung einer WZM verwendet werden kann. Hierzu gliedert sich der vorliegende Beitrag wie folgt: Nach einem Überblick über bestehende Forschung wird der Aufbau der VR beschrieben, sowie die Struktur der durchgeführten Anwenderstudie, welche die virtuelle und die reale Ausbildung gegenüberstellen soll. In einem nächsten Kapitel werden erste Ergebnisse dargestellt, gefolgt von einer Zusammenfassung und einem Ausblick.

2 Bestehende Forschung

Bereits vor der Einführung hochimmersiver VR Systeme wurde untersucht, wie traditionelle Lernmethoden mit virtuellen Methoden unterstützt oder durch sie ersetzt werden können. Existierende Forschung lässt sich dabei in nicht-immersive und immersive VR unterteilen.

Nicht-immersive Lernumgebungen (Desktop VR) können bereits in bestimmten Fällen den traditionellen Lernumgebungen ebenbürtig sein, beispielsweise beim Erlernen einer Wegstrecke oder auch bei komplexeren Wartungsaufgaben an einer WZM [6]. In beiden Fällen konnte zwischen der Versuchs- und Vergleichsgruppe kein Leistungsunterschied festgestellt werden.

Immersive VR kann im Vergleich zu Desktop-basierten Lernumgebungen nicht nur zu einem schnelleren Wissenserwerb [15], sondern auch zu einem besseren Erinnerungsvermögen bei einem Wiederholungstest nach mehreren Wochen führen [1], [13]. Dies deutet darauf hin, dass eine höhere Immersion und SoP zu besserem Lernen führt.

Die höhere Immersion betrifft insbesondere die visuelle Wahrnehmung. So wurde beispielsweise gezeigt, dass in einem CAVE System ein eingeschränktes Sichtfeld (FoV, Field of View) und ein eingeschränkter Bereich der Betrachtung (FoR, Field of Regard) zu Leistungseinbußen führt [14]. Verbunden mit einer Positionserfassung des Anwenders (Tracking) bieten aktuelle HMDs ein vollumfängliches FoR und besitzen ein FoV, welches beinahe das gesamte Sichtfeld abdeckt. Zudem erlaubt das Tracking eine Interaktion, die in älteren Systemen wie CAVEs nicht auf diese

natürliche Weise vorhanden sind, beispielsweise ein tatsächliches Laufen in einer virtuellen Umgebung.

VR Systeme sind besonders geeignet zum Erlernen sequentieller Abläufe [10]. Solche Abläufe erfordern kein Erlernen motorischer Fertigkeiten und können sehr gut in eine interaktive virtuelle Lernumgebung integriert werden. Es wurde in mehreren Studien gezeigt, dass sequentielle Abläufe wie die Montage eines Werkstückes [2], [9], der Aufbau und die Instandhaltung einer Maschine [6], [16], oder das Erlernen eines medizinischen Verfahrens [15], in einer virtuellen Umgebung gleich gut oder besser virtuell erlernt werden können im Vergleich zu traditionellen Lernmethoden. Zudem wurde in verschiedenen Studien gezeigt, dass in VR erlerntes Wissen auf die reale Welt übertragen werden kann [1], [2], [7], [6], [16].

Bei der Implementation einer virtuellen Ausbildung sind gewisse negative Effekte zu beachten, die durch eine schlechte Optimierung der Lernumgebung auftreten können. Bei komplizierten Aufgaben kann die virtuelle Umgebung zu mehr Stress und zu schlechteren Resultaten führen [12]. In der dort durchgeführten Studie hatten die Teilnehmer keine intuitive Möglichkeit mit der virtuellen Lernumgebung zu interagieren, da die Software primär für Desktop-Systeme entwickelt wurde. Dies hatte negative Auswirkungen auf die Resultate.

Abgesehen von diesen implementationsbedingten Nachteilen bieten virtuelle Lernumgebungen viele Vorteile. Eine virtuelle Ausbildung erlaubt es, das räumliche Bewusstsein zu steigern und in einer gefährlichen oder unzugänglichen Umgebung zu üben, ohne dabei wichtige Ressourcen in Form von WZM oder Personal in Anspruch zu nehmen [4]. Die Schulung auf einer virtuellen WZM eignet sich daher, um den Wissenserwerb und die Übertragung der erlernten Fähigkeiten auf die echte WZM zu überprüfen.

3 Evaluationsmethode

In der nachfolgend beschriebenen Evaluationsmethode soll insbesondere untersucht werden, ob die virtuelle Lernmethode den gleichen Lerneffekt aufweist wie ein Lernen in der realen Welt. Somit soll also insbesondere das Langzeitgedächtnis des Anwenders angesprochen werden, welches eine Wiedergabe aufgrund von Einprägung ermöglicht. Im Vergleich zu dem Kurzzeitgedächtnis, welches eher akustisch orientiert ist, beruht das Lernen im Langzeitgedächtnis mehr auf einer sinnorientierten Wahrnehmung, d.h. aus dem korrekten Zusammenspiel zwischen allen menschlichen Wahrnehmungsentitäten wie sehen, fühlen, hören, etc. Somit ist ein Beispiel für das Training zu wählen, welches auch diese sinnhafte Wahrnehmung ansprechen kann und darauf aufbauend den Lerneffekt erzeugt.

Um einen objektiven Vergleich zwischen einer virtuellen und einer realen Lernumgebung durchführen zu können, werden zwei Testgruppen eingerichtet, von denen eine virtuell und die andere in einer realen Umgebung trainiert wird (Bild 1).

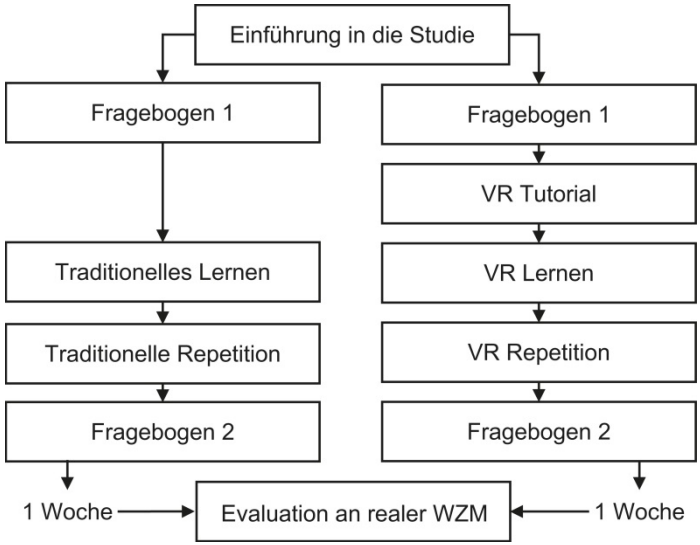


Bild 1: Struktur der Studie

Beide Gruppen haben unmittelbar nach dem Training die Möglichkeit, das Gelernte zu repetieren, aber auch hier jeweils wieder in der entsprechenden Lernumgebung. Nach einer Zeitdauer von einer Woche erfolgt eine Überprüfung des angeeigneten Wissens in einer Kontrollaufgabe, welche - dem späteren Anwendungsfall geschuldet - an einer realen Aufgabe durchgeführt wird. Wie aus Bild 1 ersichtlich, werden zudem von beiden Gruppen sowohl vor als auch nach dem Training Fragebögen ausgefüllt, welche neben den demographischen Daten auch Fragen über das Lernverhalten und die empfundene mentale Auslastung beinhalten.

4 Technischer Aufbau

Die Gerätschaft für die VR-Schulung besteht aus einem HTC Vive Pro, bestehend aus einem HMD, zwei Controllern, und vier kaskadierten Leuchttürmen, welche eine freie Bewegungsfläche von ca. 6x8 m erlauben. Damit ist natürliches Gehen rund um die WZM möglich und der Einsatz von Teleportation entfällt. Zusammengeführt wird das System auf einem zentralen Rechner, welcher von den Anwendern in einem Rucksack mitgetragen wird. Bei dem Rechner, welcher auch das Rendering der virtuellen Umgebung übernimmt, handelt es sich um einen XMG U507 mit ein-

gebauter NVIDIA GeForce GTX 1070, einem i7-6700 Prozessor (@3.4GHz) und mit 16GB RAM. Neben realistischen Darstellung der WZM wurden auch die dazugehörigen Geräusche realistisch hinterlegt und über Kopfhörer als 3D-Geräusch ausgegeben. Zudem wurde auch eine gesprochene und zu der sichtbaren Aktion synchronisierte Instruktion ausgegeben.

5 Versuchsübersicht

Als Schulungsumgebung wird eine fünfachsige Werkzeugschleifmaschine “GrindSmart 528XW” von der Firma Rollomatic verwendet. Sie wird zur Herstellung von rotierenden Schneidwerkzeugen, wie z.B. Fräser und Bohrer, verwendet. Aufgrund der hohen Komplexität der Werkstücke ist auch die Bedienung des User-Interfaces anspruchsvoll. Die WZM bietet ein sehr breites Spektrum von möglichen Aufgaben. Weil es in der Studie in erster Linie um die Analyse verschiedener Schulungsarten und nicht um die Maschinenbedienung selber geht, müssen einfache Tasks definiert werden, welche sequentiell ausgeführt werden können. Die Interaktionen sollen in einer logischen Abfolge behandelt werden und mit einfachen Interaktionen wie zum Beispiel einen Schalter umlegen oder einen Knopf drücken zu bewältigen sein. Dadurch können nicht nur die Interaktionen einfacher implementiert werden, sondern auch der Fokus der Lernapplikation auf das Erinnerungsvermögen der Sequenz gelegt werden anstelle des Erlernen der Interaktion selber. Auf “handwerklich” anspruchsvollere Aufgaben, wie zum Beispiel die Montage der Schleifscheibe auf dem Flansch, wurde bewusst verzichtet, weil diese in VR aufgrund des begrenzten haptischen Feedbacks nur schwer umsetzbar sind. Entsprechend der genannten Einschränkungen wurden allerdings folgende vier Kernaufgaben ausgewählt, welche auch ein ungelernter Maschinenbediener schnell erlernen und ausführen kann:

- Aufstarten der WZM
- Ausführung einer Referenzfahrt
- Wechseln der Schleifscheibe
- Abschalten der WZM

Entsprechend der beiden zuvor erwähnten Gruppen werden die Schulungen entweder an der realen oder an der virtuellen WZM durchgeführt (Bild 2).

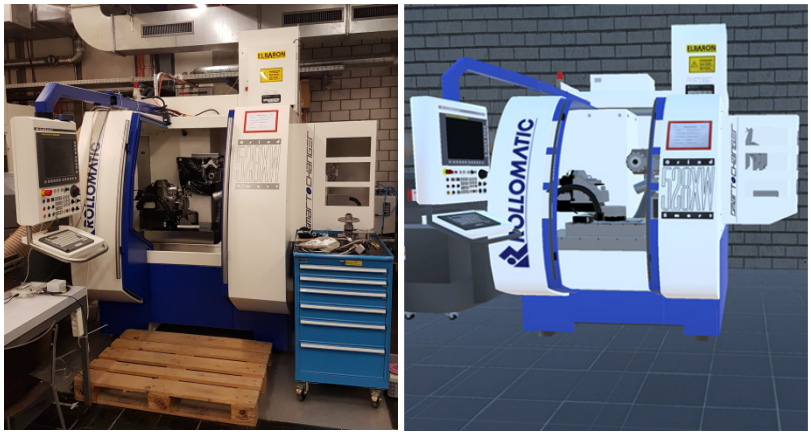


Bild 2: Gegenüberstellung der realen und virtuellen WZM

Die Instruktionen an der virtuellen WZM werden durch sogenannte “fliegende Hände” beschrieben, welche anschaulich jeden einzelnen Handgriff darstellen, der später auch an der realen WZM durchzuführen ist (Bild 3).

Bild 3: Erläuterungen an der virtuellen WZM durch visualisierte Handhabungsgesten

Während der Veranschaulichung wird jeder Schritt via Audio erklärt und begründet. Diese Phase kann als interaktives Video angesehen werden, welches den Benutzer mittels Eigenbewegung in die Thematik einbindet, während sonstige aktive Interaktionen unterbunden werden. Im Folgenden werden die einzelnen Trainingsaufgaben näher beschrieben.

5.1 Aufstarten der Werkzeugmaschine

In diesem Schritt muss die Druckluftversorgung für die WZM aktiviert werden, welche benötigt wird, um die Achsen zu bewegen. Der Hahn für die Druckluftversorgung befindet sich hinter der WZM (siehe Bild 4). Die Anleitung weist darauf hin, dass das Druckventil langsam zu öffnen ist, um stoßartige Belastungen in den Druckluftleitungen der WZM zu vermeiden.

Bild 4: Realer Druckluftabsperrhahn und virtuelle Bedienungsinstruktion

Nach dem Öffnen der Druckluft ist die Stromversorgung einzuschalten, für welche sich der Hauptschalter auf der Rückseite der WZM befindet (Bild 5).

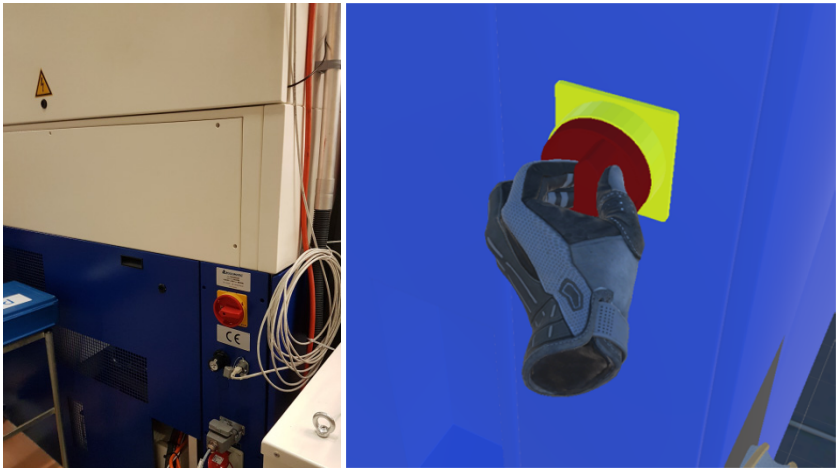


Bild 5: Maschinenhauptschalter und virtuelle Bedienungsinstruktion

Nach Ausführung dieser beiden Schritte wird an dem Bedienfeld der WZM der Aufstartprozeß fortgesetzt. Hierfür muss zunächst der Computer eingeschaltet werden. Der Hauptschalter hierfür befindet sich an der Unterseite des vertikalen Bedienfeldes (Bild 6).

Bild 6: Computer-Hauptschalter und virtuelle Bedienungsinstruktion

Der Anwender wird nun instruiert, zu warten, bis der Bootprozess der Maschinensteuerung abgeschlossen ist. Erst jetzt zeigt die Instruktion an, dass die WZM selbst durch Drücken des grünen “ON”-Tasters zu starten ist (Bild 7). Das erfolgreiche Aufstarten der WZM wird anschließend durch das Aufleuchten des grünen “ON”-Tasters und der Beleuchtung des Maschineninneren dargestellt.

Bild 7: Computer-Hauptschalter und virtuelle Bedienungsinstruktion

Um den Aufstartvorgang der WZM vollends abzuschließen, muss abschließend noch die Steuerungssoftware der WZM durch einen Doppelklick mit dem Finger auf den Touchscreen des Bedienpults gestartet werden (Bild 8). Hiernach ist der Aufstartprozeß der WZM abgeschlossen und der nächste Arbeitsschritt kann instruiert werden.

Bild 8: Start der Steuerungssoftware und virtuelle Bedieninstruktion

5.2 Ausführung einer Referenzfahrt

Zur Selbstkalibration der WZM muss nach jedem Neustart eine Referenzfahrt durchgeführt werden. Da diese Referenzfahrt typischerweise mit offenen Maschinentüren durchgeführt wird, muss sichergestellt sein, dass beide Hände an der Maschinensteuerung sind, um Verletzungen zu vermeiden. Dies geschieht einerseits durch Drücken eines Tasters im Haltegriff der Maschinensteuerung, und durch gleichzeitiges Drücken des gelben Tasters auf der Maschinensteuerung (Bild 9).

Bild 9: Initiieren der Kalibrationsfahrt und virtuelle Bedieninstruktion

5.3 Wechseln der Schleifscheibe

Der Wechsel der Schleifscheibe mit dem automatischen Werkzeugwechsler wird mit geschlossenen Türen durchgeführt. Daher zeigt die virtuelle Instruktion zunächst das Schließen der Maschinentüren an (Bild 10).

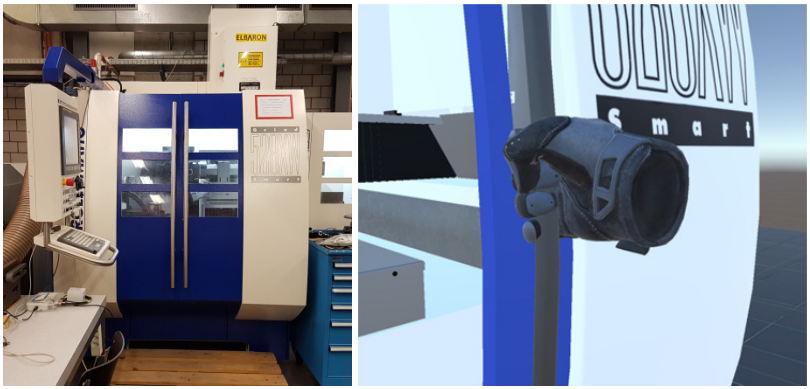


Bild 10: Instruktion zum Schließen der Maschinentür

Die Instruktion zeigt danach, dass die Türen zusätzlich am Bedienpult zu verriegeln sind, indem dort ein Schlüssel in die Position “Locked” zu drehen (Bild 11). Nachdem die Schleifscheibe ausgewechselt wurde, werden die Türen durch erneutes Drehen des Schlüssels auf “UNLOCK” wieder freigegeben.

Bild 11: Zusätzliches Verriegeln der Türen am Bedienfeld der WZM

5.4 Abschalten der Werkzeugmaschine

Das Abschalten der WZM erfolgt in umgekehrter Reihenfolge wie der Einschaltvorgang, so dass ebenfalls die virtuelle Anleitung in umgekehrter Reihenfolge dargestellt wird.

5.5 Klassische Maschineninstruktion

Die oben beschriebenen Schritte zu Maschinenbedienung wurden auch in der klassischen Maschineninstruktion vermittelt. Ähnlich wie bei der virtuellen Instruktion wurde auch hier eine schrittweise Erklärung an eine Kleingruppe von 2-3 Personen gegeben und an der realen WZM vorgeführt. Während der Einführung hatten die Teilnehmer keine Möglichkeit, mit der WZM zu interagieren, sondern konnten nur den Erläuterungen des Instruktors folgen.

6 Repetition

Beide Ausbildungsgruppen hatten unmittelbar nach der Instruktion die Möglichkeit, das Erlernte selbst auszuprobieren. Dieses eigenständige Ausprobieren erfolgte in der gleichen Umgebung, in der auch das Wissen vermittelt wurde, d.h. die virtuell ausgebildeten Personen erprobten das Wissen ebenfalls an der virtuellen WZM, während die andere Gruppe an der realen WZM arbeitete.

7 Evaluation

Eine Woche nach der virtuellen oder realen Ausbildung mussten die Probanden das Erlernte erneut rekapitulieren. Im Gegensatz zu der Repetition wurde diesmal für beide Gruppen die reale WZM verwendet, weil dies besser der realen späteren Anwendung entspricht. Die Anwender wurden vorher informiert, dass sie genau die gleichen Arbeitsschritte zu wiederholen haben, die sie eine Woche zuvor erlernt hatten. Um eine Gefährdung der Teilnehmer oder einen möglichen Schaden an der WZM durch Fehlbedienung zu verhindern, mussten die Personen vor der eigentlichen Durchführung einer Tätigkeit dies immer zunächst dem Instruktor nennen.

In einer Anwenderstudie wurden insgesamt 19 Teilnehmer entweder virtuell (9) oder an der realen WZM (10) geschult. Die Schulungszeit war in beiden Schulungsarten annähernd identisch, um eventuelle Verfälschungen durch ein intensiveres Training auszuschließen. Hingegen war die unmittelbar an die Ausbildung folgende eigenständige Wiederholung des Erlernten an der realen WZM etwas länger (9 Minuten gegenüber 8 Minuten). Dieser Sachverhalt trat auch während der Evaluation auf, die eine Woche später stattfand. Bemerkenswert ist aber die Tatsache, dass die virtuell geschulte Gruppe gegenüber der an der realen WZM geschulten Gruppe weniger Fehler in der Bedienung machen, obwohl sie erstmals die reale WZM bedienten.

8 Diskussion der Ergebnisse

Die realistische Modellierung der WZM, das Hinterlegen von realistischen Geräuschen, aber vor allen Dingen die Möglichkeit, sich durch tatsächliches Laufen um die WZM herum bewegen zu können (z.B. zum Öffnen des Druckluftventils) führten zu einer insgesamt hohen Akzeptanz der virtuellen Schulung. Dieses wurde durch die entsprechenden Fragebögen (“Task Load Index” - TLX [8] und “Simulator Sickness Questionnaire” - SSQ [11]) nachgewiesen. Dies ist die grundlegende Voraussetzung dafür, dass eine virtuelle Umgebung überhaupt für eine Schulung eingesetzt werden kann.

Bemerkenswert ist vor allen Dingen das Resultat, dass die virtuell geschulte Gruppe an der realen WZM weniger Fehler machte als die traditionell geschulte Vergleichsgruppe. Dies zeigt, dass es durch die VR möglich ist, Wissen in das kognitive Langzeitgedächtnis zu vermitteln. Auch dies ist sicherlich zurückzuführen auf die realistische Bedienung und das Ansprechen der natürlichen visuellen, akustischen und haptischen Wahrnehmungsentitäten. Hiermit lässt sich aber noch nicht erklären, warum die virtuell geschulte Gruppe in der späteren realen Anwendung weniger Fehler machte. Eine Begründung hierfür könnte darin liegen, dass eine Schulung in VR deutlich weniger Ablenkung hat, als eine reale Umgebung: (i) die virtuel-

le WZM war isoliert in einer Maschinenhalle aufgestellt, so dass beim Training keine anderen visuellen Ablenkungen existierten; (ii) das Training konnte als Einzelperson durchgeführt werden, so dass keine Ablenkung durch andere Teilnehmer entstand; (iii) die zu erlernenden Sachverhalte waren für den Teilnehmer in der VR deutlicher zu erkennen, weil weder der Instruktor noch andere Teilnehmer die Sicht verdecken können; (iv) die Egoperspektive begünstigt die Wissensaufnahme [5].

Zusammenfassend zeigen also die Ergebnisse, dass es heute mit einem vertretbaren Aufwand möglich ist, die grundlegenden Bedienoperationen von WZM virtuell zu vermitteln. Neben einer besseren Wissensvermittlung durch den individualisierten Charakter der VR können die realen Maschinenstunden sowie die Kosten für den Instruktor eingespart werden. Dieser kann dann für mehr spezialisierte Bedienaufgaben der WZM zur Verfügung stehen, welche heute noch nicht durch die VR abgebildet werden können.

9 Zusammenfassung

In diesem Paper wurde eine neuartige Applikation diskutiert, welche eine simplifizierte, selbständige Schulung an einer Werkzeugschleifmaschine ermöglichen soll. Die Schulung wurde so konzipiert, dass ein Einzelanwender vier einfache Schritte von Maschinenstart, Referenzfahrt, Werkzeugwechsel bis zur Maschinenabschaltung sequentiell erlernen kann. Die Schulung wurde dazu in zwei separate Phasen aufgeteilt. In der ersten Phase kann der Anwender einem interaktiven Video folgen und sich dabei nach Belieben bewegen und die Kamera mittels Kopfbewegung führen. In dieser Lernphase werden die Einzelschritte gezeigt und außerdem mit Audio erklärt. In der darauffolgenden zweiten Phase kann der Anwender die in der Lernphase erklärten Schritte ausführen. Dabei stehen ihm keinerlei Hilfsmittel zur Verfügung. Um sicherzustellen, dass der Benutzer sich nicht verlieren kann, galt es, exploratives Lernen zu verhindern und die Einzelschritte konnten nur exakt in der gleichen Reihenfolge wie in der Lernphase angewendet werden. Die in einer anschließenden Anwenderstudie ermittelten Ergebnisse zeigen, dass VR mit sehr gutem Erfolg zur Grundlagenschulung an WZM eingesetzt werden kann.

10 Ausblick

Weiterführende Arbeiten sollen aufzeigen, welchen Einfluss der gerätetechnische Aufwand für die VR auf den Lernerfolg hat. In der vorliegenden Arbeit wurde ein hochimmersives System verwendet, jedoch könnte der Inhalt auch auf einfacheren Medien erfolgenden, beispielsweise auf Smartphones. Weiterhin soll in weiterführenden Arbeiten untersucht werden, inwieweit das Lernen in Gruppen an der WZM

einen möglichen negativen Einfluss haben könnte, obgleich dies bislang als favorisiertes Lernmodell galt.

Literaturangaben

[1] Babu, s.; Krishna, S.; Unnikrishnan, R.; Bhavani, R.: Virtual Reality Learning Environments for Vocational Education: A Comparison Study with Conventional Instructional Media on Knowledge Retention. In: 2018 IEEE 18th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT), 385-389, 2018, doi: 10.1109/ICALT.2018.00094

[2] Brough J.; Schwartz, M.; Gupta, S.; Anand, D.; Kavetsky, R.; Pettersen, R.: Towards the Development of a Virtual Environment-based Training System for Mechanical Assembly Operations. In: Virtual Reality 11(4), 189-206, 2007, doi: 10.1007/s10055-007-0076-4

[3] Cruz-Neira, C.; Sandin, D.; DeFanti, T.; Kenyon, R.; Hart, J.: The CAVE: Audio Visual Experience Automatic Virtual Environment. In: Communications ACM. Band 35, Nr. 6. ACM, Juni 1992, ISSN 0001-0782, 64-72, doi:10.1145/129888.129892

[4] Dalgarno, B.; Lee, M.: What are the learning affordances of 3-D Virtual environments? In: British Journal of Educational Technology, vol. 41, 10-32, 2010, doi: 10.1111/j.1467-8535.2009.01038.x

[5] Fiorella, L.; van Gog, T.; Hoogerheide, V.; Mayer, R.: It's All a Matter of Perspective: Viewing First-Person Video Modeling Examples Promotes Learning of an Assembly Task. In: Journal of Educational Psychology 109(5), 653-665, doi: 10.1037/edu0000161

[6] Ganier, F.; Hoareau, C.; Tisseau, J.: Evaluation of procedural learning transfer from a virtual environment to a real situation: A case study on tank maintenance training. In: Ergonomics 57(6), 828-843, 2013, doi: 10.1080/00140139.2014.899628

[7] Gavish, N.; Gutiérrez, T.; Webel, S.; Rodríguez, J.; Peveri, M.; Bockholt, U.; Tecchia, F.: Evaluating virtual reality and augmented reality training for industrial maintenance and assembly tasks. In: Interactive Learning Environments 23(6), 778-798, 2015, doi: 10.1080/10494820.2013.815221

[8] Hart, S.; Staveland, L.: Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research. Hancock, P.; Meshkati, N. (Eds.): Advances in Psychology 52: 139-183, 1998, doi: 10.1016/S0166-4115(08)62386-9

[9] Hirt, C.; Holzwarth, V.; Gisler. J.; Schneider, J.; Kunz, A.: Virtual Learning Environment for an Industrial Assembly Task. In: International Conference on Consumer Electronics 2019, 2019

[10] Jensen, L.; Konradsen, F.: A review of the use of virtual reality head-mounted displays in education and training. Journal of Education and Information Technologies 23(4), 1515-1529, 2018, doi: 10.1007/s10639-017-9676-0

[11] Kennedy, R.; Lane, N.; Berbaum, K.; Lilienthal, M.: Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness. In: The International Journal of Aviation Psychology 3(3): 203-220, 1993, doi: 10.1207/s15327108ijap0303_3

[12] Makransky, G.; Terkildsen, T.; Mayer, R.: Adding Immersive Virtual Reality to a Science Lab Simulation Causes More Presence But Less Learning. In: Learning and Instruction, Vol. 60, 225-236, 2019, doi: 10.1016/j.learninstruc.2017.12.007

[13] Passig, D.; Tzuriel, D.; Eshel-Kedmi, G.: Improving Children's Cognitive Modifiability by Dynamic Assessment in 3D Immersive Virtual Reality Environments. In: Computers & Education, Vol. 95, 296-308, 2016, doi: 10.1016/j.compedu.2016.01.009

[14] Ragan, E.: The Effects of Higher Levels of Immersion on Procedure Memorization Performance and Implications for Educational Virtual Environments. In: Presence 19(6), 527-543, 2010, doi: 10.1162/pres_a_00016

[15] Sowndararajan, A.; Wang, R.; Bowman, D.: Quantifying the Benefits of Immersion for Procedural Training. In: Proceedings of the 2008 Workshop on Immersive Projection Technologies/Emerging Display Technologies, 2.1-2.4, 2008, doi: 10.1145/1394669.1394672

[16] Sportillo, D.; Avveduto, G.; Tecchia, F.; Carrozzino, M.: Training in VR: A Preliminary Study on Learning Assembly/Disassembly Sequences. In: Augmented and Virtual Reality, 332-343, 2018

Presence in VR – der Schlüssel zu Akzeptanz und Übertragbarkeit?!

Brade, J.[1]*; Kögel, A.* [1]

[1] TU Chemnitz, Professur Werkzeugmaschinenkonstruktion und Umformtechnik

Abstract

Die Vorteile von Virtual Reality wie Kostenersparnis und steigende Benutzersicherheit durch Arbeiten an virtuellen statt realen Objekten oder ungetesteten Prototypen begünstigen die Verbreitung dieser Technologien sowohl im industriellen Umfeld als auch in Bereichen wie Ausbildung, Training und Produktrepräsentationen. Obwohl der Mehrwert von virtuellen Anwendungen durchaus greifbar und nachvollziehbar ist, schwankt die Akzeptanz unter den Benutzern dieser Technologien vergleichsweise stark. Um die Akzeptanz zu erhöhen, muss zunächst untersucht werden, welche Faktoren die Ausprägung der Akzeptanz beeinflussen und welche Maßnahmen ergriffen werden können, um Virtual Reality auch für kritische Nutzer attraktiver zu gestalten. Ein wesentlicher Ansatzpunkt zu Steigerung der Nutzerakzeptanz von Virtual Reality-Szenarien ist die Steigerung des Presence-Empfindens innerhalb der virtuellen Welt − dem Gefühl des Eintauchens in die virtuelle Welt, dessen Erhöhung auch eine Verbesserung der Übertragbarkeit von dem in der Virtual Reality Gelerntem nach sich ziehen kann. Im vorliegenden Artikel werden die Presence determinierenden Faktoren analysiert und auf ihren Einfluss auf das Benutzerempfinden und die Akzeptanz untersucht. Es werden erste Ergebnisse des Forschungsvorhabens Innoteam Presence dargestellt und das weitere Vorgehen im laufenden Projekt zur Entwicklung von Maßnahmen erläutert, welche die Erhöhung der Presence als Schlüssel zur Steigerung von Akzeptanz und Übertragbarkeit zum Ziel haben.

1 Einführung

Virtuelle Technologien erschließen aufgrund günstiger werdender Hardware und ergonomisch verbesserter Systeme fortwährend neue Anwendungsbereiche und Benutzergruppen. Außerhalb der Entertainmentbranche konnte sich Virtual Reality (VR) bereits vor allem im Trainings- und Ausbildungsbereich, etwa bei der Schulung von Chirurgen [1] und in der Luftfahrt [2] erfolgreich etablieren. Trotz der Vorteile

von virtuellen Szenarien wie Kostenersparnis durch virtuelles Training, gesteigerter Benutzersicherheit, beispielsweise bei der Erprobung von Störfällen oder der stetigen Reduktion negativer Begleiteffekte dieser Technologie, wie Motion Sickness variiert die Akzeptanz von virtuellen Technologien stark. Akzeptanz wird hierbei durch verschiedene Faktoren wie den Einsatzbereich, dem dargestellten Szenario und auch personenbezogene Eigenschaften wie dem Grad der Technikaffinität des Benutzers bedingt. Um VR auch in bisher nur mäßig erschlossenen Handlungsfeldern weiter zu etablieren, stellt sich die Frage, wie die Akzeptanz der Benutzer gesteigert werden kann. Ein wesentlicher Aspekt, der dabei betrachtet werden muss, ist die sogenannte Presence – das subjektive Gefühl, in die virtuelle Welt einzutauchen. Gerade im Schulungs- und Ausbildungsbereich ist es notwendig, die Übertragbarkeit der virtuellen Handlungen in die Realität zu verbessern, indem eine möglichst hohe Presence erzielt wird. Je besser dies gelingt, desto wahrscheinlicher ist der vermehrte Einsatz von virtuellen Technologien in diesem Bereich. Es wird davon ausgegangen, dass zum Erreichen einer hohen Presence eine detailgetreue, realistische, multimodale Umgebung erforderlich ist [3]. Diese Annahme gilt es jedoch noch empirisch zu belegen. Neben dem Einfluss der Realitätsnähe auf die Presence steht ebenso die Frage, welche Auswirkung eine Steigerung von Realitätsnähe und Presence-Empfinden auf die Nutzerakzeptanz zeigen. Diesen Fragen widmet sich das durch die Sächsische Aufbaubank geförderte Projekt Innoteam Presence. Auf Basis gemeinsam definierter Use Cases untersucht ein Verbund aus Industrie- und Forschungspartnern dabei den Einfluss von Visualisierungs- und Interaktionstechniken sowie die Einbindung weiterer Sinnesmodalitäten auf die empfundene Presence und die Akzeptanz hinsichtlich des Szenarios. Zudem erfolgt im Projekt eine Analyse personenbezogener Einflussfaktoren mit dem Ziel, einen Methodenkatalog zu erstellen, welcher konkrete Handlungsempfehlungen in Bezug auf virtuelle Szenarien für verschiedene Personas, Anwendungsbereiche und Techniken enthält. Da ein adäquates Kosten-Nutzen-Verhältnis maßgeblich für den breiten Einsatz von virtuellen Technologien im industriellen Umfeld ist, steht das Verhältnis des Aufwands bei der Erstellung entsprechender virtueller Szenen im Vergleich zur erzielten Erhöhung der Presence und damit zu potentiell gesteigerter Akzeptanz als zentrale Fragestellung im Fokus.

2 Stand der Technik

VR ermöglicht es, in eine computergenerierte Welt einzutauchen und eröffnet neue Möglichkeiten der Visualisierung und Interaktion. Um das Gefühl des Eintauchens in diese virtuellen Welten zu beschreiben, wird zwischen Immersion und Presence unterschieden [4]. Immersion bezeichnet dabei aus technischer Perspektive inwie-

weit die Technologie dazu fähig ist, dem Benutzer eine umfassende, umgebende und lebendige Illusion der Realität zu ermöglichen [4]. Presence hingehen stellt die psychologische Sichtweise dar und beschreibt den „sense of being in the virtual environment“ [4]. Dabei bedingt das Level der Immersion den Grad der Presence in virtuellen Welten [5]. Während Immersion durch die technologischen Komponenten der virtuellen Szene bestimmt ist, wird das Presence-Empfinden zusätzlich von benutzerspezifischen Faktoren und Eigenschaften des Szenarios beeinflusst. Weiss et al. [6] teilt die Presence beeinflussenden Faktoren in drei Kategorien ein (siehe Bild 1).

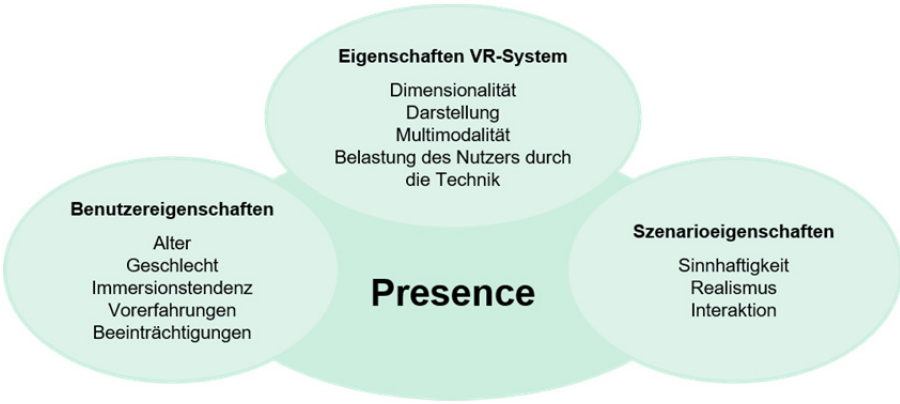


Bild 1 Faktoren, die das Presence-Empfinden in virtuellen Umgebungen beeinflussen nach Weiss et al. [6]

Es liegen bereits Studien und Metaanalysen vor, die sich dem Einfluss dieser Faktoren auf das Presence-Empfinden widmen und erste Erkenntnisse über die Gewichtung der einzelnen Faktoren lieferten. Cummings und Bailenson [7] fanden heraus, dass die Bild- und Tonqualität im Gegensatz zu Eigenschaften wie dem Field of View, Stereoskopie und dem Tracking-Level einen untergeordneten Einfluss auf das Presence-Empfinden haben. Zimmons und Panter [8] belegten, dass eine Erhöhung des Fotorealismus des Szenarios nicht gleichzeitig zu einer erhöhten Presence-Bewertung führt. Andere Studien [9,10] zeigen, dass menschenähnliche Avatare schlechtere Virtual-Body-Ownership-Werte als roboter- oder cartoonähnliche Avatare aufweisen können. Des Weiteren wurde nachgewiesen, dass die Steigerung der strukturellen Genauigkeit einer virtuellen Szene nicht zwingend eine Steigerung des Presence-Gefühls nach sich zieht [8]. Trotz dieser und anderer Erkenntnisse besteht weiter die Annahme, virtuelle Szenarien möglichst realitätsnah zu gestalten. Gleichzeitig müssen jedoch der Aufwand und die Kosten bei der Erstellung eines virtuellen Szenarios beachtet werden. Eine umfassende Beschrei-

bung, welche Faktoren sich in welchem Maße auf die Presence-Bewertung auswirken und welche Rolle hierbei die Multimodalität spielt, ist derzeit nicht verfügbar. Obwohl Presence für den Erfolg einer virtuellen Anwendung einen wesentlichen Faktor darstellt, ergibt sich die Frage, durch welche Ansatzpunkte die Akzeptanz des Benutzers maximiert werden kann. Mütterlein und Hess [11] identifizierten anhand einer Metanalyse und durch eigene Befragung Faktoren, welche die Akzeptanz einer virtuellen Anwendung beeinflussen. Dabei benennen sie neben dem Gefühl der Presence weitere Faktoren, die gleichzeitig in Beziehung zu Akzeptanz und Presence stehen, etwa Immersion, Enjoyment und Handhabung. Es ist also anzunehmen, dass Presence und Akzeptanz eine enge Verbindung zueinander aufweisen. Offen bleiben jedoch die Forschungsfragen, in welchem Maße welche Faktoren das Presence-Erlebnis signifikant beeinflussen und ob sich diese Beeinflussung ebenso in einer Korrelation zur Akzeptanz nachweisen lässt. Diese Erkenntnisse sind dann in dem zu erstellenden Methodenkatalog, in welchen konkrete Handlungsempfehlungen zur Maximierung des Presence-Empfindens für spezielle Personen und Use Cases niedergelegt sein sollen, zu übertragen.

3 Methodischer Ansatz

Um die Forschungsfragen zu untersuchen wurden verschiedene Use Cases konzipiert, die repräsentativ für mögliche Einsatzbereiche von VR stehen. Dabei fokussiert ein Use Case ein industrielles Szenario wie es beispielsweise zur Schulung bzw. zum Training Anwendung finden könnte. Ein weiterer Use Case bildet eine Alltagssituation ab, die auf eine größere Personengruppe angewendet werden kann. Beide Szenarien ermöglichen durch die Einbeziehung von Haptik und 3D-Audio ein multimodales virtuelles Erlebnis und bieten gleichzeitig auch die Möglichkeit, einzelne oder mehrere Modalitäten auszublenden, um den Einfluss auf die zu erhebenden Faktoren – Presence und Akzeptanz – zu untersuchen. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die zu variierenden Faktoren und Methoden.

Tabelle 1: Übersicht der zu variierenden Einzelmodalitäten für die beiden Szenarien.

	Montageszenario	**Virtuelle Fahrradfahrt**
Visualisierung	• Avatardarstellung • Objektfarbe und Schattenwurf • Field-of-View /Auflösung	• Art des VR Systems – projektiv vs. Head-Mounted-Display
Interaktion	• Variation der Controllerarten • Einbindung realer Objekte (z. B. Akkuschrauber)	• Interaktion über Flystick • Interaktion über Tritt- und Lenkbewegungen
Haptik	• Feedback über VR-Controller • Feedback über Haptik-Bänder • Kein Haptik-Feedback	• Fahrradlenker anfassen • Taktile Wahrnehmung wind
Akustik	• 3D-Sound ambient + gerichtet • 3D-Sound gerichtet • 3D-Sound ambient • Kein 3D-Sound	
Benutzer-eigenschaften	• Erfahrung • Technikaffinität • Geschlecht • Alter	

3.1 Use Case Montageszenario

Das Montageszenario (siehe Bild 2) wurde für ein Head-Mounted-Display konzipiert und ermöglicht zum einen, einfache Montagetätigkeiten zu trainieren und zum anderen, die zu Grunde liegenden geplanten Arbeitsschritte von einem Planer auf ihre Eignung hin zu überprüfen. Dabei ist es dem Planer möglich, durch Perzentil- und Geschlechtsauswahl die Sicht bestimmter Bearbeitergruppen einzunehmen, um anschließend aus dieser Sicht die Arbeitsschritte und Erreichbarkeiten zu überprüfen. Zudem können entsprechende Greifräume visualisiert werden, um Schwachstellen des Arbeitsplatzes zu identifizieren. Neben der planerischen Sicht auf das Szenario können die Arbeitsschritte direkt erprobt werden. Hierzu wurden typische Grundmontagetätigkeiten wie beispielsweise das Aufstecken und Eindrehen von Schrauben oder das Bearbeiten und Fügen von Bauteilen umgesetzt. Um die Projektzielstellung – die Erhöhung der Presence – untersuchen zu können, verfügt das Szenario zudem über haptische und akustische Ausgabemodalitäten. Bezüglich der Haptik werden zwei Konzepte verfolgt: zum einen wird haptisches Feedback über die zur Eingabe verwendeten VR-Handcontroller wiedergegeben. Zum anderen werden durch die Projektpartner WESOM Textil GmbH und die Professur Arbeits-

wissenschaft und Innovationsmanagement der Technischen Universität Chemnitz tragbare Haptik-Aktuatoren für den Körper und die Gliedmaßen entwickelt, welche Reize mittels Vibrationsmotoren an multiple Körperstellen des Nutzers übermitteln. Diese Aktuator-Bänder ermöglichen zum einen Rückmeldungen in Bezug auf Systemzustände wie die Aufnahme der virtuellen Objekte (z. B. Werkstück, persönliche Schutzausrüstung, Schraubendreher, etc.) und zum anderen die Nachbildung realer haptischer Ereignisse wie die Vibrationen beim Bohren, Gegendruck beim Zusammenstecken eines Werkstückes oder Vibrationen bei der Höhenverstellung des Werkzeugtisches.

Bild 2: Virtuelle Szene des Use Case Montageszenario

Für die realitätsnahe akustische Gestaltung des Szenarios wurden zunächst Schallquellen definiert, die bei der realen Arbeit an einem Montagetisch aufgenommen wurden. Diese Schallquellen beziehen sich auf die Einstellungen des Montagetisches (Höhenverstellung, Einstellen der Schwenkarme) und die Tätigkeiten, die am Tisch vorgenommen werden. Darüber hinaus wurden verschiedene Umgebungsgeräusche definiert. Die Wiedergabe erfolgt mittels Kopfhörer.

3.2 Use Case Virtuelle Fahrradfahrt

Während das Montageszenario für den industriellen Anwendungsbereich und die entsprechenden Nutzer entwickelt wurde, greift das zweite Szenario eine Alltagssi-

tuation auf – die Fahrt auf einem Fahrrad. So wurde eine virtuelle Rundfahrt auf dem Campus der Technischen Universität Chemnitz konzipiert, welche den Probanden über eine vordefinierte Route an verschiedenen Events entlangführt. Um die Interaktionen so real wie möglich zu gestalten, sitzt der Proband auf einem realen Fahrrad und steuert über Lenk- und Trittbewegungen die Navigation im virtuellen Szenario. Das Fahrrad steht dabei in der am Virtual Reality Center Production Engineering installierten 5-Seiten CAVE (siehe Bild 3). Der Nutzer kann so seinen eigenen Körper und das reale Fahrrad im virtuellen Szenario wahrnehmen.

Bild 3: Aufbau Fahrraddemonstrator in der 5-Seiten CAVE

Zur realistischen Ausgestaltung des Szenarios wurden besondere Ereignisse und Gegebenheiten der realen Strecke übernommen und mögliche Aufgaben wie Anfahren und Anhalten, Bedienung einer Schranke oder das Beachten kreuzender Passanten etc. definiert. Auch dieses Szenario wurde multimodal konzipiert, sodass der Einfluss des Ansprechens verschiedener Sinnesmodalitäten untersucht werden kann. Für die akustische Gestaltung wurde zusammen mit der Professur für Haptik und Akustik der Technischen Universität Dresden ein Akustikkonzept mit entsprechenden Anbindungen an das Szenario entworfen. Die Verortung der Schallquellen erfolgt mittels Schallprojektion, indem ein hinter dem Nutzer, außerhalb der CAVE platziertes Lautsprecherarray den Schall gezielt über Reflexionswege an den Wän-

den der CAVE auf die Nutzerposition im Szenario leitet und somit virtuelle Lautsprecher um den Nutzer aufbaut. Über ein Panning zwischen diesen virtuellen Lautsprechern erhält der Nutzer ein 3D-Sounderlebnis, ohne Kopfhörer tragen zu müssen und ohne, dass die Projektionswege der Bilddarstellung in der CAVE von physischen Lautsprechern verstellt werden.

Für die Einbindung der haptischen Wahrnehmung spielen zwei Komponenten eine wesentliche Rolle: das haptische Feedback beim Steuern und Pedalieren des realen Fahrrades und das sensorische Feedback, welches durch eine Windsimulation erreicht wird. Die Windsimulation erfolgt durch einen Spezialventilator, welcher vor dem Rad positioniert wird. Sowohl Wind- und Pedalwiderstandsimulation greifen auf die entsprechenden Variablen im virtuellen Szenario wie Geschwindigkeit, Oberflächennormale des Bodens im Kontaktpunkt mit dem Schwerpunkt des Rades zurück und errechnen daraus die Windgeschwindigkeit und den Pedalwiederstand bzw. den benötigten Fremdantrieb zur Simulation von Bergabfahrten. Mittels Bluetooth bzw. ATN+ Protokoll werden die angeschlossenen haptischen Feedbackgeräte angesteuert und erzeugen ein realistisches Fahrgefühl.

4 Erste Untersuchungen und Ergebnisse

In einer ersten Studie wurde die Wirkung von verschiedenen Avatarrepräsentationen in einer within-subject-Studie untersucht. Dabei wurden den Probanden in randomisierter Reihenfolge drei verschiedene Avatare – zwei vollständige Avatare, deren Farb- und Formgestaltung variierte und ein Modell, welches nur zwei schwebende Hände darstellte – aus der First-Person-Perspektive dargeboten. 32 Probanden (21 Frauen und 11 Männer) mit einem Altersdurchschnitt von 24,43 (SD=3,72) absolvierten das virtuelle Montageszenario, in welchem sie ein Spielzeugauto montieren mussten. Hierzu bohrten sie zunächst mittels einer Standbohrmaschine jeweils ein Loch in vier Räder und steckten diese anschließend an das Gestell des Spielzeugautos. Danach entnahmen sie einem Vorratsbehälter Schrauben, die sie einzeln auf die montierten Räder aufsteckten und mittels eines Akkuschraubers eindrehten. Abschließend clipsten sie die Ladefläche auf das Fahrzeug. Diese Prozedur wiederholten die Probanden für jede Avatarvisualisierung in randomisierter Reihenfolge und bewerteten jeweils anschließend in standardisierten Fragebögen ihre Presence und Akzeptanz. Das Presence-Empfinden wurde mittels des ITC-SOPI [12] und die Akzeptanz mittels der Akzeptanzskala [13] abgefragt. Der ITC-SOPI beinhaltet vier Faktoren, die in 12 Items auf einer 5-stufigen Likert-Skala erhoben wurden. Der Faktor *Sense of Physical Space* gibt “a sense of physical placement in the mediated environment, and interaction with and control over parts of the mediated environment” [12] an. Der zweite Faktor *Engagement* beinhaltet “user’s involvement and interest in the content of the displayed environment, and

their general enjoyment of the media experience" [12]. Der Faktor *Ecological validity* zeigt die Glaubwürdigkeit und den Realismus des Inhaltes und auch die Natürlichkeit der Szene auf. [12]. Der vierte Faktor *Negative effects* umfasst alle negative physiologischen Reaktionen [14] wie Motion Sickness oder Schwindel. Die Akzeptanz wurde mittels neun Items in einem 5-stufigen semantischen Differential gemessen und teilt sich in die Faktoren Nutzen und Zufriedenheit auf.

4.1 Einfluss der Avatarvisualisierung

Insgesamt erzielten alle drei Visualisierungslösungen sehr hohe Presence-Werte und gute Ergebnisse auf der Akzeptanzskala. Die Analyse der Erhebung ergab mittels Shapiro-Wilk Test keine normalverteilten Daten, weshalb ein Friedman-Test für gepaarte Stichproben auf einem Signifikanzlevel von 5% für die Analyse verwendet wurde. Die Ergebnisse ergaben keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Presence und der Akzeptanz-Werte zwischen den verschiedenen Visualisierungsarten. Dieses Resultat zeigt auf, dass die wahrgenommenen Unterschiede zwischen den Avataren minimal sind und sich nicht in den Bewertungen der Presence und der Akzeptanz widerspiegeln. Die Resultate können auf verschiedene Faktoren zurückgeführt werden: Alle drei Avatare wurden in ihrer Gestaltung an eine realistische Visualisierung angelehnt und ähnelten sich somit grundlegend. Des Weiteren ist zu vermuten, dass die Probanden die Unterschiede in der Visualisierung der Avatare nicht direkt wahrnahmen, da sie sich auf die Montagetätigkeiten, also auf die Sicht auf Hände und Unterarme fokussierten und sich somit die Unterschiede auf diesen Ausschnitt der Avatare beschränkte. Damit lässt sich annehmen, dass bei Szenarien, in denen nicht der gesamte Körper im Fokus der Betrachtungen steht, sondern das Hauptaugenmerk nur auf Teilen des Avatars liegt wie z. B. bei Montagetätigkeiten, die Visualisierung simpel gehalten werden kann. Somit gibt es auch keine Notwenigkeit des Trackings von Rumpf und Beinen.

Um den Zusammenhang der Presence-Bewertung und der Akzeptanz zu untersuchen, wurden Pearsons Korrelationen für alle drei Visualisierungslösungen errechnet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 dargestellt. Die Werte zeigen signifikante Korrelationen zwischen den Presence-Faktoren *Sense of Physical Space* und *Ecological Validiy* mit beiden Faktoren der Akzeptanzskala für alle drei Visualisierungsarten. Diese Ergebnisse deuten einen klaren Zusammenhang der Glaubwürdigkeit und des Realismus des Szenarios (*Ecological Validity*) und der Akzeptanz der Nutzer und weiterhin eine Verlinkung des Gefühls Teils der virtuellen Welt zu sein und mit dieser zu interagieren und diese zu kontrollieren (*Sense of Physical Space*) mit der Akzeptanz der Nutzer an. Für die Faktoren *Engagement* und *Negative Effects* konnten keine durchgängigen Korrelationen festgestellt werden. Dies deutet darauf hin, dass sich die negativen Effekte der virtuellen Umgebung nicht maßgeblich auf die Akzeptanz der Benutzer auswirken. Bezüglich des Zusammenhangs der Involvierung und der generellen Freude beim Erleben der virtuellen Welt (*Engagement*)

und der Akzeptanzbewertung zeigt sich derzeit keine klare Tendenz. Daher besteht nach wie vor die Frage, ob die Akzeptanz abhängig von der empfundenen Freude ist oder ob auch bei Personen, deren Freude an VR geringer ist, dennoch die Akzeptanz hoch ausfallen kann.

Tabelle 2: Pearson Korrelationen der Presence-Faktoren mit den Faktoren der Akzeptanzskala in allen drei Versuchsbedingungen. ***Signifikante Korrelation auf 0.01-Niveau***; **Signifikante Korrelation auf 0.05 Niveau**

			Akzeptanzskala	
			Nutzen	Zufriedenheit
ITC-SOPI	Sense of Physical Space	Nur Hände	***.658***	***.615***
		Ganzkörperavatar_1	***.541***	**.440**
		Ganzkörperavatar_2	***.582***	***.468***
	Engagement	Nur Hände	**.350**	.236
		Ganzkörperavatar_1	.227	***.581***
		Ganzkörperavatar_2	***.451***	***.495***
	Ecological Validity	Nur Hände	***.506***	***.495***
		Ganzkörperavatar_1	***.453***	***.539***
		Ganzkörperavatar_2	***.596***	***.515***
	Negative Effects	Nur Hände	-.243	**-.417**
		Ganzkörperavatar_1	-.084	**-.426**
		Ganzkörperavatar_2	-.046	-.207

4.2 Einfluss von Geschlecht, Alter und Erfahrung

Zusätzlich wurde begonnen, den Einfluss personenbezogener Eigenschaften zu untersuchen. Zur Analyse des geschlechtsspezifischen Einflusses auf die Presence- und Akzeptanzergebnisse wurden erneut Friedman-Tests für gepaarte Stichproben und Pearson Korrelation errechnet. Dabei ist jedoch anzumerken, dass die Ergebnisse aufgrund der geringen Stichprobengröße in der Männergruppe nur unter Vorbehalt betrachtet werden können. Eine Überprüfung der Ergebnisse durch

weitere Erhebungen wird angestrebt. Bei der Überprüfung auf Signifikanzunterschiede ergab sich, dass die weibliche Probandengruppe ähnlich der Gesamtstichprobe, keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Presence und Akzeptanzwerte zwischen den verschiedenen Avatar-Visualisierungen aufzeigte. Bei der männlichen Probandengruppe konnte jedoch ein signifikanter Unterschied bezügliches des Presence Faktors *Sense of Physical Space* für die verschiedenen Avatare ermittelt werden (p=.025). Des Weiteren wurde die Beziehung zwischen den Presence- und Akzeptanz-Faktoren ebenfalls nach Geschlechtern getrennt analysiert und ergab deutliche Unterschiede: Die Ergebnisse der Frauengruppe sind mit den Ergebnissen der Gesamterhebung vergleichbar, allerdings zeigt die Analyse der Männergruppe hier deutliche Unterschiede, da lediglich der Faktor *Engagement* mit der Nützlichkeit in der Gesamtkörperavatar_2-Erhebung korreliert.

Beide Ergebnisse könnten auf geschlechtsspezifische Unterschiede bezüglich der Presence- und Akzeptanzbewertung hinweisen. Aufgrund der geringen Stichprobengröße ist jedoch von einer endgültigen Aussage abzusehen und stattdessen müssen die erhaltenen Ergebnisse mit den später folgenden Studien verglichen werden.

Bezüglich der Erfahrung wurde keine signifikanten Korrelationen mit den Presence und Akzeptanzfaktoren ermittelt. Bei der Betrachtung altersbedingter Einflüsse zeigte sich jedoch, dass das Alter mit dem *Negative Effects* Faktor in zwei Versuchsreihen signifikant korreliert. Dabei ist jedoch zu beachten, dass in der vorliegenden Studie nur Personen zwischen 20 und 35 Jahren einbezogen wurden.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die Studienergebnisse zeigen einen deutlichen Zusammenhang der Presence-Faktoren *Sense of Physical Space* und *Ecological Validity* und der Akzeptanz der Probanden. Es konnten weitere Anhaltspunkte dafür gefunden werden, dass eine hohe Presence sich ebenso in hohen Akzeptanzwerten wiederspiegelt. Die Studie zeigt jedoch auch, dass die Frage, welche Methoden zu hohen Presence-Bewertungen führen, nach wie vor nicht beantwortet ist. Hinsichtlich der Avatargestaltung widerlegen die Untersuchungsergebnisse die eingangs getroffene Annahme, dass eine möglichst realistische Szenerie zu höheren Presence-Werten führt. Obwohl die Annahme bestand, dass ein Ganzkörper-Avatar, aufgrund seiner im Vergleich zu schwebenden Händen deutlich gesteigerten Nähe zur Realität der Wahrnehmung unseres eigenen Körpers, eine höhere Presence bewirkt, indizieren die Ergebnisse, dass solche Unterschiede in der Visualisierung nicht ausschlaggebend für die Presence-Bewertung sind. Des Weiteren deuteten sich zwar ge-

schlechtsspezifische Unterschiede in den Ergebnissen an, diese können jedoch nicht ohne weitere Studien als zutreffend angenommen werden.

Um die Auswirkungen von Szenario-, Methoden- und Benutzerspezifischer Faktoren auf die Presence- und die Akzeptanzbewertung zu untersuchen, werden die in Kapitel 3 beschriebenen Variationen der Methoden und Faktoren in weiteren Studien untersucht, ebenso wie die Auswirkung einer gesteigerten Presence auf die Übertragbarkeit von Lerninhalten aus VR-Anwendungen in die Realität. Ausgehend von den Gesamtergebnissen erfolgt im weiteren Verlauf des Projektes die Erstellung eines Methodenkataloges, in denen der Einfluss der Methoden und Faktoren beschrieben wird. Dieser Katalog dient als Wegweiser und Hilfestellung für die Erstellung zukünftiger virtueller Szenarien, um abschätzen zu können, welche Methoden notwendig und sinnvoll sind, wenn für eine bestimmte Personengruppe das Erreichen eines bestimmten Presence-Levels gesichert werden soll.

Literaturangaben

[1] Palter, V.N.,Grantcharov, T.P., Individualized deliberate practice on a virtual reality simulator improves technical performance of surgical novices in the operating room: a randomized controlled trial, Annals of surgery 259 (3) 2014 443-448

[2] Vora, J., Nair, S., Gramopadhye, A.K., Duchowski, A.T., Melloy, B.J., Kanki, B., Using virtual reality technology for aircraft visual inspection training: presence and comparison studies, Applied ergonomics 33 (6) 2002 559-570

[3] Rau, V., Niemöller, D., Berkemeier, L., Ist weniger mehr? – Designprinzipien für Virtual Reality Training aus kognitionspsychologischer Sicht, HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik 56 (4) 2019 809-822

[4] Slater, M.,Wilbur, S., A Framework for Immersive Virtual Environments (FIVE): Speculations on the Role of Presence in Virtual Environments, Presence: Teleoperators and Virtual Environments 6 (6)1997 603-616

[5] Slater, M., Measuring presence: A response to the Witmer and Singer presence questionnaire, Presence 8 (5) 1999 560-565

[6] Weiss, P.L., Kizony, R., Feintuch, U., Katz, N., Virtual reality in neurorehabilitation, Textbook of neural repair and rehabilitation 51 (8) 2006 182-97

[7] Cummings, J.J.,Bailenson, J.N., How immersive is enough? A meta-analysis of the effect of immersive technology on user presence, Media Psychology 19 (2) 2016 272-309

[8] Zimmons, P.,Panter, A. The influence of rendering quality on presence and task performance in a virtual environment, IEEE Virtual Reality, 2003. Proceedings., (2003)

[9] Mori, M., MacDorman, K.F., Kageki, N., The uncanny valley [from the field], IEEE Robotics & Automation Magazine 19 (2) 2012 98-100

[10] Lugrin, J.-L., Latt, J., Latoschik, M.E. Avatar anthropomorphism and illusion of body ownership in VR, 2015 IEEE Virtual Reality (VR), (2015)

[11] Mütterlein, J.,Hess, T., Immersion, presence, interactivity: towards a joint understanding of factors influencing virtual reality acceptance and use, 2017

[12] Lessister, J., Freeman, J., Keogh, E., Davidoff, J., A Cross-Media Presence Questionnaire: The ITC-Sense of Presence Inventory, Presence: Teleoperators and Virtual Environments 10 (3) 2001 282-297

[13] Van Der Laan, J.D., Heino, A., De Waard, D., A simple procedure for the assessment of acceptance of advanced transport telematics, Transportation Research Part C: Emerging Technologies 5 (1) 1997 1-10

[14] Mania, K.,Chalmers, A., The Effects of Levels of Immersion on Memory and Presence in Virtual Environments: A Reality Centered Approach, CyberPsychology & Behavior 4 (2) 2004 247-364

Explorative Studie zur computergestützten Analyse im Bereich Fahrsimulationen

Ritter, M.[1]; Vodel, M.[2]; Roschke, C.[3]; Vogel, R.[1]; Heinzig, M.[1]

[1] Hochschule Mittweida, Professur Medieninformatik

[2] Hochschule Mittweida, Professur Softwareentwicklung für Medien und Anwendungssysteme

[3] Hochschule Mittweida, Fakultät Medien

Abstract

Im Bereich der praxisorientierten Hochschulausbildung offeriert das vorgestellte innovative und explorative Lehrformat eine Möglichkeit für einen signifikanten Wissenszuwachs für Studierenden durch geführte Erschließung der ihnen unbekannten und interdisziplinären Anwendungsdomäne von Fahrsimulatoren. Durch die Bündelung multipler Kompetenzen des Lehrpersonals, der beteiligten PromovendenInnen und Experten und die kompakte Durchführung in einem dreitägigen Block-Workshop konnten die Lernprozesse deutlich intensiver und nachhaltiger gestaltet werden, wobei sich der Beitrag nicht mit der eigentlichen Bewertung, sondern mit der Darstellung der erzielten Ergebnisse befasst, die anschließend der Hochschulöffentlichkeit gemeinsam mit allen Beteiligten vorgestellt wurden.

1 Motivation

E-Sports entwickelt sich zu einer tragenden Säule in der Medienlandschaft. Künstliche Intelligenz und Maschinelle Lernverfahren sind in den aktuellen technischen Entwicklungen im MINT-Bereich essenziell verankert und müssen auch in der Lehre verstärkt thematisiert werden. Am Beispiel des hochschuleigenen Fahrsimulators, welcher aus Forschungs- und Investivmittel finanziert wurde, wurden Immersionslevel, Stressfaktoren und Fahrverhalten bei studentischen Probanden innerhalb des innovativen Lehrformats eines explorativen Workshops untersucht, welches in den nachfolgenden Abschnitten detailliert beschrieben steht.

Das durchgängige Lehrkonzept *Digital Skills and Products* (vgl. *Ritter et al. (2019)* [1]) der Bachelor- und Masterstudiengänge *Medieninformatik & Interaktives Entertainment* der Hochschule Mittweida verfolgt das Ziel, Studenten zu befähigen, ihre digitalen Fähig- und Fertigkeiten kontinuierlich über den Studienverlauf auszubilden

und Schlüsselkompetenzen zu erwerben, um interaktive Produkte oder Lernsimulationen auf interdisziplinärem Terrain zu erstellen. Hierzu ist es wichtig, einen geführten Perspektivenwechsel vom Lernenden hinweg zur Rolle des Wissensvermittlers oder Lehrenden vorzunehmen. Dieses Vorhaben ordnet sich nahtlos in das Konzept ein und fokussiert auf den Zeitraum des 2. Mastersemesters (M2) mit dem Ziel, Studenten zu befähigen, sich in großen Datenmengen in fremden Anwendungsdomänen zurechtzufinden und Schlüsselkomponenten explorativ aber angeleitet zu identifizieren, zu verarbeiten, darzustellen und geeignete Hypothesen abzuleiten und anteilig verifizieren zu können.

2 Methoden & Durchführung

Im konkreten Fall ist das nachfolgend beschriebene explorative Lehrformat im Modul „Interaction Science mit Künstlicher Intelligenz“ im 2. Mastersemester im Umfang von 5 ECTS verortet. In den Bereich des Maschinellen Lernens wird zuvor über sieben Doppeleinheiten à vier Unterrichtsstunden (180 Minuten mit variierendem Vorlesungs- und Praxisteil) eingeführt, wobei sich der Lehrstoff von den Ursprüngen des Fachgebiets der Künstlichen Intelligenz über Definition und Anwendung von Maschinellen Lernverfahren als KI-Agenten oder für Bewegungsanalysen bis hin zum Einsatz neuronaler Faltungsnetzwerke mit Standardframeworks wie *Theano* und *Lasagne* [2], *Keras* [3] und *Tensorflow* [4] in Nicht-Standard-Anwendungsdomänen und in fortgeschrittenen Verfahren zum bildbasierten Style-Transfer mit Hilfe neuronaler Faltungsnetzwerke [5] erstreckt.

2.1 Definition Lernszenario sowie Lehr- und Lernziele

Ausgangspunkt für die Studie war ein dreitägiger Workshop mit Studierenden sowie mehreren Dozenten. Abweichend von klassischen Lehrformaten und Lehrveranstaltungen sollten die Kursteilnehmer hier den gesamten Datenverarbeitungsprozess, beginnend bei der Datenerfassung, über die Vorverarbeitung, Strukturierung, Visualisierung, Interpretation bis hin zur Überführung in semi-automatisierten Analyseverfahren selbstständig durchlaufen und die zahlreichen Problemstellungen realer Anwendungsszenarien meistern.

Der Workshop wurde hierzu wie folgt in drei Tageseinheiten zu je 8 Arbeitsstunden pro Tag gegliedert:

Tag 1: Experimentaldesign und Datenaufnahme

Tag 2: Domänenexploration in Gruppen

Tag 3: Auswertung & Präsentationsausarbeitung

Ein wichtiges und spezielles Lernziel stellt die Erschließung bisher unbekannter Datenlagen in fremden Anwendungsdomänen dar, in die sich mit Hilfe von Fachex-

perten und entsprechenden Softwarewerkzeugen eingearbeitet werden muss. Das in der Lehrveranstaltung und im Projekt erlernte Breitenwissen sowie die hierfür notwendigen individuellen und team-basierten Softskills lassen sich im Nachhinein auf andere Themenbereiche und Aufgabenstellungen anwenden und stützen eine industrienahe MINT-Ausbildung an der Hochschule Mittweida.

Die Arbeit auf selbst generierten, „eigenen" Daten stellt für das vorgestellte Lernformat einen wesentlichen Motivationsparameter dar. Die enge Betreuung erfolgt mit einem Team aus verhältnismäßig vielen Dozenten und PromovendInnen aus unterschiedlichen Bereichen der Kerninformatik und informatik-naher Fachbereichen und erstreckt sich vom Algorithmen- und Softwareentwickler über KI- und Visualisierungsspezialisten bis hin zu Projektmanager mit mediatorischer Hintergrundausbildung. Durch die kombinierte und auf stark unterschiedlichen Wissensschwerpunkten bestehende Expertise wird das Lernerlebnis in seiner kompakten Form überhaupt erst vermittelbar und gleichzeitig mitigierend zielgerichtet optimiert.

In der hier vorgestellten Studie sollte ein Fahrsimulator als Versuchsträger zum Einsatz kommen. Die durch die Teilnehmer generierten Telemetriedaten aus dem virtuellen Fahrzeug dienen als Datenbasis für die Erprobung maschineller Lernverfahren, welche sich auf die Klassifikation von Fahrerprofilen konzentrieren. Zusätzlich sollen die KI-Verfahren die Wiedererkennung spezifischer Streckenabschnitte ermöglichen. Dabei sollen keine konkreten Geoinformation (GPS, Distanzangaben, etc.) genutzt werden, sondern ausschließlich die gefahrenen Telemetriedaten der jeweiligen Fahrer Verwendung finden. Um die Robustheit und die Güte der Klassifikatoren zu erhöhen, werden in einem weiteren Schritt Methoden der Zeitreihenanalysen vorgestellt & durchgeführt. Die qualitativen Auswirkungen auf die Prädiktionsergebnisse können somit direkt analysiert und diskutiert werden.

2.2 Experimentalsetup und erfasste Daten

Zur Aufnahme der konkreten Messreihen musste jeder Kursteilnehmer mehrere virtuelle Runden im Fahrsimulator auf der Grand Prix-Strecke Suzuka (Japan) absolvieren. Die dabei genutzte Simulationssoftware zeichnete die gesamten Telemetriedaten des virtuellen Fahrzeugs auf. Pro Fahrer entstanden so über drei gefahrene runden ca. 40 MB an Rohdaten, welche eine detaillierte und zeitlich synchronisierte Analyse des Fahrverhaltens ermöglichte. Mit einer Sampling-Rate von 60 Hz wurden pro Datensatz über 300 Parameter aufgezeichnet, wozu beispielsweise Gas- und Bremspedal-Stellung, Geschwindigkeit, Lenkeinschlag, Gangwahl, Motordrehzahlen, Raddrehzahl, Feder- und Dämpferweg, Kraftstoffverbrauch und zahlreiche andere gehörten. Zusätzlich stehen für Kontrollzwecke auch Geoinformationen zur Verfügung, die die Distanz seit Start- und Ziellinie kodieren und welche aber nur für die visuelle Telemetriedatenanalyse abseits des Klassifikationsproblems genutzt werden.

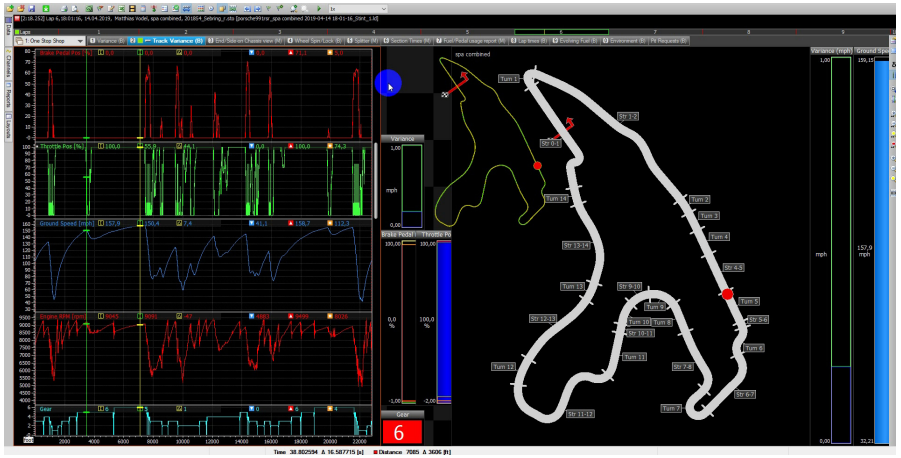


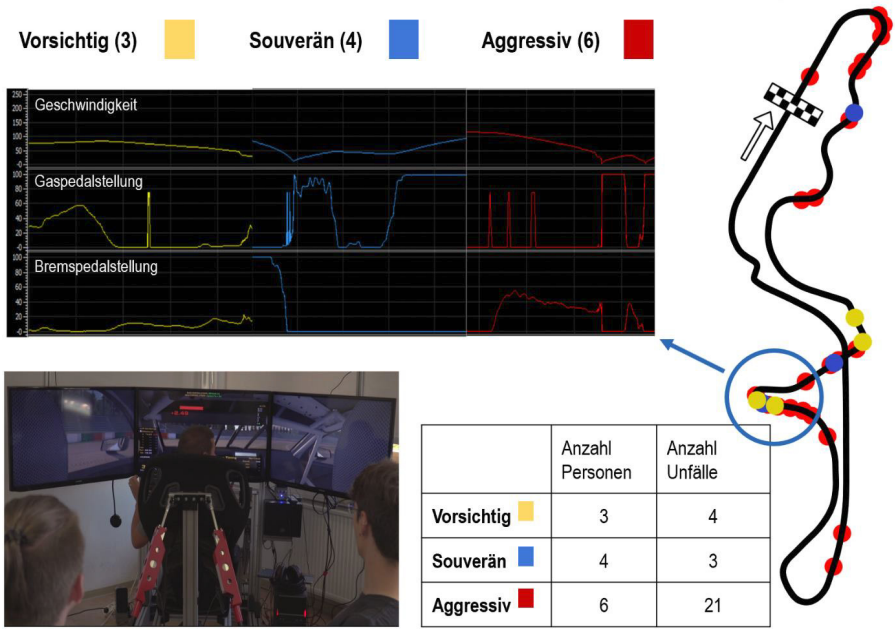
Abbildung 1: Beispielhafte Messdatenvisualisierung der Fahrzeugtelemetriedaten mittels MoTeC i2 Pro Software aus dem professionellen Motorsport.

In der gesamten Explorativ-Studie entstanden so in weniger als drei Stunden Rennzeit mehr als 200 Millionen Datenwerte von insgesamt 13 Testpiloten in knapp 800 MB an Daten im CSV-Format. Dies entspricht etwas 650.000 Datenmessungen mit jeweils 300 Attributen pro Datenpunkt bei einer Messfrequenz von 60 Hz. Die Daten wurde anschließend zunächst individuell ausgewertet und klassifiziert. In einem nächsten Schritt konnten unterschiedliche Datensätze mehrerer Fahrer übereinandergelegt und hinsichtlich Gemeinsamkeiten und Unterschieden verglichen werden. Abbildung 2 zeigt hierbei die Messdatenvisualisierung.

Auf den bereitgestellten Daten sollten mehrere Teams unterschiedliche wissenschaftliche Fragenstellungen bearbeiten. Die Aufteilung umfasste dabei folgende Themen:

- Gruppe 1 sollte grundlegende Informationen über die zugrundeliegende Anwendungsdomäne eruieren und hierzu elementare statistische Analysen heranziehen.
- Gruppe 2 befasste sich mit Maschinellen Lernverfahren und versuchte den aktuellen Streckenpunkt aufgrund der zur Verfügung stehenden Merkmalsattribute der Telemetriedaten zu erfassen, ohne dabei auf die GPS-Koordinaten zurückzugreifen.
- Gruppe 3 befasste sich mit der spezifischen Identifizierung von archetypischen Auffälligkeiten der Probanden (Persona).

Auf die Ergebnisse und Rückschlüsse der drei Gruppen soll im nachfolgenden näher eingegangen werden.



	Anzahl Personen	Anzahl Unfälle
Vorsichtig	3	4
Souverän	4	3
Aggressiv	6	21

Abbildung 2: Motion Simulator im Testbetrieb (links unten). Virtuelle Unfallschwerpunkte (rechts) und Fahrertypisierung (Persona) auf Basis der individuellen Telemetriedaten auf dem Rundkurs Suzuka (Japan) (oben). (aus: [6])

2.3 Statistische Datenanalysen und Persona

Auf diesen Datenmengen lassen sich zunächst einfache statische Analysen durchführen. Die Analyse von Rundenzeiten erscheint intuitiv greifbar und aussagekräftig. Ein Mittelwert der Probanden von 2 Minuten 54 Sekunden liegt etwa 70 Sekunden unter der regulären Leistung eines Profi-Rennfahrers bei gleicher Fahr. Diese reduzieren sich durch die Bestwerte der erfahreneren Probanden bei 2 Minuten und 18 Sekunden deutlich. Darüber hinaus lassen sich auch weitere Trivia an Fahreigenschaften nachweisen: Beispielsweise fahren Personen mit Führerschein augenscheinlich schneller als ohne, wobei die Unfallraten ohne Führerschein fast doppelt so hoch zu verzeichnen waren wie mit Führerschein, obgleich die Probanden ungleich verteilt waren.

Ferner wurde untersucht, ob sich Unfälle und Fahrverhalten typisieren oder aufeinander abbilden lassen (siehe Abbildung 2). Dazu konnten augenscheinlich drei verschiedene Persona identifiziert werden: (i) vorsichtige, (ii) souveräne und (iii) aggressive Fahrer, deren Fahrverhalten exemplarisch in der Haarnadelkurve verglichen wird, in welcher offensichtlich auch vorsichtige Fahrer (gelb) Probleme haben

oder bei welcher auch souveräne Fahrer (blau) gelegentlich auszubrechen scheinen. Auffällig ist, dass aggressiveres Verhalten (rot) die meisten Kollisionen auf zahlreichen kurvigen Streckenabschnitten aufzeigt, wobei diese auch häufiger und wesentlich staccato-artiger Gas und Bremse zu betätigen scheinen.

2.4 Datenaufbereitung und Datenanalyse mittels Methoden Maschineller Lernverfahren

Ein Teil der Studierenden beschäftigte sich mit der Analyse und Aufbereitung der durch das verwendete Experimentalsetup entstandenen Daten. Das Lernziel der Gruppe bestand darin, ein Verständnis für die Eigenheiten der Rohdaten zu erhalten, diese handhabbar zu machen und mittels zugänglicher Software erste praktische Erfahrungen im Feld des maschinellen Lernens in unbekannten Anwendungsfeldern zu gewinnen. Konkret bestand das Aufgabenfeld aus vier Kernkomponenten:

1. Sichtung und Aufbereitung der Rohdaten
2. Definition von potenziellen Analysezielen
3. Anreicherung der Rohdaten mit zusätzlichen Informationen
4. Anwendung und Evaluation Maschineller Lernverfahren inklusive erster Optionen zur Steigerung der Leistungsfähigkeit

Während des gesamten Prozesses wurden die Studierenden sowohl beratend als auch bei der Umsetzung der Ideen durch die Betreuer begleitet. Dadurch war es möglich, sowohl innerhalb des gesteckten Zeitrahmens die technische Umsetzung zu gewährleisten als auch mögliche Fallstricke zu vermeiden. Die Studierenden konnten sich damit auf die eigentlichen Kernideen und notwendigen Schritte fokussieren, ohne sich in aufwändigen Problemen der Umsetzung zu verlieren. Folgend werden Details und Ergebnisse der einzelnen Etappen näher beleuchtet.

2.4.1 Sichtung und Aufbereitung der Rohdaten

Die Daten lagen in ihrer Ursprungsform als eine Ansammlung einzelner Dateien im CSV-Format (Comma Separated Values; RFC 4180 [7]) vor. Dabei handelt es sich um ein typisches Dateiformat zum Austausch tabellarischer Informationen. Das Format ist in der täglichen Praxis innerhalb der Domäne des Maschinellen Lernens häufig anzutreffen. Die Studierenden erhalten somit die Möglichkeit, sich mit dem Format tiefer vertraut zu machen und den effektiven Umgang zu lernen.

Die einzelnen Dateien lagen in einem spezifischen Namenschema vor, welches in dem Muster „*{Name}_Lap{X}.csv*“ folgte. Dabei beschreibt *{Name}* den Platzhalter für den jeweiligen Fahrer, dessen Daten sich in der Datei befinden und *{X}* den Platzhalter für die jeweils gefahrene Rundennummer. Konkret würde der Name

„*Lisa_Lap2.csv*“ die Fahr-/Telemetriedaten von *Lisa* in Runde *2* enthalten. Die Studierenden standen an dieser Stelle vor drei konkreten Aufgaben:

1. Die Daten müssen für eine sinnvolle Verarbeitung zusammengefasst werden. Konkret müssen die Dateien also in eine einzelne, zusammenfassende CSV-Datei überführt werden, wobei die Informationen über die jeweilige Ursprungsquelle erhalten bleiben muss.
2. Einige der Daten mussten gefiltert werden. Beispielsweise befand sich das Fahrzeug regelmäßig in der Boxengasse, bevor es die eigentliche Strecke erreicht.
3. Für einige Auswertungsschritte sind diese in den Dateinamen vorhandenen Informationen essenziell. Die Dateinamen müssen also zerlegt und der entstehende Datensatz mit den zugehörigen Informationen angereichert werden.

Für die Realisation galt es ein Skript zu entwerfen, welches die CSV-Daten sowohl einlesen als auch erweitern und speichern konnte. Hierfür kam die Programmiersprache *Python* [8] zusammen mit der interaktiven Entwicklungsumgebung *Jupyter Notebook* [9] zum Einsatz. *Jupyter Notebooks* erlauben durch ein webbasiertes Interface den interaktiven Umgang mit der jeweiligen sich im Einsatz befindlichen Programmiersprache. Da sich Notebook-basierte Umgebungen in der wissenschaftlichen Community besonders im Bereich *Rapid Prototyping* und Lehre etablieren, bieten sie sich im Rahmen des Projektes im besonderen Maße an. Für das Einlesen und dem Verarbeiten der Daten kam die Bibliothek *Pandas* [10] zum Einsatz. Mithilfe der Bibliothek lassen sich verschiedene Datenquellen und Datenformate einlesen, verarbeiten und schreiben. Praktische Erfahrung dieser spezifischen Tools erweisen sich in verwandten Lehrveranstaltungen als Vorteilhaft und sind durch ihre hohe Verbreitung überaus relevant beim industriellen Einsatz nach Abschluss des Masterstudiums.

Als Ergebnis des ersten Schrittes lag ein Datensatz bestehend aus *374.146* Datenpunkten und jeweils *285* Attributen vor. Die Attribute setzen sich aus jeweils 283 reell-wertigen Telemetriedaten aus der Rohdatenanalyse, als auch eines kategorischen Attributs für den jeweiligen Fahrernamens und eines Attributs für die jeweilige Rundenzahl im Bereich [1, ..., 4] zusammen. Der Datensatz erfasst insgesamt Daten von 13 Teilnehmern. Da das virtuelle Fahrzeug bei Unfällen fahrunfähig werden konnte, sind die Rundenzahlen ungleich verteilt. Tatsächlich erreichte nur ein einziger Teilnehmer Runde 4, was lediglich 9.320 Datenpunkten (0,025 %) entspricht.

2.4.2 Definition potenzieller Analyseziele

Da der Workshop in seiner Natur offen gestalten war, gab es keine zwingenden Zielvorgaben seitens der anleitenden Personen. Aufgabe der Gruppe war es also,

mögliche Ziele für eine prädiktive Analyse zu ersinnen. Dieser Schritt schärft das Verständnis der Domäne des maschinellen Lernens. Die Studierenden mussten sich der vorhandenen Datenlage und der daraus resultierenden Möglichkeiten bewusstwerden. Dabei fiel die Wahl auf folgende zwei Fragestellungen:

A. Kann auf Basis der gewonnen Telemetriedaten festgestellt werden, ob sich das Fahrzeug in einer Kurvenlage oder auf einem graden Streckenabschnitt befindet?
B. Kann weiterhin festgestellt werden, auf welchem definierten Streckenabschnitt sich der oder die jeweilige Fahrer/-in befindet?

Die zwei Probleme liegen von ihrer Schwierigkeit im Sinne der Prädiktion auseinander. Problem A resultiert in einem Zweiklassenproblem („Fahrzeug befindet sich in Kurvenlage“ / „Fahrzeug befindet sich auf Gerade“). Problem B hingegen ist ungleich schwieriger: Die verwendete Strecke Suzuka Grand Prix gliedert sich (ohne Boxengasse) nach offiziellen Einteilungen in 24 verschiedene Streckenabschnitte.

2.4.3 Anreicherung der Rohdaten mit zusätzlichen Informationen

Die Studierenden mussten feststellen, dass sich die gesetzten Ziele auf alleiniger Grundlage der erhobenen Rohdaten nicht realisieren lassen. Es fehlen die eigentlichen Prädiktionsziele: Der Typ der Strecke, der dem jeweiligen Datenpunkt zuzuordnen ist (Gerade / Kurve) und analog der jeweilige Streckenabschnitt im Bereich [1, ..., 24]. Der Datenbestand musste also aufbereitet und erweitert werden.

Durch Analyse der bereits vorhandenen Attribute konnten Studierende und Dozenten gemeinsam feststellen, dass die jeweilige Streckendistanz in Metern in den Daten vorlag. Auf Basis dieser Grundlage ließ sich eine Kartierung von Distanzen zu Streckenabschnitten erfolgen. Dafür musste intellektuell auf Basis der Streckenbeschreibung die jeweilige Zuordnung erfolgen. Händisch wurde dafür im ersten Schritt eine Tabelle erzeugt, welche ein jeweiliges Distanzintervall auf den Streckenabschnitt (und Typ) abbildet. In einem zweiten Schritt wurde die Tabelle in das zu diesem Zeitpunkt bekannte CSV-Format exportiert. Die Daten konnten nun in die bereits vorhandene *Jupyter Notebook*-Umgebung eingelesen werden. Der Programmcode wurde dann so erweitert, dass die Datenreihen basierend auf der Zuordnung angereichert werden konnten. Der final resultierende Code für die Aufbereitung der Daten umfasste insgesamt circa 100 Codezeilen.

Der Prozess der Datenaufbereitung beanspruchte einen Großteil der eigentlichen Bearbeitungszeit. Das ist für die Studierenden eine entscheidende Beobachtung. Tatsächlich ist der Prozess der Datenakquise- und Aufbereitung auch im gelebten Berufsalltag ein sehr zeitaufwändiger Vorgang. Laut dem Data Scientist Report von *Crowdflower* verbringen Datenwissenschaftler über 50% ihrer Zeit mit dem Sammeln, Labeln, Bereinigen und Organisieren von Daten, welche gleichzeitig zu den unbeliebtesten Tätigkeiten des Jobs zählen [11].

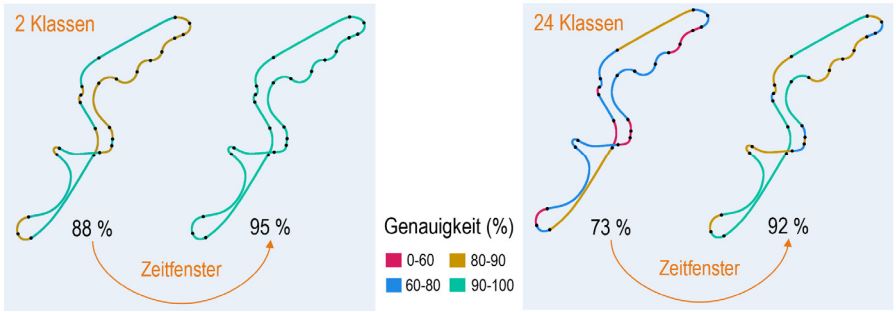


Abbildung 3: Genauigkeit der Lokalisation des virtuellen Fahrzeugs mit Hilfe von Deep Learning-Verfahren und neun Attributwerten auf dem Suzuka-Rundkurs für 2-Klassen-Problem (Gerade vs. Strecke; links) und für 24-Streckenabschnitte (rechts) mit und ohne Einbezug eines Zeitfenster einer drittel Sekunde.

2.4.4 Anwendung und Evaluation Maschineller Lernverfahren inklusive erster Optionen zur Performance-Steigerung

Final konnten die generierten Daten nun für prädiktive Analysen verwendet werden. Um die Einstiegshürden so gering wie möglich zu halten, wurde dafür auf die Data Science Plattform *RapidMiner* [12] zurückgegriffen. Insbesondere kam die Funktion *AutoModel* des Tools zum Einsatz. Mit der Funktionalität können auf einfache Art Daten importiert, selektiert und auf verschiedene Machine Learning-Modellen trainiert und ausgewertet werden. *RapidMiner* führt dabei selbst eine einfache Parametersuche durch und unterteilt die Daten selbständig in jeder Iteration in Trainings- und Testdaten. Durch diese Unterstützung müssen die Studierenden derartige Funktionalitäten nicht selbst implementieren, was wertvolle Zeit spart und realistische Ergebnisse liefert, die auch in langwierigen eigenen Implementierungen erwartbar sind. Dabei konnten die Studierenden Eigenheiten der einzelnen Modelle beobachten. So unterscheiden diese sich sowohl in der tatsächlich erreichten prädiktiven Güte als auch in ihren Laufzeiten. Eine tiefere Aufarbeitung der Funktionsweise der einzelnen Modelle kann daraufhin gegebenenfalls in verwandten Lehrveranstaltungen oder Unterrichtseinheiten behandelt werden.

Für die eigentliche Analyse wurde nur ein kleiner Teil der vorhandenen Attribute ausgewählt. Dies sollte einer Überparametrisierung der Modelle entgegenwirken und gleichzeitig den rechnerischen Aufwand reduzieren. Die Studierenden standen damit vor der konkreten Aufgabe, eine möglichst kleine Anzahl an Messwerten zu finden, die mutmaßlich als informationsträchtig im Sinne der Vorhersage der vorher definierten Ziele erscheinen. Dabei wählten sie lediglich *neun* der zur Verfügung stehenden 285 Attribute aus. In einem ersten Versuch konnte eine Genauigkeit (Precision) von bis zu 80% für das Zweiklassenproblem (Gerade / Kurve) erreicht werden. Das 24-Klassenproblem zur Bestimmung der Position des Fahrzeugs auf

einem konkreten Streckenabschnitt schnitt erwartungsgemäß deutlich schlechter ab, was initiale Hypothesen der Studierenden bestätigte.

Die Analyse erfolgte auf Basis der Rohdaten, die mit 60 Hertz erhoben wurden. Ein offensichtlicher Schwachpunkt der Datendarstellung wurde schnell identifiziert: Eine Momentaufnahme der Telemetriedaten hat nur eine sehr begrenzte Aussagekraft über die tatsächlichen Gegebenheiten. Mit dieser gewonnenen Einsicht konnte mit der Zeitreihenanalyse eine offensichtliche Verbesserungsmöglichkeit identifiziert werden. Unter Zuhilfenahme von *RapidMiner* konnte der Datensatz auf einfache Weise zu einem Zeitreihenformat erweitert werden. Bei dem Vorgang konnten die Studierenden die Verwendung einiger manueller *RapidMiner*-Module kennen lernen. Ein Datenpunkt bestand nun aus zusammengesetzten Daten, die 0,33 Sekunden Fahrzeit entsprechen.

Final konnten die Studierenden nun die Genauigkeit für Problem A von 88% auf 95% und Problem B von anfänglich 73% auf 92% steigern, was in Abbildung X nochmal farblich dargestellt wird. Diese positive Entwicklung schärft das Verständnis der Wichtigkeit der Datenrepräsentation.

3 Zusammenfassung und Lessons learned

Aus der vorgestellten Studie können mehrere Thesen abgeleitet bzw. unterlegt werden. Im Bereich der praxisorientierten Hochschulausbildung bietet das vorgestellte innovative Lehrformat einen signifikanten Wissenszuwachs für die Studierenden. Durch die Bündelung mehrerer Kompetenzen und die kompakte Durchführung in einem mehrtägigen Block-Workshop konnten die Lernprozesse deutlich intensiver und nachhaltiger gestaltet werden. Die zusätzliche interdisziplinäre Wissensvermittlung in mehreren ingenieurstechnischen sowie naturwissenschaftlichen Themenbereichen stellt eine besondere Komponente in der praxisnahen Hochschulausbildung dar und stellt einen erheblichen Mehrwert gegenüber klassischen Lehrformaten dar.

Innerhalb des Kurses haben die Studierenden einen großen Teil der Datenverarbeitungskette praktisch erfahren. Dabei haben sie am Beispiel mit verschiedenen Industrietypischen Softwarewerkzeugen wie *Python*, *Jupyter Notebook* und dem Analysetool *RapidMiner* und deren Zusammenspiel in durchgängigen Werkzeugketten arbeiten können. Es konnte das Verständnis für notwendige Arbeitsschritte und Abläufe geschärft und die Wichtigkeit und die Komplexität der Datenaufbereitung verstanden werden. Stolpersteine bei Realisierung konnten sowohl durch die verwendeten Werkzeuge als auch durch Unterstützung der anwesenden Betreuer abgefangen werden. Damit war es möglich, die Vielzahl an Arbeitsschritten und Überlegungen zu bewältigen und schlussendlich tatsächlich in kürzester Zeit valide Ergebnisse zu erzielen.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei allen Studierenden des Masterstudiengangs Medieninformatik & Interaktives Entertainment des Jahrgangs 2018 und den ungenannt verbliebenen Dozenten, die dieses innovative Experiment erst ermöglicht haben.

Literatur

[1] *Ritter, M., Roschke, C., & Tolkmitt, V.: Die digitale Lernsimulation Finanzmars im Kosmos von Blended Learning. In: Nadig, L. (Hrsg.): Konferenzband Control-ling.Accounting.Risiko.Finanzen., CARF Luzern, S.327-344, 2019, Best-Paper-Award im Bereich Lehre*

[2] *Theano Development Team. Theano: A Python framework for fast computation of mathematical expressions. arXiv:1605.02688, 2016.*

[3] *Chollet, François. Deep Learning mit Python und Keras: Das Praxis-Handbuch vom Entwickler der Keras-Bibliothek. MITP, 447 Seiten, 2018*

[4] *ABADI, Martín, et al. Tensorflow: A system for large-scale machine learning. In: 12th USENIX Symposium on Operating Systems Design and Implementation. S.265-283, 2016*

[5] *Gatys, L. A., Ecker, A. S., & Bethge, M. Image style transfer using convolutional neural networks. In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition, S.2414-2423, 2016*

[6] *Ritter, M. Interdisziplinarität im Spannungsfeld moderner Medieninformatik. In: Kusche et al. (Hrsg.) Festschrift, Hochschule Mittweida, 2020.*

[7] *Y. Shafranovich, Common Format and MIME Type for Comma-Separated Values (CSV) Files, 2005, URL: https://tools.ietf.org/html/rfc4180 [13.11.2019]*

[8] *G. van Rossum, Python tutorial, Technical Report CS-R9526, Centrum voor Wiskunde en Informatica (CWI), Amsterdam, May 1995.*

[9] *Thomas Kluyver et al., Jupyter Notebooks – a publishing format for reproducible computational workflows. In Proc 20th Int. Conf. on Elec. Pub., 87-90,2016*

[10] *Wes McKinney: Data Structures for Statistical Computing in Python, Proceedings of the 9th Python in Science Conference, 2010, S.51-56*

[11] *CrowdFlower: Data Scientists Report, 2017, URL: https://visit.figure-eight.com/rs/416-ZBE-142/images/CrowdFlower_DataScienceReport.pdf [14.11.2019]*

[12] *Dwivedi, Shraddha; Kasliwal, Paridhi; Soni, Suryakant. Comprehensive study of data analytics tools (RapidMiner, Weka, R tool, Knime). In: 2016 Symposium on Colossal Data Analysis and Networking (CDAN). IEEE, 2016. S. 1-8*

Lernen, Training und Therapie mit virtuellen Techniken

VR und 360° Medien als interaktive Schulungsmittel in der Automobillogistik

Dudczig, M.[1]*; Winkler-Dudczig, Chr.* [1]

[1] VRENDEX GmbH, Königshain-Wiederau

Abstract

Schulungen im industriellen Kontext werden durch digitale Medien bereichert. Gerade wo umfassende Situationen mit verdecken Gefahrenquellen lauern und diese im realen Arbeitsalltag schnell wahrgenommen und vermieden werden müssen, bieten neue Medien großes Potential. Technologien wie Virtuelle Realität (VR) oder 360° Anwendungen geben eine umfassendere Sicht als Bilder, Videos, Texte und verbale Belehrungen. Im vorliegenden Beitrag wird ein industrielles Schulungsprojekt von Staplerfahrern im Kontext der Intralogistik beschrieben welches neben Einsatz einer VR-Anwendung durch eine mobile Version mittels 360° Technologie realisiert wurde. Herausforderungen bei der Realisierung wie Echtzeitanforderungen in VR, Motion Sickness und der virtuellen Nutzerführung werden ebenso erläutert wie die medienbezogene Didaktik, die zum Einsatz kam. Abschließend wird ein Ausblick auf den Einsatz der Schulung gegeben.

1 Motivation

Schulungen und Weiterbildungen finden oft genug noch in herkömmlichen Formaten wie dem verbalen Frontalunterricht oder einer bebilderten textbasierten Unterweisung statt. Gerade jedoch für Mitarbeiterschulungen, in denen der gesamte Situationskontext beachtet werden muss, sind virtuelle Vermittlungsformate durch etwa Virtuelle Realität (VR) oder auch 360° Medien eine wertvolle Möglichkeit visuell ganzheitlich und interaktiv Situationen zu erleben und daraufhin Verhaltensweisen zu vermitteln und Reaktionszeiten zu verkürzen.

Dass dieser Ansatz nicht neu ist und in einigen Bereichen schon Anwendung findet, zeigen u.a. unterschiedliche Beispiele aus der Wissensvermittlung und industrieller Schulungen von geschichtlicher Wissensvermittlung [1] über studentischer Ausbildung im Ingenieurwesen [2] bis hin zu potentiellen Gefahrenschulungen im Bergbauwesen für Fachkräfte [3]. Ebenso haben die Entwicklungen der letzten Jahre über digitale Bildungsmedien wie Online-Kurse oder auch die stärkere Verbreitung von 360° Technologien und VR im Konsumerbereich z.B. auch über die technische

Unterstützung durch soziale Plattformen für 360° Medien ihren Anteil daran, dass diese Medien auch im industriellen Schulungskontext stärker erwägt und genutzt werden. Beim Einsatz dieser Medien ist jedoch stets darauf zu achten, dass der Inhalt der Trainings- und Lernprozesse durch das Medium sinnvoll unterstützt und nicht durch eine zu starke Fokussierung auf die rein technischen Möglichkeiten den Fokus verliert vgl. [4]

Die VRENDEX GmbH nutzt Virtuelle Technologien, um speziell für Produktentwicklungsprozesse, Schulungsanwendungen und Marketing interaktive und didaktisch fundierte Lösungen anzubieten. Durch Nutzung der Technologien VR, Augmented Reality (AR) und 360° Medien (real fotografiert, virtuell gerendert oder hybrid fusioniert) wird damit in konzeptioneller Betrachtung auf Basis der Kommunikationsbotschaft des Kunden mehrwertbringende Software- und Hardwarelösung je nach Anforderungsprofil erstellt.

Für diesen Beitrag dient ein Fallbeispiel aus dem industriellen Kontext der Automobil-Logistik die Basis. Die Rhenus Automotive u.a. als Dienstleister für Transport- und Lagerlogistik betreibt an über 600 Standorten weltweit Logistikdienstleistungen und schult in diesem Zusammenhang ihre Mitarbeiter regelmäßig, um sichere und effiziente Prozesse zu gewährleisten. Einen beachtlichen Teil der Mitarbeiterschaft stellen die Staplerfahrer dar, die unterjährig unterwiesen werden. Typischerweise durch verbale, schriftliche oder bebilderte (Gefährdungs-)situationen, die es schnell und sicher zu erkennen und zu vermeiden gilt.

2 Projektanforderungen und Ziele

Hauptziel des Projektes ist es Schulungsinhalte für die Intralogistik (Staplereinsatz) so weiter zu entwickeln, dass durch gezielte Ergänzung neuer Medienformate gerade selten auftretende, schwer zu erkennende aber kritische Situationen hinsichtlich der Wahrnehmung und Auswirkung konkreter abgebildet werden können. Dabei waren folgende Projektanforderungen als Rahmen gesteckt:

- keine Beeinträchtigung der operativ genutzten Logistikflächen
- umfassende Situationsabbildung (z.B. alle notwendigen Sichtachsen)
- physikalisch nachvollziehbare Abbildung der Fahrphysik und Gefahrensituationen
- detaillierte grafische Darstellung zur Wiedererkennung unterschiedlicher Funktionsbereiche (Markierungen, Spiegel, usw.)
- schnell zu erlernende Bedienung und Nutzung des Systems
- Nutzung des Mediums einzeln oder in kleinen Gruppen bis 5 Personen
- Höhere Immersion, stärkere Ursache-Wirkungs-Wahrnehmung und emotionalere Auseinandersetzung mit den Schulungsinhalten
- Realisierung des Schulungsmediums als stationäre und als mobile Version

Damit standen zur Entwicklung geeigneter Formate und Inhalte für eine stationäre und mobile Trainingslösung die Rahmenbedingungen. In Abstimmung der konkret zu vermittelnden Gefahrensituationen mit dem Kunden und deren spezifischen Anforderungen (z.B. erkennbare visuelle Hinweise, Timing, Fahrphysik, Ursache – Wirkungsprinzipien) wurden potentielle Lösungsoptionen ermittelt. Durch Benchmarking potentiell verfügbarer Technologien und aktuell verfügbarer Ausgabegeräte wurden zwei Konzepte für die Realisierung der virtuellen Schulung wie in Abbildung 1 zu sehen favorisiert:

- *Stationäre Version:* als Echtzeit-VR Anwendung mit Head-Mounted-Display (HMD) (HTC Vive / Oculus Rift S) in Verbindung von Pedalen und Lenkrad mit Drehknauf
- *Mobile Version:* als 360° Applikation für Tablets mit Gyrosensor und Touch-Funktionen in Form von 360° Video-Zusammenfassung der Schulungssituationen und durch 360° Multiple-Choice Version zu Lernzwecken

Die Stärken der eher stationär einzusetzenden VR-Lösung liegt klar im Bereich der ausgeprägten Interaktionen, hohen Immersion und der umfassenden Abbildung eines dynamisch reagierenden Kontexts der Trainingssituationen. Die 360° Anwendung auf einem Tablet ist jedoch hinsichtlich des mobilen Einsatzes, der geringen Investkosten in notwendige Hardware sowie eine höhere grafische Qualität stärker. Bei geringerem Datenaufbereitungsaufwand der Initialszene hinsichtlich Geometrie und Texturoptimierung sind aufgrund des vorgelagerten Renderings keine harten echtzeitfähigen Kriterien zu erfüllen. Der Aufwand liegt bei diesem Medium eher bei der Animation und im Video-Postprocessing der Szenen.

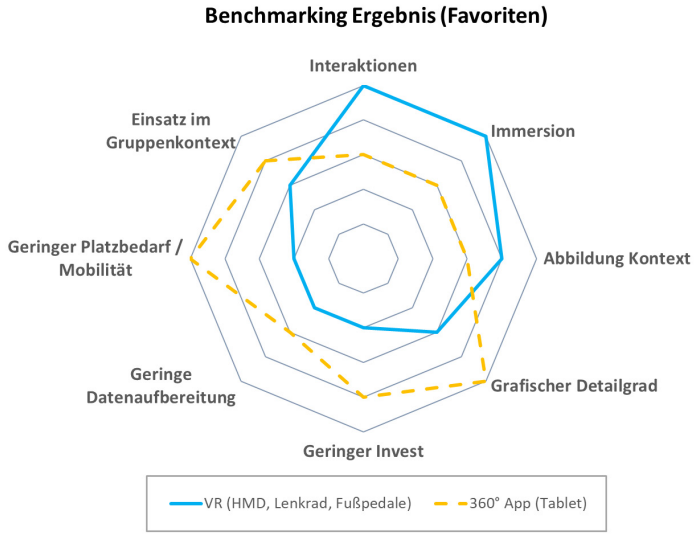


Bild 1: VR-Applikation (HTC Vive) mit vorausfahrendem Stapler-Avatar

3 Projektrealisierung

Auf Basis verfügbarer Informationen (2D-Ansichten) wurden die Halleninfrastruktur, die Funktionsbereiche, Ladungsträger, Stapler, Menschmodelle und Details modelliert bzw. aus verfügbaren Modellen echtzeitfähig optimiert. Herausforderung in diesen Prozess war die Balance zwischen grafischen Details und die notwendige Echtzeitfähigkeit (>90 Bilder pro Sekunde) für die VR-Version der Schulung. Zur Abbildung der schulungsrelevanten Situationen wurden Animationen, Physik und Events so erstellt und zusammengefügt, dass sowohl Ursache-Wirkungsprinzipien als auch Timing den typischen Gefahrenquellen entsprachen. Hier erfolgte eine enge Abstimmung mit dem Kunden, der sein explizites Wissen mit in den Gestaltungsprozess einbrachte, um typische (bereits vorgekommene) als auch seltene, potentielle Gefahrenquellen adäquat abzubilden.

3.1 Medienbezogene Schulungsdidaktik

Die Gestaltung der Schulungsdidaktik wurde medienbezogen unterschiedlich entwickelt, da in einer echtzeiterstellten (6 Freiheitsgrade) Umgebung (VR) anders agiert und reagiert werden kann, als in einem 360° Medien (3 Freiheitsgrad – Rotation der Kamera), welches nur einen Teil an Interaktionen zulässt.

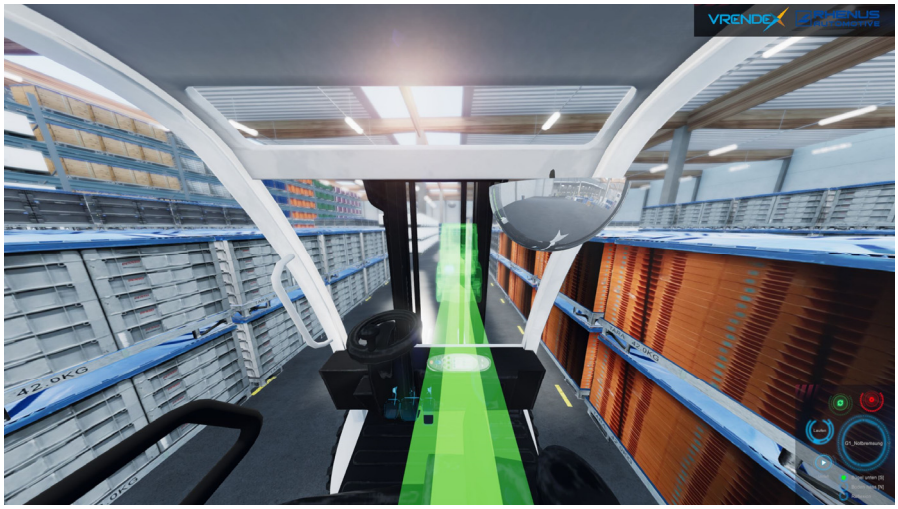


Bild 2: Screenshot der VR-Applikation (HTC Vive) mit vorausfahrendem Stapler-Avatar

Um die Mitarbeiter in potentiell gefährliche Arbeitssituationen zu bringen um deren Wahrnehmung, Reaktionszeit und Weitsicht zu schulen, wurde in der VR-Umgebung (Bild 2) eine Art Hologramm-Avatar (virtueller Stapler) genutzt, der eine

zu fahrende Strecke im Lager dynamisch vorgab und verfolgt werden musste. Dabei bestand stets die Möglichkeit, vom Avatar gemachte Fehler selbst zu korrigieren bzw. auf während der Fahrt eintretende Störungen (kreuzender Stapler, Personen, veränderte Fahrphysik durch Ladungsänderung) Rücksicht zu nehmen. Durch die Möglichkeit der externen Betrachtung des Staplerfahrers (mit VR-Brille) über einen Monitor / TV werden so in kleinen Schulungsgruppen gemeinsam mit dem Trainer Situationen erlebt und damit Ursachen und die angemessene Reaktion darauf gemeinsam erörtert und zusammengefasst.

Bild 3: 360° Applikation (Tablet) mit Multiple-Choice Fragestellung nach abgespielten Situationsclip

In der mobilen Version (Bild 3) der Schulung als 360° App auf einem Tablet wurden neben der Zusammenfassung als 360° Videos aller Schulungssituationen mit Audiofeedback zu den Verhaltensregeln eine didaktische Version erstellt, die es auch einzelnen Schulungsteilnehmer ermöglicht, eigenständig zu üben und zu lernen. Dabei werden vorher definierte 360° Videoclips aus Cockpitsicht des Staplerfahrers angespielt und vor oder nach Gefahrenquelle und deren Auswirkung durch Multiple-Choice Abfragen direkt im 360° Bild oder als Bildschirm-Overlay abgefragt. Durch die Möglichkeit des Touchgesten-gesteuerten Zooms und der Sichtachsen-Manipulation als auch die Möglichkeit die Gyro-Funktionen des Tablets z.B. in Verbindung mit einem drehbaren Stuhl zu nutzen, hat der Nutzer stets die Möglichkeit, die aus seiner Sicht wichtigste Sichtachse während den dynamischen Fahrtclips einzunehmen. Damit kann bei inkorrekten Antworten auf die Fragen die Situationen erneut erlebt und der Wahrnehmungsfokus auf die (oft nicht direkt sichtbare) Gefahrenquelle verschoben werden.

3.2 Wichtige Erfahrungswerte

Bedingt durch die starke Fahrdynamik eines realen Staplers im Bereich der Intralogistik sowohl aufgrund enger Wenderadien, schmaler Gassen als auch hoher und detailgeprägter Ladungsträger entlang der Fahrtgassen, ist bei der Realisierung der VR-Version in Verbindung mit Pedalen und einem Lenkrad mit Drehknauf die Gefahr von Motion-Sickness teilweise gegeben. Motion-Sickness entsteht vor allem bei der Diskrepanz unterschiedlicher Sinneswahrnehmungen und kann durch gezielten Einsatz von Maßnahmen der höheren Bildwiederholrate, besseren grafischen Qualität und teilweise unterbrochenen Bewegungsabläufen (z.B. durch Teleportieren) eingeschränkt werden [5]. Gerade durch die Diskrepanz einer stark dynamischen und visuell erzeugten Bewegung im Rahmen der Staplerfahrt im HMD, die real nicht auf den Schulenden durch seine vestibuläre Wahrnehmung wirkt, sind gerade stark rotationsbedingte Fahrabläufe (wie enges und schnelles Rangieren) zu vermeiden oder zu entkräften. Zur Optimierung des echtzeit-gerenderten Szenarios sind folgende Optimierungsschritte erfolgreich genutzt wurden:

- Geeignete Entkopplung der VR-Kamera vom Stapler (im realen durch Kompensation einer Art Oberkörperbewegung beim Bremsen, Beschleunigen und starken Einlenken in Kurven)
- Detail- und Kontrastverringerung an nahen Objekten, welche beim Vorbeifahren visuell stark dynamisch wirken
- Optimierung der Wegstrecken, um die Anzahl enger Kurven einzuschränken
- Stärkere Sichtfokussierung durch Vignettierung bei Kurvenfahrt und Nutzung von Fokusobjekten (z.B. virtuelle Fahrtspur zur Orientierung)

4 Fazit und Ausblick

Auch wenn der regelmäßige und verbreitete Einsatz der beschriebenen Schulungsmedien sich noch in der Einführung beim Kunden befindet, deuten die ersten Tests, Erfahrungen und Reaktionen sowie Präsentationen bei Trainern auf ein vielversprechendes Potential, die gesteckten Ziele zu erreichen. Die konkreten Auswirkungen im Vergleich zur bisherigen Schulungsmethodik ist bislang noch nicht quantifizierbar. Jedoch stieß die Nutzung der neuen Medien (VR und 360°) in bereits durchgeführten Tests stets auf großes Interesse und eine höhere emotionale Beteiligung bei den Trainingssituationen. Gerade die Möglichkeit mit dem virtuellen Stapler Dinge bis an die physikalischen Grenzen zu testen, die in einer realen Infrastruktur nicht möglich sind bzw. Ursache-Wirkungen deutlicher zu visualisieren, sind große Mehrwerte. Ebenfalls zeichnet sich der Mehrwert einer weit umfänglicheren Situationsdarstellung klar ab, da im Vergleich zu Bildern, Texten und verbalen Schulungsformen das 360° Eintauchen in die Situationen, klar nachvollziehbar sind. Die Nichtbeeinflussung der operativen Infrastruktur sowie die Realisierung als stati-

onäre (VR-Version) und mobile Version (360° App) sind per Design der Anwendungen erreicht.

Für die weitere Reduktion und bestenfalls weitgehende Unterbindung der Ursachen Motion-Sickness werden weitere Lösungsansätze geprüft (ggf. eine Einbindung einer Motion-Platform für die VR-Version). Außerdem bleibt es spannend, wie sich der Einsatz neuer HMDs auf die Wahrnehmung der der virtuellen Situationen auswirkt, indem größer Sichtbereiche (derzeit lediglich 110°) oder höhere Auflösungen (derzeit 2160x1200 Pixel). Des Weiteren bleibt die Frage spannend welches von beiden Medien mit seinen spezifischen Stärken und Schwächen einen stärkeren Einsatz finden wird. Ist es die hochimmersive, aber ressourcenintensivere VR-Version oder die schnell einzusetzende, mobile aber hinsichtlich der möglichen Interaktionen reduzierte 360° Applikation. Oder führen beide Schulungsmedien Hand-in-Hand zu einem optimalen Schulungserfolg bei der Wissensvermittlung in der Intralogistik?

5 Danksagung

Ein großer Dank gilt dem Team der Rhenus Automotive Gruppe, mit denen in enger Zusammenarbeit die beschriebenen Schulungsmedien entwickelt wurden. Dank der intensiven Workshops, spezifischen Anforderungen und Feedbacks sowie die Testphasen konnte eine praxisnahe Anwendung virtueller Technologien für einen breiten Einsatz erstellt werden.

Zudem gilt ein weiterer Dank der Sächsischen Aufbaubank (SAB) und unseren Fördermittelgebern für die Unterstützung während der Gründungsphase in der dieses Projekt zum Teil mit entwickelt wurde.

Europäische Union

Europa fördert Sachsen.
ESF
Europäischer Sozialfonds

Freistaat Sachsen

Diese Maßnahme wird mitfinanziert durch Steuermittel auf der Grundlage des vom Sächsischen Landtag beschlossenen Haushaltes.

Literaturangaben

[1] *Argyriou, L., Economou, D., & Bouki, V. (2017, July). 360-degree interactive video application for Cultural Heritage Education. In* 3rd Annual International Conference of the Immersive Learning Research Network*. Verlag der Technischen Universität Graz.*

[2] *Violante, M. G., Vezzetti, E., & Piazzolla, P. (2019). Interactive virtual technologies in engineering education: Why not 360° videos?*. International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*,* 13*(2), 729-742.*

[3] *Pedram, S., Perez, P., Palmisano, S., & Farrelly, M. (2017, July). Evaluating 360-Virtual Reality for Mining Industry's Safety Training. In* International Conference on Human-Computer Interaction *(pp. 555-561). Springer, Cham.*

[4] *Hebbel-Seeger, A. (2018). 360-Video in Trainings-und Lernprozessen. In* Hochschule der Zukunft *(pp. 265-290). Springer VS, Wiesbaden. p. 265f.*

[5] *Richards, J. (2017). Infrastructures for immersive media in the classroom. In* Virtual, Augmented, and Mixed Realities in Education *(pp. 89-104). Springer, Singapore, p. 101.*

Lernen & Extended Reality am Beispiel Neotrie VR

Sitter, R.[1]

[1] TU Chemnitz, Professur Grundschuldidaktik Mathematik

Abstract

Mit Extended Reality (XR) gibt es eine Konvergenz von Augmented Reality (AR), Mixed Reality (MR) und Virtual Reality (VR) zu einem neuen Medium, das die Möglichkeiten der Vorgänger auch im Bereich des Lernens verbindet.

XR-Brillen sollen einen flexiblen Wechsel zwischen allen drei Varianten in naher Zukunft ermöglichen sollen. Es ist daher naheliegend, die Erkenntnisse der Untersuchungen zu AR, MR und VR zu sammeln und auf die neuen Möglichkeiten durch die kombinierten Eigenschaften bei XR zu übertragen.

Studien zu AR, MR und VR haben bereits positive Lerneffekte in verschiedenen Bereichen gezeigt. Erste theoretische Konzepte zur Erklärung der kognitiven Effekte wurden aufgestellt. Weitere Forschung ist notwendig, um ein besseres Verständnis dafür gewinnen, wie diese digitale Medien neue Lernvorteile schaffen und damit neue Erkenntnisse wie verschiedene praktische Arbeiten kombiniert werden können, damit erfolgreiche Lernumgebungen geschaffen werden können.

Bisherige klassische dynamische 3D-Geometrie-Lernumgebungen konnten bereits die Entwicklung des räumlichen Verständnisses und die Fähigkeit fördern, kognitive mathematische Modelle von realen Objekten zu entwickeln. NeoTrie VR ist eine Virtual Reality-Lernumgebung für Geometrie, die an der Universität in Almeria mit mehreren europäischen Partnern entwickelt wird.

NeoTrie VR hat sich bereits als nützliches Werkzeug für den Unterricht von 2D- und 3D-Geometrie erwiesen. Es hilft Lernern, geometrisches Wissen zu organisieren, räumliche Vorstellungskraft und Kreativität zu steigern.

Weitere Forschung ist notwendig, um eine Methode zu entwickeln, die den Einfluss von NeoTrie auf die Verbesserung der räumlichen Vorstellungskraft und der geometrischen Fähigkeiten wissenschaftliche bewerten kann, um damit validierte didaktische Inhalte zu erhalten. Die weitere technische Entwicklung zu einer XR-Lernumgebung erfordert darüber hinaus eine begleitende Forschung und weiterführende Konzepte.

TECHNISCHE UNIVERSITÄT CHEMNITZ

Zentrum für Lehrerbildung
Professur Grundschuldidaktik Mathematik

Lernen & Extended Reality am Beispiel Neotrie VR

TECHNISCHE UNIVERSITÄT CHEMNITZ

Zentrum für Lehrerbildung
Professur Grundschuldidaktik Mathematik

Vorwort

- zur Person
  - Ronny Sitter, M.A.
  - Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Zentrum für Lehrerbildung – Grundschuldidaktik Mathematik
- Forschungsinteresse
  - Digitale Medien & Mathematikdidaktik
  - Extended Reality & Lernen im Bereich Geometrie

Abbildung 1 & 2: Medienhaus & Symposium Lernen digital (eigene Arbeiten)

Hintergrund

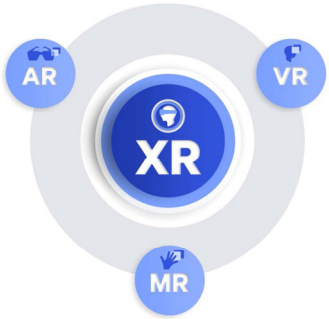


Abbildung 3: Extended Reality (in Anlehnung an Qualcomm Technologies, Inc., 2018, S.2.)

TECHNISCHE UNIVERSITÄT CHEMNITZ
Zentrum für Lehrerbildung
Professur Grundschuldidaktik Mathematik

Beispiele bisheriger Studien

- **Effectiveness of virtual reality-based instruction on students' learning outcomes in K-12 and higher education: A meta-analysis**
  - zahlreiche Vorteile der Verwendung von Virtual Reality-basiertem Unterricht für das Lernen
  - ein wirksames Mittel zur Verbesserung der Lernergebnisse

(Merchant et. al., 2014)

Beispiele bisheriger Studien

- **Meta-analysis of the results of 55 studies on AR in education published between 2011 and 2016**
  - erhöhte Lernerfolge und Motivation
  - eine positive Grundeinstellung zu den Lerninhalten

→**Fazit:** AR eignet sich besonders für abstrakte und komplexe Konzepte und für Themen, die ohne den Einsatz von Hilfsmitteln in der Praxis nur schwer zu erfassen sind.

(Chen et. al., 2017)

TECHNISCHE UNIVERSITÄT CHEMNITZ
Zentrum für Lehrerbildung
Professur Grundschuldidaktik Mathematik

Beispiele bisheriger Studien

- Dynamische 3D-Geometrie-Lernumgebungen fördern die Entwicklung des räumlichen Verständnisses und die Fähigkeit, kognitive mathematische Modelle von realen Objekten zu entwickeln.

(Miyazaki et al., 2012)

- In einer Studie über externe Repräsentationen und diagrammatisches Denken machten Teilnehmer mit realen Objekte mehr ungültige Schlussfolgerungen als diejenigen, die AR-Objekte bewegten.
  - Forscher erklären dieses Ergebnis dadurch, dass reale Objekte einen einzelnen vorhandenen Zustand überdefinieren, während AR-Objekte für mehrere Möglichkeiten stehen können.

→ Ein möglicher Vorteil für das mathematische Lernen, um eine leichtere Verallgemeinerung mathematischer Muster zu erreichen.

(Sato et. al. 2018)

Beispiele bisheriger Studien

A psychological perspective on augmented reality in the mathematics classroom.

Framework zu Vorteilen beim Lernen mit AR

- Physische Interaktionen
- Kognitive Unterstützungen
- Kontextuelles Lernen

(Bujak et al. 2013)

TECHNISCHE UNIVERSITÄT CHEMNITZ
Zentrum für Lehrerbildung
Professur Grundschuldidaktik Mathematik

Beispiele bisheriger Studien

Constructivist Digital Design Studio with Extended Reality for Effective Design Pedagogy.

- Constructivist Learning
- Experience
- Motivation
- Acceptance of XR

(Islam, 2019)

Praktische Umsetzungen

Abbildung 4: Students are working with Construct3D (Kaufmann & Schmalstieg, 2003, S. 339)

TECHNISCHE UNIVERSITÄT CHEMNITZ
Zentrum für Lehrerbildung
Professur Grundschuldidaktik Mathematik

Praktische Umsetzungen

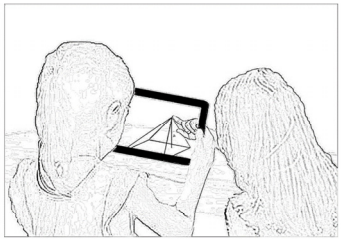


Abbildung 5: Skizze einer geplanten dynamischen AR-Geometrieumgebung (eigene Arbeit)

NeoTrie VR

Abbildung 6: Euklid mit den fünf platonischen Körpern. (Cangas et al., 2019, S. 359)

TECHNISCHE UNIVERSITÄT CHEMNITZ
Zentrum für Lehrerbildung
Professur Grundschuldidaktik Mathematik

NeoTrie VR

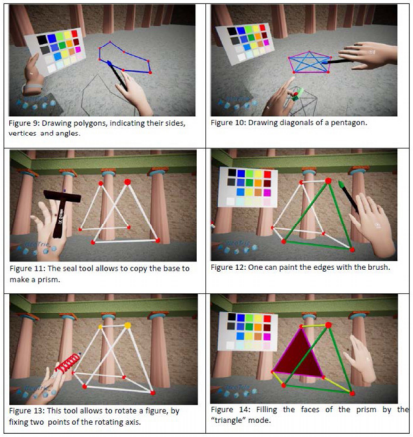


Abbildung 6: werkzeuge in Neotrie VR (Cangas et al., 2019, S. 363)

NeoTrie VR

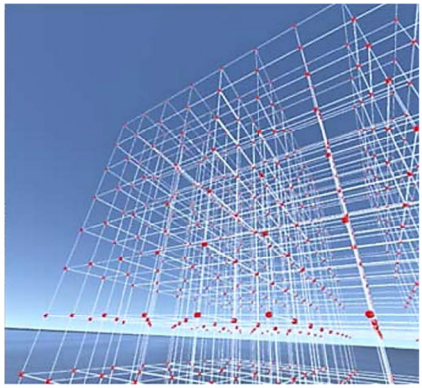


Abbildung 7: Geometrische Figur in Neotrie VR (Cangas et al., 2019b, S. 5)

TECHNISCHE UNIVERSITÄT CHEMNITZ
Zentrum für Lehrerbildung
Professur Grundschuldidaktik Mathematik

NeoTrie VR

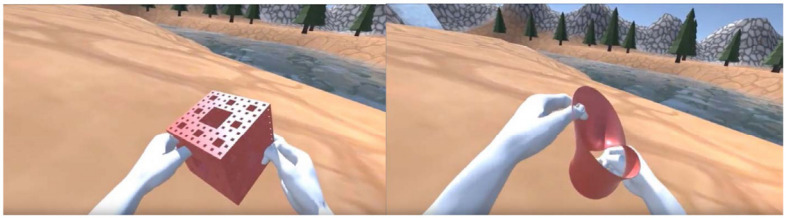


Abbildung 8: Neotrie VR mit Handtracking (Virtual Dor, 2017)

NeoTrie VR

Geometry teaching experience in virtual reality with NeoTrie VR

Positive Effekte bei Schülern in verschiedenen geometrischen Aktivitäten

- Fläche-Umfang-Korrelation
- Volumenberechnungen
- Kongruenz- und Ähnlichkeitsvergleiche
- Drehkörper
- Parkettierungen
- Fraktale

(Cangas et al., 2019a)

TECHNISCHE UNIVERSITÄT CHEMNITZ
Zentrum für Lehrerbildung
Professur Grundschuldidaktik Mathematik

NeoTrie VR

Geometry teaching experience in virtual reality with NeoTrie VR

- nützliches Werkzeug für den Unterricht von 2D- und 3D-Geometrie
- hilft Kindern, geometrisches Wissen zu organisieren, räumliche Vorstellungskraft zu erweitern und Kreativität zu steigern
- Lektion empfohlen, die die grundlegenden Werkzeuge und Funktionen von Neotrie erklärt
- Methode notwendig, um den Einfluss von Neotrie auf die Verbesserung der räumlichen Vorstellungskraft und der geometrischen Fähigkeiten zu bewerten und validierte didaktische Sequenzen zu erhalten
- mehrere europäische Bildungszentren unterschiedlicher Ebenen arbeiten als Partner an der Weiterentwicklung des Neotrie-Projekts

(Cangas et al., 2019a)

Eigene Untersuchung - erwartete Vorteile

- Konstruktivistische Lernumgebung
  - Embodiment
  - Experience
  - Motivationale Effekte

Eigene Untersuchung - Fragestellungen

Weiteres didaktisches und technisches Design

- mathematische Inhalte
- Arten von Feedback
- Immersionstiefe
- unerwartete Effekte …

Abbildung 9: Geometrie in Augmented Reality (Shapes 3D, 2019)

TECHNISCHE UNIVERSITÄT CHEMNITZ
Zentrum für Lehrerbildung
Professur Grundschuldidaktik Mathematik

Kontakt

E-Mail: ronny.sitter@zlb.tu-chemnitz.de

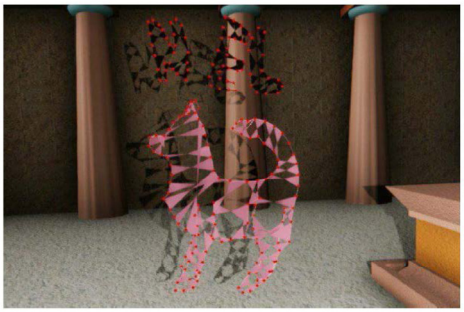


Abbildung 10: Von einem Schüler erstellte Figur (Cangas et al., 2019, S. 363)

Quellen

- Akçayır, M., & Akçayır, G. (2017). Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. Educational Research Review, 20, 1–11. https://doi.org/10.1016/j.edurev.2016.11.002
- Bujak, K. R., Radu, I., Catrambone, R., MacIntyre, B., Zheng, R., & Golubski, G. (2013). A psychological perspective on augmented reality in the mathematics classroom. Computers & Education, 68, 536–544. doi:10.1016/j.compedu.2013.02.017
- Cangas D., Morga G., Rodríguez J.L., (2019a). Geometric teaching experience with Neotrie VR. Psychology, Society, & Education, Vol. 11(3), pp. 355-366. Draft version. Abgerufen am 26. November 2018, von https://drive.google.com/a/ual.es/file/d/1ESzMz9dyQJutYes9LgHUpM5cVFHfrMI7/view?usp=sharing
- Cangas D., Crespo D., Rodríguez J.L., Zarauz A. (2019b). NeoTrie VR: nueva geometría en realidad virtual., Pi-InnovaMath, Nº 2, 2019b. Abgerufen am 26. November 2018, von https://drive.google.com/file/d/14ywzKwoXomGmbBwb6kvk62JbrOHsI3MD/view
- Chen, P., Liu, X., Cheng, W., & Huang, R. (2017). A review of using Augmented Reality in Education from 2011 to 2016 (13–18). https://doi.org/10.1007/978-981-10-2419-1_2
- Hackl, C. (2017). What extended reality (XT) means for business. Abgerufen am 26. November 2018, von https://www.youvisit.com/insight/virtual---reality/extended---reality---means---business/
- Islam, Z. (2019). Constructivist Digital Design Studio with Extended Reality for Effective Design Pedagogy. Design And Technology Education: An International Journal, 24(3), 52-76. Abgerufen am 26. November 2018, von https://ojs.lboro.ac.uk/DATE/article/view/2651
- Kaufmann, H., & Schmalstieg, D. (2003). Mathematics and geometry education with collaborative augmented reality. Computers and Graphics (Pergamon), 27(3), 339–345. https://doi.org/10.1016/S0097-8493(03)00028-1

Quellen

- Knauff, Markus & Johnson-Laird, P. (2002). Visual imagery can impede reasoning. Memory & cognition. 30. 363-71. 10.3758/BF03194937.
- Merchant, Zahira & Goetz, Ernest & Cifuentes, Lauren & Keeney-Kennicutt, Wendy & Davis, Trina. (2014). Effectiveness of virtual reality-based instruction on students' learning outcomes in K-12 and higher education: A meta-analysis. Computers & Education. 70. 29-40. 10.1016/j.compedu.2013.07.033.
- Miyazaki, M., Kimiho, C., Katoh, R., Arai, H., Ogihara, F., Oguchi, Y., Komatsu, K. (2012). Potentials for Spatial Geometry Curriculum Development with Three-Dimensional Dynamic Geometry Software in Lower Secondary Mathematics. International Journal for Technology in Mathematics Education, 19 (2), 73–79.
- Ozdemir, M., Sahin, C., Arcagok, S., & Demir, M. K. (2018). The Effect of Augmented Reality Applications in the Learning Process: A MetaAnalysis Study. Eurasian Journal of Educational Research, 18(April), 1–22. https://doi.org/10.14689/ejer.2018.74.9
- Qualcomm Technologies, Inc. (2018). Abgerufen am 26. November 2018, von https://www.qualcomm.com/documents/mobile-future-extended-reality-xr
- Sato, Yuri & Sugimoto, Yutaro & Ueda, Kazuhiro. (2017). Real Objects Can Impede Conditional Reasoning but Augmented Objects Do Not. Cognitive Science. 42. 10.1111/cogs.12553.
- Shapes 3D (2019). Create geometry in Augmented Reality. Abgerufen am 26. November 2018, von https://www.youtube.com/watch?v=e97kHReun18
- Virtual Dor (2017). NeoTrie Project (Oculus Rift + Leap Motion). Abgerufen am 26. November 2018, von https://www.youtube.com/watch?v=b-18czigsgs

Mensch-Technik-Interaktion in hybriden Gesellschaften

Jahn, G.[1]; Klimant, P.[2]

[1] TU Chemnitz, Professur Angewandte Gerontopsychologie und Kognition
[2] TU Chemnitz, Institut für Werkzeugmaschinen und Produktionsprozesse

Abstract

Mit zunehmend autonom agierenden, verkörperten technischen Agenten ergeben sich Szenarien der Mensch-Technik-Interaktion, die der Koordination zwischen Menschen und der Koordination zwischen Mensch und Tier ähneln, aber auch Szenarien zwischen menschlichen und technischen Agenten mit geteilter Steuerung künstlicher Körper. Für die Interaktionsszenarien in hybriden Gesellschaften sind VR/AR-Technologien vielversprechend zur Unterstützung von Koordination zwischen Agenten, zur Unterstützung von Teleoperation und zur Simulation für Entwicklung und Evaluation.

1 Hybride Gesellschaften

1.1 Beispiel autonomes Fahren

In ersten Pilotprojekten wird derzeit autonomes Fahren im Stadtverkehr erprobt. Die Hochbahn Hamburg möchte ab 2020 einen fahrerlosen Bus testweise zwischen wenigen Haltestellen in der Hafencity betreiben, der zur Sicherheit und für autonom durch die Fahrzeugtechnologie nicht zu lösende Situationen einen Fahrer an Bord hat[1]. Wirklich fahrerlos sind autonome Transportfahrzeuge. Weit verbreitet sind diese autonomen Transportfahrzeuge im industriellen Einsatz, meist zum Materialtransport. Dabei sind die Transportfahrzeuge jedoch überwiegend an feste Wege gebunden (bspw. mittels Induktionsschleifen). Anders bei dem im Projekt FollowMe[2] entwickelten Fahrerlosen Transportsystem welches im Folgemodus dem Kommissioniermitarbeiter frei folgen kann und mit ihm mittels Display am Fahrzeug und

[1] URL: www.hochbahn.de/hochbahn/hamburg/de/Home/Naechster_Halt/Ausbau_und_Projekte/projekt_heat [15.11.2019]

[2] FOLLOWme, im Rahmen der Allianz 3Dsensation durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördertes Verbundprojekt

SmartWatch interagiert. Neben dem Einsatz in industriellen Umgebungen sind die autonomen Transportfahrzeuge auch in öffentlichen Gebäuden wie Krankenhäusern im Einsatz und treten hier jedoch in Interaktion mit nicht besonders ausgebildeten oder instruierten Menschen.

Bild 1: Verschiedene Arten autonomer Fahrzeuge; links: Bus aus dem Projekt HEAT der Hamburger Hochbahn[3], rechts: Fahrerloses Transportfahrzeug aus dem Projekt FOLLOWme

Autonome Fahrzeuge im Straßenverkehr verfolgen Ziele, halten sich an Regeln, nehmen Rechte wahr und treffen Entscheidungen. Mischverkehr aus autonomen Fahrzeugen, aus von Menschen gesteuerten Fahrzeugen und Fußgängern ist ein Beispielszenario einer hybriden Gesellschaft [1, 2], in dem die technischen Agenten und die natürlichen, biologischen, menschlichen Agenten gut auseinanderzuhalten wären. Hier das autonome Fahrzeug, dort menschliche Verkehrsteilnehmer mit und ohne Fahrzeug. So sauber ist die Trennung allerdings nicht, denn schon im Verhalten der einzelnen Verkehrsteilnehmer können technische Systeme und natürliche Agenten zusammenwirken. Menschliche Fahrer können die Regelung von Geschwindigkeit und Abstand zeitweise an Assistenzsysteme abgeben. Assistenzsysteme unterstützen zudem beim Spurhalten und dem Erkennen von Gefahren, bei Navigationsentscheidungen und mit augmentierten Kamerabildern beim Lenken in Parkvorgängen.

Die autonomen Busse in der Hafencity Hamburg sind auch kein rein technisches System. Die Sicherheitsfahrer der autonomen Busse wirken als überwachende Agenten und geben im Testbetrieb nur zeitweise die Fahrzeugsteuerung an das technische System ab. Der nächste Schritt zu weitergehender Autonomie wäre die Überwachung aus der Ferne und nötigenfalls die Übernahme der Steuerung aus einer Zentrale.

Diese Steuerung aus der Ferne ist ein Telepräsenzszenario [3] und für den Menschen, der die Steuerung aus der Ferne übernimmt, ein Operieren in einer technisch vermittelten, synthetischen Realität. Schon das Beispiel autonome Fahrzeuge

[3] https://www.hochbahn.de/hochbahn/hamburg/de/Home/Naechster_Halt/Ausbau_und_Projekte/projekt_heat; abgerufen am 19.11.2019

zeigt also, dass für Mensch-Technik-Interaktion in hybriden Gesellschaften nicht nur rein technische und rein menschliche Agenten zu betrachten sind. Bereits die einzelnen Agenten in einem Interaktionsszenario sind oft als hybrid zu beschreiben.

Das Ziel dieses Beitrags ist, Szenarien der Mensch-Technik-Interaktion in hybriden Gesellschaften und die daraus resultierenden Herausforderungen darzustellen. Es soll deutlich werden, dass VR/AR-Technologien unter verschiedenen Blickwinkeln für Mensch-Technik-Interaktion in hybriden Gesellschaften von großer Relevanz sind. Sie sind ein Medium der Kommunikation und Koordination von technischen Agenten mit menschlichen Agenten, sie sind die Grundlage für Telepräsenz und Teleoperation und sie ermöglichen die Simulation im Entwicklungs- und Evaluationsprozess sowie das Training von Interaktionsszenarien.

1.2 Agenten und Körper

In hybriden Gesellschaften können Menschen bewegten künstlichen Körpern begegnen. Künstliche Körper wie Fahrzeuge, Roboter, Drohnen und mehr oder weniger humanoide Figuren in virtueller Realität können als digitale Agenten autonom agieren, sie können aber auch von menschlichen Agenten gesteuert sein.

Mensch-Technik-Interaktion kann dabei betrachtet werden mit dem Fokus auf dem Menschen, der einem künstlichen Körper begegnet, oder mit dem Fokus auf dem Menschen, der einen künstlichen Körper steuert. Die Begegnung eines Menschen mit einem künstlichen Körper wirft dabei die vergleichsweise neueren Themen der Mensch-Technik-Interaktion auf, weil künstliche, sich fortbewegende und nicht direkt von Menschen gesteuerte Körper ein jüngeres Phänomen sind als von Menschen gesteuerte künstliche Körper. Begegnungen mit natürlichen Körpern sind allerdings ein altes Phänomen und dies ist zu beachten für die Interaktion in hybriden Begegnungen.

Menschen sind evolutionär angepasst für Begegnungen mit autonomen Agenten in natürlichen Körpern, mit Tieren als potentielle Gefahr und potentielle Beute und insbesondere für zwischenmenschliche Interaktion und Kooperation. Zu dieser Anpassung zählen die ausgeprägten Fähigkeiten, aus Beobachtungen und Erfahrungen Erwartungen über das Verhalten anderer Agenten in bestimmten Situationen zu erlernen und die Intentionen dieser Agenten zu erschließen. Aufgrund dieser Fähigkeiten gelingt üblicherweise die mühelose und schnelle Koordination mit beiderseitigen aktiven Beiträgen sowohl bei Begegnungen auf engem Raum wie dem Ausweichen auf einem belebten Fußweg wie auch bei koordinierten Handlungen an Gegenständen wie Anheben und Übergeben oder abwechselnder Manipulation an einem Gegenstand [4].

Bewegungsmuster von aus eigener Kraft bewegten Körpern werden von Menschen unmittelbar hinsichtlich der vermutlichen Intention des Agenten interpretiert [5]. Dies geschieht auch, wenn die Bewegung nur scheinbar autonom gesteuert wird, wie

zum Beispiel einfach im Schatten- und im Puppenspiel zu demonstrieren ist. Dazu müssen die beobachteten Körper nicht menschenähnlich sein, bekannte Formen und Bewegungen sind jedoch leichter zu interpretieren.

Von diesen menschlichen Fähigkeiten, Situationen zu interpretieren und Intentionen zu erschließen, um Bewegungen anderer Agenten für effiziente Koordination vorherzusagen, sind digitale Agenten weit entfernt. Der fahrerlose Bus der Hochbahn Hamburg ist auf die Geduld und das freundliche Entgegenkommen aller menschlichen Verkehrsteilnehmer angewiesen und benötigt nötigenfalls die menschliche Steuerung. Das soziotechnische System im Testlauf baut hier also auf die menschliche Intelligenz und Anpassungsfähigkeit und reicht an menschenähnliche Autonomie nicht heran. Dies gilt ebenso für Mensch-Roboter-Interaktion. Doch obwohl die digitalen Agenten nicht und vermutlich lange nicht menschenähnlich autonom agieren werden, sind in der Gestaltung der Interaktion von Begegnungen mit Menschen deren evolvierte und erlernte Fähigkeiten zur zwischenmenschlichen Koordination und die sie unterstützenden Voraussetzungen zu berücksichtigen.

2 Koordination zwischen verkörperten Agenten

Koordination wird dann nötig, wenn Abhängigkeiten zwischen den Aktivitäten von Agenten bestehen [6]. Dies ist gegeben, wenn Agenten einer gemeinsamen Aktivität nachgehen, beispielsweise wenn Roboter und Menschen als Teams im Arbeitskontext zusammenarbeiten oder wenn Menschen mit persönlichen Assistenzrobotern ihre Ziele verfolgen. In diesen Fällen sind die Menschen üblicherweise mit den Aufgaben, den Fähigkeiten und zu erwartenden Reaktionen der technischen Agenten vertraut und es besteht die Möglichkeit zu spezifischem Training und zu für die Situation und den einzelnen Menschen optimierter technischer Unterstützung der Koordination. Beispielsweise kann der Mensch Sensoren, Bedienelemente und Displays am Körper tragen.

Bild 2: Beispiele für körpergetragene Displays mit Interaktionsmöglichkeit: (links) Microsoft Hololens, (rechts) Smartwatch als Kommissionierunterstützung (Screenshot aus VR-Szenario)

Abhängigkeiten, die Koordination nötig werden lassen, bestehen aber auch zwischen Aktivitäten von Agenten, die verschiedenen Zielen nachgehen und dabei zwangsweise interagieren, und zwischen Aktivitäten von Agenten, die ohne Geschichte und Vorbereitung für eine gemeinsame Aktivität interagieren wollen. Wieder kann der Mischverkehr aus autonomen und von Menschen gelenkten Fahrzeugen als ein Beispiel dienen. Ein zweites wäre ein Assistenzroboter für Kunden im Einzelhandel. Die Notwendigkeit für diese Art von weniger planbarer und dadurch weniger gut vorbereiteter Koordination kennzeichnet hybride Gesellschaften.

Human-robot teaming ist das Teilgebiet der Forschung zu Mensch-Technik-Interaktion, das sich mit der Koordination zwischen technischen und menschlichen Agenten für gemeinsame Aktivitäten beschäftigt. Ein erfolgreiches Rahmenmodell und Analysewerkzeug für die Gestaltung der Koordination in hybriden Teams ist Coactive Design [7]. Die Kernkonzepte in diesem Rahmenmodell verdeutlichen auch die Anforderungen der Koordination bei wenig vorbereiteten Begegnungen in hybriden Gesellschaften.

2.1 Beobachtbarkeit, Vorhersagbarkeit, Beeinflussbarkeit

Als eine Voraussetzung für gelingende Koordination wird im Rahmenmodell des Coactive Design Beobachtbarkeit identifiziert. Beobachtbarkeit bezeichnet einerseits die Anforderung, dass jeder Agent wichtige Aspekte seines Zustands und auch sein Wissen über die anderen Agenten, die Aufgabe und die Situation für die jeweils anderen Agenten wahrnehmbar signalisieren muss. Auf der Seite der wahrnehmenden Agenten beinhaltet Beobachtbarkeit die Fähigkeit, wichtige Signale wahrzunehmen und zu interpretieren. Für die Koordination zwischen Menschen im innerstädtischen Straßenverkehr ist beispielsweise immens wichtig, die Aufmerksamkeitsausrichtung des jeweils anderen aus Körperhaltung, Blickrichtung und -erfolgenden oder ausbleibenden - Reaktionen erschließen zu können. Ein fahrerloser Bus ist dagegen ein recht ausdrucksloser Körper.

Eine weitere im Coactive Design identifizierte Voraussetzung ist Vorhersagbarkeit. Die Handlungen eines Agenten sollen für die jeweils anderen vorhersehbar genug sein, dass sie sich für ihre eigenen Handlungen darauf verlassen können. Vorhersagbarkeit beinhaltet zudem, dass jeder Agent die vorhersehbaren Handlungen der anderen für das eigene Handeln berücksichtigt. Hierin besteht die größte Herausforderung für autonome technische Agenten außerhalb definierter Aufgabenszenarien. Im Straßenverkehr hilft das geltende Regelsystem, allerdings werden die Regeln nicht verlässlich befolgt – absichtlich oder unabsichtlich - und es können ungeregelte Szenarien auftreten.

Die dritte identifizierte Voraussetzung für gelingende Koordination ist Beeinflussbarkeit. Beeinflussbarkeit bezeichnet einerseits die Fähigkeit und die Möglichkeiten von Agenten, auf die Handlungen der anderen Agenten Einfluss zu nehmen, und

andererseits die Fähigkeit und Möglichkeiten im eigenen Handeln beeinflusst zu werden. Hiermit sind nicht nur explizite Anweisungen gemeint, sondern auch subtilere Einflussnahmen wie Anleitungen, Vorschläge, Hinweise und Warnungen.

Für geplante Kooperation in definierten Aufgabenszenarien werden im Coactive Design auf der Grundlage dieser drei Voraussetzungen und der Fähigkeiten der technischen und menschlichen Agenten die Koordination gemeinsamer Aktivitäten und die technische Unterstützung für die Teamkoordination gestaltet.

2.2 VR/AR-Technologien für effiziente Koordination

Um die Koordination zwischen Agenten in hybriden Gesellschaften zu optimieren, haben VR/AR-Technologien großes Potential für mindestens drei grundsätzliche Anwendungen. Sie bieten erstens Möglichkeiten, Beobachtbarkeit, Vorhersagbarkeit und Beeinflussbarkeit zu gewährleisten, sie sind zweitens eine Grundlage für Teleoperation und sie ermöglichen drittens Simulation als Unterstützung für Entwicklung und Evaluation.

Bereits jetzt ist ein bewährtes Einsatzgebiet von AR-Technologie die Visualisierung von Zuständen technischer Systeme und geplanter Aktionen. Dieser Einsatz für Beobachtbarkeit und Vorhersagbarkeit ist für einige Szenarien auch in der Interaktion von Menschen und autonom agierenden technischen Agenten möglich. Voraussetzung ist, dass ein geeignetes Display, Rechenkapazität und eine stabile Datenverbindung verfügbar sind.

Bild 3: Monitoring einer Werkzeugmaschine mittels Augmented Reality und Anbindung der realen Maschinensteuerung

Zudem müssen die Interaktionsszenarien ausreichend definierbar sein. Eher ist dies für umgrenzte Aufgabenszenarien und feste, hybride Teams erfüllt. In einer Anwendung von Coactive Design wurden beispielsweise die von einem Roboter erkannten Gegenstände mit ihrer räumlichen Unschärfe sowie geplante Trajektorien in virtueller Realität für die menschlichen Teampartner visualisiert [7]. Je ungeplanter jedoch die Begegnung und Koordination, umso weniger wahrscheinlich wird die AR-Unterstützung gelingen.

Beobachtbarkeit des Menschen für technische Agenten kann verbessert werden durch dieselbe Sensorik, über die menschliche Handlungen in VR/AR übertragen werden. Auch dies eignet sich eher für feste Aufgabenszenarien und weniger für ungeplante Koordination.

Wie erläutert ist dauerhafte, menschenähnliche Autonomie für technische Agenten ein fern liegendes Ziel. Daher wird eine bedarfsweise Übernahme der Steuerung durch Menschen eine häufige Anforderung sein. Auch wenn diese Anforderung in Situationen auftritt, in denen der Mensch physisch anwesend ist, kann VR/AR-Unterstützung wertvoll sein, um Orientierung zu geben und schnell das nötige Situationsbewusstsein zu gewährleisten. Anderweitig beschäftigte Fahrer, die plötzlich von ihrem Fahrzeug zur Übernahme der Steuerung aufgefordert werden, profitieren sicher von VR/AR-Unterstützung zur räumlichen und situativen Orientierung.

Wenn die Anforderung zur Übernahme der Steuerung eines künstlichen Körpers an einen Menschen erfolgt, der in der betreffenden Situation nicht physisch anwesend ist, besteht ein Szenario der Teleoperation. Hierin besteht effiziente Unterstützung – neben der Unterstützung der räumlichen und situativen Orientierung - in einer präsenzförderlichen technischen Vermittlung der Situation und der Steuerhandlungen mit ihren Effekten als synthetische Realität [3]. Hierfür sind bekanntlich VR/AR-Technologien unmittelbar einschlägig. Dies ist die zweite erwartbar bedeutsame Anwendung von VR/AR-Technologien für Mensch-Technik-Interaktion in hybriden Gesellschaften. Idealerweise können Teleoperateure mit ihrem eigenen Körper so agieren, als wären Sie selbst vor Ort, und erhalten ohne merkliche Verzögerung die erwartete sensorische Rückmeldung.

Eine dritte bedeutsame Anwendung von VR/AR-Technologien im Kontext hybrider Gesellschaften ist die Simulation von Gestaltungsvarianten künstlicher Körper einschließlich Ihrer Bewegungsmuster und von Gestaltungsvarianten für die Interaktion von Menschen mit autonom oder von Menschen gesteuert bewegten künstlichen Körpern [8]. Solche Simulationen helfen beim Entwurf und der Entwicklung, bei der Evaluation und beim Training.

Mittels solcher Simulationen kann das Erscheinungsbild der Verkörperung eines technischen Agenten nach seiner Wirkung auf unterschiedliche Gruppen von menschlichen Interaktionspartnern untersucht werden. Welche Fähigkeiten, Verhaltenstendenzen und Intentionen werden dem Agenten allein aufgrund seines Aussehens in einer bestimmten Situation spontan unterstellt? Wie wirken diesbezüglich

verschiedene Bewegungsmuster? Welche Verhaltensweisen werden aufgrund von Aussehen und vorangegangenen Bewegungen und Verhaltensweisen erwartet? Wie wird spontan versucht, mit dem technischen Agenten zu interagieren? Wie gut sind Instruktionen für die Interaktion umzusetzen und wie schnell wird effiziente Interaktion von verschiedenen Gruppen menschlicher Interaktionspartner erlernt?

Es lassen sich verschiedene Interaktionsvarianten (Körperhaltungen, Bewegungsmuster, Mimik, Gesten, Laute, Sprache, andere visuelle und akustische Signale) hinsichtlich dieser Fragen vergleichen und dies auch für technische Agenten, die noch gar nicht zu realisieren sind. Die vorausgreifende Simulation betrifft dabei nicht nur das Aussehen und die Verhaltensweisen eines verkörperten technischen Agenten, sondern auch seine Fähigkeiten, das Verhalten seiner menschlichen Interaktionspartner zu registrieren, zu interpretieren und darauf zu reagieren.

3 Fazit

In hybriden Gesellschaften ist mit besser und mit weniger gut planbaren und vorzubereitenden Interaktionsszenarien zu rechnen. Simulation unterstützt die Gestaltung und Evaluation von Interaktionslösungen generell. In planbaren Interaktionen innerhalb definierter Aufgabenkontexte können VR/AR-Technologien zu effizienter Koordination beitragen, indem sie Beobachtbarkeit, Vorhersagbarkeit und Beeinflussbarkeit verbessern. Die in weniger planbaren Interaktionen sicher nötige Übergabe der Steuerung künstlicher Körper von technischen Agenten an Menschen, die nicht vor Ort sind, führt regelmäßig zu Teleoperation. Telepräsenz und Teleoperation zu optimieren ist ein drittes bedeutsames Anwendungsgebiet von VR/AR-Technologien für gelingende Mensch-Technik-Interaktion in hybriden Gesellschaften.

Literaturangaben

[1] *Hamann, H.; Khaluf, Y.; Botev, J.; Divband Soorati, M.; Ferrante, E.; Kosak, O.; Montanier, J. M.; Mostaghim, S.; Redpath, R.; Timmis, J.; Veenstra, F.; Wahby, M.; Zamuda, A.: Hybrid societies: Challenges and perspectives in the design of collective behavior in self-organizing systems. In: Frontiers in Robotics and AI, 2016, 3:14. doi:10.3389/frobt.2016.00014*

[2] *Rahwan, I.; Cebrian, M.; Obradovich, N.; Bongard, J.; Bonnefon, J. F.; Breazeal, C.; Crandall, J. W.; Christakis, N. A.; Couzin, I. D.; Jackson, M. O.; Jennings, N. R.; Kamar, E.; Kloumann, I. M.; Larochelle, H.; Lazer, D.; McElreath, R.; Mislove, A.; Parkes, D. C.; Pentland, A.; Roberts, M. E.; Shar-*

iff, A.; Tenenbaum, J. B.; Wellman, M.: Machine behaviour. In: Nature, 2019, 568(7753):477-486. doi:10.1038/s41586-019-1138-y

[3] Draper, J. V.; Kaber, D. B.; Usher, J. M.: Telepresence. In: Human Factors, 1998, 40(3):354–375. doi:10.1518/001872098779591386

[4] Sebanz, N.; Knoblich, G.: Prediction in joint action: What, when, and where. in: Topics in Cognitive Science, 2009, 1(2):353-367. doi:10.1111/j.1756-8765.2009.01024.x

[5] Heider, F.; Simmel, M.: An experimental study of apparent behavior. In: The American Journal of Psychology, 1944, 57(2):243-259. URL:www.jstor.org/stable/1416950 [15.11.2019]

[6] Malone, T. W.; Crowston, K.: The interdisciplinary study of coordination. In: ACM Computing Surveys (CSUR), 1994, 26(1):87-119. doi:10.1145/174666.174668

[7] Johnson, M.; Bradshaw, J. M.; Feltovich, P. J.; Jonker, C. M.; van Riemsdijk, M. B.; Sierhuis, M.: Coactive design: Designing support for interdependence in joint activity. In: Journal of Human-Robot Interaction, 2014, 3(1):43-69. doi:10.5898/JHRI.3.1.Johnson

[8] Lewis, M.; Wang, J.; Hughes, S.: USARSim: Simulation for the study of human-robot interaction. In: Journal of Cognitive Engineering and Decision Making, 2007, 1(1):98-120. doi:10.1177/155534340700100105

Augmented Reality Einsatz in der praktischen Ausbildung (ARES): Learnings und Ausblick

Hofmann, J.[1]

[1] Sächsische Bildungsgesellschaft für Umweltschutz und Chemieberufe Dresden mbH (SBG Dresden), Projektmanager Augmented Reality

Abstract

Der Einsatz von Augmented Reality (AR) steckt, insbesondere im praktischen Teil der Berufsausbildung, noch in den Anfängen. Die Entwicklung, der Test und Evaluation lernhaltiger Szenarien, die mit AR angereichert sind, sind bisher wenig erprobt. In ARES wurden zwei Pilotanwendungen für Chemikanten und Lacklaboranten getestet. Dabei handelte es sich einerseits um ein expertenbasiertes Lernen bzw. sog. Remote Training in einer für Trainingszwecke errichteten, chemischen Pilotanlage, andererseits wurde die Wirkung explorativen Lernens anhand der Visualisierung eines Extruders, erprobt. Beide Szenarien führten zu einer verstärkten Reflexion des Lernenden, auch im Kontext verbesserter Möglichkeiten kollaborativen Lernens sowie einer besseren Kontrolle des Lernprozesses. Das integrative Potential von AR, in bestehende Arbeits- und Lernprozesse, ist gegeben.

1 Einführung

Augmented Reality (AR) umfasst die „Vermischung … von Daten – Informationen, Medien und selbst Liveinformationen – mit der realen Welt … um die Informationen zu verbessern, die wir mit unseren Sinnen wahrnehmen“ [1]. Bei AR handelt es sich somit um eine kontextbezogene, digitale Anreicherung der Realität. Einen Schritt weiter gehen sogenannte Mixed Reality (MR) – Anwendungen, bei der ein 3D Scan eines Raums erfolgt. Dies ermöglicht eine dreidimensionale Verankerung virtueller Informationen im Raum. Diese Informationen können anschließend in Echtzeit manipuliert werden. MR inkludiert damit den Vorteil von Virtual Reality (VR). Der Nutzer ist sich dabei aber der realen Umgebung immer bewusst. Dies ist wichtig beim Einsatz in realen Arbeitsprozessen.

AR-Anwendungen kommen dabei auf unterschieden Geräten zum Einsatz. Dies reicht von Smartphones, Tablets und Laptops bis hin zu AR/MR smart glasses (z.B.

Microsoft HoloLens). Um die Integrierbarkeit in bestehende Arbeitsabläufe zu gewährleisten, bei der beide Hände frei sein müssen, bieten sich smart glasses an.

AR bietet sich bei risikoarmen Aufgaben an, wie Wartungs- und Montagearbeiten, bei der der Lernende in der jeweiligen physischen Umgebung gleichzeitig auf Echtzeitinformationen, wie virtuelle Modelle und Anleitungen, zugreifen kann. Beispiele sind u.a. aus der Luftfahrt [2] und aus dem technischen Service [3] [4] bekannt. Diese Studien stellen folgende Hauptmerkmale in den Mittelpunkt:

- Bereitstellung einfacher Overlay-Informationen zur Erledigung von Aufgaben
- Bereitstellung konzeptioneller Informationen als interaktive Überlagerung der realen Umgebung
- Bereitstellung komplexerer, interaktiver Mixed-Reality-Modelle, welche die reale Umgebung überlagern
- Bereitstellung einer kontextbezogenen Anleitung, die adaptiv sein kann, um die Entwicklung von Fähigkeiten zu unterstützen sowie
- Aktivieren einer Remote-Interaktion, um z. B. einem räumlich entfernten Experten bzw. Trainer zu ermöglichen, zu sehen, was ein Lernender tut, um ihm audiovisuelle Anleitungen und Feedback zu geben.

Weitere Analysen [2] [3] [5] [6] zeigen, dass AR/MR signifikante Vorteile gegenüber Trainings ohne AR/MR-Einsatz bieten kann. Dies umfasst meist ein effektiveres und motivierteres Lernen.

Der Einsatz von AR in der beruflichen Bildung zielt meist auf die Entwicklung beruflicher Handlungskompetenz ab. Dies bedeutet, dass ein Einsatz für ein offeneres exploratives Lernen weniger offensichtlich ist.

In ARES wird der Einsatz von AR bei der Steuerung von Prozessen in einer chemischen Pilotanlage (Chemikant) sowie dem Betrieb eines Extruders (Lacklaborant) untersucht.

2 Theorie

Augmented Reality/ Mixed Reality fördert eine experimentelles, reflektives und selbstgesteuertes Lernen. Besonderes Potential liegt dabei in der Förderung eines handlungsorientierten und explorativen Lernens.

Theoretischer Bezugsrahmen für den Einsatz in der praktischen Ausbildung liefert Schön‘s Ansatz, bei der Wissen in einem zyklischen Verhältnis zur Praxis steht [7] [8]. Dieses Wissen wiederum beeinflusst das Handeln, was wieder zu neuem Wissen führt. Die Überführung von theoretischem Wissen in Handlungswissen bzw. dessen Reflexion bei der Ausführung praktischer Tätigkeiten ist dabei kennzeichnend für das Lernen im Prozess der Arbeit. Schöns Modell ignoriert zwar die Be-

deutung von bereits vorhandenem Wissen, es erklärt aber den akkumulativen während und den reflektiven Charakter nach der Ausführung von Praxisaufgaben.

Schön‘s Ansatz lässt sich für den Einsatz von AR/MR bei Auszubildenden des 1. Lehrjahres (Chemikant) sowie bei Auszubildenden des 3. Lehrjahres (Lacklaborant) anwenden.

3 Die Szenarien

Der Einsatz von AR/MR in der praktischen Ausbildung resultiert, an der SBG Dresden (überbetriebliche Bildungseinrichtung mit Fokus auf den praktischen Teil der Ausbildung) insbesondere aus der Novellierung des Berufsbildes Chemikant/-in, im Jahr 2018, durch die Einführung der Wahlqualifikation „Digitalisierung und vernetzte Produktion“. Dies inkludiert den Umgang mit Technologien wie AR, VR und vorausschauender Wartung in der Ausbildung für Auszubildende ab dem 3. Lehrjahr.

Aufgrund des Fehlens bestehender Erfahrungswerte beim Umgang mit AR, in der praktischen Ausbildung, erfolgte die Pilotierung bei ausgewählten Arbeitsaufgaben im zweiwöchigen „Verfahrenstechnischen Praktikum I“, für Auszubildende des 1. Lehrjahres im Februar 2019. Hierbei kam das sog. Remote Training, für den Erwerb von Handlungswissen (Szenario I), zum Einsatz. Das explorative und selbstgesteuerte Lernen stand bei Auszubildenden des 3. Lehrjahres Lacklaborant (Szenario II) im Mittelpunkt.

Szenario I

Die ausgewählten vier Chemikanten sowie eine Chemikantin waren bereits drei Tage in der chemischen Pilotanlage der SBG Dresden. Nach einer kurzen Einführung, im Umgang mit der AR/MR Brille (Microsoft HoloLens 1), sowie eine fragebogenbezogene Erfassung der Motivation und des bereits bestehenden, möglichen Vorwissens, um festzustellen das die jeweilige Aufgabe nicht bereits vorher ausgeführt hatten, begann die AR/MR gestützte Umsetzung der Aufgaben (siehe Tabelle 1) Hierbei setzte der Auszubildende die HoloLens auf und öffnete die Remote Training App („Remote Assist“), damit der Ausbilder diesen vom Laptop (mit Microsoft Teams App) aus anrufen konnte. Dies ermöglichte die Herstellung eines Videostreams in Echtzeit. So konnte der Ausbilder dem Auszubildenden audiovisuelle Anweisungen geben. Er sah dadurch auf seinem Bildschirm, was der Auszubildende in Echtzeit wahrnahm und konnte gleichzeitig durch die Einbindung von einfachen Hologrammen (z.B. Pfeile), in das Sichtfeld des Lernenden, die Ausführung der jeweiligen Arbeitsaufgabe steuern und sofort evaluieren.

Tabelle 1: Übersicht durchgeführte Testsessions (Chemikant, 1. Lehrjahr) – Remote Training

Test	Aufgabe	Niveau	Dauer	Evaluation (multiple und aufeinanderfolgende Arbeitsschritte)	Ausbilder- oder Auszubildendenzentriertes Szenario
1	Pumpen einer Salzlösung von Behälter B2 zu B4	Anfänger	7 min	Einfach durchzuführen	*Ausbilder* - Auszubildender
2	Pumpen einer Salzlösung von Behälter B2 zu B4 und Wechsel Filter sowie Pumpenschlauch	Anfänger	27 min	Einfach durchzuführen	Übergang von Auszubildenden (aus Test 1) – *Auszubildenden* zu *Ausbilder*-Auszubildender
3	Probenahme der Salzlösung (Salzgehalt- und Dichtebestimmung mit Aräometer)	Anfänger	16 min	Einfach durchzuführen	*Ausbilder* - Auszubildender
4	Filtern einer Salzlösung: Wechsel Filter	Anfänger	5 min	Einfach durchzuführen	*Ausbilder* - Auszubildender
5	Filtern einer Salzlösung: Wechsel Filter	Anfänger	6 min	Einfach durchzuführen	*Ausbilder* - Auszubildender

Die durchgeführten Pilotierungen wurden vom Ausbilder, durch die jeweilige, nachträgliche Einschätzung mit einem kurzen Fragebogen, hinsichtlich der Operationalisierbarkeit von AR/MR in der praktischen Ausbildung, ausgewertet. Es zeigt sich, dass die gewählten mit AR/MR angereicherten Lehr- und Lernszenarien lernhaltig sind. Dies stellte sich insbesondere in der effektiven Vermittlung von Handlungswissen sowie der besseren Reflektion der ausgeführten Tätigkeiten dar. Dies inkludiert alle Ausbilder- und auch das eine Auszubildendenzentrierte Szenario (Nr.2).

Darüber hinaus wurde im Auszubildenden-Auszubildenden Szenario eine besonders hohe Motivation der Lernenden festgestellt. Einerseits konnte der Reflexionsgrad des erworbenen Wissens beim instruierenden Auszubildenden erfasst werden sowie die Effektivität bei der Aufgabenausführung des instruierten Auszubildenden.

Durch die Tests wurde deutlich, dass AR/MR basiertes Remote Training, besonders bei eher komplexen bzw. aufeinander aufbauenden Arbeitsschritten zum Einsatz kommen sollte, bei dem der Erwerb von Handlungswissen im Mittelpunkt steht. Dieses Szenario erfordert keinen Programmieraufwand für mögliche AR/MR Visualisierungen, da diese mittels der bereitgestellten App erzeugt werden.

Szenario II

Nicht nur echtzeitbasiertes und expertengestütztes Lernen ist lernhaltig, auch das explorative, selbstgesteuerte Lernen mittelts AR/MR. Für Auszubildende des 3. Lehrjahres Lacklaborant ist der Umgang mit dem technisch komplexen und dem teureren Schneckenextruder wichtig.

Um den Lernprozess von Kleingruppen (2-3 Personen) effektiv zu gestalten, wurde ein sog. digitaler Zwilling des Extruders entwickelt. Dieser unterstützt Auszubildende die Funktionsweise zu verstehen. Besonderer Unterstützungsbedarf besteht dabei beim Start des Extruders. In acht, teilweise komplexen Einzelschritten, müssen Auszubildende die Maschine in Gang setzen und dabei besonders Parameter, wie die Temperatur, richtig einstellen, damit das Material richtig erhitzt und in der gewünschten Temperatur ausgegeben wird. Der visualisierte Extruder wurde um kurze Videoclips, für die Ausführung der acht Einzelschritte angereichert, um die Effektivität des Transfers von Wissen in Handlungswissen zu unterstützen sowie gleichzeitig die Reflexion des Gelernten zu fördern.

Insgesamt wurden drei Tests durchgeführt. Nach einer jeweiligen, kurzen Einführung zur Bedienung der Microsoft HoloLens 1, wiederholten die erfahrenen Auszubildenden Ihr Wissen durch den Umgang mit der Visualisierung (siehe Tabelle 2; Tests 1 und 2). Dies bildete die Grundlage für die Unterstützung des, im Umgang mit dem Extruder, unerfahrenen Auszubildenden. Nach einer Einführung in die handgestenbasierte Steuerung der HoloLens bzw. der mit Videoclips angereichten Extrudervisualisierung, führte der Auszubildende sukzessiv die acht Arbeitsschritte aus. Er schaute sich kurze die von „1“ bis „8“ gekennzeichneten Kurzclips (10- max. 20 s) in der richtigen Reihenfolge an.

Tabelle 2: Übersicht durchgeführte Testsessions (Lacklaborant, 3. Lehrjahr) – exploratives Lernen

Test	Aufgabe	Niveau	Dauer	Evaluation (multiple und aufeinander-folgende Ar-beitsschritte)	Ausbilder- oder Auszubilden-denzentriertes Szenario
1	Start Extruder	Fortgeschrit-ten	11 min	Einfach durchzu-führen	Explorativ (Selbstlerner)
2	Start Extruder	Fortgeschrit-ten	10 min	Einfach durchzu-führen	Explorativ (Selbstlerner)
3	Start Extruder	Anfänger	23 min	Einfach durchzu-führen	Explorativ und punktuelle Unter-stützung zwei fortgeschrittener Auszubildender (Nr. 1. und 2.)

Nach jedem Video führte er die jeweiligen Arbeitsaufgaben aus. Hierbei wurde er, bei Bedarf unterstützt von den zwei erfahrenen Auszubildenden. So führte die falsche Einstellung der Temperatur zu einem Warnsignal, welches er mit Unterstüt-

zung der beiden Auszubildenden abschalten bzw. den Fehler korrigieren konnte. Durch das Lernen mit der Extrudervisualisierung war es dem Auszubildenden möglich, überwiegend selbstständig, den Extruder zu starten.

Durch Vorabbefragungen mit einem kurzen Fragebogen konnte der Wissenstand der Auszubildenden ermittelt werden. Nach Abschluss des Umgangs mit der Extrudervisualisierung wurde die Effektivität von den Lernenden selbst eingeschätzt.

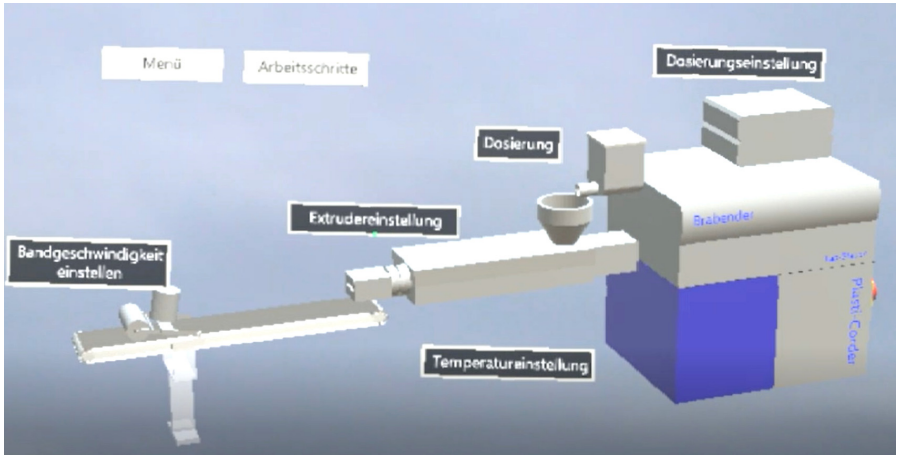


Bild 1: Visualisierung Schneckenextruder

Alle drei Tests wurden als sehr effektiv wahrgenommen. Die Auszubildenden bekamen so ein besseres Verständnis von der Funktionsweise der Maschine, unabhängig vom bereits vorhandenen Vorwissen. Durch die Übertragung des Gelernten in die Praxis und der richtige Umgang mit Fehlern zeigt die Lernhaltigkeit des gewählten Szenarios, insbesondere bei der Reflexion des (gerade) erworbenen Wissens im Arbeitsprozess.

4 Diskussion

Der Einsatz von AR/MR in der praktischen Ausbildung führt zu einer geringfügigen Verschiebung des didaktischen Ansatzes, im Kontext der Einwicklung berufspraktischer Kompetenzen.

Der Einsatz des Remote-Trainings (Szenario I) resultiert in einer besseren echtzeitbasierten Steuerung und Reflexion des Gelernten durch den Auszubildenden. Der eher instruktionsbasierte Ansatz bietet sich für Aufgaben an, die aufeinander aufbauen und leicht beschreibbar sind. AR/MR basiertes Remote Trainings sind gut bei Anlernprozessen anwendbar, wenn gleichzeitig ein Ausbilder bzw. Experte zur

Verfügung steht. Diese Art ermöglicht eine schnelle Einbindung in bestehende Lern- und Arbeitsprozesse bei Aufgaben, die sich besonders auf den sichtbaren Teil einer Maschine bzw. Anlage beziehen. Der Fokus auf den Erwerb von Handlungswissens muss gerahmt werden durch den Erwerb von Fachwissen, zur Funktionsweise der augmentierten, technischen Anlagen und -teile.

Im zweiten Szenario steht der selbstgesteuerte Erwerb von Handlungswissen sowie die Reflexion des Gelernten im Mittelpunkt. Die Erstellung eines mentalen Modells der Maschine, durch den Lernenden, ist damit möglich. Die Black Box „Schneckenextruder“ ist durch den Umgang mit der Visualisierung verständlich bzw. erkundbar. Im Gegensatz zum Remote-Training erforderte die Erstellung der Extrudervisualisierung einen mehrmonatigen Programmieraufwand. Der Einsatz bleibt darüber hinaus nur auf den Extruder beschränkt, er fördert aber besonders das individuelle Lernen.

5 Schlussfolgerungen

Der Einsatz von Augmented Reality/Mixed Reality in der praktischen Ausbildung, für gewerbliche-technische Berufe, ist überwiegend Neuland. Dies spiegelt sich insbesondere in der publizierten Literatur wider. Ein besonderer Bedarf besteht dabei die Lernhaltigkeit von AR/MR sowohl in der Tiefe (z.B. komplexere Aufgabe, weitere Kommunikations- und Kollaborationsszenarien) als auch Breite (weitere Industrien) in Zukunft weiter zu erforschen.

Augmented Reality ist derzeit eine neuartige Technologie, mit immer leistungsfähiger und immer günstiger werdender Hard- und Software. Ein Engpass besteht im Vorhandensein maßgeschneiderter Szenarien, die einen klaren didaktischen Mehrwert bieten und zu einem überschaubaren Programmieraufwand führen.

Die Vorteilhaftigkeit beim Erwerb von Handlungswissen und der Einsatz beim explorativen Lernen wurde, im Rahmen von ARES, erfolgreich getestet. Großes Potential bietet insbesondere das kollaborative Lernen. Durch den Einsatz von AR/MR können einerseits standortbezogenes und -unabhängiges (Vorort vs. Remote) sowie synchrones und asynchrones Lernen (Echtzeit vs. Lernvideo) unterstützt werden.

Literaturangaben

[1] Johnson, L., Witchey, H., Smith, R., Levine, A., and Haywood, K. (2010). The Horizon Report: 2010 Museum Edition. Austin, TX: Marcus Institute for Digital Education in the Arts, S.16

[2] Rios, H., Hincapie, M., Caponio, A., Mercado, E., and Mendivil, E. (2011). Augmented reality: an advantageous option for complex training and maintenance operations in aeronautic related processes. In R. Shumaker (Ed.), Virtual and Mixed Reality: Part 1 (pp. 87-96). Berlin, Germany: Springer

[3] Gavish, N., Guterriez, T., Webel, S., Rodriguez, J., and Tecchia, F. (2011). Design guidelines for the development of virtual reality and augmented reality training systems for maintenance and assembly tasks. In BIO Web of Conferences 1: The International Conference SKILLS 2011 (00029). EDP Sciences, August 2019

[4] Gavish, N., Guterriez, T., Webel, S., Rodriguez, J., Peveri, M., Bockholt, U.,and Tecchia, F. (2015). Evaluating virtual reality and augmented reality training for industrial maintenance and assembly tasks. Interactive Learning Environments, 23 (6), 778-798

[5] Bacca, J., Baldiris, S., Fabregat, R., Graf, S., and Kinshuk (2014). Augmented reality trends in education: a systematic review of research and applications. Educational Technology and Society, 17 (4), 133-149

[6] Garzón, J., and Acevedo, J. (2019). Meta-analysis of the impact of augmented reality on students' learning gains. Educational Research Review, 27, 244-260

[7] Schön, D. (1983). The Reflective Practitioner. Aldershot: Ashgate

[8] Schön, D. (1987) Educating the reflective practitioner. San Francisco: Jossey-Bass

Nutzung von Mixed Reality Szenarios für Training und Service

Linde, M.[1]; Kiesel, M.[1]; Beisheim, B.[1]

[1] Hochschule Albstadt-Sigmaringen

Abstract

Virtuelle Techniken lassen sich an vielen Stellen nicht mehr aus den heutigen Arbeitsprozessen wegdenken. So ist an eine mechanische Konstruktion ohne 3D-CAD-Programm nicht mehr zu denken. Auch die Augmented und Virtual Reality-Technologien halten vermehrt Einzug in moderne Entwicklungsprozesse. So werden diese z. B. für die frühzeitige Evaluierung von digitalen Prototypen oder in der virtuellen Inbetriebnahme eingesetzt. Jedoch können viele Anwendungsbereiche noch nicht erschlossen werden, da die verfügbare Hardware die tatsächlich umsetzbaren Anwendungsfälle stark einschränkt. Dies gilt insbesondere für die Augmented Reality Technologien.

Um diese Limitierungen beim Einsatz von Augmented Reality bereits jetzt zu umgehen, ist es für einige Anwendungsfällte ratsam, für den Virtual-Reality-Einsatz gedachte Hardwarekomponenten um die notwendige Sensorik zu ergänzen, um mit diesen einen Augmented-Reality-Anwendungsfall abdecken zu können. Die Hardwarekomponenten sind zumeist zwei oder mehr Kameras, welche die stereoskopische Sicht in der Virtual-Reality-Brille ermöglichen. Hierbei sind insbesondere die Latenz und die zum Teil hohe Divergenz der Auflösung zwischen den realen und virtuellen Inhalten eine zu meisternde Herausforderung.

Der beschriebene Aufbau kann durch gezielte Beeinflussung der aufgenommenen Umgebung (z. B. durch Chroma-Key-Hintergründe oder dreidimensionaler Erfassung der Umgebung) Teile dieser bewusst okkludieren und durch virtuelle Inhalte ersetzen. Das Resultat sind vollkommen opake Visualisierungen, welche weniger empfindlich auf unzureichende Lichtverhältnisse reagieren. In Verbindung mit einem absoluten Tracking, wie es bei Virtual-Reality-Hardware üblich ist, können mit einem solchen Aufbau robuste Anwendungen umgesetzt werden.

In dieser Arbeit werden unterschiedliche Varianten eines solchen Aufbaus miteinander verglichen und beispielhaft ein Anwendungsfall umgesetzt.

1 Einleitung

Die meisten Experten sind sich darüber einig, dass Augmented Reality (kurz: AR) über sehr viel Potential verfügt. Insbesondere für den Einsatz im industriellen Umfeld z. B. in der Fertigung, Konstruktion, Marketing oder auch im Bereich Service und Schulung bietet die Technologie neue Möglichkeiten. Jedoch haben die zwischenzeitliche Insolvenz des Herstellers der Meta-2 Augmented Reality-Brille, das lange Warten auf die Veröffentlichung der HoloLens 2 von Microsoft oder auch das Scheitern des für den Massenmarkt konzipierten Google Glass zur Folge, dass in letzter Zeit keine signifikanten Fortschritte im Bereich der optischen See-Through-AR Technologie zu vermelden sind. Viele potentielle Anwendungsbereiche warten momentan auf verbesserte AR Hardware. Im Vergleich dazu scheint die Entwicklung von neuen Virtual Reality-Brillen schneller voranzugehen. Um bereits jetzt stabile Augmented Reality Szenarien zu erstellen verwenden die Autoren dieses Papers daher klassische Virtual Reality-Hardware und ergänzen diese teilweise mit zusätzlicher Hardware, um Augmented Reality Szenarien zu erstellen. Als Anwendungsbeispiel wird eine Möglichkeit zur Verwendung von Video See-Through-AR für Trainingszwecke dargestellt. Im Gegensatz zu Trainingssimulationen mit Virtual Reality, bei denen man durch das Head-Mounted-Display (HMD) komplett von der realen Umgebung abgeschnitten ist, bieten Mixed Reality Szenarien die Möglichkeit, mit der realen Umgebung zu interagieren. Dabei soll „die Sichtbarkeit der eigenen Arme durch Mixed-Reality, anstatt einer mit inverser Kinematik erzeugten virtuellen Repräsentation des eigenen Körpers, die Immersion steigern. Das Anfassen der realen Eingabeelemente soll diese höhere Immersion gewährleisten und zugleich ein besseres haptisches Feedback geben.“ [1]

1.1 Stand der Technik

Um Mixed Reality zu verstehen, muss man zunächst einmal die Augmented Reality betrachten, denn gemäß Definition von Paul Milgram et al. (1995) ist die Augmented Reality ein Teil des Mixed Reality Kontinuums. Je nach Anteil des virtuellen Inhalts spricht man entweder von Augmentierter Realität oder von Augmentierter Virtualität. Der Übergang ist dabei fließend. In beiden Fällen kommen jedoch dieselben Technologien zum Einsatz. Diese werden im Folgenden kurz erläutert.

1.1.1 Arten von Augmented Reality Technologien

Aus der Literatur sind die folgenden Unterteilungen der Techniken für Augmented Reality Anwendungen bekannt:

Optisches See-Through-AR

Beim optischen See-Through-AR nimmt der Betrachter seine Umgebung durch ein Ausgabegerät mit semitransparentem Display direkt wahr. Dies ermöglicht zum

einen die direkte Sicht auf die reale Umgebung und gleichzeitig dient es auch als Projektionsfläche für die zusätzlichen virtuellen Inhalte. Das Sichtfeld des Nutzers wird dabei kaum eingeschränkt. [1] Typische Vertreter dieser Technologie sind die Meta-2, Microsoft HoloLens oder Magic Leap.

Video See-Through-AR

Im Gegensatz zum optischen See-Through-AR wird hier die reale Umgebung nicht direkt wahrgenommen, sondern zunächst einmal mit einer Videokamera erfasst. Dieses Videobild wird dann mit den virtuellen Inhalten perspektivisch korrekt überlagert. Anschließend werden die kombinierten Inhalte gemeinsam auf einem Ausgabegerät dargestellt. [1]
Dieses gängige Verfahren kommt vor allem bei AR Anwendungen für Smartphones und Tablets zum Einsatz.

Projektionsbasierte AR

Hierbei werden auf reale Gegenstände mittels Projektor virtuelle Inhalte projiziert. Es ist kein Display oder HMD notwendig. Die Anwendung beschränkt sich daher auf „die Manipulation der Oberflächeneigenschaften (wie Farbe oder Struktur) und die Darstellung zusätzlicher Informationen auf der Oberfläche (Erläuterungen, Hervorhebungen, Symbole, etc.).“ [1]

1.1.2 Vor- und Nachteile

Die vorgestellten Technologien unterscheiden sich in deren Möglichkeiten zur Erweiterung der Realität und haben technologiebedingte Vor- und Nachteile in unterschiedlichen Anwendungsszenarien. Dabei ist die projektionsbasierte AR durch ihre sehr eingeschränkten Möglichkeiten von keiner Relevanz für den hier vorgestellten Anwendungsfall.

Der größte Nachteil der optischen See-Through-Technologie ist die Lichtdurchlässigkeit der virtuellen Objekte. Insbesondere bei der Darstellung von dunklen Inhalten auf einem hellen Hintergrund versagt die optische See-Through-Technologie und die virtuellen Objekte erscheinen stark transparent. Die Immersion wird durch diesen Effekt stark reduziert und führt daher oft zur Ablehnung der Technologie in der Praxis. Neben der visuellen Qualität der Darstellung ist auch die Projektionsfläche, welche für die virtuellen Inhalte nutzbar ist, stark begrenzt. Dies führt dazu, dass größere Objekte nicht komplett dargestellt werden können und so innerhalb des menschlichen Sichtfeldes abgeschnitten werden.

Umgekehrt ist dafür bei Video See-Through-AR das Problem, dass die Darstellung der echten Welt der Aufnahmefähigkeit der verwendeten Kamera entspricht. Bei geringer Auflösung führt dies dazu, dass die Umgebung gegebenenfalls merklich unscharf dargestellt wird. Wenn in diesem Szenario die virtuellen Objekte mit einer hohen Auflösung gerendert werden, ergibt sich ein sehr hoher Kontrast zwischen

der unscharfen realen Umgebung und dem zu scharfen virtuellen Inhalt. Eine weitere Herausforderung stellt die Latenz dar, mit welche die Kamerabilder in die Brille übertragen werden. Von den Herstellern von Virtual-Reality-Brillen werden in der Regel 90 Hz als Bildrate als Optimum angegeben. Dies begrenzt jedoch derzeit stark die verwendete Auflösung, wie aus Tabelle 2 hervorgeht.

1.2 Problemstellung

Die derzeitig bekannten und oben aufgeführten Nachteile der Augmented Reality Technologien sind derzeit auch mit neuester AR Technologie nicht zu umgehen. Ziel dieses Papers ist es daher, die bisherigen Limitierungen in der Zwischenzeit mit Hardware aus dem Virtual Reality Bereich zu umgehen und diese als Video See-Through-Geräte zu nutzen. Hierbei empfiehlt es sich, die bereits vorhandene VR Hardware hinsichtlich Eignung zu untersuchen und gegebenenfalls durch externe Sensorik zu ergänzen. Dabei liegt der Schwerpunkt der Untersuchungen insbesondere auf der Umsetzung des Anwendungsfalls.

2 VR Hardware für Augmented Reality

2.1 Auswahl Virtual-Reality-Hardware

Für eine realistische Tiefendarstellung ist eine stereoskopische Darstellung unumgänglich. Auf dem Markt stehen derzeit unterschiedlichste Fabrikate an Virtual Reality-Brillen zur Verfügung. Diese lassen sich insbesondere nach der Auflösung, des Preises und der Art des Trackings unterscheiden. Einige für die Untersuchungen mögliche Brillen sind anhand dieser Kriterien in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Vergleich unterschiedlichen Virtual Reality-Brillen

Name	Auflösung	Preis	Tracking
HTC Vive Pro	2880 x 1600	ca. 1400 €	Room-Scale, Marker-Based Inside-Out
Valve Index	2880 x 1600	ca. 1079 €	Room-Scale, Marker-Based Inside-Out
Oculus Rift	2160 x 1200	ca. 699 €	Front-Facing, Marker-Based Outside-In
Pimax 5K XR	5120 x 1440	ca. 1139 €	Room-Scale, Marker-Based Inside-Out
HP Reverb VR	4320 x 2160	ca. 750 €	Room-Scale, Markerless Inside-Out

Wie bereits erwähnt, ist die Auflösung des Videosignales auf Grund der hohen Anforderungen an die Bildwiederholrate stark eingeschränkt, daher spielt auch die Auflösung des Headsets eine untergeordnete Rolle. Einen höheren Stellenwert für die Auswahl der Brille wird im vorliegenden Anwendungsfall der Genauigkeit des verwendeten Trackings beigemessen. Insbesondere diejenigen Brillen, welche das Lighthouse-Tracking-System (HTC Vive Pro, Valve Index, Pimax 5K XR) verwenden sind hierbei besonderes geeignet. Auf Grund der universelleren Eingabegräte der HTC Vive Pro wird diese für die weiteren Untersuchungen verwendet.

2.2 Vergleich HTC Vive Pro vs. ZED Mini

Die HTC Vive Pro verfügt bereits standardmäßig über zwei integrierte, nach vorne gerichtete Kameras. Sie kann jedoch alternativ durch externe Sensorik ergänzt werden. Hierfür sind insbesondere im Bereich des Tiefentrackings und der Latenz die Kameras der Firma Stereolabs gegenwärtig auf einem sehr hohen Entwicklungsstand. Deren Produkt ZED Mini ist eigens für den Einsatz im Virtual Reality Bereich entwickelt worden und wurde sowohl für die HTC Vive als auch für die Oculus Rift konzipiert.

Im Folgenden werden die technischen Eigenschaften der Kameras von HTC Vive Pro und ZED mini miteinander verglichen.

Tabelle 2: Vergleich der technischen Daten der HTC Vive Pro mit der ZED Mini [2]

	HTC Vive Pro	**ZED Mini**
Befestigung	Integriert	aufgeklebt
Anschluss	Integriert	USB
Auflösung	480p	720p
Framerate	90 FPS (480p)	90 FPS (480p) 60 FPS (720p) 30 FPS (1080p)
Latenz	Ø 200ms	Ø 60ms
Field of View	96° (H) 80° (V)	90° (H) 60° (V)
Empfohlenen Grafikleistung	GTX 1070 / Quadro P500 oder höher	GTX 1070 oder höher
Tiefentracking	bis max. 2,5m	bis max. 12m

Die ZED Mini verfügt mit 720p über eine höhere Auflösung gegenüber der HTC Vive Pro mit nur 480p. Mit der ZED mini sind theoretisch auch reine Videos in 1080p und sogar 2K Auflösung möglich, allerdings zu Lasten der Framerate, wodurch diese Auflösungen nicht unbedingt für das Video See-Through-AR verwendet werden sollten.

Ein weiterer relevanter Unterschied der beiden Geräte ist auch, dass die HTC Vive die virtuellen Objekte in der maximalen Auflösung von 2880x1600 rendert, aber die Umwelt durch die beiden integrierten Kameras nur mit 480p wiedergeben kann. Dahingegen wird vom Hersteller der ZED Mini eine Software zur Verfügung gestellt welche das Bild sowohl für reale als auch virtuelle Objekte in derselben Auflösung (z. B. 720p) rendert. Dadurch entsteht ein weniger kontrastreiches, einheitlicheres Bild als bei der HTC.

Beim Vergleich des Sichtfelds fällt bei der ZED auf, dass das Bild oben und unten durch schwarze Balken deutlich begrenzt ist. Laut Hersteller Stereolabs ist dies jedoch wissentlich zu Gunsten einer besseren Auflösung im zentralen bzw. relevanten Sichtbereich in Kauf genommen worden.

3 Anwendungsbeispiel für Trainings- oder Schulungszwecke

Die Anwendung in der Fakultät Engineering der Hochschule Albstadt-Sigmaringen zeigt, wie ein möglicher Einsatz der vorgestellten Technologie als Trainings- oder Schulungsszenario aussehen kann. Die Idee ist, dass Mitarbeiter oder Kunden an einem realen Maschinenbedienpanel im Vordergrund geschult werden und gleichzeitig ist dahinter jedes beliebige, kompatible Maschinen-/ Anlagenmodell virtuell einblendbar. Das virtuelle Modell ist dabei über eine OPC UA Schnittstelle an eine reale SPS Steuerung mit realistischem Echtzeitverhalten angebunden.

Als Basis für das Trainingsszenario wurde die Game-Engine Unity 3D verwendet, in welcher das virtuelle Modell erstellt und konfiguriert wird. Mit Hilfe des kostenpflichtigen Assets „Game4Automation“ steht die OPC UA Schnittstelle zu Unity 3D zur Verfügung[1]. Bei Game4Automation handelt es sich um ein auf Unity 3D basierendes Entwicklungsframework für Virtuelle Inbetriebnahme im Automationsumfeld. In dem vorliegenden Fall findet die OPC UA Kommunikation mit einer Beckhoff CX9020 Steuerung statt. Als Ausgabemedium für die Visualisierung wird die Virtual-Reality-Brille HTC Vive Pro verwendet, an welche die Kamera ZED mini angebracht wurde. Bild 1 stellt den Versuchsaufbau schematisch dar.

[1] „Die Abkürzung OPC UA steht für „Open Platform Communications Unified Architecture“ und beschreibt eine Sammlung von Spezifikationen, die die Kommunikation im Umfeld der Industrieautomation und der M2M-Kommunikation standardisieren.“ [3]

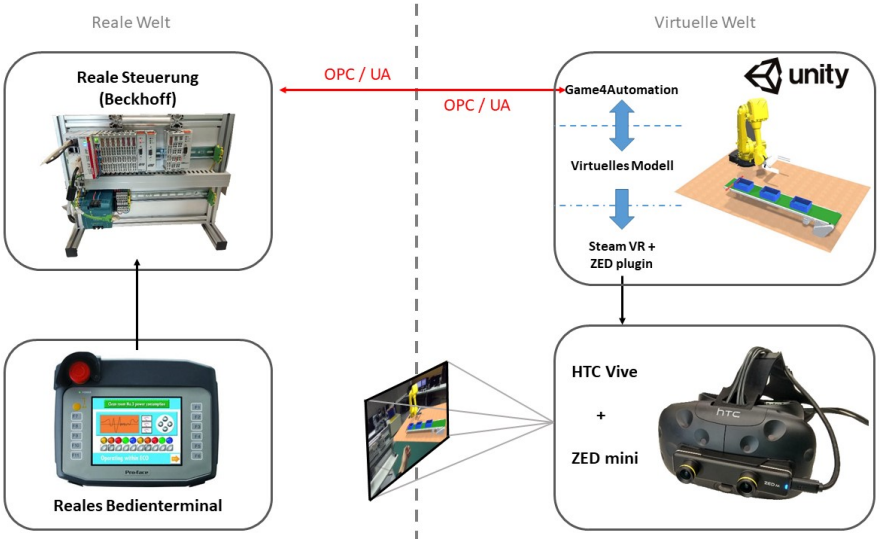


Bild 1: Darstellung des Versuchsaufbaus.

Bild 2 zeigt die virtuelle Szene im realen Raum. Am linken Teil des Bildes ist die verwendete SPS Steuerung erkennbar, welche nach Betätigen des realen Ein-/ Ausschalters die Szene startet. Das virtuelle Förderband beginnt daraufhin mit dem Transport der Kisten, bis diese eine virtuelle Lichtschranke betätigen. Das Signal dieser Lichtschranke geht wiederum von Unity 3D über die OPC/UA-Schnittstelle an die reale SPS, woraufhin diese ein Signal erzeugt und zurücksendet, damit das virtuelle Förderband anhält.

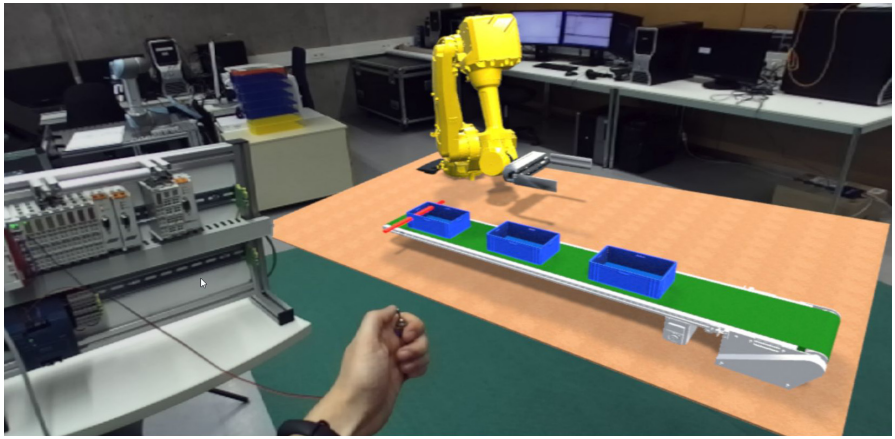


Bild 2: Virtuelle Szene im realen Raum, gesteuert über eine SPS.

Bei der Umsetzung des Versuchs wurden die folgenden Schwachstellen identifiziert:

- Das Mapping des Raumes erfolgt nicht so genau, wie es für eine reibungslose Anwendung und Positionierung wünschenswert wäre und ist Abhängig von der Beschaffenheit des Untergrunds. Insbesondere die Reflexionen der Deckenbeleuchtung auf dem glatten und hellen PVC Bodens des Labors sorgen für große Probleme. Das Mapping erkennt diese Stellen als tiefe Täler, wodurch der Fußboden anstatt einer einheitlichen Ebene als eine zerklüftete Berglandschaft erkannt wird. Durch Auslegen von Teppichboden konnte diesem Effekt etwas entgegengewirkt werden. Ein 100% ebener Fussboden konnte dadurch dennoch nicht erreicht werden. Das Ergebnis ist eine virtuelle Szene, die nicht ganz eben und parallel auf dem realen Fussboden aufliegt und einige Zentimeter über dem Fußboden schwebt.
- Das Tracking durch Tiefenerkennung ist spürbar instabil. Bei starken Änderungen des Blickpunkts und Blickwinkels springt die virtuelle Szene etwas im Raum und verändert leicht ihre Position.
- Die Depth Occlusion funktioniert insgesamt sehr gut. Jedoch werden beim Überdecken des virtuellen Modells durch reale Gegenstände (z. B. die eigene Hand) die virtuellen Inhalte sehr großflächig überdeckt. Hierdurch erscheint eine sichtbare Grenze zwischen realer und virtueller Welt, da der reale Gegenstand wie durch eine Art Hülle umgeben wird.

Um die genannten Schwachstellen zu umgehen, wurden verschiedene Ansatzpunkte verfolgt. Da das Markerless Inside-Out Tracking der ZED mini nicht ohne weiteres für einen reibungslosen Ablauf der Anwendung verwendet werden kann, wurde dies gegen das bereits vorhandene Tracking der HTC Vive Pro ausgetauscht. Dies ermöglicht außerdem die Verwendung der Eingabegeräte der HTC Vive Pro.

Zusätzlich kam die Greenscreen Technologie zur Anwendung. Hierbei wird die Umgebung durch einen Chroma Key Filter komplett ausgeschnitten und durch virtuellen Inhalt ersetzt. Einzig die realen Gegenstände, die sich vor dem Greenscreen befinden (z. B. Bedienpanel, Steuerung, Bediener etc.) sind noch sichtbar. In [1] wurden bereits die Grundlagen für die Verwendung eines Chroma Key Filters in Unity vorgestellt. Ähnlich wurde das auch hier verwendet, allerdings steht für das ZED mini bereits ein fertiger Shader zur Verfügung, worüber die Einstellungen für das Feintuning getätigt werden können.

Bei dem nun vorliegendem hohen Grad der Virtualität und dem Vergleichsweise kleineren Anteil an Realität, befindet man sich im Mixed Reality Kontinuum im Bereich der Augmentierten Virtualität (siehe Bild 3), welche sich in diesem Szenario jedoch stufenlos variieren lässt.

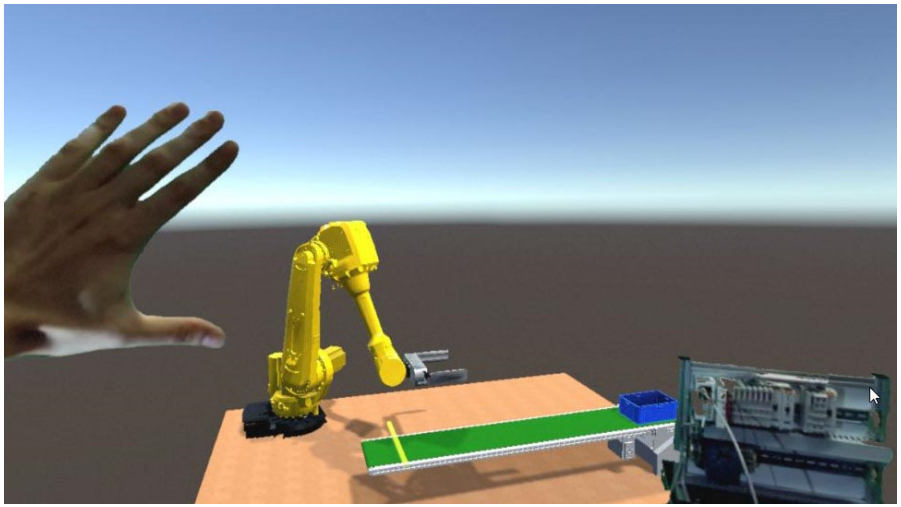


Bild 3: Mixed Reality Szene vor einem Greenscreen.

Zu erkennen ist im linken Bereich die reale Hand des Bedieners und rechts die Steuerung mit Ein-/ Ausschalter. Der restliche Raum wurde durch einen Greenscreen verdeckt und durch Unity 3D mit virtuellen Inhalten überlagert.

Da kein Mapping der Umgebung für eine genaue Positionierung im realen Raum benötigt wird, verändert die virtuelle Szene ihre Position überhaupt nicht. Zudem ist kein Tiefentracking notwendig. Die kleinen Sprünge der virtuellen Szene konnten dadurch eliminiert werden. Ebenfalls funktioniert die Depth Occlusion vor dem Greenscreen ideal, da die realen Gegenstände durch den Chroma Key formgenau ausgeschnitten werden. Dadurch entfällt der einhüllende Effekt und es gibt keine gefühlte Grenze zwischen den Darstellungen der realen und virtuellen Inhalte.

Wichtig ist hierbei eine ausreichende und vor allem gleichmäßige Beleuchtung des Greenscreens, um ein optimales Ergebnis durch Chroma-Key Filter zu erzielen. Dadurch lassen sich qualitätsmindernde Einflüsse bei der Darstellung, wie z. B. Schatten durch reale Gegenstände oder je nach Tageszeit und Wetter unterschiedlich eindringendes Tageslicht, größtenteils eliminieren.

4 Fazit

Um bereits heute die Vorteile von Mixed Reality in industriellen Anwendungsfällen nutzen zu können, sind stabile Anwendungen gefragt. Mit dem in diesem Paper beschriebene Ansatz konnte nachgewiesen werden, dass auf Basis aktuell verfügbarer Hardware eine belastbare Mixed Reality Anwendung geschaffen werden

kann. Insbesondere für räumlich begrenzte Trainingsszenarien, in welchen der Anteil der realen Geometrien stark begrenzt ist, kann eine solche Vorgehensweise vorteilhaft sein. Dabei stellt die Ergänzung aktueller VR-Hardware mit der externen Sensorik des ZED mini für stereoskopische Videoinhalte auf diesem Weg eine interessante und vielversprechende Alternative dar. Die Kameraauflösung und Latenz übertreffen hierbei auch die technischen Möglichkeiten der In-Built Kameras der HTC Vive Pro. Die Verwendung von Greenscreen Technologie in Verbindung mit Video See-Through-AR umgeht die derzeit noch bestehenden Probleme des Mappings, Trackings und der ungenauen Depth Occlusion der ZED mini.

Literaturangaben

[1] Rehmann M. Urbaner Mixed-Reality Fahrsimulator (German). In: Kloos U, editor. Wissenschaftliche Vertiefungskonferenz HuC - Design the Future : Informatik-Konferenz an der Hochschule Reutlingen, 22. November 2017. Reutlingen, Germany: Reutlingen University; 2017. p. 69-78.

[2] Dörner, R.; Broll, W.; Grimm, P.; Jung, B.: Virtual und Augmented Reality (VR/AR), Springer Vieweg, Berlin Heidelberg, 2013

[3] Stereolabs Inc., stereolabs.com, URL: https://www.stereolabs.com/blog/vive-pro-ar-zed-mini/ [06.09.2019]

[4] Luber, S.: Was ist OPC UA? Vogel IT-Medien GmbH, Augsburg, 2018, URL: https://www.bigdata-insider.de/was-ist-opc-ua-a-698144/

Wahrnehmung und Interaktion in virtuellen Welten

VR-Simulation von Assistenzfunktionen in der manuellen Montage – ein Ansatz für arbeitsphysiologische Vergleiche nutzerbezogener Aspekte im Entwurfsprozess

Minow, A.[1]; Stüring, S.[2]; Böckelmann, I.[1]

[1] Bereich Arbeitsmedizin, Medizinische Fakultät, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

[2] LIVINGSOLIDS GmbH, Magdeburg

Abstract

In einem experimentellen User-Test haben 25 gesunde Probanden (⌀ 26,8 ± 8,93 Jahre; 13 Männer, 12 Frauen) Hydraulikventile und geometrische Figuren mithilfe zweier Assistenzfunktionen (Augmented Reality (AR)-Konturen am Verbauort und Pick-to-Light (PtL)) montiert. Mittels einer Virtual Reality (VR)-Brille (HTC Vive) wurden das Montageumfeld und die Assistenzfunktionen simuliert. Es erfolgte eine vergleichende Auswertung der Assistenzfunktionen hinsichtlich nutzerbezogener Aspekte u. a. im Kontext der stattgefundenen Beanspruchung. Die Ergebnisse zeigten, dass die objektive Leistung, die Einschätzung der Gebrauchstauglichkeit beider Funktionalitäten und die physiologische Beanspruchung zwischen den Assistenzfunktionen vergleichbar sind. Die subjektive Anstrengung wurde bei dem PtL geringer eingeschätzt als bei den Konturen am Verbauort.

1 Hintergrund und Zielstellung

Arbeit 4.0 erhält Einzug in nahezu alle gesellschaftlichen und industriellen Bereiche. Auch die Montage sieht sich Herausforderungen wie immer komplexeren und vielfältigeren – von den Kunden gewünschten – Produkten gegenüber. Diese Wünsche können häufig nur mit einer teilautomatisierten oder manuellen Montage erfüllt werden. Die große Variantenvielfalt stellt jedoch enorme Herausforderungen an die kognitive Belastbarkeit der Mitarbeiter. Montageassistenten können die Mitarbeiter in diesem Zusammenhang bei der Zielerreichung unterstützen, indem sie zielgerichtet Informationen zur Aufgabenerledigung bereitstellen. Nutzerbezogene Forschungs- und Entwicklungsprojekte, die den Menschen in den Mittelpunkt rücken sind in diesem Zusammenhang unverzichtbar, um einen beanspruchungsoptimalen

und gesundheitsgerechten Umgang mit neuen digitalen Technologien im Produktionsbereich sicherzustellen. Der beschriebene User-Test fand im Rahmen des BMBF-geförderten Verbundvorhabens „3D-Montageassistent“ (FKZ: 03ZZ0441E) statt. Im Projekt werden funktionelle Bausteine für die Realisierung von 3D-basierten Montageassistenten zur technischen Unterstützung manueller Fertigungsprozesse erforscht und entwickelt. Die Arbeitsgruppe aus dem Bereich Arbeitsmedizin bearbeitet im Verbundvorhaben das Teilprojekt „Begleituntersuchung zur Erfassung von Belastungen und Beanspruchungen bei Montageassistenz“, in dem arbeitsmedizinischen und arbeitsphysiologischen Fragestellungen nachgegangen wird. Ziele des User-Tests waren u. a. die vergleichende Beurteilung zweier Assistenzfunktionen hinsichtlich nutzerbezogener Aspekte und die Erprobung des Versuchsaufbaus für weitere User-Tests und Feldstudien.

2 Versuchsbeschreibung und Methoden

Im Folgenden werden der Versuchsaufbau, die Messmethoden und Fragebögen sowie der Versuchsablauf dargestellt.

2.1 Versuchsaufbau

Die Hardware zur Versuchsdurchführung umfasste eine HTC Vive VR-Brille (HMD) mit zwei Basisstationen zur Positionierung und Orientierung der Brille im Raum. Um relevante Nutzereingaben (z. B. Greifen und Bewegen von Bauteilen) zu erfassen, wurde die VR-Brille mit einem Leap Motion Sensor zur Erkennung der Hände und Handstellung ausgestattet (Bild 1).

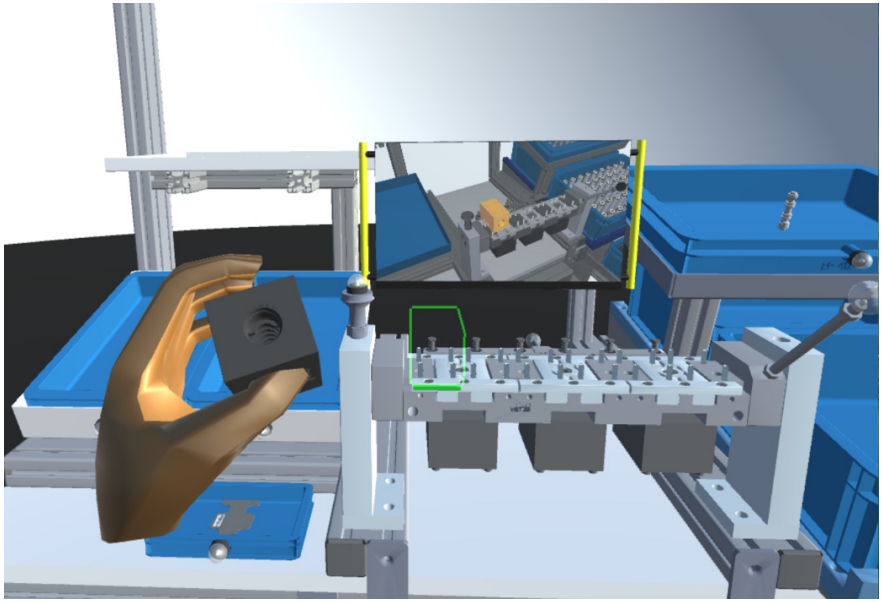


Bild 1: Virtuelle Hand mit Bauteil

Für den Versuch wurde eine reale Arbeitsumgebung mithilfe von 3D-Modellen der Einzelobjektive nachgebildet und alle notwendigen Behälter, Vorrichtungen und Bauteile als 3D-Objekte in die Arbeitsumgebung integriert und soweit erforderlich bedienbar gemacht. Die VR-Anwendung wurde mit Funktionen ausgestattet, die die Versuchsdurchführung unterstützen (z. B. Konfiguration des Versuchsablaufs, Erfassung objektiver Leistungsparameter wie Montagedauer).

2.2 Messmethoden und Fragebögen

Dem User-Test liegt das Mehrebenenkonzept von Fahrenberg [1] zugrunde, nach dem in psychophysiologischen Untersuchungen angestrebt wird, die subjektiven Erlebens- und Befindensdaten, die objektive physiologische Beanspruchung und die objektiven Leistungsdaten gleichzeitig zu erfassen. Zusätzlich wird die Einschätzung der Gebrauchstauglichkeit der Assistenzfunktionen durch die Probanden im Konzept ergänzt (Bild 2).

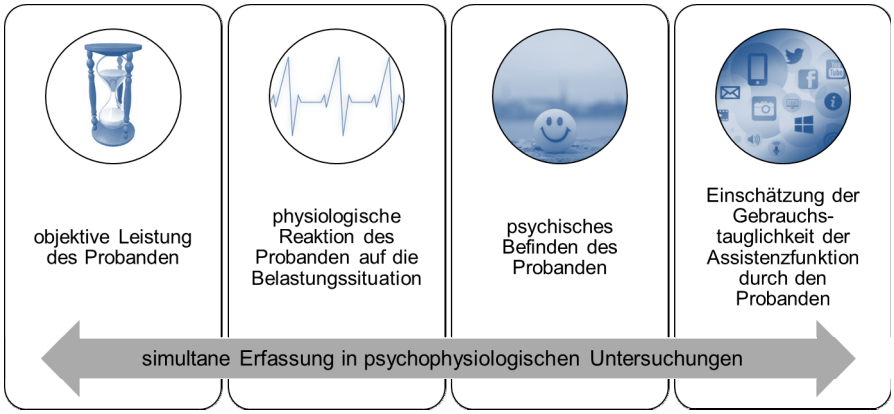


Bild 2: Mehrebenenkonzept, modifiziert nach [1]

Auf Ebene der objektiven Leistungsdaten werden Bearbeitungsdauer und Fehlerzahl bei der Montage der Hydraulikventile erfasst.

Die physiologische Reaktion wird mittels EKG registriert und durch die Herzfrequenzvariabilität (HRV) beschrieben. Die HRV beschreibt die Variabilität einer Zeitreihe von aufeinanderfolgenden Herzaktionen, die Erkenntnisse über die allgemeine Aktivierung des Organismus als Antwortreaktion auf die stattgefundene Belastung und damit die Beanspruchungslage des Probanden liefert. Eine Vielzahl mathematisch berechneter Parameter, „welche die Varianz, Rhythmik oder Komplexität einer Zeitreihe von aufeinander folgenden Herzaktionen – den sog. NN-Intervallen – kennzeichnet“ [2], werden ermittelt. Die HRV-Parameter werden mithilfe der Software Kubios HRV Version 2.0 (Biosignal Analysis and Medical Imaging Group, Universität Kuopio, Finnland) zeitbezogen ausgewertet. Das subjektive psychische Befinden wird durch die Eigenzustandsskala (EZ-Skala) [3], die Rating Scale for Mental Effort (RSME) [4, 5] und den Visual Fatigue Questionnaire (VFQ) [6] erfasst. Die beiden Ebenen liefern die Grundlage für die Einschätzung der Belastung im Sinne des Belastungs- Beanspruchungskonzepts [7]. Die Beanspruchungsdaten ermöglichen retrospektiv die stattgefundene Belastung einzuschätzen.

Zur Beschreibung der Usability beider Assistenzfunktionen werden die System Usability Scale (SUS) [8], der ISONORM-Fragebogen [9] und Teilskalen des Technology Acceptance Model (TAM) [10] eingesetzt.

Die Erfassung und Auswertung der erhobenen Daten erfolgte mit IBM SPSS Statistics 26. Intervallskalierte Daten wurden mithilfe des Shapiro-Wilk-Tests auf Normalverteilung geprüft. Da die meisten Variablen keine Normalverteilung aufwiesen, wurde auf den nicht-parametrischen Wilcoxon-Test für Mittelwertvergleiche und den Mann-Whitney-U-Test zurückgegriffen. Im Folgenden werden Mittelwert und Standardabweichung (MW ± SD) und bei ordinalskalierten Variablen Median (MD), Mi-

nimalwert (Min) und Maximalwert (Max) dargestellt. Die Testentscheidungen basieren auf einem Signifikanzniveau von 5 %.

2.3 Versuchsablauf

Die User-Tests fanden von April bis Juni 2019 in den Räumen der LIVINGSOLIDS GmbH statt. Zudem wurden zur Gewährleistung eines einheitlichen Versuchsablaufs eine Versuchsanweisung und ein Ablaufplan erstellt.

Zu Beginn eines Versuchs lasen die Probanden die Studieninformationen und unterzeichneten die Einwilligungserklärung. Es gab ausreichend Zeit, um auf Fragen der Studienteilnehmer einzugehen. Um eine hinreichende Sehleistung der Probanden zu gewährleisten, wurde zu Beginn eine ophthalmologische Statusuntersuchung mit dem Rodatest 300/302 der Vistec AG durchgeführt. Getestet wurden

- Visus (Sehschärfe) für Nähe (55 und 40 cm) und Ferne (6 m),
- Phorie (Stellung der Augen bzw. Sehachsen),
- Stereopsis (räumliches Sehen),
- Farbensinn und
- Gesichtsfeld.

Fragebögen mit soziodemografischen Angaben und typischen Confoundern für physiologische Größen (wie Alter, Geschlecht, Rauchen, Alkoholkonsum, Erkrankungen, Medikamenteneinnahme) sowie bisherige Erfahrungen mit digitalen Assistenzsystemen und Erfahrungen mit VR-Brillen wurden von den Probanden ausgefüllt. Da es sich bei den Probanden nicht um gelernte Montagemitarbeiter handelte, bekam eine Hälfte der Probanden vor Beginn der Montageaufgaben ein Desktoptraining (drei Stufen, Dauer ca. 10 min.), um den Montageablauf des Hydraulikventils zu üben. Beim Desktoptraining wird die Montageaufgabe dem Lernenden in 4 Leveln mit ansteigendem Schwierigkeitsgrad vermittelt. Während im einfachsten Level 1 nur auf ein farblich hervorgehobenes Bauteil je Arbeitsschritt zu klicken ist, muss sich der Lerner im Level 2 schon den Einbauort der Bauteile gemerkt haben. Im Level 3 ist dann das zu verbauende Bauteil und das dazu zu verwendende Werkzeug eigenständig auszuwählen. Abschließend in Level 4 muss die Aufgabe ohne die Unterstützung einer verbalen Arbeitsanweisung Schritt-für-Schritt vollkommen eigenständig virtuell durchgeführt werden. Die Kontrollgruppe schaute sich jeweils dreimal ein ca. zweiminütiges Video zur Montage des Ventils an.

Ein Langzeit-EKG Rekorder medilog AR12plus der SCHILLER Medizintechnik GmbH wurde angelegt. Die Probanden erhielten mittels kurzer mündlicher PowerPoint-Präsentation durch den Versuchsleiter erste Infos zum Umgang mit der VR-Brille (Typ HTC Vive). Nach dem Aufsetzen und Anpassen der VR-Brille haben sich die Probanden in einem vom Hydraulikventil unabhängigen Szenario (Montage

einer Turbine) mit der VR-Handhabung vertraut gemacht (z. B. Greifen und Bewegen von Teilen üben).

In der Studie, die als Cross-over-Studie konzipiert wurde, montierten die Probanden in zwei randomisierten Durchgängen (Simulation einer AR-Brille mithilfe von eingeblendeten Konturlinien des zu verbauenden Bauteils und Simulation eines Pick-to-Light-Systems) jeweils ein Hydraulikventil, drei geometrische Figuren und erneut das gleiche Hydraulikventil. Jeder Proband nutzte beide Assistenzfunktionen. Von den geometrischen Figuren existierten zwei Varianten mit jeweils drei Figuren, die in randomisierter Reihenfolge dargeboten wurden. Die Montage der geometrischen Figuren erfolgte jedoch lediglich, damit die Probanden mehr Zeit hatten, die Assistenzfunktionalität kennenzulernen. Daher werden in diesem Zusammenhang keine Leistungs- und Beanspruchungsdaten von der Montage der geometrischen Figuren ausgewertet.

Die zwei Assistenzfunktionen waren:

- ein simuliertes Pick-to-Light-System (PtL), bei dem dem Probanden mithilfe eines grün aufleuchtenden Lämpchen angezeigt wird, aus welcher Kiste das nächste zu verbauende Teil gegriffen werden muss und
- simulierte AR-Konturlinien des jeweils zu verbauenden Bauteils am Verbauort.

Bei beiden Durchgängen lief im Hintergrund ein Display, auf welchem Videosequenzen (3D Animationen) des nächsten Montageschrittes gezeigt wurden. Bei der Bauteilmontage gab es ein akustisches Signal, sobald ein Teil richtig verbaut wurde. Nach den Montagedurchgängen füllten die Probanden jeweils die Fragebögen EZ-Skala, RSME, VFQ, SUS, ISONORM und TAM aus. Zum Abschluss des Versuchs wurden die Probanden nach ihrer Favoritenvariante gefragt.

3 Bisherige Ergebnisse

Das durchschnittliche Alter der 25 gesunden Probanden lag bei 26,8 ± 8,93 Jahren (21 – 59 Jahre). Die Frauen (n = 12 (48 %)) waren im Durchschnitt 25,9 ± 10,54 Jahre alt, die Männer 27,6 ± 7,49 Jahre alt. Die Probanden waren größtenteils Studierende bzw. Hochschulabsolventen. Die Ergebnisse der ophthalmologischen Statusuntersuchung lagen bei allen Probanden im Normbereich, sodass alle zur Teilnahme an der Studie zugelassen werden konnten. Die eine Hälfte der Probanden (52 %) hatte vor dem User-Test keinerlei Erfahrung mit VR-Brillen. Die andere Hälfte (48 %) hatte geringe Erfahrung mit VR-Brillen (z. B. im Rahmen der Teilnahme als Proband an anderen Forschungsstudien oder im Gaming-Bereich).

3.1 Objektive Leistung

Aufgrund eines technischen Defekts, konnten die objektiven Leistungsdaten eines Probanden nicht ausgewertet werden. Damit gilt für die Beschreibungen der Leistungsdaten die Anzahl der Teilnehmer n = 24.

Die Montagedauer des ersten Hydraulikventils mithilfe der AR-Konturen weicht nicht signifikant von der Montagedauer des ersten Hydraulikventils mithilfe des Pick-to-Light-Systems ab (AR-Konturen 185,3 ± 87,88 vs. Pick-to-Light-System 162,3 ± 64,27 s; $p_{Wilcoxon}$ = 0,407). Auch die Fehlerzahlen unterscheiden sich im ersten Durchlauf nicht zwischen den Varianten (AR-Konturen 1,5 ± 3,24 vs. das Pick-to-Light-System 0,5 ± 1,32 s; $p_{Wilcoxon}$ = 0,233). Differenzen können rein deskriptiv jedoch in den Maximalwerten der Dauer und der Fehlerzahl festgestellt werden, wobei die Montage mithilfe der AR-Konturen einen deutlich höheren Maximalwert zeigt (AR-Konturen $Fehler_{max}$ = 14; Pick-to-Light-System $Fehler_{max}$ = 5) (Tabelle 1).

Tabelle 1: Objektive Leistungsdaten (1. Hydraulikventil)

Variable	1. Hydraulikventil mit AR-Konturen	1. Hydraulikventil mit Pick-to-Light	$p_{Wilcoxon}$
	MW ± SD (Min – Max)		
Dauer [s]	185,3 ± 87,88 (81 – 473)	162,3 ± 64,27 (94 – 298)	0,407
Fehlerzahl	1,5 ± 3,24 (0 – 14)	0,5 ± 1,32 (0 – 5)	0,233

Auch beim zweiten Montieren des Hydraulikventils waren Unterschiede in den Varianten weder in der Bearbeitungszeit noch in der Fehlerzahl statistisch sicher zu bestätigen.

Mithilfe des Mann-Whitney-U-Tests konnten zudem keine signifikanten Unterschiede in den objektiven Leistungsdaten zwischen der Desktoptraining-Gruppe und der Kontrollfilm-Gruppe festgestellt werden.

3.2 Physiologische Reaktion

Es wurden zeitbezogene HRV-Parameter von 25 Probanden für die Montage der Hydraulikventile ausgewertet und einander gegenübergestellt. Jedoch zeigen sich weder nach dem ersten (Tabelle 2) noch nach dem zweiten Hydraulikventil (Tabelle 3) signifikante Unterschiede zwischen den Assistenzfunktionen Konturen bzw. Pick-to-Light.

Tabelle 2: Ergebnisse der HRV-Analyse (1. Hydraulikventil)

Variable	1. Hydraulikventil mit AR-Konturen	1. Hydraulikventil mit Pick-to-Light	$p_{Wilcoxon}$
	MW ± SD		
Mean RR [ms]	753,8 ± 136,31	749,9 ± 118,9	0,819
SDNN [ms]	45,4 ± 18,27	46,5 ± 18,13	0,767
Mean HR [1/min]	82,3 ± 14,19	82,3 ± 13,25	0,840
STD HR [1/min]	4,8 ± 1,93	5,0 ± 1,81	0,657
RMSSD [ms]	31,5 ± 17,14	30,8 ± 17,22	0,628
NN 50 [count]	9,1 ± 9,22	8,9 ± 10,78	0,538
pNN 50 [%]	12,7 ± 15,22	12,0 ± 15,53	0,466

Abkürzungen: Mean RR = mittlerer Abstand zwischen zwei R-Zacken, auch als NN bezeichnet; SDNN = Standardabweichung der NN-Intervall; Mean HR = mittlere Herzfrequenz; STD HR = Standardabweichung der Herzfrequenz; RMSSD = Quadratwurzel des Mittelwertes der Summe aller quadrierten Differenzen zwischen benachbarten NN-Intervallen; NN 50 = Anzahl der Paare benachbarter NN-Intervalle, die mehr als 50 ms voneinander abweichen; pNN 50 = Prozentsatz aufeinander folgender NN-Intervalle, die mehr als 50 ms voneinander abweichen

Tabelle 3: Ergebnisse der HRV-Analyse (2. Hydraulikventil)

Variable	2. Hydraulikventil mit AR-Konturen	2. Hydraulikventil mit Pick-to-Light	$p_{Wilcoxon}$
	MW ± SD		
Mean RR [ms]	750,6 ± 118,74	750,0 ± 118,52	0,875
SDNN [ms]	45,2 ± 18,65	44,3 ± 18,27	0,977
Mean HR [1/min]	82,2 ± 13,36	82,3 ± 13,40	0,886
STD HR [1/min]	4,9 ± 2,25	4,7 ± 1,74	0,954
RMSSD [ms]	29,1 ± 14,88	29,2 ± 16,10	0,284
NN 50 [count]	7,5 ± 9,11	7,7 ± 9,74	0,775
pNN 50 [%]	10,2 ± 13,43	10,6 ± 14,78	0,985

Abkürzungen: wie Tabelle 2

3.3 Befinden

In der Motivations- und Beanspruchungslage, ermittelt durch die EZ-Skala, konnte kein deutlicher Unterschied zwischen den Assistenzfunktionen ausgemacht werden. Jedoch zeigte sich in der subjektiven Anstrengung, ermittelt durch die RSME, ein signifikant höherer Wert nach dem Durchlauf mit den AR-Konturen im Vergleich zum Pick-to-Light-System (47,8 ± 37,11 vs. 37,9 ± 22,6 Punkten; $p_{Wilcoxon} = 0{,}004$). Die Probanden schätzen die Beanspruchung bei der Montage mit den Konturen damit höher ein als mit der Pick-to-Light-Variante. Der VFQ konnte keine signifikanten Veränderungen in der subjektiven visuellen Beanspruchung zwischen den Assistenzfunktionen ermitteln.

3.4 Usability

56 % der Probanden gaben an, dass sie zukünftig lieber mit dem Pick-to-Light-System arbeiten würden. 20 % favorisierten die AR-Konturen und 24 % hatten keine favorisierte Assistenzfunktion. Dieses Ergebnis spiegelt sich auch in den Ergebnissen der SUS wider. Hier zeigt sich eine bessere Bewertung des Pick-to-Light-Systems im Vergleich zu den AR-Konturen (Pick-to-Light 78,7 ± 11,99 Punkte und die AR-Konturen 74,6 ± 13,84 Punkte; $p_{Wilcoxon} = 0{,}031$).

Die Ergebnisse des ISONORM-Fragebogens können grundsätzlich positiv gewertet werden, da beide Systeme gute Werte in den Grundsätzen der Dialoggestaltung aufweisen (Bild 3).

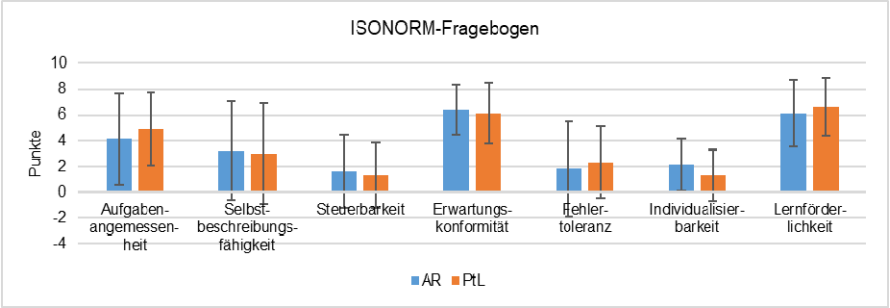


Bild 3: Ergebnisse des ISONORM-Fragebogens (MW und SD)

Signifikante Unterschiede zwischen den Assistenzfunktionen werden jedoch im ISONORM-Fragebogen und in den Teilskalen des TAM nicht deutlich.

4 Diskussion und Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse zeigen im kurzfristigen Einsatz kaum Unterschiede zwischen den zwei getesteten Assistenzfunktionalitäten. Subjektiv empfinden die Probanden die Montage mit dem Pick-to-Light-System jedoch weniger anstrengend als mit den AR-Konturen. Eine Ursache kann sein, dass die Probanden keine Erfahrung in der Montage von Hydraulikventilen mitbringen und insbesondere das Finden des nächsten zu montierenden Bauteils (verglichen mit der korrekten Position des Bauteils) eine Herausforderung darstellt. Zu bemerken ist an dieser Stelle, dass das Finden des richtigen Bauteils jedoch nur ein erster Schritt ist und das Pick-to-Light-System in der Regel nicht dabei hilft, den Verbauort zu finden.

VR-Simulationen bieten insgesamt den Vorteil, relativ schnell verschiedene Assistenzfunktionen und Arbeitsaufgaben modellieren zu können und hinsichtlich ihrer Gebrauchstauglichkeit und Ergonomie zu bewerten. Damit bieten die Simulationen,

auch in Hinblick der sich schnell weiterentwickelnden Technologien, eine gute Möglichkeit Auswirkungen auf zukünftige Nutzer zu untersuchen und Handlungsempfehlungen für den realen Einsatz an Montagearbeitsplätzen zu liefern. Die eingesetzten psychophysiologischen Methoden und Fragebögen sind für Belastungs-/ Beanspruchungsuntersuchungen beim Einsatz digitaler Montageassistenten gut geeignet und können auch in weiteren praktischen arbeitsphysiologischen Untersuchungen eingesetzt werden.

Literaturangaben

[1] Fahrenberg, J.: Die Bedeutung individueller Unterschiede für die Methodik der Aktivierungsforschung. In: Schönpflug, W.: Methoden der Aktivierungsforschung, Huber, Bern. 1969, S. 95–122

[2] Sammito, S., Thielmann, B., Seibt, R., Klussmann, A., Weippert, M., Böckelmann, I.: Guideline for the application of heart rate variability in occupational medicine and occupational sciences. ASU (International Edition), 2015, DOI: 10.17147/ASUI.2015-06-09-03

[3] Nitsch, J.R.: Die Eigenzustandsskala (EZ-Skala) - Ein Verfahren zur hierarchisch-mehrdimensionalen Befindlichkeitsskalierung. In: Nitsch, J.R., Udris, I.: Beanspruchung im Sport. Beiträge zur psychologischen Analyse, Limpert-Verlag, Bad Hamburg. 1976, S. 81-102

[4] Zijlstra, F.R.H., van Doorn, L.: The Construction of a Scale to Measure Perceived Effort, Delft University of Technology, Department of Philosophy and Social Sciences, 1985

[5] Zijlstra, F.R.H.: Efficiency in work behaviour. A design approach for modern tools, Delft University of Technology, Department of Philosophy and Social Sciences, 1993

[6] Bangor, A.W.: Display Technology and Ambient Illumination Influences on Visual Fatigue at VDT Workstations. Dissertation, Blacksburg, Virginia. 2000

[7] Rohmert, W., Rutenfranz, J.: Praktische Arbeitsphysiologie, 3. Auflage, Thieme, Stuttgart, New York, 1983

[8] Brooke, J.: SUS: a "quick and dirty" usability scale. In: Jordan, P.W., Thomas, B., Weerdmeester B.A., McClelland, A.L.: Usability Evaluation in Industry, Taylor and Francis, London. 1986, S. 189-194

[9] Prümper, J.: Der Benutzerfragebogen ISONORM 9241/10: Ergebnisse zur Reliabilität und Validität. In: Liskowsky, R., Velichkovsky, B.M., Wünschmann, W.: Software-Ergonomie '97 - Usability Engineering: Interaktion von Mensch-Computer-Interaktion und Software-Entwicklung, Teubner, Stuttgart. 1997, S. 253-262

[10] Davis, F.: A Technology Acceptance Model for Empirically Testing New End-User Information Systems: Theory and Results. Dissertation. 1986

Aspekte der Interaktionsgestaltung in mobilen AR/VR-Anwendungen im Engineering

Dammann, M.[1]; Steger, W.[1]; Stelzer, R.[1]; Bertelmann, K.[2]

[1] Technische Universität Dresden, Professur für Konstruktionstechnik/CAD

[2] FAB Bertelmann Technologie

Abstract

Der Beitrag beschreibt Teillösungen für die Realisierung und Gestaltung der Interaktion mit AR/VR-Anwendungen im Engineering auf mobilen Endgeräten. Zu den behandelten Themenkomplexen zählen Verfahren und Untersuchungen im Bereich der Kalibrierung einer Szene, der Selektion von Objekten, sowie der Gestaltung von Annotationen und automatisierten Reportfunktionen. Die beschriebenen Lösungen befinden sich als Bestandteile eines Toolkits für die Konfiguration und Interaktion mit AR/VR-Szenen im praktischen Einsatz.

1 Einleitung

Mobile AR/VR-Anwendungen rufen momentan großes Interesse hervor. Kostengünstige Displaybrillen, Tablets oder Smartphones erschließen neue Einsatzbereiche im Umfeld des Engineerings. Anwendungen für Schulung, Training, Inspektion und Review erweitern bisher übliche Desktopanwendungen in der unmittelbaren Produktentwicklung oder Fertigungsplanung. Aktuelle AR/VR-Anwendungen basieren überwiegend auf Spiele-Engines, die plattformübergreifend vielfältige Integrationsmodule für Controller und Anzeigegeräte bieten.

Insbesondere mobile AR/VR-Anwendungen unterliegen jedoch Beschränkungen bezüglich der verfügbaren Rechenleistung. Das bedeutet Limitierungen in der möglichen Detaillierung von Modellen oder der Größe der Anwendungen. Mobile AR/VR-Hardware bietet im Vergleich zu Maus und Tastatur meist nur eingeschränkte Eingabemöglichkeiten. Entsprechende Anwendungen benötigen demzufolge speziell angepasste Funktionen, die die Interaktion mit der Szene ermöglichen und die Besonderheiten der mobilen AR/VR-Hardware berücksichtigen. Bei kollaborativen Anwendungen bedarf es zudem Kalibrierungsmöglichkeiten, um für alle Beteiligten eine konsistente Wahrnehmung zu ermöglichen. Die Microsoft HoloLens ist

ein AR-HMD auf das die beschriebenen Einschränkungen und Besonderheiten zutreffen. Die Inhalte dieses Beitrages beziehen sich auf Anwendungen und Methoden, die hauptsächlich für dieses Gerät entwickelt wurden.

2 Verwandte Forschung

Die Kalibrierung einer Szene ist möglich, indem Objekte oder Marker optisch registriert werden und ein digitales Modell zur Realität ausgerichtet wird. Marker werden an bekannten Positionen der realen Objekte angebracht. Markerbasierte Verfahren werden von Lösungen wie Vuforia [1] eingesetzt. Die objektbasierte Registrierung mittels Kantenerkennung wird unter anderem von VisionLib [2] genutzt.

Die Forschungen zum Annotationsprozess sind vielfältiger Natur und befassen sich neben Hilfsmitteln beim Design von Annotationssystemen [3] auch mit Workflowmodellen für die Annotationserstellung [4]. Camba et al. nutzen eine XML Datei, um Annotationen zwischen verschiedener Software auszutauschen und zu verwalten, mit dem Ziel Annotationen effizient zu filtern und das Verständnis der Annotationen zu erleichtern [5].

In früherer Forschung wurde das Strukturmodell Erweiterter Szenegraph definiert, welches als Basis für die Visualisierung von Produkten dient [6]. Die Struktur des Erweiterten Szenegraphs sieht bereits die Möglichkeit vor, Annotationen zu integrieren.

3 Kalibrierung mittels QR-Code

Eine essentielle Funktion von AR-Anwendungen ist die Lokalisierung in der realen Umgebung. Das ist Voraussetzung für die orts- und lagerichtige Ergänzung der realen Umgebung mit digitalen Informationen und Modellen. Alle Objekte in der virtuellen Umgebung richten sich an einem Koordinatensystem aus. In AR-Anwendungen mit der Möglichkeit zur Kollaboration ist es notwendig, ein einheitliches Koordinatensystem für alle Beteiligten im Raum zu definieren.

Der Einsatz lizenzpflichtiger Techniken zur Registrierung von Markern (Vuforia) ist für viele Einsatzgebiete aus Kostengründen nicht gewünscht. VisionLib, als Vertreter der Registrierung mittels Kantenerkennung, ist ebenfalls kostenpflichtig.

Um mit einem Marker zusätzliche Informationen abrufen zu können, wurde auf einen angepassten Triangulations-Algorithmus mittels eines QR-Codes zurückgegriffen, siehe Bild 1.

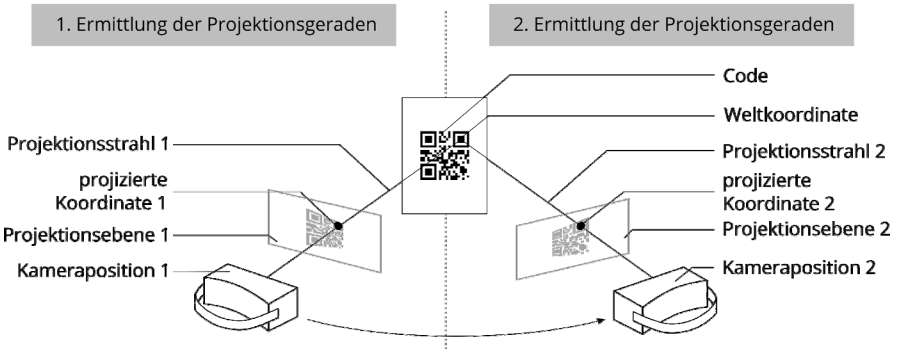


Bild 1: Bestimmung von Weltkoordinaten durch Triangulierung eines Codes

Mit dem Farbbildsensor der HoloLens wird der QR-Code fotografiert. Bei der Aufnahme eines Bildes speichert die HoloLens Informationen über die Kameraposition und die perspektivische Projektion der Kamera.

Im RGB-Bild lassen sich mit kostenfreien Softwarelösungen (ZXing) die Pixelkoordinaten der Quadrate, die an den Eckpunkten des Codes platziert sind, bestimmen [7]. Mithilfe der von der HoleLens bereitgestellten Transformationsmatrizen werden aus der Brillenposition und den Pixelkoordinaten die dazugehörigen projizierten Koordinaten berechnet. Aus diesen ergeben sich Projektionsgeraden (siehe Bild 1) [8]. Aus mindestens zwei Aufnahmen des Codes aus verschiedenen Perspektiven werden so mittels Triangulierung die Geradenschnittpunkte (Bildkoordinaten) berechnet. Diese entsprechen mit kleinen Abweichungen den Weltkoordinaten und können für die Platzierung eines Koordinatensystems genutzt werden (siehe Bild 2).

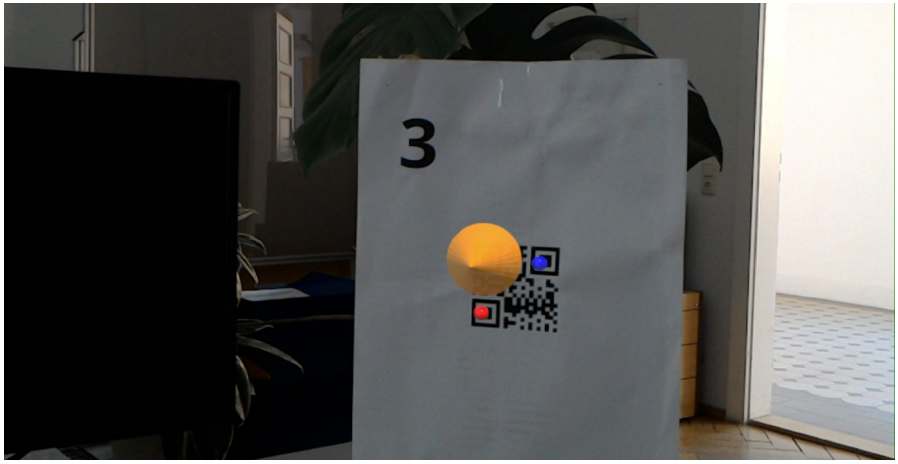


Bild 2: Platzierung eines Beispielobjektes auf einem QR-Code

Aus den drei Koordinaten wird die Lage einer Ebene berechnet. Eine der Koordinaten wird als Zentrum des Koordinatensystems definiert. Mit einer zweiten Koordinate wird die Richtung einer Raumachse festgelegt, die Richtung der zweiten Raumachse entspricht dem Normalenvektor der Ebene. Aus dieser Definition ergibt sich automatisch die Lage der dritten Raumachse.

Die Wiederholgenauigkeit des Verfahrens wurde untersucht. Die ermittelte mittlere absolute Abweichung der Kalibrierung beträgt 10,28mm (1,0m Abstand), die mittlere Winkelabweichung des ermittelten Normalenvektors beträgt 3,98° (1,0m Abstand).

Abhängig vom Einsatzzweck ist das beschriebene Verfahren für virtuelle Szenen mit weniger als ca. 2m Seitenlänge in der Regel hinreichend genau. Für höhere Anforderungen an die Wiederholgenauigkeit oder größere Szenenabmessungen sollte der Einsatz von mehreren Codes mit größtmöglichem Abstand erwogen werden.

4 Selektionsverfahren

In modernen Game Engines können 3D Objekte selektiert und in Position und Orientierung manipuliert werden, auch Kollisionen zwischen Objekten sind möglich. In der Unity Engine bilden Collider die Grundlage für diese Funktionen [9].

Der Performanceeinfluss der Collider wurde auf der HoloLens untersucht, die folgenden Ausführungen konzentrieren sich dabei auf die FPS der Anwendung, die benötigten Ladezeiten und die Speicherbelegung durch die Collider. Für die folgenden Ergebnisse wurde ein komplexes Geometriemodell einer Felge mit 619480 Dreiecken als Ausgangsnetz verwendet. In Voruntersuchungen wurde zunächst der Einfluss der Dreiecksanzahl des Geometriemodells auf die Performance des HMD ermittelt. Dazu wurden Modelle mit reduzierter Dreiecksanzahl generiert, siehe Bild 3.

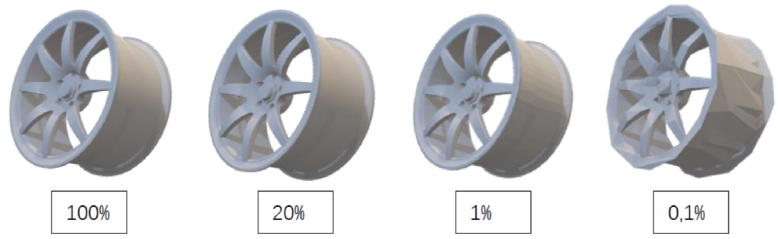


Bild 3: Geometriemodelle mit verschiedener Dreiecksanzahl

Das Ursprungsmodell kann von der HoloLens nicht dargestellt werden und führt zum Absturz. Das reduzierte Modell mit 20% (123896 Dreiecke) der ursprünglichen Dreiecksanzahl kann nur mit 39 FPS dargestellt werden. Die Modelle mit <1% der Dreiecke werden mit 55 FPS gerendert. Da bei den Modellen mit <1% der Dreiecke bereits ein deutlicher Verlust der Form der Felge zu beobachten ist, wird das Modell mit 1% als Referenzmodell für die weiteren Untersuchungen gewählt. Im nächsten Schritt werden die Ladezeiten verschieden detaillierter Collider und die korrespondierenden FPS-Verläufe betrachtet, siehe Bild 4 und 5. Die Anwendung enthält dabei nur ein Geometriemodell, welches erst nach dem Start der Anwendung in die Szene geladen und mit Collidern versehen wird.

Aus den FPS-Verläufen und den Ladezeiten für die Collider wird ersichtlich, dass der Einfluss der Collider auf die FPS der Szene gering ist, sobald die Collider vollständig geladen wurden. Während des Ladevorganges kommt es allerdings zu FPS-Einbrüchen, je komplexer der Collider ist, desto länger dauert der Ladevorgang. Bei der Verwendung eines Colliders, der der ursprünglichen Detaillierung des Felgenmodells entspricht, kommt es zum Absturz. Auch bei Collidernetzen muss also beachtet werden, dass zu komplexe Netze die Hardware überfordern können, obwohl diese nicht gerendert werden müssen. In Bild 5 ist außerdem erkennbar, dass weniger komplexe Collider kürzere Ladezeiten ermöglichen. Allerdings ist zu beachten, dass die Ladezeit deutlich abnimmt, wenn das selbe Mesh für das gerenderte Modell und Collider verwendet wird.

Collider belasten zusätzlich den Arbeitsspeicher. Der Collider des Ursprungsmodells belegt beispielsweise 20,2 MB, der Collider mit 0,1% der Dreiecke belegt dahingegen nur 0,3 MB. Wenn ein anderes Mesh für den Collider verwendet wird als für das Geometriemodell steigt wiederum der benötigte Speicherplatz auf einem Speichermedium an.

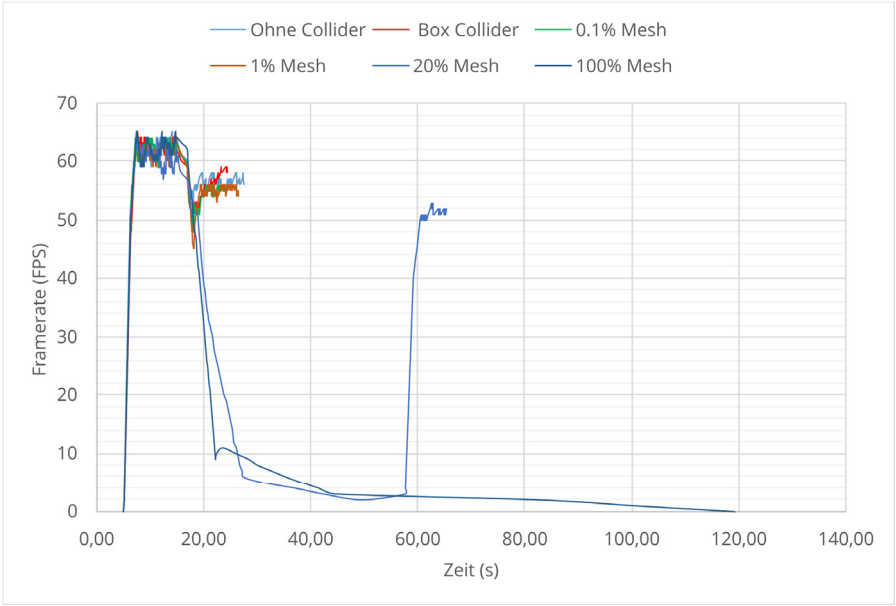


Bild 4: FPS-Verlauf beim Laden verschieden detaillierter Collider

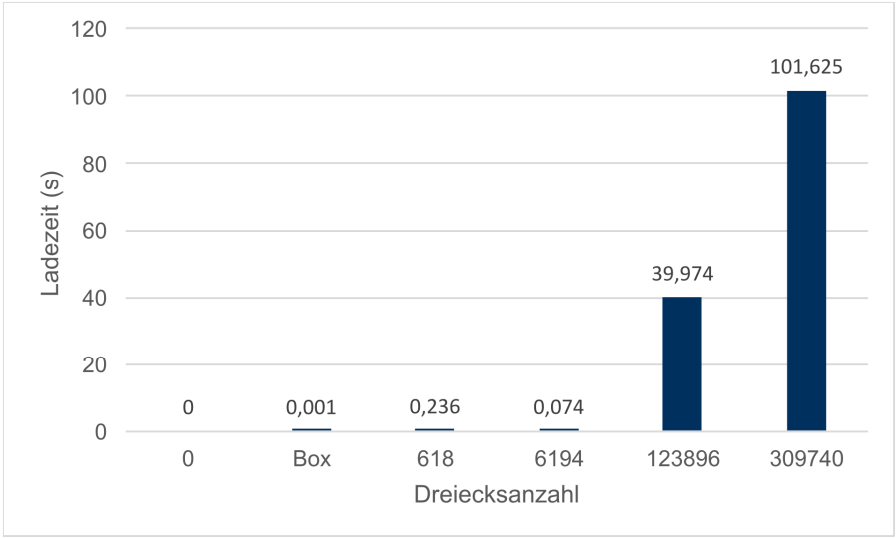


Bild 5: Ladezeiten verschieden detaillierter Collider (bei Geometrienetz mit 6194 Dreiecken)

In Anwendungsfällen, in denen Collider nur genutzt werden, um Objekte zu selektieren und die Position eines Pointers zu ermitteln, kann auf Collider verzichtet werden. Es wurde ein alternatives Selektionsverfahren in der Unity Engine entwickelt. Die Grundlage für dieses Selektionsverfahren bildet das Z-Buffering.

In der Computergrafik wird das Z-Buffering verwendet, um Objektverdeckungen zu berechnen [10]. Im Z-Buffer der GPU sind die Tiefeninformationen zu jedem Pixel in einer 3D-Szene enthalten. Diese Information kann genutzt werden, um 3D-Positionen zu ermitteln. In Unity wird für diesen Zweck eine zweite Kamera in der Szene verwendet. Diese Kamera nutzt im Gegensatz zur Hauptkamera der Szene eine orthografische Projektion, die wiederrum auf einer speziellen Textur gerendert wird, siehe Bild 6. Aus dieser Textur kann die Tiefeninformation für jeden Pixel extrahiert werden.

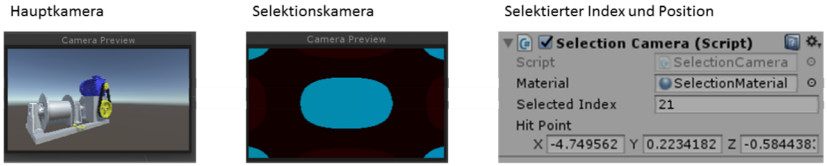


Bild 6: Ansichten der verschiedenen Kameras, ermittelter Index und Pointerposition

Um neben der Position des Pointers auch ermitteln zu können, welches Geometrieobjekt selektiert wurde, erhält jedes Geometrieobjekt eine ID und eine einzigartige Farbe, welche wiederum in das Mesh des Objektes encodiert wird. Diese Farbe kann von der Selektionskamera identifiziert werden. Auf diese Weise kann ermittelt werden, welches Geometrieobjekt selektiert wurde.

5 Kommunikationswerkzeuge

Die dokumentierte Bewertung einer Konstruktion oder eines Konstruktionsentwurfes ist das zentrale Merkmal des Design Reviews [11]. Es werden Hilfsmittel benötigt, um eine solche Bewertung vornehmen zu können. Dabei sind Annotationen ein verbreitetes Werkzeug. Annotationen bieten in der Regel die Möglichkeit, Objekte oder Bereiche innerhalb eines Dokumentes hervorzuheben und zu kommentieren. In klassischen Desktopanwendungen erfolgt die Annotationserstellung mit Maus und Tastatur. HMDs bieten diese gewohnten Eingabemethoden in der Regel nicht und erfordern dementsprechend die Anpassung bestehender Konzepte an neue Eingabemethoden und Geräte.

5.1 Annotationssystem

Die bestimmende Eingabemetapher an PCs und Touchgeräten ist die des Pointers. Auch in AR und VR wird die Pointermetapher in angepasster Form eingesetzt, ein Beispiel sind die Controller der HTC Vive, die in Verbindung mit einem in die 3D-Szene projizierten Strahl als Ersatz für Maus und Toucheingaben fungieren können. Auf der HoloLens wird die Pointermetapher mit einem Gazecursor und der *Air Tap*-Geste umgesetzt, die mit einer Hand im Sichtbereich der HoloLens ausgeführt werden kann. Mit den nativ durch die HoloLens unterstützten Gesten kann eine Vielzahl gängiger Mausgesten substituiert werden, siehe Bild 7.

Mausgeste	Native HoloLens Geste
Klick/ Doppelklick	Air Tap/ 2x Air Tap
Drag & Drop	Manipulation
Scrolling/ Resize	Navigation
Rechtsklick	Tap and Hold

Bild 7: Übersetzungsempfehlung für Mausgesten auf der HoloLens

Eingaben wie auf einer physischen Tastatur sind mit den Gesten der HoloLens nicht ohne weitere Hilfsmittel möglich. Einige Anwendungen orientieren sich an der Implementierung der Tastatur auf Touchgeräten, indem eine virtuelle Tastatur im Sichtfeld des Nutzenden dargestellt wird, deren Tasten mit der Kombination aus Gaze und Air Tap bedient werden können [12]. Diese Art der Umsetzung erfordert eine hohe Anzahl an Kopfbewegungen und Air Tap-Gesten. Dementsprechend wird viel Zeit benötigt, um einen Text zu erstellen und der Vorgang ist vergleichsweise anstrengend und umständlich. Die Menügestaltung und auch die Art der Annotationen sollten aufgrund dieser Einschränkung nicht einfach aus einer Desktopanwendung übernommen, sondern angepasst werden. Da die Texteingabe ein essentielles Element der Annotationserstellung ist, müssen Möglichkeiten gefunden werden, dieses Element durch andere Metaphern zu ersetzen bzw. die Eingabeanzahl zu minimieren.

Visuelle Metaphern wie Icons stellen eine Lösungsmöglichkeit für das beschriebene Problem dar. Eine andere Möglichkeit sind vorgefertigte Textbausteine, siehe Bild 8 a. In beiden Fällen ist es notwendig, typische Reviewsituationen im geplanten Einsatzumfeld zu analysieren, um auf diese Weise oft verwendete Anmerkungen zu identifizieren. Werden mehrere Icons oder Textbausteine miteinander verknüpft, können auch komplexere Zusammenhänge ohne umfangreiche Texteingabe verdeutlicht werden, siehe Bild 8 b.

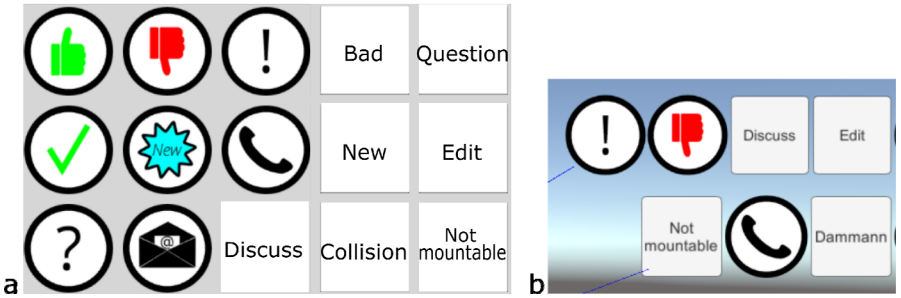


Bild 8: Beispiele für a) Icons und Textbausteine b) die Darstellung einer Texteingabe mit Hilfe von Icons und Textbausteinen

5.2 Annotationsaustausch und Report-Tool

Die erzeugten Annotationen und die darin enthaltenen Informationen können in den Entwicklungsprozess integriert werden, um auf deren Basis beispielsweise Änderungen an Bauteilen vorzunehmen. Hierzu muss es möglich sein, die Annotationen in einem möglichst allgemeingültigen Austauschformat abzuspeichern.

In Anlehnung an Camba et al. wird eine XML-Struktur genutzt [4], um die Annotationen und alle spezifischen Informationen zu speichern. Die Struktur kann außerdem in den Erweiterten Szenegraph [6] integriert werden.

Die Struktur sieht Attribute vor, mit denen Daten zu Position, Informationsinhalt oder Priorität der Annotation abgelegt werden können. Jede Annotation verfügt über einen Verweis zu einem Bauteil oder einer Baugruppe aus der Baugruppenstruktur. Da die Baugruppenstruktur inklusive der Objektnamen und Eigenschaften in Unity aus dem Erweiterten Szenegraph abgeleitet wurde, ist die Integrität dieser Verweise auch außerhalb von Unity gegeben.

Es ist zweckmäßig, die gespeicherten Annotationen zusätzlich in einer Form darzustellen, die für alle am Entwicklungsprozess Beteiligten verständlich ist und auch ohne spezialisierte Software angezeigt werden kann. Zu diesem Zweck wurde ein Report-Tool entwickelt, welches PDFs aus den Annotationsdaten generiert. Als Basis für das Tool dient die Open Source Version von PDFjet. Bei PDFjet handelt es sich um eine Softwarebibliothek mit der PDFs auf verschiedenen Plattformen erstellt werden können [13].

Im PDF Report können sämtliche Informationen zu den Annotationen abgebildet werden. Dies beinhaltet unter anderem den Erstellzeitpunkt, Erstellende, Screenshots und enthaltene Informationen. Anhand der Annotationen kann die Gestalt des Reports angepasst werden. So sind neben einem rein chronologischen Report auch Reporte möglich, die sich nur auf spezifische Bauteile beziehen oder einzelne Bearbeitende adressieren. In Bild 9 ist ein Auszug aus einem Report dargestellt.

Session Report

Annotation Name: 01_02_01_Seiltrommel_0
Belongs to part: 01_02_01_Seiltrommel
Timestamp: 9/5/2019 10:01:36 AM
Priority: medium priority
Creator: Default User
Annotation Type: FABAnnotation(Clone)
Icon Entry: new
Icon Entry: thumbsup

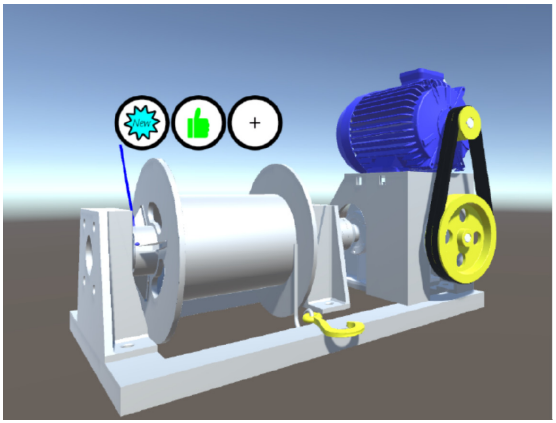


Bild 9: Auszug aus einem automatisch generierten Report

6 Zusammenfassung

Das vorgestellte Annotationssystem ermöglicht die Durchführung und Dokumentation von Reviews unter Beachtung der Eingabebeschränkungen des Gerätes. Die Annotationen wurden in den Erweiterten Szenegraph integriert und können auf diese Weise in den Entwicklungsprozess einbezogen werden. Mit dem vorgestellten Triangulierungsverfahren ist es möglich, eine Szene für kollaborative Anwendungen zu kalibrieren. Mit den gewonnenen Erkenntnissen über den Performanceeinfluss von Collidern und dem alternativen Selektionsverfahren kann die Performance von mobilen Anwendungen verbessert werden.

Die vorgestellten Teillösungen sind Bestandteil des DyConcept-Toolkits (http://dyconcept.de). Das Toolkit wurde in Kooperation zwischen dem Lehrstuhl Konstruktionstechnik/CAD der TU Dresden und der FAB Bertelmann Technologie Dresden entwickelt und wird als Softwarelösung für HTC Vive, HoloLens, Desktop-PC, Android- oder iOS- Tablet angeboten.

Einige der dargestellten Ergebnisse wurden im Rahmen der durch die AiF geförderten ZIM-Kooperationsprojekte ZF4123401LF5 und ZF4123404SS7 erarbeitet.

Literaturangaben

[1] *Parametric Technology Corporation: The World's Most Widely Deployed AR. URL: https://www.vuforia.com/engine.html> [03.09.2019]*

[2] *Fraunhofer Institute for Computer Graphics Research IGD: Seed round for Visometry – stable tracking for industrial AR solutions with VisionLib. URL: https://www.igd.fraunhofer.de/sites/default/files/media/presse/igd-20190115_seed_round_for_visometry.pdf [04.09.2019]*

[3] *Pick, S.; Kuhlen, T.W.: A framework for developing flexible virtual-reality-centered annotation systems. In: 2015 IEEE 8th Workshop on Software Engineering and Architectures for Realtime Interactive Systems (SEARIS), NJ: IEEE, 2017, S. 10-17, ISBN 978-1-4673-6881-0*

[4] *Pick, S.; Weyers, B.; Hentschel, B.; Kuhlen, T.W.: Design and Evaluation of Data Annotation Workflows for CAVE-like Virtual Environments. IEEE transactions on visualization and computer graphics, 2016, S. 1452-1461, doi:10.1109/TVCG.2016.2518086*

[5] *Camba, J.; Contero, M.; Johnson, M.; Company, P.: Extended 3D annotations as a new mechanism to explicitly communicate geometric design intent and increase CAD model reusability. Computer-Aided Design, 2014, S. 61-73, doi:10.1016/j.cad.2014.07.001*

[6] *Gebert, M.; Steger, W.; Stelzer, R.: Fast and Flexible Visualization Using an Enhanced Scene Graph. In Proc. ASME International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference – 2018, 2018*

[7] *Owen, S.: ZXing Project, URL: https://github.com/zxing/zxing [04.09.2019]*

[8] *Zeller, M.; Turner, A.; Bray, B.; Schonning, N.; Cowley, E.; Mcculloch, J.; Wguyman; Grbury.: Locatable camera, 2019, URL: https://docs.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/locatable-camera [03.09.2019]*

[9] *Unity Technologies.: Unity - Manual: Colliders, 2019, URL: https://docs.unity3d.com/Manual/CollidersOverview.html [02.09.2019]*

[10] *Foley, J.D.: Computer graphics: principles and practice, 2nd ed, Addison-Wesley, 1995, S. 668-672, ISBN: 0-201-84840-6*

[11] *DIN EN 61160, Entwicklungsbewertung (engl. Titel Design Review), 2005*

[12] *Turner, A.; Zeller, M.; Cowley, E.; Bray, B.: Keyboard input in Unity, Microsoft Corporation, 2019, URL: https://docs.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/keyboard-input-in-unity [02.09.2019]*

[13] *Innovatics Inc.: PDFjet - The Mobile and Cloud PDF library for Java, .NET and Swift, 2018, URL: http://pdfjet.com [29.08.2019]*

Effects of Presence and Immersion on Emotions and Behavior Intentions

Zachmann, G.[1]

[1] Universität Bremen, Computer Graphics and VR Lab

Abstract

We present a study investigating the question whether and how people's intention to change their environmental behavior depends on the degrees of immersion and freedom of navigation when they experience a virtual coral reef. We built the virtual reef on top of a biologically sound model of the ecology of coral reefs, which allows us to simulate the realistic decay of reefs under adverse environmental factors. During their experience, participants witness those changes while they can also explore the virtual environment.

In a two-factorial study involving a large number of participants, we have investigated the effects of different degrees of immersion and freedom of navigation on emotions, the feeling of presence, and participants' intention to change their environmental behavior. The results of our analyses show that immersion and navigation have a significant effect on the participants' emotions of sadness and the feeling of helplessness. In addition, we found a significant effect, mediated by the participants' emotions, on the intention to change their behavior.

The most striking result is, perhaps, that the highest level of immersion combined with the highest level of navigation did not lead to the highest intentions to change behavior. Overall, results show that it is possible to raise awareness of environmental threats using virtual reality; it also seems possible that people change their behavior regarding these threats. But the VR experience must be carefully designed so as to achieve these effects: combining all affordances offered by VR technology might actually decrease the desired effects.

Effects of Presence and Immersion on Emotions and Behavior Intentions

G. Zachmann
Computer Graphics and VR Lab
University of Bremen, Germany

Motivation

NATIONAL GEOGRAPHIC Subscribe MENU

MAGAZINE

Half of the Great Barrier Reef Is Dead

See where coral in the world's largest coral reef system has been bleached to death.

BY LAUREN E. JAMES

This story appears in the August 2018 issue of *National Geographic* magazine.

Half of the Great Barrier Reef has been bleached to death since 2016. Mass coral bleaching, a global problem triggered by climate change, occurs when unnaturally hot ocean water destroys a reef's colorful algae, leaving the coral to starve. The Great Barrier Reef illustrates how extensive the damage can be: Thirty percent of the coral perished in 2016, another 20 percent in 2017. The effect is akin to a forest after a devastating fire. Much of the marine ecosystem along the reef's north coast has become barren and skeletal with little hope of recovery.

HOW HOT FOR HOW LONG

As climate change warms Earth's oceans, underwater heat waves last longer. Coral species can't withstand extended hot periods. They start to die off, which diminishes reef diversity. After heat stress becomes severe, as it did along the northern Great Barrier Reef in 2016, few species remain, and final die-off is rapid.

HEAT STRESS

Great Barrier Reef Far Northern Management Area

Degree heating week (DHW) combines intensity and duration of heat stress into a single number.

16 12 8 4

2014 2015 2016 2017

Heat stress in 2016 killed 80% of coral in this section of the reef.

DIRECTION OF VIEW

PAPUA NEW GUINEA

SOLOMON ISLANDS

GREAT BARRIER REEF MARINE PARK

AUSTRALIA

Brisbane

Sydney

Canberra

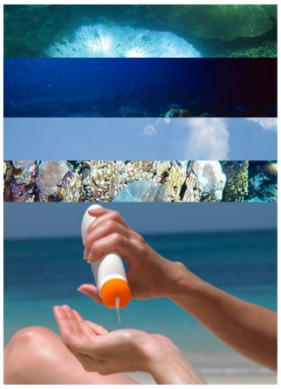
Coral Reefs are Severely Endangered

93% of the entire Great Barrier Reef is now bleached because of the climate crisis [Conservation Project International]
95% of reefs from Cairns to Papua New Guinea are now severely bleached. [National Coral Bleaching Taskforce, 2016]

3

Threats to Coral Reefs (Man-Made)

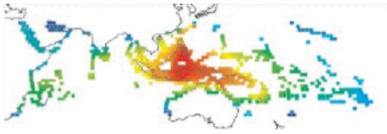
1. Temperature increase ("cooks" the corals)
2. Acidification (because of CO2)
3. Mechanical damage (anchors and tourists)
4. Fishing practices
5. Nutrient pollution (from fertilizers)
6. Plastics and other waste
7. Sunscreen



4

The Global Values of Coral Reefs

- Huge bio-diversity ("gene pool"):
  - 5 000+ fishes, 800+ corals, 10 000 sponges, in total over $9 \cdot 10^6$ species!
  - <1% area but >25% of all marine species



- Shoreline protection, molecules for medicines, tourism, ...
- Monetary:
  - 5+ billion US$ from fishery
  - Total economic value is 100's of billions of US$

5

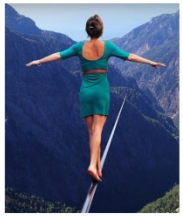
Research Questions

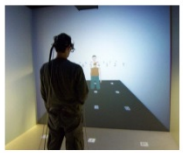
1. Can we use VR to raise awareness of the perils of coral reefs?
2. Can we use VR to change the behavior of people, even if they are far away from coral reefs (both geographically and psychologically)?

6

Previous Work

- Large body of literature
- Treatment of phobias, e.g. [North et al.'98, Hodges et al.'95, Boeldt et al.'19]
- Factors eliciting emotional response:
  - Immersion, e.g. 360 videos on meat consumption [Fonseca et al. 2016]
  - Different types of content [Riva et al. 2007, Freeman et al. 2005]
- Effect of realism of self-avatars:
  - On non-verbal communication [Bailenson et al. 2006]
  - Communicating eye-gaze [Roberts et al. 2009]





7

Previous Work

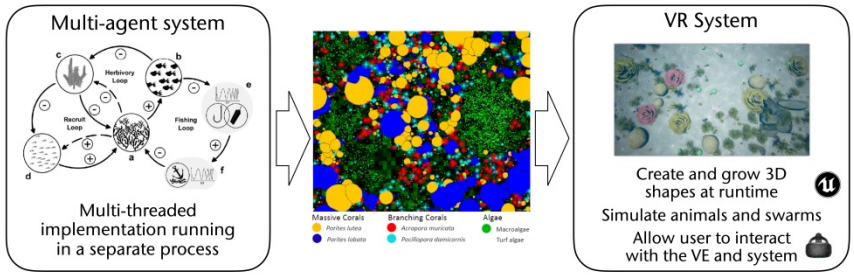
- Message framing on behavior change [Ahn et al. 2015]
  - Scenarios: cutting down trees, or growing trees
  - Positive framing leads to more environmentally conscious intentions
- Two-way influence between presence and emotions [Baños et al. 2007; Riva et al. 2006]
- Influence of perspective-taking in VR on behavior:
  - Pro-social behavior [Rosenberg et al. 2009]
  - Reduction of racial bias [Peck et al. 2013]

8

Bremen

Simulating a Living Virtual Coral Reef

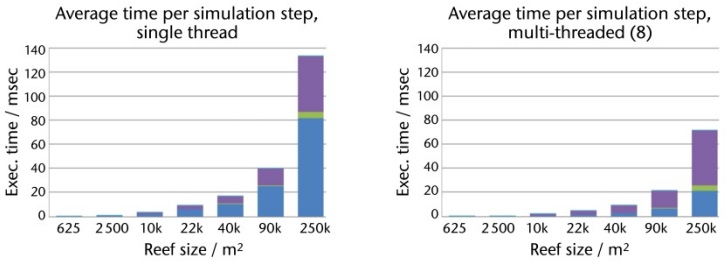
- Collaboration with Leibniz Center for Tropical Marine Research
- Software architecture:

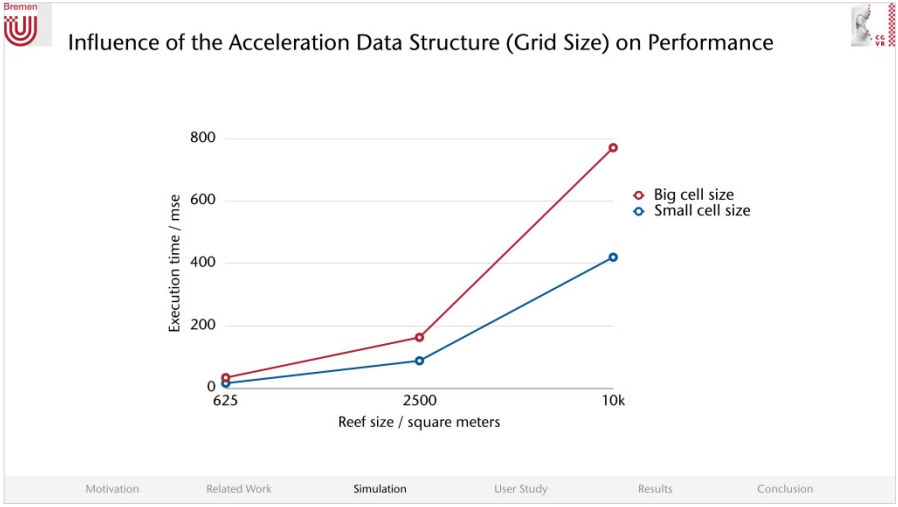


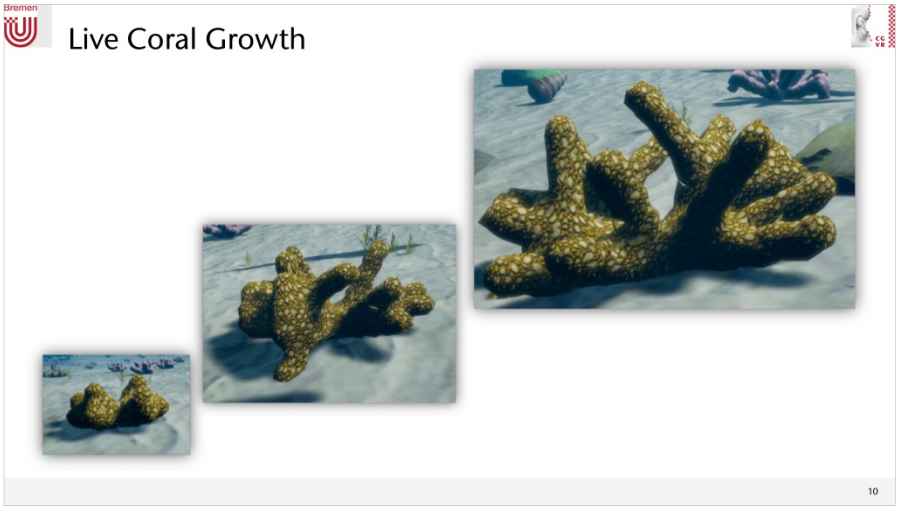
9

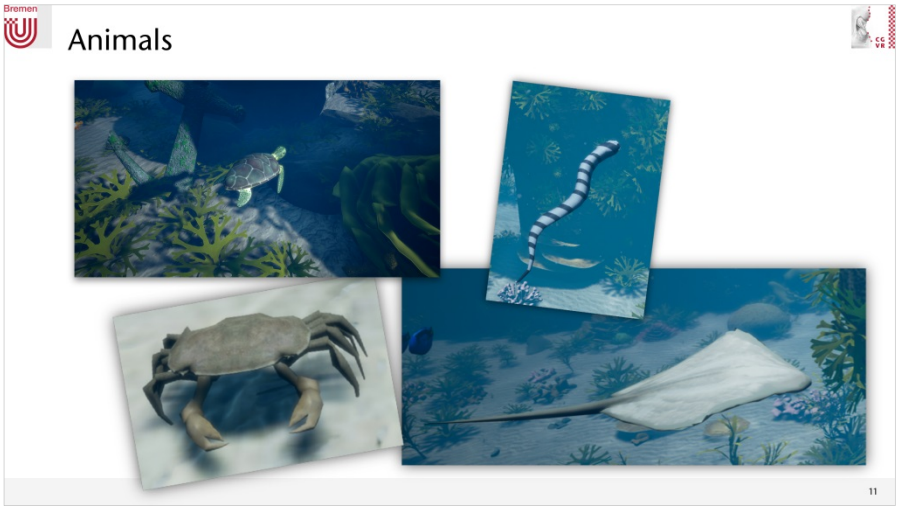
Bremen

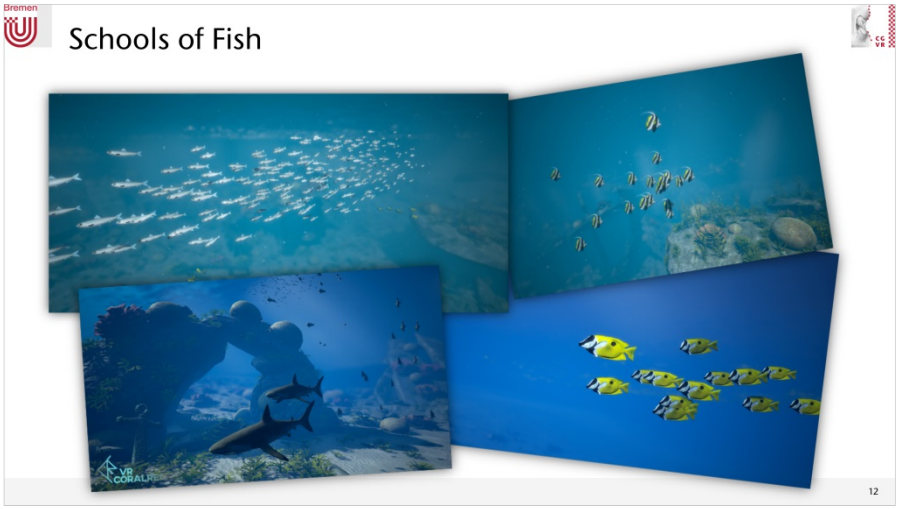
Performance of the Multi-Agent System

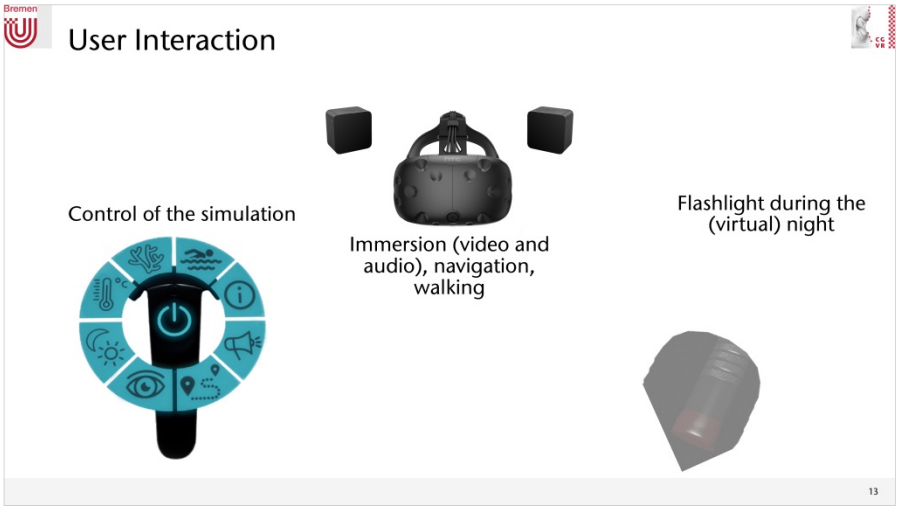



Bremen
Influence of the Acceleration Data Structure (Grid Size) on Performance
800
600
400
200
0
Execution time / mse
625
2500
10k
Reef size / square meters
Big cell size
Small cell size
Motivation
Related Work
Simulation
User Study
Results
Conclusion


Bremen
Live Coral Growth
10


Bremen
Animals
11

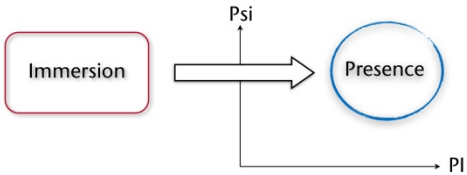

Bremen
Schools of Fish
12


Bremen
User Interaction
Control of the simulation
Immersion (video and audio), navigation, walking
Flashlight during the (virtual) night
13

VR
CORALREEF
MULTIPLAYER

Immersion and Presence

- Immersion = #senses stimulated by synthesized input and #senses blocked from outside world
- Presence = place illusion ("being there") and plausibility illusion ("this is really happening")



15

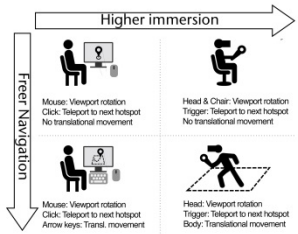
Hypotheses

1. Higher navigation capabilities reduce feelings of helplessness
2. On the relationship between immersion and sadness when witnessing the virtual coral reef die:
   1. Higher immersion leads to higher sadness
   2. Prior VR experience (habituation?) influences the level of sadness
3. Free navigation and high immersion leads to greater intention to change behavior

16

Setup of the User Study

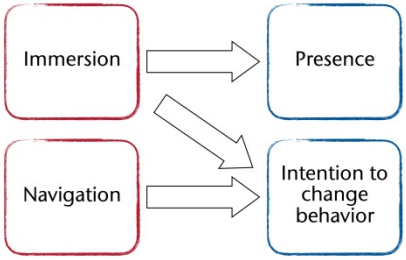
- Two-factorial user study
- Participants: N = 224, average age 24 years (std ≈ 6)
- Pre- and post-questionnaires
  - Presence measured using IPQ
  - Own questions re environmental behavior and change intentions
- 7-minute experience showing the dying coral reef over 500 years



17

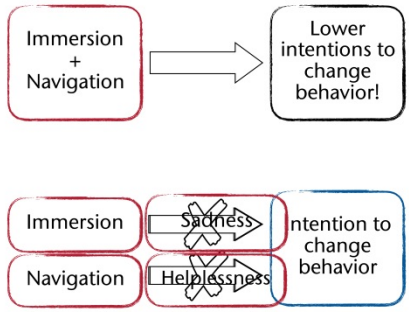
Results

- No habituation effects, i.e., even after years of VR experience, higher immersion leads to stronger emotions



18

Surprises



19

Conclusions

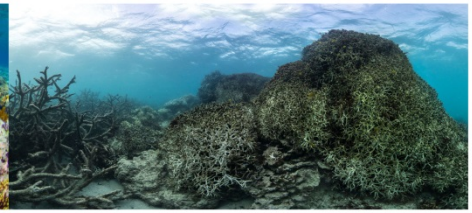
- Living virtual coral reef, based on biologically founded multi-agent simulation
- User study investigating questions regarding the effects of immersion and presence on potential behavior change
- Most surprising results:
  - Immersion plus navigation is not always better
  - Emotions are an important mediator for behavior change
- Potential for awareness raising was established

20

Bremen

Thank You!

Don't let this ... ... turn into this!



[More details in our poster paper at IEEE VR 2019]

21

Arbeitswissenschaftliche Fragestellungen beim Einsatz von Datenbrillen

Terhoeven, J.[1]*; Wischniewski, S.*[1]

[1] Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund

Abstract

Prozesse in modernen Arbeitssystemen werden zunehmend digital. An der Schnittstelle zwischen Mensch und Arbeitssystem wird in Wissenschaft und Praxis zunehmend der Einsatz von mobilen Informations- und Kommunikationstechnologien untersucht. Eine solche Technologie stellt die Datenbrille dar, welche in Bereichen, in denen Mobilität und eine freihändige Bedienung von Informationsanzeigesystemen Vorteile mit sich bringt, ein großes Potenzial aufweist. Allerdings kann die noch nicht vollständig erreichte Technologie-Reife sowie ein unzureichender Bekanntheitsgrad von Datenbrillen bei Beschäftigten zu Akzeptanzproblemen führen.

Im folgenden Beitrag sind u. a. auf Basis verschiedener Forschungsaktivitäten arbeitswissenschaftliche Anforderungen an den Einsatz von Datenbrillen als Arbeitsassistenz zusammengefasst. Weiterhin wird beschrieben, wie ebendiese Anforderungen im Rahmen des Forschungsprojekts Glass@Service umgesetzt wurden, um das ergonomische Gestaltungspotenzial von Datenbrillen aufzuzeigen.

1 Einleitung

Vor dem Hintergrund der fortschreitenden Digitalisierung der Arbeit bedarf es moderner Schnittstellen zwischen Beschäftigten und Arbeitssystem, um der hohen Komplexität gerecht zu werden [1]. Neue Formen kognitiver Arbeitsassistenz können dabei helfen, mit der zunehmenden Menge und Verfügbarkeit von Informationen umzugehen und Entscheidungsprozesse von Beschäftigten zu unterstützen. Insbesondere auch unter Betrachtung der Vision von Augmented Reality können Datenbrillen für diesen Zweck nützlich sein [2]. Aufgrund der noch nicht vollständig erreichten Technologie-Reife von Datenbrillen ist die Berücksichtigung einer menschengerechten Arbeits- und Technikgestaltung bereits vor einem möglichen Einsatz der Technologie entscheidend. Dabei gilt es bereits bei der Planung neuer Arbeitsassistenzsysteme den Nutzungskontext zu analysieren und den Grad der Aufgaben-Technologie-Passung zu bestimmen [3]. Anschließend bedarf es einem

Fokus auf eine gebrauchstaugliche Gestaltung der Mensch-System-Interaktion, um ergonomische Aspekte bei der Technologienutzung zu berücksichtigen und dadurch auch Akzeptanz der Beschäftigten sicherzustellen [4].

2 Datenbrillen als Arbeitsassistenz

Aktuell sind Datenbrillen als Arbeitsassistenz in der praktischen Anwendung noch nicht weit verbreitet. Der geringe Durchdringungsgrad der Technologie wird dabei auch von der Vielzahl unterschiedlicher Varianten beeinflusst. So finden sich unter dem Begriff „Datenbrille“ monokulare als auch binokulare Varianten, welche wiederum unterteilt werden können in see-through- und non-see-through-Modelle. Hinzu kommt die Einstufung in Augmented Reality-Datenbrillen, zumeist binokulare see-through Datenbrillen, und Virtual Reality-Datenbrillen in Form von binokularen non see-through Datenbrillen [3]. In der Forschung finden sich neben der Logistik, in der Datenbrillen auch schon praktisch angewendet werden [5], insbesondere auch Untersuchungen zu potenziellen Anwendungsfällen u. a. im Bereich der Automobilindustrie, der Instandhaltung und des Gesundheitswesens [6-8].

Die Entscheidung, ob der Einsatz einer Datenbrille Sinn ergibt, hängt stark von den Merkmalen der Arbeitsaufgabe ab. Eine sorgfältige Analyse des Nutzungskontexts im Sinne des Task-Technology-Fit ist vor dem Einsatz der Technologie unabdingbar. Aufgabenmerkmale, welche klar für den Einsatz von Datenbrillen stehen, müssen gegenüber den Nachteilen, welche die noch nicht vollständig erreichte Technologie-Reife sowie der niedrige Bekanntheitsgrad bei den Beschäftigten mit sich bringen, überwiegen. In [3] sind auf Basis wissenschaftlicher Untersuchungen Indikatoren für und gegen den Einsatz von Datenbrillen zusammengestellt, welche als Orientierung vor dem Technologieeinsatz dienen können. Indikatoren für den Einsatz von Datenbrillen sind z. B. die Notwendigkeit der freihändigen Bedienung und die durch die Aufgabe bedingte Mobilität des Beschäftigten. Indikatoren gegen einen Einsatz sind u. a. mögliche Gefährdungen des Beschäftigten bei Verdeckung der Umgebung bzw. durch Einschränkung des Sichtfeldes. Auch Klinker et al. [9] haben eine Taxonomie für das Task-Technology-Fit aufgestellt, in der Einsatzkriterien von Datenbrillen aufgezeigt und gewichtet werden.

3 Arbeitswissenschaftliche Anforderungen an den Einsatz von Datenbrillen

Die Integration moderner Informations- und Kommunikationstechnologien, wie z. B. Datenbrillen, in die digitale Arbeitswelt hat bedeutende Auswirkungen auf die Anforderungen an Arbeitssysteme [10]. Hierbei ist aus Sicht der Arbeitswissenschaft

insbesondere eine menschengerechte Arbeits- und Technikgestaltung zu berücksichtigen, um den Nutzen und die Akzeptanz von Assistenztechnologien zu fördern und die Beanspruchung der Beschäftigten zu optimieren. Im Folgenden sind beispielhaft einige Anforderungen an Datenbrillen kurz erläutert.

3.1 Gebrauchstauglichkeit

Die Gebrauchstauglichkeit spielt bei der Arbeits- und Technikgestaltung eine entscheidende Rolle [4]. Gemäß §3 der Betriebssicherheitsverordnung [11] sind Unternehmen bei Verwendung neuer Arbeitsmittel dazu verpflichtet, im Rahmen einer Gefährdungsbeurteilung die „Gebrauchstauglichkeit einschließlich der ergonomischen, alters- und alternsgerechten Gestaltung“ zu berücksichtigen. Hierzu sind die Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit für die Mensch-System-Interaktion (MSI) zum Beispiel in der DIN EN ISO 9241-11 [12] definiert. Dabei sind die folgenden sieben Dialogeigenschaften für die Gestaltung einer gebrauchstauglichen MSI empfohlen [13]: Aufgabenangemessenheit, Selbstbeschreibungsfähigkeit, Steuerbarkeit, Erwartungskonformität, Fehlerrobustheit, Erlernbarkeit und Individualisierbarkeit. Eine Möglichkeit zur Bewertung der Gebrauchstauglichkeit aus Anwendersicht stellt der Isometrics^{S} Fragebogen dar [14].

3.2 Nutzen und Akzeptanz

Im Rahmen der menschengerechten Arbeits- und Technikgestaltung spielt neben der Analyse der Aufgaben-Technologie-Passung, welche eng mit dem Nutzen der Technologie zusammenhängt, insbesondere auch das Schaffen von Akzeptanz auf Seiten der Beschäftigten eine entscheidende Rolle. Eine hohe Akzeptanz durch die Beschäftigten erhöht die Nutzungswahrscheinlichkeit sowie auch die Effizienz in der Nutzung einer neuen Assistenztechnologie [15]. Dabei ist durchaus die subjektive Wahrnehmung der Technologie durch die potenziellen Nutzer zu berücksichtigen, auch wenn bei der Technologiegestaltung Funktionsmerkmale im Vordergrund stehen. Grauel et al. [16] haben in einer Untersuchung mithilfe der Repertory-Grid-Technik akzeptanzrelevante Merkmale von Datenbrillen erhoben, welche potenziellen Nutzern wichtig sein können. Dabei zeigte sich, dass neben der Aufgaben-Technologie-Passung insbesondere auch ergonomische Aspekte wie Tragekomfort und individuelle Einstellmöglichkeiten, aber auch das Design der Datenbrille wichtig sind. Eine Möglichkeit zur Einschätzung von Nutzen und Akzeptanz von Datenbrillen stellt z. B. das Technology Acceptance Model dar [17].

3.3 Beanspruchungsoptimierte Gestaltung

Als kopfgetragene Technologie stellen Datenbrillen insbesondere bei einem möglichen Einsatz in der Arbeitswelt hohe Anforderungen an die ergonomische Gestal-

tung. Um eine muskuläre Beanspruchung von Beschäftigten zu vermeiden spielen Aspekte wie das Gewicht sowie die Gewichtsverteilung der Technologie eine wesentliche Rolle. Gleichzeitig sind durch eine entsprechende Gestaltung die Bewegungsfreiheit der Nutzer zu gewährleisten und somit Zwangshaltungen zu vermeiden, welche u. a. zu einer erhöhten Beanspruchung der Nackenmuskulatur führen können [18]. Neben der objektiven Beanspruchung, welche überwiegend durch die Technologiegestaltung beeinflusst wird, ist auch die subjektive Beanspruchung bzw. das Beanspruchungsempfinden der Nutzer entscheidend. Ein hohes subjektives Beanspruchungsempfinden beeinflusst die Akzeptanz der Technologie negativ und senkt somit auch die Effizienz einer möglichen Arbeitsassistenz [19]. Eine Einbindung von Beschäftigten bereits in Pilotierungsphasen sowie längere Eingewöhnungsphasen bei initialer Nutzung können möglichen negativen Ausprägungen entgegenwirken. Zur Bewertung bzw. Einschätzung der subjektiven Beanspruchung können wissenschaftliche Erhebungswerkzeuge wie z. B. der NASA-TLX Fragebogen herangezogen werden.

3.4 Datenschutzrechtliche Anforderungen

Datenbrillen als eine Form adaptiver Arbeitsassistenzsysteme sind i. d. R. mit Sensorik, wie z. B. einer Kamera, ausgestattet, die eine Erfassung und Speicherung personenbezogener Daten zulässt. Insbesondere vor dem Hintergrund der im Mai 2018 in Kraft getretenen EU-Datenschutzgrundverordnung (EU-DSGVO) sind dementsprechend datenschutzrechtliche Anforderungen beim Einsatz solcher Systeme zu berücksichtigen. Nach EU-DSGVO gilt u. a. der Grundsatz der Transparenz, wodurch Arbeitgeber vor der Erhebung bzw. Verarbeitung personenbezogener Daten die betroffenen Beschäftigten detailliert über Zweck, Art der Information, Dauer der Speicherung, Löschung etc. in Kenntnis setzen müssen. Dabei ist die Zweckbindung entscheidend und nur in Ausnahmefällen übertragbar. Eine Vorratsdatenspeicherung, z. B. im Kontext von Industrie 4.0-Anwendungen, scheint zunächst unzulässig. Für Arbeitsgeber gilt es Maßnahmen des technischen Datenschutzes zu prüfen, mit denen die Erhebung von Daten anonymisiert oder pseudonymisiert erfolgen kann. Aktuell können weiterhin Kollektivvereinbarungen als wesentliches Instrument genutzt werden, um mit der Erhebung personenbezogener Daten im Arbeitskontext umzugehen [20]. Detaillierte Erkenntnisse aus der neuen EU-DSGVO sowie eine Checkliste zur Berücksichtigung datenschutzrechtlicher Anforderungen beim Einsatz adaptiver Arbeitsassistenzsysteme können [20] entnommen werden.

4 Evaluationsergebnisse aus dem Verbundprojekt Glass@Service zum Einsatz von Datenbrillen

Das Verbundprojekt Glass@Service beschäftigte sich u. a. mit der Entwicklung einer Augmented Reality-Datenbrille, welche als Arbeitsassistenz Anforderungen wirtschaftlicher als auch gesundheitsorientierter Arbeit synergetisch anhand von Anwendungsfällen aus der Elektronik-Fertigung untersuchte. Betrachtet wurde in diesem Zusammenhang das ergonomischen Gestaltungspotenzial, um beanspruchungsoptimale, sichere Lösungen moderner Arbeitsassistenz zu gewährleisten. Im Rahmen der Evaluation wurden die in den vorherigen Abschnitten beschriebenen Anforderungen an Datenbrillen sowohl in Form der Nutzererwartung als auch des Nutzerempfindens erhoben und in Relation zueinander gesetzt. Zu diesem Zweck wurde für die Evaluation der entwickelten Arbeitsassistenz ein Untersuchungsdesign ausgearbeitet, welches sich in drei Abschnitte aufgliederte. Im ersten Schritt wurden in den zwei betrachteten Anwendungsfällen – Lagerlogistik und Rüsten von SMD-Bestückungsautomaten – Erwartungen der Beschäftigten an ein datenbrillenbasiertes Assistenzsystem hinsichtlich der Gebrauchstauglichkeit, der Akzeptanz und des Nutzens erhoben. Im zweiten Schritt erfolgte im ersten Anwendungsfall der Vergleich von zwei Datenbrillen- sowie einer Tablet-PC-Assistenzlösung. An der ersten Erhebung nahmen insgesamt N = 59 Beschäftigte teil, davon N = 17 Beschäftigte aus dem Anwendungsfall Lagerlogistik und N = 42 Beschäftigte aus dem Anwendungsfall SMD-Rüsten. Die Erhebung erfolgte in Anlehnung an die Fragebögen Isometrics^{S} und Technology Acceptance Model. Dabei zeigte sich in der Betrachtung der Nutzererwartungen hinsichtlich der Gebrauchstauglichkeit und der Akzeptanz eine positivere Einstellung gegenüber der Technologie im zweiten Anwendungsfall gegenüber dem ersten Anwendungsfall [15].

4.1 Datenbrilleneinsatz in der Lagerlogistik

Im Rahmen der zweiten Untersuchung in der Lagerlogistik nahmen insgesamt N = 12 Beschäftigte teil. Es wurden drei verschiedene Assistenzsysteme (Tablet-PC, monokulare Datenbrille, binokulare Datenbrille) eingesetzt und miteinander sowie mit den zuvor erhobenen Erwartungen verglichen. Die Erhebung erfolgte in Anlehnung an die Fragebögen Isometrics^{S} zur Gebrauchstauglichkeit, Technology Acceptance Model zu Nutzen und Akzeptanz sowie NASA-TLX zur subjektiv empfundenen Beanspruchung.

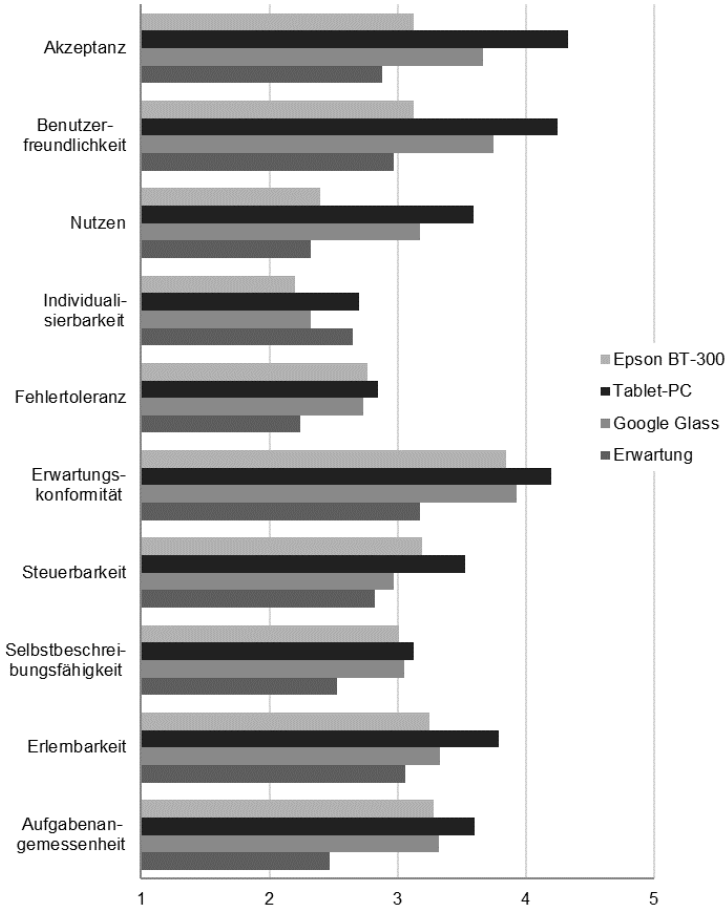


Bild 1: Ergebnisse der Evaluationserhebung zu den Merkmalen Akzeptanz, Nutzen und Gebrauchstauglichkeit im Anwendungsfall Lagerlogistik [21]

Im Ergebnis zeigten sich bei Gebrauchstauglichkeit, Nutzenempfinden und Akzeptanz Vorteile beim Tablet-PC gegenüber den beiden Datenbrillen (Bild 1). Weiterhin waren die Merkmale hinsichtlich Akzeptanz, Benutzerfreundlichkeit und Nutzen bei der monokularen Datenbrille (Google Glass) höher ausgeprägt war als bei der binokularen Datenbrille (Epson BT-300). Insgesamt konnte eine bessere Ausprägung aller Merkmale gegenüber den zuvor erhobenen Erwartungen festgestellt werden.

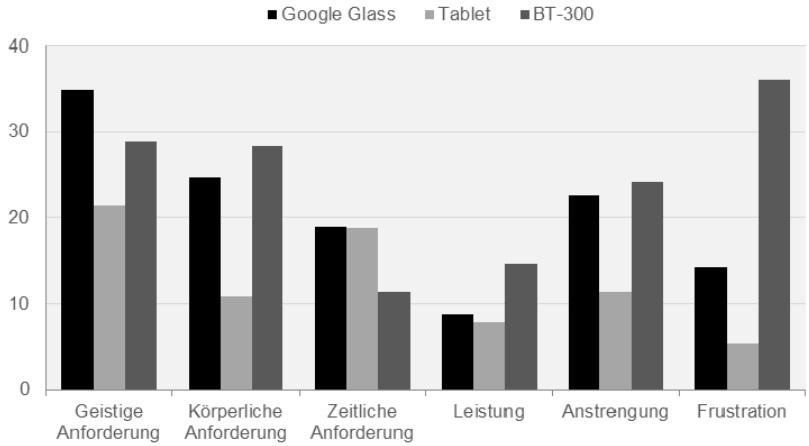


Bild 2: Ergebnisse der Evaluationserhebung zur subjektiven Beanspruchung im Anwendungsfall Lagerlogistik [21]

Auch bei der subjektiv empfundenen Beanspruchung zeigten sich beim Tablet-PC überwiegend bessere Ausprägungen bei den einzelnen Merkmalen als bei den beiden Datenbrillen-Lösungen (Bild 2). Lediglich wurde der empfundene Zeitdruck bei der Arbeit mit der Epson BT-300 niedriger bewertet als bei den Alternativtechnologien. Auffällig war hingegen eine sehr hohe Frustration bei Nutzung der binokularen Datenbrille. Im Bereich der körperlichen Anforderung sowie der Anstrengung war die Beanspruchung bei Nutzung des Tablet-PCs deutlich niedriger ausgeprägt als bei den beiden Datenbrillen. Dies kann dadurch beeinflusst sein, dass es gegenüber den Datenbrillen nicht dauerhaft am Körper getragen wird.

4.2 Datenbrilleneinsatz beim Rüsten von SMD-Bestückungsautomaten

An der dritten Untersuchung nahmen N = 21 Beschäftigte teil. Als Assistenzsystem wurde eine Kombination aus einer binokularen Datenbrille (Epson BT-300) und einer Smartwatch produktiv beim Rüsten von SMD-Bestückungsautomaten eingesetzt. Neben Gebrauchstauglichkeit, Nutzen und Akzeptanz wurden zusätzlich die individuelle Einstellung und Präferenz gegenüber der Technologie sowie akzeptanzrelevante Aspekte erhoben. In den Ergebnissen zeigte sich eine bessere Erlernbarkeit des Systems gegenüber der ursprünglichen Erwartung (Bild 3). Allerdings wurde die Aufgabenangemessenheit deutlich schlechter eingeschätzt als zuvor angenommen. Dementsprechend waren der empfundene Nutzen und die Akzeptanz der Technologie niedrig ausgeprägt.

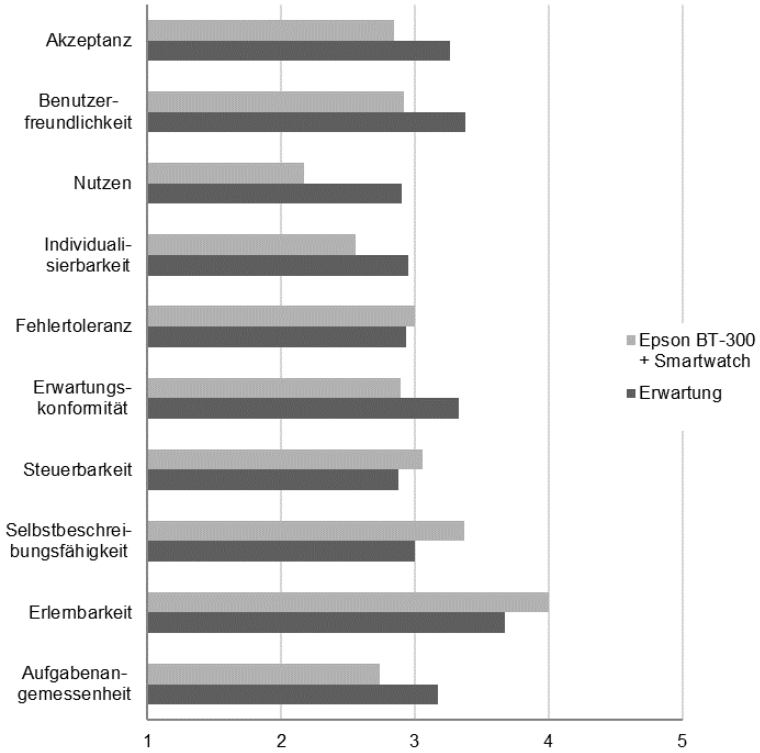


Bild 3: Ergebnisse der Evaluationserhebung zu den Merkmalen Akzeptanz, Nutzen und Gebrauchstauglichkeit im Anwendungsfall SMD-Rüsten [21]

Die Ergebnisse zur individuellen Präferenz und Einstellung gegenüber der Technologie zeigten, dass zwei Drittel der Beschäftigten keine Arbeitserleichterung durch das neue Assistenzsystem wahrnehmen konnten. Jedoch wurden der Smartwatch von drei Vierteln der Beschäftigten ein grundlegendes Unterstützungspotenzial und die Möglichkeit der Effizienzsteigerung bei der Arbeitsaufgabe zugesprochen, sofern die Technologiegestaltung optimiert wird.

Hinsichtlich möglicher akzeptanzrelevanter Kriterien beim Einsatz von Datenbrillenbasierten Assistenzlösungen kritisierten die Beschäftigten im betrachteten Anwendungsfall insbesondere, dass die Assistenzlösung aus mehr als nur einer Technologie bestand (Bild 4). Dementsprechend war die Handhabung des Systems nicht intuitiv umgesetzt und eine längere Gewöhnungsphase war notwendig. Weiterhin wurde die Datenbrille schwer und unbequem am Kopf bewertet, wodurch sich die Bedeutung ergonomischer Aspekte für die Akzeptanz von Nutzern widerspiegelt.

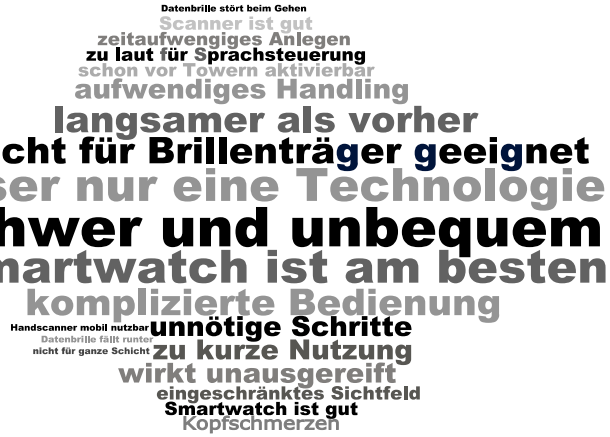


Bild 4: Ergebnisse der Evaluationserhebung zu akzeptanzrelevanten Merkmalen der Assistenztechnologie im Anwendungsfall SMD-Rüsten [21]

5 Fazit und Ausblick

Im Zuge der Digitalisierung von Arbeitssystemen weisen Datenbrillen ein Potenzial an der Schnittstelle zwischen Mensch und Arbeitssystem auf. Allerdings kann die noch nicht vollständig erreichte Technologie-Reife und der niedrige Bekanntheitsgrad zu Akzeptanzproblemen auf Seiten der Beschäftigten führen. Hierzu ist eine ergonomische Arbeits- und Technikgestaltung notwendig, bei der arbeitswissenschaftliche als auch datenschutzrechtliche Anforderungen an adaptive Assistenzsysteme berücksichtigt werden. Vor dem Einsatz von Datenbrillen ist es entscheidend, die Aufgaben-Technologie-Passung zu analysieren und die relevanten Vorteile dieser Technologie im Rahmen der Aufgabengestaltung vollständig auszunutzen.

Im Forschungsprojekt Glass@Service konnte im Rahmen der Evaluation bestätigt werden, dass für Beschäftigte in einem effizienzgetriebenen Produktionsumfeld eine einfache Bedienung, Tragekomfort und der klar herausgestellte Nutzen wesentliche Erfolgskriterien für die Einführung einer neuen Assistenztechnologie darstellen. Dabei weist die Datenbrille als eine noch nicht durchgängig ausgereifte Technologie aktuell noch deutliche Nachteile gegenüber den aus dem Alltag gängigeren Technologien wie Tablet-PC, Smartphone oder Smartwatch auf. Im Hinblick auf die schnelle und fortschreitende Entwicklung im Bereich der Elektronik ist zu erwarten, dass Datenbrillen bereits in naher Zukunft einen besseren Tragekomfort und einfachere Bedienkonzepte aufweisen. Daher gilt es weiterhin, die Entwicklung der Technologie zu begleiten, um das vorhandene Unterstützungspotenzial für Beschäftigte herauszuarbeiten.

Das genannte Forschungs- und Entwicklungsprojekt Glass@Service wurde im Rahmen des Förderprogramms „Smart Service Welt I“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) unter dem Förderkennzeichen 01MD16008B gefördert und durch das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR Projektträger) betreut. Für den Inhalt der Veröffentlichung sind allein die Autoren verantwortlich.

Literaturangaben

[1] Spath, D.; Ganschar, O.; Gerlach, S.; Hämmerle, M.; Krause, T.; Schlund, S.: Produktionsarbeit der Zukunft - Industrie 4.0. Fraunhofer Verl., Stuttgart, 2013

[2] Jost, J.; Kirks, T.; Mättig, B.; Sinsel, A.; Trapp, T.U.: Der Mensch in der Industrie – Innovative Unterstützung durch Augmented Reality. In: Vogel-Heuser, B.; Bauernhansl, T.; Ten Hompel, M. (Hrsg.): Handbuch Industrie 4.0, Band 1. Springer, Berlin Heidelberg, 2015, S. 153-174

[3] Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin: Head-Mounted Displays – Arbeitshilfen der Zukunft. Bedingungen für den sicheren und ergonomischen Einsatz monokularer Systeme. BAuA, Dortmund, 2016

[4] Terhoeven, J.; Wischniewski, S.: How to evaluate the Usability of Smart Devices as Conceivable Work Assistance: A systematic review. In: Schlick, C.M.; Duckwitz, S.; Flemisch, F.; Frenz, M.; Kuz, S.; Mertens, A.; Mütze-Niewöhner, S. (Eds.): Advances in Ergonomic Design of Systems, Products and Processes. Proceedings of the Annual Meeting of GfA 2016. Springer, Berlin Heidelberg, 2017, p. 261-274

[5] Günthner, W.A.; Blomeyer, N.; Reif, R.; Schedlbauer, M.: Pick-by-Vision: Augmented Reality unterstützte Kommissionierung. Lehrstuhl für Fördertechnik, Materialfluss und Logistik, Garching, 2009

[6] Tegtmeier, A.: Augmented Reality als Anwendungstechnologie in der Automobilindustrie. Dissertation. Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, 2006

[7] Kirchhoff, B.M.: Örtlich getrennte Teamaufgaben und neue Technologien – Untersuchung von Passung, Akzeptanz und makrokognitiven Prozessen. Dissertation. BAuA, Dortmund/Berlin/Dresden, 2018

[8] Klinker, K.; Wiesche, M.; Krcmar, H.: Development of a Smart Glass Application for Wound Management. In: Bengisu, T.; Soussan, D.; Gondy, L. (Eds.): Extending the Boundaries of Design Science Theory and Practice. Springer International Publishing, 2019, p. 157-171

[9] Klinker, K.; Berkemeier, L.; Zobel, B.; Wüller, H.; Huck-Fries, V.; Wiesche, M.; Remmers, H.; Thomas, O.; Krcmar, H.: Structure for innovations: A use case taxonomy for smart glasses in service processes. Multikonferenz Wirtschaftsinformatik, Lüneburg, 2018

[10] Bundesministerium für Arbeit und Soziales: Weißbuch Arbeiten 4.0. BMAS, Berlin, 2017

[11] Bundesministerium für Arbeit und Soziales: Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln (Betriebssicherheitsverordnung – BetrSichV). BMAS, Berlin, 2015

[12] DIN, Deutsches Institut für Normung: Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 11: Gebrauchstauglichkeit: Begriffe und Konzepte. EN ISO 9241-11, 2016

[13] DIN, Deutsches Institut für Normung: Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 110: Grundsätze der Dialoggestaltung. EN ISO 9241-110, 2006

[14] Gediga, G.; Hamborg, K.-C.: IsoMetrics: Ein Verfahren zur Evaluation von Software nach ISO 924/10. In: Holling, H.; Gediga, G. (Hrsg.): Evalutionsforschung. Hogrefe Verlag für Psychologie, Göttingen u. a., 1999, S. 195-234

[15] Terhoeven, J.; Schiefelbein, F.-P.; Wischniewski, S.: User expectations on smart glasses as work assistance in electronics manufacturing. In: Procedia CIRP, Volume 72, 2018, p. 1028-1032

[16] Grauel, B.M.; Terhoeven, J.N.; Wischnewski, S.; Kluge, A.: Erfassung akzeptanzrelevanter Merkmale von Datenbrillen mittels Repertory Grid Technik. In: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 2014, 68(4):250-256

[17] Davis, F.D.: Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. In: MIS Quarterly, 1989, 13(3):319-340

[18] Theis, S.; Pfendler, C.; Alexander, T.; Mertens, A.; Brandl, C.; Schlick, C.M.: Head-Mounted Displays – Bedingungen des sicheren und beanspruchungsoptimalen Einsatzes: Physische Beanspruchung beim Einsatz von HMDs. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin: Forschungsbericht. BAuA, Dortmund, 2016

[19] Wille, M.: Head-Mounted Displays – Bedingungen des sicheren und beanspruchungsoptimalen Einsatzes: Psychische Beanspruchung beim Einsatz von HMDs. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin: Forschungsbericht. BAuA, Dortmund, 2016

[20] Varadinek, B.; Indenhuck, M.; Surowiecki, E.: Rechtliche Anforderungen an den Datenschutz bei adaptiven Arbeitsassistenzsystemen. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin: Forschungsbericht. BAuA, Dortmund, 2018

[21] Interaktive personalisierte Visualisierung in Industrieprozessen, am Beispiel der Digitalen Fabrik in der Elektronik-Fertigung. Abschlussbericht zum Verbundvorhaben Glass@Service (Förderkennzeichen 01MD16008A-G). In Veröffentlichung

Design Space für Selektionsmethoden in Virtual Reality Anwendungen

Rothe, S.[1]

[1] LMU München, Medieninformatik

Abstract

Interaktionsmethoden in Virtual Reality (VR) stellen besondere Herausforderungen an die Anwendungsentwicklung. Mit der Benutzung eines Head-Mounted-Displays (HMDs) als Ein- und Ausgabegerät, steht eine sehr natürliche Interaktionsmöglichkeit zur Verfügung: genau wie in der realen Welt wird die Kopfbewegung genutzt, um verschiedene Umgebungsbereiche wahrnehmen zu können. Es liegt nahe, auch für andere Interaktionsmethoden möglichst nah an der realen Erfahrung anzuknüpfen. In diesem Beitrag werden verschiedene Interaktionsmöglichkeiten, die auf Head- und Eyetracking beruhen, untersucht. Als spezieller Anwendungsfall wurden interaktive Cinematic VR (CVR) Anwendungen gewählt, bei denen der Nutzer ein omnidirektionales Video durch ein HMD betrachtet. Die wichtigste Interaktion in CVR ist die Selektion, auf die in diesem Artikel besonders eingegangen wird. Die Ergebnisse, die auf einer Literaturrecherche und einer Nutzerstudie beruhen, werden in einem Design Space zusammengefasst.

1 Einleitung

Die *Selektion* von Objekten und Bereichen bildet die Grundlage vieler weiterer Interaktionstechniken. Ein solcher Selektionsvorgang kann vom Benutzer bewusst oder unbewusst auf die unterschiedlichsten Arten initiiert werden. Selektionstechniken lassen sich in zwei Phasen unterteilen: die Adressierung und die Aktivierung von Bereichen und Objekten (Targets). Es gibt eine Reihe von wissenschaftlichen Artikeln, die sich mit Selektionsmethoden in VR beschäftigen. Einige der Techniken konzentrieren sich auf schnelle Bearbeitungszeiten oder die Genauigkeit beim Adressieren kleiner Targets. Solche Attribute sind nicht für alle Anwendungen relevant. In CVR ist zum Beispiel eine schnelle Taskperformance weniger wichtig als das ungestörte Nutzererlebnis. Um dafür geeignete Methoden zu finden, wurden die in der Literatur beschriebenen Selektionsmethoden analysiert und darauf aufbauend eine Nutzerstudie für CVR-Anwendungen durchgeführt, in der vier ver-

schiedene Aktivierungsmethoden verglichen wurden: blickbasierte Kopfgesten [18], Verweilzeit, Blinzeln und Drücken einer Steuerungstaste.

Basierend auf den Ergebnissen der Literaturrecherche und der Nutzerstudie wird ein Design Space für Selektionsmethoden in VR abgeleitet, der drei Dimensionen aufweist: Target, Adressierung und Aktivierung. Für die Dimensionen und Subdimensionen wird detailliert beschrieben, welche Auswirkungen die unterschiedlichen Werte auf die Nutzererfahrung haben. Der Design Space unterstützt die Entwicklung neuartiger Techniken und soll dabei helfen, die jeweils beste Selektionsmethode für interaktive VR-Anwendungen zu finden.

2 Hintergrund und relevante Literatur

2.1 Geräte

Ein- und Ausgabegeräte sind wichtige Komponenten für interaktive VR-Anwendungen. Die Art der erforderlichen Interaktion beeinflusst die Wahl der Methode und des Gerätes. Eingabegeräte können in Geräte mit *kontinuierlicher* Eingabe (z. B. Tracking) und Geräte mit *diskreter* Eingabe (z. B. Drücken einer Taste) [1] eingeteilt werden. Kontinuierliche Eingabegeräte sind für Modulationen oder Cursorbewegungen geeignet. Diskrete Eingabegeräte signalisieren ein Ereignis, um beispielsweise eine Auswahl zu bestätigen. Die meisten Geräte kombinieren beides. Beispielsweise ist eine Mausbewegung kontinuierlich und das Drücken der Maustaste diskret.

Augen- und Kopfbewegungen sind kontinuierliche Eingabemethoden, die zum Adressieren eines Targets geeignet sind. Zur Aktivierung wird ein diskretes Signal benötigt. Der Kopf kann ein solches Signal durch Nicken oder Drehen indizieren, die Augen beispielsweise durch Blinzeln. Auch wenn es sich bei diesen Methoden um Prozesse handelt, kann ein diskreter Moment definiert werden, der für das Senden des Signals verantwortlich ist. Gleiches gilt für die Verweilzeit: nachdem ein Objekt eine definierte Zeit lang betrachtet wurde, wird das Ereignis ausgelöst. All diese Ereignisse können jedoch auch versehentlich ausgelöst werden, z.B. wenn ein Betrachter einen Bereich längere Zeit inspizieren möchte oder aus Versehen in einer bestimmten Weise blinzelt. Dies kann vermieden werden, indem blick- und kopfbasierte Methoden kombiniert werden oder durch eine Controlleraktivierungsmethode ergänzt werden.

In verschiedenen VR-Anwendungen ist es wünschenswert keine weiteren Eingabegeräte neben dem HMD zu verwenden. Mehrere neue Techniken adressieren das Problem handfreier Interaktionsmethoden. Dabei wurden z.B. verschiedene Gesten untersucht [2]–[4] oder Pusten als nonverbale Eingabemethode genutzt [5].

2.2 Selektionsmethoden in VR

Um die besten Kombinationen von Adressierungs- und Aktivierungstechniken zu finden, wurden in den letzten Jahren verschiedene Forschungen durchgeführt. Hansen et al. [6] verglichen zwei Aktivierungstechniken (Verweilzeit und Tastendruck) und drei Adressiermethoden (Kopf, Blick und Maus). Das Adressieren mit der Maus erfolgte schneller als das Adressieren mit dem Blick und dem Kopf. Die Aktivierung mittels Verweilzeit war schneller als das Benutzen der Taste. Die subjektiv empfundene körperliche Belastung fiel für das Adressieren durch den Blick geringer aus als für die Adressierung mittels Kopfbewegung.

Nukarinen et al. [7] verglichen Raycasting (Verwendung eines vom Controller ausgehenden Strahles als Cursor) mit zwei blickbasierten Techniken zur Selektion von Objekten in VR. In ihren Experimenten folgte der Strahl in der Raycasting Methode der Controllerrichtung. Durch Drücken der Controllertaste wurde das Ereignis ausgelöst. Die beiden blickbasierten Methoden unterschieden sich in der Aktivierungstechnik: eine wurde durch die Controllertaste, die andere durch die Verweilzeit ausgelöst. Der Strahl erzielte bessere Ergebnisse als die Blickmethoden und der Blick bessere als die Verweilzeit. Kallioniemi et al. [8] verglichen zwei Aktivierungsarten für Hotspots: Verweilzeit und Einblendung. Das Einblenden der nächsten Szene wurde automatisch gestartet, wenn der Kopf in Richtung eines Hotspots zeigte. In ihren Experimenten schnitt das Einblenden mit großen Symbolen am besten ab. Qian et al. [9] verglichen blick- und kopfbasierte Techniken. Die kopfbasierte Selektion erzielte die besten Ergebnisse. Sie war schneller, genauer und bot eine bessere Benutzererfahrung. Auch Choe et al. [10] nutzen in ihren Experimenten die Kopfrichtung zum Adressieren des Targets. Sie verglichen die Dwell- und die Tastenaktivierung für unterschiedliche Verweilzeiten und unterschiedliche Targets.

Ein neuartiges Interaktionskonzept, *FaceTouch*, wurde von Gugenheimer et al. [11] entwickelt. Es verwendet die Vorderseite des HMD als Touchpad, um Bereiche auszuwählen und zu aktivieren. Dies hat den Vorteil, dass auch Elemente aktiviert werden können, die nicht durch die Kopf- oder Blickrichtung ausgewählt sind. Eine weitere neuartige Technik, die eine Adressiertechnik mit Handgesten kombiniert, ist *Gaze+Pinch* [12]. Beide Methoden liefern Eingaben ohne zusätzliche Controller und bieten ein neues Gefühl der Interaktion.

2.3 Blickbasierte Selektionstechniken

Im realen Leben verwenden die Menschen ihren Blick, um ein Objekt zu selektieren. Blickbasierte Selektionstechniken sind sehr natürlich. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, Augenbewegungen in der Mensch-Computer-Kommunikation zu nutzen. Jacob [13], [14] untersuchte, blickbasierte Interaktionstechniken als Computereingabemedium. Er beschrieb die versehentliche unerwünschte Aktivierung mit-

tels Blickes als *Midas Touch*. Mehrere Studien befassen sich mit der Vermeidung solcher versehentlich ausgelösten Aktionen [15], [16]. Mardanbegi et al. [17] führten blickbasierte Kopfgesten ein und kombinierten Kopf und Blickbewegungen so, dass der Blick des Benutzers den Fokus auf das Interaktionsobjekt behält. In ihren Experimenten verwendeten sie einen am Kopf montierten Eyetracker. Der Betrachter fixiert das Objekt und bewegt den Kopf auf und ab. Diese Methode wurde für Flachbildschirme und Fahrzeugschnittstellen evaluiert [18]. Die Ergebnisse zeigen die Anwendbarkeit dieser Methode für die Interaktion in diesen Bereichen. Schnelle Kopfbewegungen gehen mit dem vestibulookulären Reflex (VOR) einher [19], bei dem die Augen mit der gleichen Geschwindigkeit in die entgegengesetzte Richtung bewegt werden, damit ein Objekt noch fixiert werden kann. Dieser Reflex unterstützt die Stabilisierung des Bildes auf der Netzhaut und wird für blickbasierte Kopfgesten ausgenutzt: Die Augen fixieren das Target und der Kopf bewegt sich. Špakov et al. [20] verwendeten einen Remote-Eyetracker für ihre Experimente mit blickbasierten Kopfgesten. Sie untersuchten fünf Kopfgesten: Nicken, Drehen nach links / rechts und Neigen nach links / rechts, wobei die Teilnehmer das Nicken als beste Technik für Selektionsaufgaben empfanden. Das Drehen wurde als vielversprechende Methode für die Navigation und das Neigen für die Funktionsumschaltung bewertet.

Nicken und Kopfschütteln werden im täglichen Leben häufig verwendet, weshalb blickbasierte Kopfgesten ein hohes Potenzial für natürliche Interaktionsmöglichkeiten in VR haben.

2.3.1 Verweilzeit (Dwellzeit)

Für kopf- und blickbasierte Techniken kann die Verweilzeit für den Aktivierungsteil genutzt werden. Die Verweilzeit kann jedoch versehentlich eine Aktion auslösen, wenn der Betrachter Details für eine längere Zeit betrachtet. Die Verwendung kurzer Verweilzeiten kann einen Midas Touch verursachen und die Fehlerrate erhöhen. Zu lange Verweilzeiten verlangsamen die Taskperformance und können für den Benutzer störend sein.

Majaranta et al. [21] untersuchten Feedback und Verweilzeit bezüglich der Geschwindigkeit und Genauigkeit der Eingabe. Sie zeigten, dass Feedback die Tippgeschwindigkeit, das Blickverhalten, die Genauigkeit und die subjektive Erfahrung beeinflusst. Außerdem stellten sie fest, dass kurze Verweilzeiten ein kurzes Feedback erfordert.

Es gibt mehrere Studien über die Dauer der Dwellzeiten. Die Ergebnisse hängen von der untersuchten Aufgabe und dem verwendeten Gerät ab. Choe et al. [10] untersuchten in ihren Studien mehrere Dwelllzeiten (1s, 1,5s, 2s) und empfahlen eine Dwelllzeit von 1s für Selektionsaufgaben mittels HMD. Eine Dwelllzeit von 300 ms wird für einen erfahrenen Benutzer in einer Selektionsaufgabe als machbar angesehen [6]. Kallioniemi et al. [22] verglichen interaktive VR Filmerlebnisse in

einem CAVE-System unter Verwendung eines HMD. In ihren Experimenten ermittelten sie eine Dwellzeit von 5s für das CAVE-System und 2s für die HMD-Anwendung.

2.3.2 Targetgröße

Wenn ein Targetbereich zu klein ist, ist es schwierig, ihn zu adressieren. Ist er zu groß, kann er einen Midas Touch verursachen. Hansen et al. [6] empfehlen, dass der Targetbereich für die Blickmethode mindestens 3° betragen sollte. Targetgrößen unter 3° sind bei den meisten Eingabemethoden schwierig auszuwählen [9]. Choe et al. [10] verglichen zwei verschiedene Targetgrößen (1° 55 ′ und 3° 50 ′) und empfehlen eine Targetgröße von mehr als 3° 50 ′. In der Nutzerstudie werden abhängig von den Motiven/Objekten unterschiedliche Größen verwendet, die alle größer als 4° sind. Bei der Auswahl der Targetgröße muss die Genauigkeit des Eyetrackers berücksichtigt werden. Bei Verwendung eines Eyetrackers mit geringerer Genauigkeit muss die Targetgröße größer sein.

2.3.3 Blickbasierte Selektionstechniken in VR

Um einen besseren Überblick über die in der Literatur beschriebenen Selektionsmethoden zu erhalten, wurden diese in Tabelle 1 zusammengefasst. Jede Methode ist in ihren Adressier - und Aktivierungsteil aufgeteilt.

Tabelle 1: Selektionsmethoden aus der Literatur geteilt in Adressier- und Aktivierungsmethode. Zusätzlich werden die Ergebnisse der Studien aufgelistet.

Literatur	Adressier-methode	Aktivierungs-methode	Ergebnis
Qian and Teather, 2017 [9]	Auge Kopf Auge/Kopf	Klick	Best: Kopf
Nukarinen et al., 2018 [7]	Controller Auge	Klick Dwell	Best: Controller - Klick besser als Dwell
Hansen et al., 2018 [6]	Kopf Auge Mause	Dwell (300ms) Klick	- Dwell schneller als Klick - Targetgröße sollte für die blickbasierte Methode mindestens 3°sein - Performance besser für kopfbasierte Methode - blickbasierte Methode weniger anstrengend
Choe et al., 2018 [10]	Kopf	Klick Dwell	- Klick wird für allgemeine Aufgaben empfohlen - Targetgröße mehr als 3° 50' - Dwellzeit von1 s wird empfohlen
Pakkanen et al., 2017 [23]	Kopf	Klick Geste	Probleme mit Gesten
Kallioniemi et al., 2018 [8]	Kopf	Dwell (2s) Prompt (fade-in)	Best: große Icons, zentrierte Ausrichtung

Mardanbegi et al., 2012 [17]	Auge	Nicken (Kopf)	Neue Methode: blickbasierte Kopfgesten
Gugenheimer et al., 2016 [11]	Kopf/Hand	Touch	Neue Methode: FaceTouch
Pfeuffer et al., 2017 [12]	Auge	Gesten	Neue Methode: Gaze+Pinch
Zielasko et al., 2015 [5]	Controller	Pusten	Neue Methode: BlowClick

3 Nutzerstudie

Um herauszufinden, wie sich verschiedene Selektionsmethoden auf Simulator Sickness, Workload, Nutzererfahrung und Presence in Cinematic VR auswirken, wurde eine Benutzerstudie durchgeführt. Die Teilnehmer testeten vier verschiedene Methoden:

- Drücken einer Taste auf einem Controller
- Doppelblinzeln
- Blickbasierte Kopfgesten
- Blickfokussierung eines Punktes für eine bestimmte Zeit (Dwell)

Dazu wurden vier interaktive Cinematic VR Videoerlebnisse produziert, die in Inhalt und Länge ähnlich sind. Die CVR-Videoszenen zeigen verschiedene Orte in einem keltischen Museumsdorf mit Darstellern als keltische Bewohner. Jede Erfahrung besteht aus zwei Videoszenen. Der Betrachter kann durch Interaktion mit einem Objekt (z. B. einer Tür) zur anderen Szene wechseln. Die Interaktionsbereiche wurden mit Umrandungen versehen, um den Teilnehmern zu signalisieren, wo sie interagieren können (Abbildung 1).

Es wurden zwei Aktionstypen untersucht: (1) der Wechsel zu einer anderen Szene und (2) ein Popup-Fenster mit zusätzlichen Informationen. Die Videoszenen haben eine Länge von ca. 2 Minuten und werden erneut abgespielt, wenn der Benutzer die Szene vor dem Ende des Videos nicht gewechselt hat. Jede Eröffnungsszene hat zwei Interaktionsbereiche: einen für den Szenenwechsel (Abbildung 1) und einen, der zusätzliche Informationen zur keltischen Geschichte vermittelt (Abbildung 2). Die anderen Szenen haben fünf Interaktionsbereiche (einen Szenenwechsel und vier Informationsfenster). Jedes Videoerlebnis kann mit jeder Methode angeschaut werden.

Für die Studie wurden ein Fove HMD mit integriertem Eyetracker, und Bose-Kopfhörer mit aktiver Geräuschunterdrückung genutzt, für die Controllermethode zusätzlich ein einfacher Bluetooth-Controller von auvisio.

Die virtuelle Umgebung wurde unter Verwendung von Unity 2018.2.6f1 mit dem entsprechenden FOVE-Plugin 2.1.2 entwickelt. Um die Sichtbarkeit der Regionen und Cursor flexibel zu gestalten, wurden die folgenden Parameter so konzipiert, dass sie leicht geändert werden können:

- Cursor-Mount (Kopf oder Blick)
- Cursor- Darstellung (sichtbar / unsichtbar, Größe, Farbe, Deckkraft)
- Interaktionsbereiche Darstellung (sichtbar / unsichtbar, Farbe, Deckkraft)

Auf diese Weise konnten in der Pilotstudie geeignete Parameter ermittelt werden und das Projekt kann in Zukunft für die weitere Forschung genutzt werden.

Abbildung 1: Eine Umrandung zeigt die Tür als Targetbereich, dessen Aktivierung die nächste Szene startet.

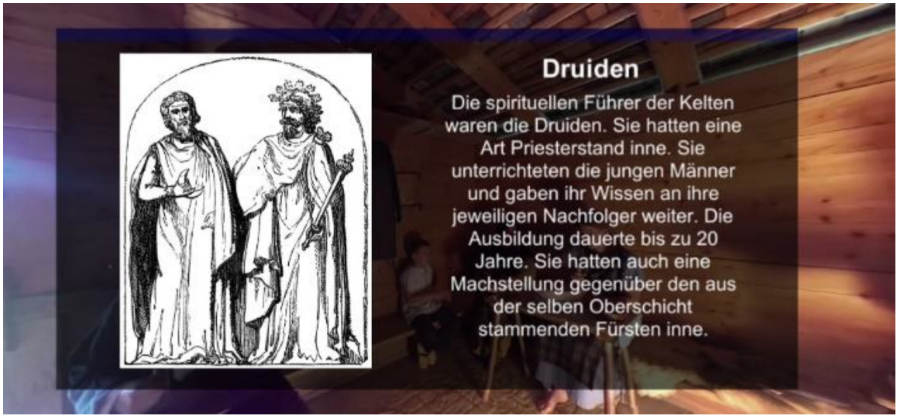


Abbildung 2: Durch die Selektion eines Bereiches können verschiedene Aktionen ausgelöst werden, z. B. die Anzeige zusätzlicher Informationen.

Teilnehmer und Ablauf

An der Studie nahmen 24 Teilnehmer (12 männlich, 12 weiblich, Durchschnittsalter 22,8 Jahre) teil. Jeder Teilnehmer schaute sich vier interaktive Filmerlebnisse an, jedes mit einer anderen Methode. Die Reihenfolge der Methoden und der Filmerlebnisse wurden permutiert. Nach jedem Video wurden Teile eines Fragebogens beantwortet. Am Ende der Studie verglichen die Teilnehmer die vier Methoden und gaben ein allgemeines Feedback.

Methoden

In allen Testfällen wurden die Ränder der Interaktionstargets durch Farb- und Deckkraftänderung hervorgehoben, wenn der Blick des Benutzers in dem entsprechenden Bereich weilte. Der Cursor war in allen Methoden nicht sichtbar. Die Parameter und Schwellwerte der Methoden wurden in einer Pilotstudie ermittelt.

Blinzeln

Bei der Blinzelmethode muss der Betrachter zweimal blinzeln, um einen Bereich zu aktivieren, ähnlich wie bei einem Doppelklick mit der Maus. Zwei aufeinanderfolgende Blinzelsignale wurden als Doppelblinzelsignale erkannt, wenn das Zeitintervall zwischen ihnen weniger als 500 ms betrug.

Controller

Um die Controllermethode zu nutzen, verwendeten die Teilnehmer einen kleinen in der Hand gehaltenen Bluetooth-Controller. Die Selektion erfolgte durch Schauen in Richtung des Targets (Adressierung) und Drücken der Controllertaste (Aktivierung).

Nicken

Bei der Nickmethode richtet der Betrachter den Blick auf das Target und neigt dabei den Kopf, während die Fixierung mit den Augen beibehalten wird [18]. Das Taget

wird ausgewählt, wenn der Kopf mindestens 10 Grad nach unten und oben geneigt wird, während das Target mit den Augen fixiert bleibt.

Dwell

Für die Aktivierung mittels Dwellzeit, wird das Target für ein bestimmtes Zeitintervall fixiert. Der Nutzer kann Feedback darüber erhalten, wie lange das Target bereits betrachtet wird und wie lange es noch betrachten werden muss, bis die Interaktion ausgelöst wird. In unserem Fall war dieses Feedback ein Kreis, der beim Betrachten des Targets vervollständigt wurde. Basierend auf den Ergebnissen unserer Pilotstudie und den Experimenten von Kallioniemi et al. [15] wurde eine Verweilzeit von 2s verwendet.

Diskussion der Ergebnisse

Beim Vergleich der Methoden wurde die Controllermethode am besten bewertet. Dies kann dadurch beeinflusst sein, dass für die meisten Menschen die Verwendung eines Controllers zur Interaktion eine Methode ist, mit der sie in anderen Szenarien vertraut sind. Sie sind an Controller wie die Computermaus, ein Gamepad, eine TV-Fernbedienung usw. gewöhnt. Die Teilnehmer bewerteten die anderen Methoden jedoch als kreativer und neuartiger.

Alle blick- und kopfbasierten Methoden hängen von den gewählten Parametern ab (Winkel für das Nicken, Dauer der Verweilzeit, Grenzwerte für das Blinzeln). Auch wenn die Parameter in einem Pilotversuch sorgfältig ausgewählt und die Hinweise in der Literatur berücksichtigt wurden, funktionieren die Methoden nicht für jede Person gleich. Darüber hinaus beeinflusst die Genauigkeit des Eyetrackers die Wirksamkeit der Methoden. Die Controllermethode, für deren Aktivierung der Eyetracker nicht benötigt wird, funktionierte effizient. Einige Teilnehmer erwähnten jedoch, dass der Controller die Presence beeinträchtigt. Dies entspricht nicht den Ergebnissen des Presence-Fragebogens, deren Antworten keine signifikanten Unterschiede im Vergleich zu den anderen Methoden aufwiesen. Es scheint, als würde ein einfacher Ein-Knopf-Controller als verlängerter Daumen fungieren, und der Betrachter ist sich dessen während der Anwendung nicht wirklich bewusst. Weitere Forschungen sind erforderlich, um diese Behauptung zu überprüfen.

4 Design Space

Aus der Analyse der Literatur und den Erfahrungen unserer eigenen Arbeit wurde ein Design Space für Selektionstechniken entwickelt, welcher über drei Hauptdimensionen verfügt: Target, Adressierung und Aktivierung (Tabelle 2). Jede dieser Dimensionen hat mehrere Subdimensionen, die anschließend detailliert beschrieben werden. Der Design Space beschreibt die wichtigsten Dimensionen ohne Anspruch auf Vollständigkeit.

Tabelle 2: Der Design Space besteht aus drei Hauptdimensionen: dem zu aktivierenden Target, der Adressierungstechnik und dem Aktivierungsprozess. Jede dieser drei Dimensionen enthält mehrere Unterdimensionen. Drei Punkte (…) in der letzten Spalte beziehen sich auf weitere im Text beschriebene Optionen.

	Subdimension	Option 1	Option 2	Option 3	Option 4
Target	Art	Bereich/Objekt	Hotspot	Menu	
	Größe	klein	mittel	groß	
	Verfügbarkeit	permanent	beschränkt	sequentiell	
	Feedforward	Hervorhebung	Zeichen	keiner	
Adressierung	Cursor	Kopf	Blick	Controller	Hand ...
	Sichtbarkeit	subtil	deutlich	unsichtbar	
	Form	Strahl	Kegel	3D - Objekt	
	Feedback	Cursoraussehen	Targetaussehen	Sound	haptisch…
Aktivierung	Instrument	Kopf	Blick	Controller	Hand ...
	Auslösemechanismus	Nicken Dwellzeit	Dwellzeit Blinzeln	Taste	Geste Prompt ...
	Feedback	visuell	auditiv	haptisch	keiner
	Aktion	Positionsänderung	Einbettung	Navigation	

4.1.1 Target

Targets des Interaktionsprozesses in VR sind häufig Objekte in der VR-Welt. Auch Hotspots und Menüs zur Navigation sind denkbar [14].

Die Berücksichtigung der Targetgröße ist wichtig für die Gestaltung einer interaktiven VR-Anwendung, denn sie ist entscheidend für den Grad der Schwierigkeit, ein Target zu adressieren. Obwohl große Targets leichter auszuwählen sind, kann bei einigen Aktivierungsmethoden leicht ein Midas Touch passieren. Kleine Targets sind schwerer zu adressieren. Targetgrößen von weniger als 3° sollten vermieden werden. Die Definitionen für klein, mittel und groß hängen von den verwendeten Techniken ab und sollten im Designprozess getestet werden.

Targets können *permanent* aktiv oder für einen *begrenzten* Zeitraum verfügbar sein. In einigen Fällen ist es auch denkbar, eine Reihenfolge zu definieren, in der der Betrachter die Bereiche aktivieren muss.

Ein *Feedforward* (ein vorab angedeutetes Verhalten) kann eingesetzt werden, um anzuzeigen wo Interaktivitätsmöglichkeiten bestehen. Dies ist zum Beispiel durch Umrandungen (Abbildung 1) oder zusätzliche Zeichen, wie Hotspot-Indikatoren, realisierbar.

4.1.2 Adressierung

Zum *Adressieren* (Pointing) eines Targets ist ein *Cursor* (sichtbar oder unsichtbar) erforderlich. Dieser Cursor kann z.B. mit der Kopfrichtung, dem Blick oder einem Controller verbunden sein. Auch indirektes Adressieren ist möglich. In solchen Fällen wird das Target nicht direkt ausgewählt, sondern basierend auf Listen oder interpretierten Daten, z.B. Schwellwerten von Sensordaten. Je nach Anwendung kann der Cursor gut sichtbar, unauffällig oder sogar völlig unsichtbar sein. In einer VR-Umgebung ist die Blickrichtung basierend auf Eye- oder Headtracking die natürlichste Art der Adressierung.

In der Literatur können verschiedene *Cursorformen* für VR-Anwendungen gefunden werden: ein Strahl, ein Kegel [8, 31], 3D-Objekte, wie z.B. eine virtuelle Hand [3]. Ein Strahl ist präziser als ein Kegel, aber für kleine Objekte schwieriger zu verwenden. Bei einigen VR-Anwendungen sollte der Cursor unsichtbar sein, um das Seherlebnis nicht zu beeinträchtigen, bei anderen deutlich *sichtbar*, um die Ausführung einer Aufgabe zu unterstützen.

Um den Nutzern *Feedback* bei der Adressierung eines Targets zu geben, kann der Cursor sein Aussehen (Farbe, Größe, Sichtbarkeit) in diesen Bereichen ändern. Alternativ ändert die Region selbst ihr Aussehen (z. B. Farbe, Helligkeit, Umrandung). Auch Geräusche oder Vibrationen sind denkbare Feedbacks, falls der Cursor auf ein Target trifft.

4.1.3 Aktivierung

Sobald der Benutzer ein Target adressiert und es aktivieren möchte, wird eine Technik mit diskreter Eingabe benötigt. Analog zum Adressieren kann dieses Instrument der Kopf, das Auge, ein Controller oder eine Geste sein. Auch andere Geräte (z. B. Sprache) sind möglich. Sogar Sensordaten (z. B. Puls) können zum Auslösen eines Ereignisses verwendet werden.

Je nach genutztem Instrument, sind unterschiedliche *Auslösemechanismen* anwendbar. Für den *Kopf* können Nick- oder andere Kopfbewegungen verwendet werden. Bei Anwendung der Verweilzeit wird das Target aktiviert, wenn die Kopfrichtung des Benutzers für ein bestimmtes Zeitintervall das Target adressiert. Dies ist auch für die *Augen* praktikabel. Eine blickbasierte Aktivierungsmethode ist das Blinzeln, was in unserer Benutzerstudie gut funktioniert hat, aber auf Dauer ermüdend sein kann, wenn es häufig und lange verwendet wird. Die beste Aktivierungsmethode in unserer Studie war die Controllertaste, auch wenn wir damit gerechnet hatten, dass der Controller in einer Cinematic VR Anwendung als störend empfunden wird. Die Ergebnisse zeigen aber, dass die Nutzer daran gewöhnt sind und einfache Controller nutzen können, ohne sich ständig darüber bewusst zu sein. Darüber hinaus kann das Ereignis per Handbewegung oder sogar automatisch

(sofort) ausgelöst werden, sobald sich der Cursor auf dem Target befindet, ohne dass zusätzliche Aktionen notwendig sind.

Es hängt von der Anwendung ab, ob die Aktivierung zusätzliches *Feedback* erfordert. Meist ist das Ergebnis der Aktivierung ein ausreichendes visuelles Feedback. Der Betrachter bemerkt, dass eine neue Szene startet oder ein Popup-Fenster geöffnet wird. Neben visuellen Feedbacks sind auch akustische (Piepton) und haptische (Vibration) Feedbacks anwendbar. In manchen Anwendungen ist dies in die VR-Welt integrierbar, zum Beispiel das Geräusch einer knarrenden Tür.

Die Aktivierung kann verschiedene *Aktionen* auslösen. Eine der wichtigsten in Cinematic VR ist der Szenenwechsel, bei dem der Nutzer den Ort in der VR-Welt ändert. Auch das Einbetten von Texten oder Bildern, wie in unserer Studie, kann in eine Anwendung integriert werden. Alle genannten Techniken können auch zum Navigieren im Film verwendet werden (z. B. Anhalten, Stoppen, Fortfahren).

5 Fazit

In diesem Artikel wurden Selektionstechniken für VR-Anwendungen untersucht und ein Design Space vorgestellt. Der Design Space beschreibt die Dimensionen von Selektionsmethoden und unterteilt den Selektionsprozess in zwei Komponenten: Adressieren und Aktivieren. Als dritte Dimension wird das Target betrachtet.

In vielen Anwendungen werden Adressierung und Aktivierung in einem Gerät kombiniert. Auch kopf- oder blickbasierte Techniken können beide Teile abdecken. Dabei muss beachtet werden, dass ein *Midas Touch* vermieden wird.

In unserer Nutzerstudie erzielte eine blickbasierte Adressiertechnik in Kombination mit einer Controllertaste zur Aktivierung das beste Ergebnis.

Literaturangaben

[1] D. A. Bowman, E. Kruijff, J. J. LaViola, and I. Poupyrev, “An Introduction to 3-D User Interface Design,” *Presence Teleoperators Virtual Environ.*, vol. 10, no. 1, pp. 96–108, Feb. 2001.

[2] A. Choumane, G. Casiez, and L. Grisoni, “Buttonless clicking: Intuitive select and pick-release through gesture analysis,” in *2010 IEEE Virtual Reality Conference (VR)*, 2010, pp. 67–70.

[3] C. Yu, Y. Gu, Z. Yang, X. Yi, H. Luo, and Y. Shi, “Tap, Dwell or Gesture?: Exploring Head --Based Text Entry Techniques for HMDs,” in *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI ’17*, 2017, pp. 4479–4488.

[4] F. Argelaguet and C. Andujar, “A survey of 3D object selection techniques

for virtual environments," *Comput. Graph.*, vol. 37, no. 3, pp. 121–136, May 2013.

[5] D. Zielasko, S. Freitag, D. Rausch, Y. C. Law, B. Weyers, and T. W. Kuhlen, "BlowClick:A Non-Verbal Vocal Input Metaphor for Clicking," in *Proceedings of the 3rd ACM Symposium on Spatial User Interaction - SUI '15*, 2015, pp. 20–23.

[6] J. P. Hansen, V. Rajanna, I. S. MacKenzie, and P. Bækgaard, "A Fitts' law study of click and dwell interaction by gaze, head and mouse with a head-mounted display," in *Proceedings of the Workshop on Communication by Gaze Interaction - COGAIN '18*, 2018.

[7] T. Nukarinen, J. Kangas, J. Rantala, O. Koskinen, and R. Raisamo, "Evaluating ray casting and two gaze-based pointing techniques for object selection in virtual reality," in *Proceedings of the 24th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology - VRST '18*, 2018, pp. 1–2.

[8] P. Kallioniemi *et al.*, "Hotspot Interaction in Omnidirectional Videos Using Head-Mounted Displays," in *Proceedings of the 22nd International Academic Mindtrek Conference on - Mindtrek '18*, 2018, pp. 126–134.

[9] Y. Y. Qian and R. J. Teather, "The eyes don't have it," in *Proceedings of the 5th Symposium on Spatial User Interaction - SUI '17*, 2017, pp. 91–98.

[10] M. Choe, Y. Choi, J. Park, and H. K. Kim, "Comparison of Gaze Cursor Input Methods for Virtual Reality Devices," *Int. J. Human–Computer Interact.*, Jun. 2018.

[11] J. Gugenheimer, D. Dobbelstein, C. Winkler, G. Haas, and E. Rukzio, "FaceTouch: Enabling Touch Interaction in Display Fixed UIs for Mobile Virtual Reality," in *Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology - UIST '16*, 2016, pp. 49–60.

[12] K. Pfeuffer, B. Mayer, D. Mardanbegi, and H. Gellersen, "Gaze + pinch interaction in virtual reality," in *Proceedings of the 5th Symposium on Spatial User Interaction - SUI '17*, 2017, pp. 99–108.

[13] R. J. K. Jacob and R. J. K., "The use of eye movements in human-computer interaction techniques: what you look at is what you get," *ACM Trans. Inf. Syst.*, vol. 9, no. 2, pp. 152–169, Apr. 1991.

[14] R. J. K. Jacob and R. J. K., "What you look at is what you get: eye movement-based interaction techniques," in *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems Empowering people - CHI '90*, 1990, pp. 11–18.

[15] P. Mohan, W. B. Goh, C.-W. Fu, and S.-K. Yeung, "DualGaze: Addressing the Midas Touch Problem in Gaze Mediated VR Interaction," in *2018 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct)*, 2018, pp. 79–84.

[16] B. Velichkovsky, A. Sprenger, and P. Unema, "Towards gaze-mediated interaction: Collecting solutions of the 'Midas touch problem,'" in *Human-Computer Interaction INTERACT '97*, Boston, MA: Springer US, 1997, pp.

Neue Interaktions-Paradigmen für den einfachen Zugang zu wissenschaftlichen Erkenntnissen durch Virtual Reality

Deckers (geb. Dücker), J.[1]; Fritz, S.[1]; Jaenicke, M.[1]; Ovtcharova, J.[2]

[1] FZI Forschungszentrum Informatik, Process and Data Management in Engineering
[2] KIT, Institut für Informationsmanagement in Ingenieurwesen

Abstract

Im Rahmen dieser Veröffentlichung wird ein Konzept zur Einstufung der Interaktionsmöglichkeiten in Virtual-Reality-Anwendungen vorgestellt, welches den Grad an Interaktion in VR-Anwendungen in drei Stufen einteilt: Beobachtung, Erfahren und Erleben. Es wird das Virtual HoLL, eine interaktive VR-Umgebung des FZI House of Living Labs (HoLL) vorgestellt, welche die reale Forschungsumgebung des FZI Forschungszentrum Informatik in VR erlebbar macht. Anhand dieser VR-Umgebung werden anschließend die drei "Erlebnis"-Stufen anhand von Forschungsdemonstratoren, welche im Virtual Holl implementiert wurden, beschrieben und voneinander abgegrenzt. Abschließend werden einige weitere Anknüpfungspunkte der beschriebenen Ergebnisse aufgezeigt.

1 Einleitung

Forschen ist nicht nur die systematische Suche nach einer Lösung. Ein wesentlicher Aspekt ist die nachhaltige Verwertung von wissenschaftlichen Ergebnissen in Form von Dokumentation und Aufbereitung für eine breite Zielgruppe. Insbesondere kleine und mittlere Unternehmen (KMU) benötigen einen niedrigschwelligen und einfachen Zugang, der sich von theoretischen und hoch-wissenschaftlichen Texten abhebt, um durch Anwendungsbeispiele oder anschauliche Demonstration einen Transfer in andere Domänen zu ermöglichen.

Aus diesem Grund existieren eine Reihe von Forschungsumgebungen und Testlaboren, die als eine Art Spielwiese zum Erproben von Forschungsansätzen für die Industrie zur Verfügung stehen. Ein Beispiel dafür findet sich am FZI Forschungszentrum Informatik in Karlsruhe in Form des FZI House of Living Labs (HoLL). Die breitgefächerte Forschungsumgebung bietet der Forschung, Gesellschaft und Wirt-

schaft eine anwendungsnahe Umgebung, um neue Konzepte zu entwickeln, zu testen und öffentlich zugänglich zu machen.

Aufgrund der lokalen Gebundenheit dieser Einrichtung wird das Angebot dieser Zentren meist nur von der naheliegenden Region genutzt. Insbesondere der Erstkontakt mit Forschung, ohne genaue Vorstellungen davon zu haben, welche Übertragungsmöglichkeiten existieren, rechtfertig selten eine lange Reise. Somit besteht die Notwendigkeit, anschauliche und interaktive Zugänge zu Forschungsergebnissen zu schaffen, die nicht an einen bestimmten Standort gebunden sind.

2 Stand der Technik und Wissenschaft

Die technologische Entwicklung schreitet stark voran und ermöglicht den vielfältigen Einsatz von Virtual Reality. Nachfolgend werden konkrete Einsatzmöglichkeiten in und für die Forschung aufgezeigt.

2.1 Zeitliche Entwicklung der Interaktionsmöglichkeiten in Virtual Reality

Durch den technologischen Fortschritt der letzten Jahre steigt der Einsatz von VR-Neuentwicklungen und dafür optimierter Hardware. Der Zugang zu diesen Technologien und entsprechenden Anwendungen hat sich stark verbessert, was zu einem Einzug der Technologie in die Wohnzimmer führte [1]. Zudem ist eine Akzeptanzsteigerung von VR im Berufsalltag bereits seit einigen Jahren zu beobachten. Die zeitliche Veränderung ist durch einen Vergleich zweier Studien – 2003 vom Fraunhofer IPT und 2015 vom KIT – deutlich ersichtlich. Es zeigte sich, dass die damals größte Hürde der Akzeptanz bei Mitarbeitern Jahre später nur noch vereinzelt wahrgenommen wurde [2]. Dies ist unter anderem auf die verbesserte Handhabbarkeit der Interaktionstechnologien zurückzuführen. Wurden früher zur Interaktion in virtuellen Welten noch sperrige Skelette oder Handschuhe angelegt, bedienen sich heutige VR-Anlagen ergonomischer Controller aus der Spielebranche oder kontaktloser Interaktionsmethoden.

Im Rahmen der Konferenz EuroVR 2014 in Bremen wurde bereits ein Modell zur Klassifikation von VR-Interaktionstechnologien veröffentlicht [3]. Durch ein tabellarisches Schema können „Nicht-VR-Experten“ Anforderungen an VR-Interaktions-Hardware stellen und damit Technologien bewerten. Es bewertet unter anderem das Ziel von Interaktionen und unterteilt diese in: *Verwalten*, *Zusammenfügen* und *Kreatives Design*. Das Schema ist auf das Engineering ausgerichtet und erfasst den notwendigen Grad der Manipulation. Auch Bougaa et.al. [4] verwenden diese Verhaltensprimitiven für die Bewertung von 3D-Interaktionen in virtuellen Welten im

Bereich des System Engineering. Somit ist festzuhalten, dass sich die Interaktions-Hardware stark verbessert hat, aber die Ziele der Interaktion gleichgeblieben sind.

2.2 Relevanz von Virtual Reality in der Wissenschaft

VR-Anwendungen bieten dank heutiger Visualisierungstechnologien, die Möglichkeit die Realität in der Form zu erweitern, dass der Anwender in die Lage versetzt wird, bestimmte Szenarien zu durchleben, welche in der Realität nicht möglich wären.

Insbesondere im Bereich der Schulung und Weiterbildung wird VR verstärkt eingesetzt, um Lernprozesse zu vereinfachen und auf die einzelnen Individuen abzustimmen. Eine frühe Analyse von empirischen Studien, mit dem Ziel traditionelle und virtuelle Lernmethoden zu vergleichen, zeigte auf, dass fast 90 Prozent der Studien gleiche oder bessere Ergebnisse mit virtuellem Training erreichten [5]. Insbesondere gilt dies für den Bereich der Medizin. Auch Schuir et. al. [6] widmeten sich diesem Fachbereich und teilen die durch die Nutzung von VR generierten Chancen in die Bereiche soziokulturell, technologisch und wirtschaftlich ein. Hierbei verweisen sie auf Veröffentlichungen und Interviews, die u. a. die Steigerung der Lerneffektivität und -effizienz sowie Ortsunabhängigkeit und erhöhte Flexibilität anführen [6]. Eben diese Vorteile lassen sich auch auf den allgemeinen Transfer von Forschungsergebnissen überführen.

Insbesondere Simulationen werden zur besseren Anschaulichkeit und zur Beurteilung der Weiterentwicklung vermehrt in VR präsentiert, um einem heterogenen Experten-Team als Diskussionsgrundlage zu dienen. Die Art der Simulation ist in VR nicht beschränkt. Forschungsergebnisse aus dem klassischen Maschinenbau, wie eine Material-Abtragsimulation [7], oder schwer visualisierbare Themenkomplexe, wie die intelligente Darstellung von Service-Prototypen [8], können mit Hilfe dieser Technologie erlebbar gemacht werden.

Unabhängig von dem Einsatz der VR-Technologien existieren Bestrebungen die Ergebnisse von Forschungsprojekten nachhaltig zu verwerten. Beispielsweise wurde im Rahmen der Smart-Data-Begleitforschung, gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, die digitale Demonstrator-Plattform aDEPT entwickelt, welche zahlreiche innovative webbasierte Forschungs-Prototypen beinhaltet. Ziel ist es der breiten Öffentlichkeit ein „Schaufenster“ zu bieten, um Einblicke in die aktuelle Entwicklung webbasierter Prototypen zu gewähren.[1]

[1] Meldung unter https://www.digitale-technologien.de/DT/Redaktion/DE/Kurzmeldungen/Aktuelles/2017/20170927_smartdata_aDept-Demonstratorplattform.html, 27.09.2017

3 Vorgehen für einen niedrigschwelligen Transfer von wissenschaftlichen Erkenntnissen

Im Folgenden werden die verschiedenen Stufen für einen niedrigschwelligen Transfer von Forschungsergebnissen erläutert und anschließend anhand einer Umsetzung in verschiedenen Projekten verdeutlicht.

3.1 Paradigmenwechsel durch neue Interaktionsmöglichkeiten in VR

Durch die Implementierung von intuitiven Interaktionen in VR ergeben sich drei „Erlebnis"-Stufen. Je nach gewünschtem Effekt des Transfers kann dadurch ein höheres Verständnis des Nutzers erreicht werden. In **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** werden die Interaktionsstufen in Abhängigkeit ihrer Komplexität und spezifische Interaktionsbeispiele dargestellt.

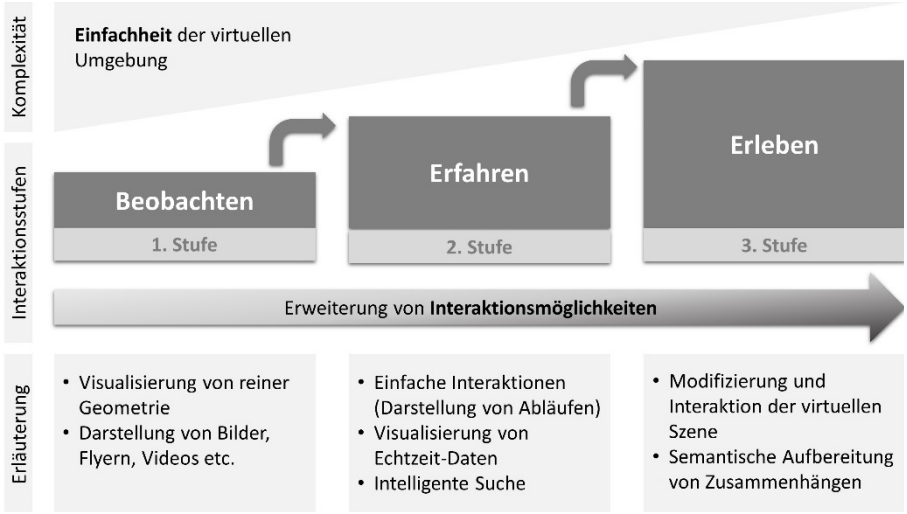


Bild 1: Stufen der Interaktionsmöglichkeiten in Virtual Reality [eigene Darstellung]

Die erste Stufe bietet einem Nutzer die Möglichkeit der einfachen „*Beobachtung*". Hierbei werden die zu visualisierenden Inhalte z.B. 3D-Geometrien, Bilder, Videos etc. ohne die Möglichkeit zur Interaktion in der virtuellen Umgebung eingebettet. Durch die visuelle Aufbereitung sowie der Möglichkeit das Objekt aus verschiedenen Perspektiven zu betrachten, setzt sich der Nutzer stärker mit dem Sachverhalt auseinander – zum Beispiel im Vergleich zum reinen Lesen eines Druckflyers. Durch die räumliche Perspektive bieten sich dem Nutzer neue Eindrücke im Ver-

gleich zu Printmedien und regen so seine Kreativität zur Übertragung der Forschungsinhalte auf seine Problemstellungen an.

Sind die zu präsentierenden Inhalte komplexer, kann durch die 2. „*Erlebnis*“-Stufe „Erfahren“ die virtuelle Umgebung durch einfache Interaktionsmöglichkeiten erweitert werden. Unter einfachen Interaktionen werden hier das Auslösen von Animationen zur Verdeutlichung von Funktionsabläufen sowie die Darstellung von Echtzeitinformationen z.B. Sensordaten verstanden. Jede dieser Interaktionen versteht sich jedoch als deterministische Aktion und bietet keine umfangreicheren Möglichkeiten zur Modifikation oder Konfiguration der virtuellen Umgebung,

Die höchste Stufe der Interaktionsmöglichkeiten umfasst das „*Erleben*“ von Forschungsergebnissen. Der Nutzer ist in diesem Fall ein wesentlicher Bestandteil der virtuellen Welt und kann diese manipulieren. Eine Voraussetzung dafür ist, dass die VR-Szene eine Semantik bzw. Intelligenz beinhaltet. Die Interaktionsmöglichkeiten des Nutzers sollten im besten Fall kaum bis gar nicht eingeschränkt sein, sodass das Verhalten der Objekte in der virtuellen Welt eine Simulation der echten Welt darstellt. Da derartige Anwendungen jedoch technisch schwer zu realisieren sind, muss der Aufwand zur Realisierung der Komplexität der virtuellen Szene fallspezifisch abgewogen werden. Oft ist eine Umsetzung der Stufe 1 oder 2 ausreichend.

3.2 Forschung hautnah erleben

Das FZI House of Living Labs (HoLL) verfolgt den Gedanken der Open Innovation, also des innovationsfördernden Transfers von Wissen zwischen Unternehmen und den Forschungsergebnissen des FZI Forschungszentrum Informatik in Karlsruhe. Das HoLL ist eine über 2000 m² große Forschungsumgebung, welche insbesondere für kleine und mittlere Unternehmen geschaffen wurde, um branchen- und anwendungsfeldübergreifend für Forschung und Entwicklung zur Verfügung zu stehen.

Um den Wissenstransfer für interessierte Parteien weiter auszubauen und das Problem der Ortsgebundenheit in Karlsruhe zu lösen, wurde gemäß dem Open-Innovation-Ansatz im Projekt OpenHoLL – gefördert durch das Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg – die reale Labor-Umgebung des HoLL virtualisiert (siehe Bild 2**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

Bild 2: Virtuelles Abbild des House of Living Labs (HoLL)

Mittels Virtual-Reality-Technologie ist die Begehung der Räumlichkeiten des HoLL und die Auseinandersetzung mit innovativen Ansätzen möglich. Durch virtualisiertes Infomaterial, wie Flyer und Videos, sowie durch interaktive Demonstratoren, wird der Besucher über den aktuellen Stand der Forschung informiert. Dank des spielerischen Ansatzes des Virtual HoLL wird es auch Fachfremden ermöglicht sich möglichst niederschwellig mit der Funktionsweise von wissenschaftlichen Konzepten auseinander zu setzen. Darüber hinaus kann ein tieferes Verständnis der Forschungsarbeiten im Vergleich zu einer realen Besichtigung erreicht werden, da das Szenario virtuell durch weitere Informationen oder Animationen augmentiert werden kann. Im Folgenden wird zu jeder „Erlebnis"-Stufe ein Beispiel aus dem virtuellen HoLL gegeben.

3.2.1 Beobachten: IT-Sicherheit in der Hausautomation

Ein Beispiel für einen Demonstrator in der „Erlebnis"-Stufe „*Beobachten*" stellt der in Bild 3**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** dargestellte IT-Sicherheits-Demonstrator dar. [9] Dieser Demonstrator zeigt wie mit Hilfe eines modernen Spielzeuges mit dazugehöriger App, ebendieses Kuscheltier gehackt und dazu missbraucht werden kann, um die eigentlich sichere Sprachassistenz für Hausautomation mit Hilfe des eingebauten Sprachmoduls des Spielzeugs zu manipulieren. Durch den Sprachbefehl „Öffne die Türe" wird der Hausassistent dazu gebracht, dass mit ihm verbundene Smart-Device an der Türe anzusteuern und die Türe zu öffnen. Dieses Beispiel zeigt äußerst eindringlich die Risiken, welche mit IT-Sicherheitslücken einhergehen können.

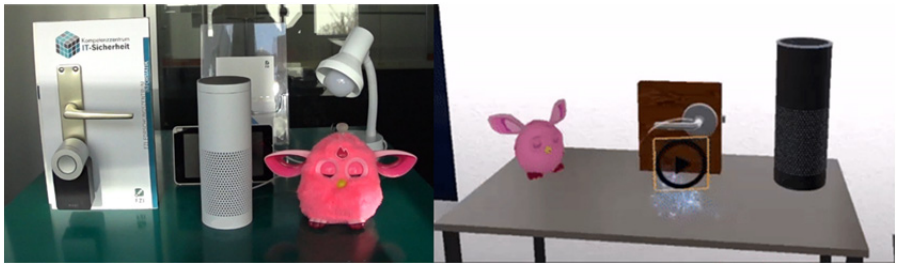


Bild 3: IT-Sicherheits-Demonstrator im FZI HoLL (links in Real, rechts in VR)

Um diesen Demonstrator ebenfalls in VR beobachten zu können, wurde dieses Szenario im Rahmen eines studentischen Praktikums nachgebildet und in VR umgesetzt. [10]

3.2.2 Erfahren: Energiewende im Eigenheim

Ein Beispiel für die „Erlebnis"-Stufe „Erfahren" stellt die Umsetzung der Forschungsergebnisse im Bereich der Energiewende aus dem strategischem FZI Projekt HoLL-Therm dar. Im FZI bietet eine Laborumgebung in Form einer Wohnung die Möglichkeit, die Auswirkungen der Energiewende, insbesondere im Hinblick auf die thermische Flexibilität, zu untersuchen. Bisher konnten über das intelligente Energiemanagementsystem die verschiedenen Hauskomponenten, wie PV-Anlage, Wärmepumpe oder Klimaanlage, überwacht und gesteuert werden. Dabei entstehen eine Vielzahl von schwer zu visualisierenden Datensätzen, deren Aufbereitung in erster Linie für Experten mit Hintergrundwissen ausgelegt ist. In der VR-Umgebung hingegen, lassen sich Wärmeverteilungen oder Energieflüsse einfach visualisieren, was es dem Besucher ermöglicht, die Vorteile eines agilen Energiemanagements zu erleben. Dazu werden über das Nachrichtenprotokoll MQTT Sensordaten, wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit oder Verbrauchsdaten, in Echtzeit an die virtuelle Umgebung übermittelt. In dem größeren Kontext – der Energiewende – spiegelt es sich in der Abkehr von einer verbrauchsorientierten Energie-Erzeugung hin zu einem erzeugungsorientierten Verbrauch wider. Die Rolle von Hausbesitzern ändert sich, was wiederum zu einem neuen Markt und der Notwendigkeit von innovativen Produkten sowie Dienstleistungen führt. Durch die intuitive Umsetzung kann der Nutzer diese Veränderung virtuell „erfahren".

Bild 4: Holl-Therm Demonstrator innerhalb des Virtual Holl

3.2.3 Erleben: Sehbehinderung im Alltag

Die dritte Stufe der „Erlebnis“-Stufen stellt das „Erleben“ dar. Dies wird im Virtual Holl Demonstrator am Beispiel des Forschungsdemonstrators LiDARsee demonstriert. [11] Ziel dieses Systems ist, blinde Personen mit Hilfe eines Sensor-Huts und einem Feedback-System, welches am Gürtel befestigt ist, das Laufen ohne Blindenstock zu ermöglichen. Der Sensorhut ist hierzu mit Lidar-Sensoren ausgestattet, welche den vor der Person liegenden Raum scannt und mögliche Hindernisse erkennt (siehe Bild 4). Durch das Feedback-System erhält der Tragende dann zur Laufzeit, Informationen über diese Gegenstände und kann ihnen ausweichen. Im Gegensatz zu einem Blindenstock ist es außerdem in der Lage auch höhergelegene Objekte zu erkennen, welche mit Hilfe eines Blindenstocks nicht erkannt hätten werden können.

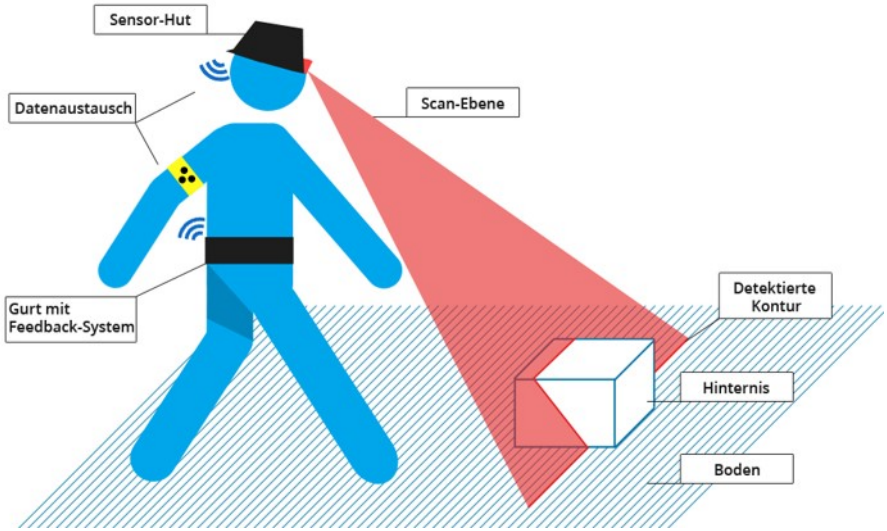


Bild 5: Funktionsprinzip des LiDARsee-Demonstrators zur Unterstützung von Sehbehinderten [11]

Um dies auch in VR erlebbar zu machen, wurde eine 3D-Szene aufgebaut, welche einen begehbaren Raum vorsieht mit darin befindlichen Gegenständen. Der Besucher erhält zu Beginn des Szenarios die Aufgabe einen bestimmten Punkt anhand des Tons zu erreichen. Für den ersten Versuch erhält der Besucher volle Sicht und kann somit das Ziel problemlos erreichen, ohne mit einem der im 3D-Raum befindlichen Gegenstände zu kollidieren. Anschließend wird dem Besucher 50% der Sicht genommen, indem das Bild unscharf und dunkler gemacht wird. Wenn auch diese Hürde gemeistert wurde, wird das Bild komplett entfernt und lediglich der Ton und die beiden Handkontroller bleiben dem Besucher nun übrig. Die Handcontroller übernehmen an dieser Stelle nun die Funktion des LIDARsee-Feedback-Systems und geleiten den Besucher mit Hilfe von Vibrationen, welche den Besucher vor herannahenden Objekten warnen, durch den Raum hin zum Ziel. Durch dieses Zusammenspiel aller Sinne, lässt sich die Problemstellung und das Ziel des LIDARsee Systems auch für sehende Menschen erlebbar machen, wodurch ein nachdrücklicher Eindruck hinterlassen wird.

Die Übertragung dieser Interaktionsparadigmen auf das Konzept der Open-Innovation schaffte einen niedrigschwelligen Zugang zu aktuellen Forschungsergebnissen, welcher zudem nicht länger papier- und ortsgebunden ist. Diese Vorteile nutzt das Virtual HoLL, um auch andere Demonstratoren und deren Funktionsweise möglichst intuitiv und einfach begreifbar zu machen. Durch die offene Darstellung kann der Innovationsprozess jedes einzelnen Unternehmens nachhaltig verstärkt werden.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Es wurde ein Konzept zur Einstufung der Interaktionsmöglichkeiten in Virtual-Reality-Anwendungen vorgestellt, welches den Grad an Interaktion in VR-Anwendungen in drei Stufen einteilt: *Beobachten*, *Erfahren* und *Erleben*. Des Weiteren wurde das Virtual Holl, eine interaktive VR-Umgebung, welche das FZI House of Living Labs (HoLL) virtualisiert, detailliert erläutert. In dieser virtuellen Umgebung sind die verschiedenen „Erlebnis"-Stufen in unterschiedlichen Demonstratoren implementiert. Auf verschiedenen Messen und Veranstaltungen trug der Demonstrator zu einem niedrigschwelligen Forschungstransfer bei. Dabei ist anzumerken, dass die Nutzer diese Art der Auseinandersetzung sehr anschaulich und informativ empfanden. Ebenso ist es nicht notwendig, dass Experten der verschiedenen Fachbereiche den Demonstrator betreuen. Erste Synergien und Transfergedanken entstehen bereits bei dieser Art der Auseinandersetzung.

Geplant ist es, das Virtual HoLL als offene webfähige Plattform zu gestalten, auf der Forschungsdemonstratoren von Industrie und öffentlichen Einrichtungen für ein immersives Erlebnis zur Verfügung stehen. Neben der Entwicklung von virtuellen Führungen soll vermehrt die Interaktion von unterschiedlichen Besuchern im Vordergrund stehen. So kann die Öffnung des Innovationsprozesses einer Organisation durch die strategische Nutzung der Außenwelt bereits virtuell geschehen.

5 Danksagung

Der Aufbau des virtuellen HoLLs wurde gefördert durch das Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg im Rahmen des Projektes OpenHoLL. Mit dem Projekt wird die Open-Innovation-Kultur zwischen Forschung und Industrie gestärkt. Des Weiteren werden im Rahmen weiterer Forschungsvorhaben, die virtuelle Umgebung genutzt, um an Visualisierungsmethoden im Bereich des Energiemanagements zu erforschen und prototypisch umzusetzen.

6 Literatur

[1] *Häfner, P.; Dücker, J.; Ovtcharova, J.: Virtual Reality für den Mittelstand. In: Tagungsband Digitales Engineering zum Planen, Testen und Betreiben technischer Systeme, Fraunhofer IFF, Magdeburg, 2015*

[2] *Dücker, J.; Häfner, P.; Ovtcharova, J.: Virtual Reality im Alltag - Erfahrungswerte von VR-Industrieanwender in Bezug auf Einsatz, Probleme und Wirtschaftlichkeit. In: INNTERACT CONFERENCE. 3D Sensation, TU Chemnitz, Chemnitz, 2016*

[3] *Weidig, C.; Mestre, D. R.; Israel, J. H.; Noel, F.; Perrot, V.; Aurich, J.C.: Classification of VR Interaction Techniques, Based on User Intention. In: Eurographics Digital Library, 2014*

[4] *Bougaa, M., Bornhofen, S., Kadima, H., & Rivière, A.: 3D interaction in virtual environments for systems engineering. In: International Journal of Computer Theory and Engineering, 2016, S. 458-464*

[5] *Brinson, J.: Learning outcome achievement in non-traditional (virtual and remote) versus traditional (hands-on) laboratories: A review of the empirical research, In: Elsevier Computers & Education, 2015, S. 218-237*

[6] *Schuir, J., Behne, A.; Teuteberg, F.: Chancen und Herausforderungen von Virtual Reality in der Aus- und Weiterbildung im Gesundheitswesen. In: David, K., Geihs, K., Lange, M. & Stumme, G. (Hrsg.), INFORMATIK 2019: 50 Jahre Gesellschaft für Informatik – Informatik für Gesellschaft. Bonn, 2019 S. 671-684*

[7] *Schuck, H.; Haj Stifi, A.; Ovtcharova, J; Gentes, S.: Methoden des Virtual Engineering für den Qualifizierungsprozess eines neuartigen Dekontaminationsverfahren von Rohrleitungen. In: KONTEC 2015 - 12. Internationales Symposium „Konditionierung radioaktiver Betriebs- und Stilllegungsabfälle“, 2015*

[8] *Elstermann, M.; van Husen, C.; Häfner, P.: dimenSion concept – approaching service prototyping from a multi-aspect description perspective. In: QUIS15 International Research Symposium on Service Excellence in Management, Porto, 2017*

[9] *Jochen Rill FZI: Experiment des Kompetenzzentrums IT-Sicherheit: 2016, online verfügbar unter: https://www.youtube.com/watch?v=_M0iMg52XwU*

[10] *IMI Institut für Informationsmanagement im Ingenieurwesen: Virtual Reality Practical Course - Winter Term 2018/19 - Virtual Holl at FZI, 2019, online verfügbar unter: https://www.youtube.com/watch?v=r_Sp3 LdsAvY&t=4s*

[11] *Johannes Schneider FZI: Das Forschungsprojekt LIDARSEE, 2017, online verfügbar unter: https://www.fzi.de/aktuelles/news/detail/artikel/projekt-lidarsee-am-122017-gestartet/*

Anwendungen in der Produktionstechnik

Partizipative Gestaltung von Menüstrukturen in der Virtual Reality am Beispiel einer Applikation zur Prototypenevaluation

Trezl, J.; Bernhagen, M.; Dittrich, F.

TU Chemnitz, Professur Arbeitswissenschaft und Innovationsmanagement

Abstract

Die große Anzahl an Funktionalitäten von Virtual-Reality(VR)-Applikationen stellen neue Herausforderungen an die Gestaltung von virtuellen Bedienschnittstellen. Die Verwendung von Menüs kann ebenfalls wie bei zweidimensionalen Desktop-Applikationen Komplexität reduzieren und die Gebrauchstauglichkeit verbessern. Im Beitrag werden Ansätze zur Gestaltung von gebrauchstauglichen Menüstrukturen von VR-Applikationen vorgestellt. Diese wurden am Beispiel der Entwicklung einer VR-Applikation zur Prototypenevaluation umgesetzt. Um die Aufgabenangemessenheit der Menügestaltung sicherzustellen, erfolgte die Gestaltung unter Einbezug von Anwendern. Es werden die Ergebnisse einer Fokusgruppendiskussion mit sieben Teilnehmern vorgestellt. Es zeigte sich, dass mit dieser Vorgehensweise verschiedene Funktionen der Applikation für den Arbeitsprozess aufgabenangemessen geordnet und platziert werden konnten.

1 Einleitung

Zur Auswahl und Steuerung von Softwarefunktionen der Virtual Reality (VR) werden ebenso wie bei zweidimensionalen Desktop-Applikationen Menüstrukturen verwendet. Diese Menüstrukturen werden durch die grafische Benutzeroberfläche visuell dargestellt. Mit Hilfe verschiedener Eingabegeräte kann der Benutzer die Menüs verwenden und beispielsweise Softwarefunktionen auswählen und steuern. Im Gegensatz zu Desktop-Applikationen bieten VR-Applikationen jedoch einen dreidimensionalen Gestaltungs- und Interaktionsraum. Diese Erweiterung im Vergleich zur zweidimensionalen Desktopdarstellung muss bezüglich der Interaktions- als auch Menügestaltung berücksichtigt werden, sonst können Benutzungs-, Verdeckungs- bzw. Erreichbarkeitsprobleme daraus resultieren [1]. Zudem ist die Verteilung der Softwarefunktionen in Bezug auf diese Menüstrukturen

elementar, um eine intuitive und gebrauchstaugliche Benutzung zu gewährleisten, ohne dass der Benutzer eine benötigte Softwarefunktion umständlich suchen muss.

Im vorliegenden Beitrag wird am Beispiel der Entwicklung einer VR-Applikation zur Prototypenevaluation die Gestaltung einer gebrauchstauglichen Menüstruktur und Platzierung von Menüs in der VR vorgestellt. Es wird zudem eine Methodik zur partizipativen Gestaltung beschrieben, die mittels einer Fokusgruppendiskussion eine aufgabenangemessene Zuordnung der Funktionen erreicht.

2 Gestaltung von Menüstrukturen in der VR

Die Steuerung einer VR-Applikation ist gekennzeichnet von direkten und indirekten Interaktionen. Bowman et al. beschreiben die Steuerung als Vorgang, um spezifische Softwarefunktionen auszuführen, den Interaktionsmodus zu wechseln oder den Systemzustand zu ändern [2]. Direkte Interaktionsarten stellen beispielsweise die Navigation, Selektion als auch Manipulation dar. Indirekte Interaktionen werden mit Hilfe von Menüstrukturen durchgeführt, welche verschiedene Bedienelementen, wie etwa Dialoge, Regler oder Knöpfe, beinhalten. Menüs können als eine listenförmige Sammlung von Einträgen zur Steuerung einer Software-Applikation verstanden werden. So können Arbeitsprozesse durchgeführt werden, welche über eine direkte Interaktion nur schwer umsetzbar sind. Hierzu zählt beispielsweise die gezielte Auswahl eines Werkzeugs aus einer Vielzahl weiterer Werkzeuge [3, 4].

Bei der Gestaltung von Menüstrukturen ist es wichtig, die Benutzerfreundlichkeit der Software zu gewährleisten und so die Akzeptanz der Benutzer zu unterstützen. Um eine intuitive Benutzeroberfläche zu schaffen, sollten besonders bei neuen bzw. innovativen Anwendungen, zu denen VR-Anwendungen derzeit zählen, möglichst bekannte Interaktionsmuster aus bekannten Benutzeroberflächen, insbesondere WIMP-Schnittstellen, verwendet werden [5]. Beispielsweise können so für VR-Applikationen auch Menüstruktur in Form von desktopüblichen Schaltflächen dargestellt werden [6].

Aufgrund der Vielzahl von notwendigen Funktionen, können entsprechende Darstellungen leicht unübersichtlich werden. Bei der Platzierung der interagierbaren Bedienelemente und Menüstrukturen der Benutzeroberfläche können alle Komponenten der VR verwendet werden. Hierbei kann unterschieden werden hinsichtlich einer controller-, objekt- oder raumbezogenen Platzierung. Bei einer controllerbezogenen Platzierung werden entsprechende Menüs direkt am Controller des Anwenderns befestigt. Eine Auswahl kann beispielsweise über die Tastennavigation erfolgen. Dies hat den Vorteil, dass eine Interaktion immer ortsunabhängig möglich ist. Am Objekt oder an der Umgebung, beispielsweise an einer virtuellen Wand, befestigte Menüs können mittels direkter Berührung oder

einem virtuellen Zeigen bedient werden. Diese sind nur ortsabhängig nutzbar, ermöglichen es aber, dass die jeweilige Funktionalität einem konreten Kontext zugeordnet wird.

3 Partizipative Menüstrukturgestaltung einer VR-Applikation zur Prototypenbewertung

Die VR eignet sich durch die immersive Darstellung von 3D-Objekten und Umgebungen Prototypen im frühen Reifegrad der Produktentwicklung erlebbar zu machen. So können bereits früh im Entwicklungsprozess sogenannte Prototypenevaluationen mit dem Ziel durchgeführt werden, Gestaltungsentwürfe zu bewerten und zu verbessern [7]. Zur Durchführung einer Prototypenevaluation in der VR benötigen die Benutzer verschiedene Sotwarefunktionen, wie etwa die Möglichkeit Markierungen vorzunehmen, Längen zu messen, Bilder aufzuzeichnen oder den Prototyp zu manipulieren. Die Bereitstellung dieser Softwarefunktionen muss über unterschiedliche Menüstrukturen als Bestandteil der grafischen Benutzeroberfläche gewährleistet werden. Dazu müssen Menüstrukturen zwei funktionale Aspekte unterstützen. Einer davon ist die Umsetzung und Unterstützung des Workflows im Anwendungsbreich der virtuellen Prototypenevaluation durch die Bereitstellung von zwingend notwendigen Funktionen, wie beispielsweise Checklisten oder Dokumentationsmöglichkeiten. Der andere Aspekt ist die Bereitstellung individueller Tools, wie etwa einen Markierungsmarker oder die Möglichkeit Annotationen zu hinterlassen.

Die Vielzahl dieser Funktionen sowie die Notwendigkeit sich in der VR zur Prototypenbewertung zu bewegen stellen besondere Herausforderungen an eine gebrauchstaugliche Gestaltung und Platzierung der Menüs. Für die Konzeption der Menüstruktur wurden deshalb spätere Anwender für eine aufgabenangemessene Gestaltung einbezogen. Hierzu wurde ein Fokusgruppenworkshop zur partizipativen Entwicklung von Ideen durchgeführt [8]. Dadurch konnten qualitative Daten gesammelt werden, um die Bedürfnisse der Anwender zu erheben und zu verstehen. Die Methode der Fokusgruppe wurde aufgrund ihres explorativen Charakters und ihrer aufwandsarmen Durchführung ausgewählt [9].

Insgesamt nahmen sieben Experten auf dem Gebiet der Prototypenevaluation teil. Alle Teilnehmer haben bereits durchschnittlich 5,35 Jahre Berufserfahrung gesammelt. Die Teilnehmer mussten grundlegende Funktionen für eine virtuelle Prototypenevaluation den drei Menüstrukturen zuordnen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Menüs und zugeordnete Softwarefunktionen

controllerbezogenes Menü	• häufig verwendete Funktionen • z. B. Selektion, Bild- und Sprachaufzeichnung, Annotationen
objektbezogenes Menü	• Funktionen zur Objektmanipulation • z. B. Rotation, Translation, Skalierung, Materialwechsel
raumbezogenes Menü	• Funktionen zur Regelung des Workflows • z. B. Checklisten, gespeicherte Medien, Arbeitsfortschritt, Einstellungen in Bezug auf die weiteren Evaluationsteilnehmer

Der Konsens der Teilnehmer war, dass die am häufigsten verwendeten Funktionen den Controllern zugeordnet werden sollen. Infolgedessen sollte der Wirkungsgrad aufgrund der kurzen Wege und der schnellen Auswahl dieser Merkmale hoch sein. workflow-bezogene Menüs sind nicht geeignet, da die Sichtbarkeit für jeden Teilnehmer nicht gewährleistet werden kann. Icons und Features zur Manipulation des virtuellen Evaluationsobjektes sollten am Objekt haften und können dauerhaft oder per Klick angezeigt werden. Die Nähe des Menüs zum zugehörigen Objekt reduziert mögliche Verwechslungen. Auch kleinere workflow-bezogene Menüs sind geeignet, können aber die Benutzer ablenken, wenn sie dauerhaft angezeigt werden. Hier sind Objekttransformation und Annotationen von Elementen von Interesse. Schließlich wird das raumbezogene Menü für Funktionen zur Unterstützung des gesamten Workflows der kollaborativen Aufgabe vordefiniert. Durch die mögliche Nutzung eines großen Bereichs, der die Nutzer nicht ablenkt, können Informationen dauerhaft angezeigt werden. Dadurch hat jeder Teilnehmer einen schnellen Zugriff auf das Gesamtziel und den aktuellen Fortschritt, was die Zusammenarbeit bereichert. Im Bild 1 ist ein visueller Entwurf des Gestaltungsergebnisses am Beispiel der Platzierung der verschiedenen Menüs dargestellt.

Bild 1: VR-Graphical-User-Interface (Links: controllerbezogen, Mitte: raumbezogen, Rechts: objektbezogen)

4 Zusammenfassung & Ausblick

Zur Auswahl und Steuerung von Softwarefunktionen in der VR werden Menüstrukturen verwendet. Diese Menüstrukturen werden durch die grafische Benutzeroberfläche visuell dargestellt. Im Gegensatz zu zweidimensionalen Desktop-Applikationen muss die Gestaltung von Menüstrukturen im Bereich der VR die räumlichen Eigenschaften dieses Mediums berücksichtigen. Ansonsten drohen Benutzungsprobleme und ein stark eingeschränktes Potenzial der VR-Technologie. Dies ist vor allem bei einer hohen Anzahl an zur Verfügung stehenden Softwarefunktionen zu berücksichtigen. Die Auswahl der Softwarefunktionen wird über Menüstrukturen realisiert, welche die Funktionen in Form von listenförmigen Einträgen zusammenfassen. Diesbezüglich ist die Zuordnung der Softwarefunktionen zu den verschiedenen Menüstrukturen zu beachten, sodass der Anwender intuitiv und schnell die benötigten Funktionen finden, auswählen und steuern kann.

Innerhalb dieses Beitrages wurde eine Menüstruktur mit unterschiedlichen Softwarefunktionen durch die Anwendung einer Fokusgruppe konzipiert. Dabei kamen objekt-, controller- und raumbezogene Menüs zum Einsatz. Diesen Menüs wurden jeweils, durch die Fokusgruppenteilnehmer, spezifische Funktionen zugeordnet. Das objektbezogene Menü beinhaltet hierbei alle Funktionen zur Objektmanipulation. Das controllerbezogene Menü beinhaltet alle häufig genutzten Funktionen und das raumbezogene Menü dient zur Steuerung des gesamten Workflows. Durch diese Aufteilung ist der Anwender in der Lage alle benötigten Funktionen schnell zu erfassen und auszuwählen. Infolgedessen sollte die Effizienz der Funktionsauswahl hoch sein.

Die entstandene Menüstruktur ist das Ergebnis einer ersten Fokusgruppe und benötigt eine weiterführende Validierung. Nach der Gestaltung des Menükonzepts muss die wahrgenommene Verwendbarkeit des Konzepts in Bezug auf reale Anwendungsfälle untersucht werden.

Literaturverzeichnis

[1] LaViola J.J., Kruijff, E., McMahan, R.P., Bowman, D., Poupyrev, I.P. (2017). 3D User Inter-faces: Theory and Practice, 2nd Edition. Boston: Addison-Wesley Professional.

[2] Bowman, D. A., Coquillart, S., Froehlich, B., Hirose, M., Kitamura, Y., Kiyokawa, K., & Stuerzlinger, W. (2008). 3d user interfaces: New directions and perspectives. IEEE computer graphics and applications, 28(6), 20-36.

[3] Mine, M. R. (1995). Virtual environment interaction techniques. UNC Chapel Hill CS Dept.

[4] Dressler, A. (2007). Benutzergerechte Menügestaltung für Virtuelle Umgebungen im Expertenkontext (Doctoral dissertation).

[5] Blackler, A. L., & Hurtienne, J. (2007). Towards a unified view of intuitive interaction: definitions, models and tools across the world. MMI-interaktiv, 13(2007), pp. 36-54.

[6] Conner, B. D., Snibbe, S. S., Herndon, K. P., Robbins, D. C., Zeleznik, R. C., & Van Dam, A. (1992, June). Three-dimensional widgets. In Proceedings of the 1992 symposium on Interactive 3D graphics (pp. 183-188). ACM.

[7] Salwasser, M., Dittrich, F., Melzer, A. & Müller, S. (2019). Virtuelle Technologien für das User-Centered-Design (VR for UCD). Einsatzmöglichkeiten von Virtual Reality bei der nutzerzentrierten Entwicklung. Tagungsband Mensch und Computer 2019 - Usability Professionals. 08.09.2019 bis 11.09.2019, Hamburg, S. 262-269.

[8] Möslein, K. M., Haller, J. B., & Bullinger, A. C. (2010). Open Evaluation: It für das Innovationsmanagement. Wirtschaftsinformatik und Management, 2(5), pp. 24-33.

[9] Langford, J., & McDonagh, D. (2003). Focus Groups: Supporting effective product development, London: Taylor & Francis.

Digitale Assistenz bei der Wartung von Offshore-Windparks durch AR-Technologie

Eggert, M.[1]; Flügge, W.[2]

[1] Fraunhofer-Einrichtung für Großstrukturen in der Produktionstechnik IGP

[2] Universität Rostock, Lehrstuhl Fertigungstechnik

Abstract

Raue Umweltbedingungen, Zeitdruck durch eng kalkulierte Wartungsfenster, komplexe technische Systeme und hohe Qualitätsansprüche bestimmen die Arbeitswelt der Wartung und Instandhaltung von Offshore-Windparks. Trotz guter Qualifikation und vielseitigen Trainings sind Wartungstechniker bei der Ausführung ihrer Aufgaben auf Informationen aus Handbüchern und Checklisten angewiesen und müssen ihre Arbeitsergebnisse in Protokollen dokumentieren. Sowohl die Informationsversorgung als auch die Datenerfassung weisen dabei eine Vielzahl von Medienbrüchen auf, durch welche die Prozesse vor Ort und in der Nachbereitung unsicher und langsam ausgeführt werden. Das vorgestellte Assistenzsystem soll zu einem durchgängig digitalen Informationsfluss beitragen und dabei die Techniker aufgabenspezifisch unterstützen. Augmented Reality (AR) bietet hierfür eine Möglichkeit der Informationsdarstellung und Interaktion mit dem Assistenzsystem während der Arbeitsausführung. Am Beispiel der Wartung von vielfältig in Offshore-Windparks eingesetzten Krananlagen wird in diesem Beitrag gezeigt, welche Potenziale durch digitale Assistenzsysteme und AR-Anwendungen erschlossen werden können.

1 Einleitung

Für die Wirtschaftlichkeit von Offshore-Windenergieanlagen ist ein störungsfreier Betrieb entscheidend. Um dies zu gewährleisten, benötigen die Betreiber komplexe Service- und Wartungskonzepte, zumal die Anforderungen an die Wartung Offshore deutlich höher sind als bei Onshore-Anlagen. Der Hauptgrund dafür ist die eingeschränkte Erreichbarkeit der Anlagen bei schlechten Wetterbedingungen und die damit verbundene gefährliche Ausführung der Wartungsarbeiten vor Ort. [1] Diese sind immer noch notwendig, da auch Condition Monitoring Systeme keine hundertprozentige Überwachung der Anlagen bieten, insbesondere für die nichtelektronischen oder produktionsbezogenen Bereiche der Anlagen. Das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) schreibt deshalb ausdrücklich regelmä-

ßige Sichtwartungen vor Ort vor. [2] Die hierfür notwendigen, vielfältigen Arbeiten werden anhand von Langzeit-Wetterprognosen in Kampagnen geplant und das Personal entsprechend ausgewählt und trainiert. Dennoch sind Mitarbeiter vor Ort auf Unterlagen wie Handbücher oder Checklisten angewiesen, mit deren Hilfe die Systeme inspiziert und gewartet werden können. Dabei müssen die ausgeführten Arbeiten zum Teil sehr feingliedrig dokumentiert werden. Durch die papiergebundenen Dokumente kommt es allerdings oft zu Lücken in der Informationsversorgung oder fehlerhaften bzw. unleserlichen Prüfprotokollen, was im schlimmsten Fall bis zum Entzug der Betriebserlaubnis für Teile der Windparks führen kann. [3] Im Rahmen des durch das BMBF geförderten Wachtumskerns „OWS M-V: Offshore Wind Solutions Mecklenburg-Vorpommern“ [4] wurde deshalb eine für den Offshore-Bereich ausgelegte Methodik zur anwendungsspezifischen Konfiguration digitaler Assistenzsysteme zur Unterstützung der Wartungstechniker als Informationsquelle und Dokumentationswerkzeug entwickelt. Ziel dabei war, eine durchgängie Digitalisierung von der Kampagnenplanung über die Wartungsdurchführung bis zur Auswertung und Abrechnung der Arbeiten zu gewährleisten. Die daraus abgeleiteten Assistenzsysteme können die Mitarbeiter durch implementierte AR-Darstellungen und -Interaktionen dazu befähigen, ihre Arbeiten durchzuführen, sich gleichzeitig mit Informationen zu versorgen und ihrer Dokumentationspflicht nachzukommen.

2 Grundlagen und Stand der Technik

Die Betriebsphase eines Offshore-Windparks ist Gegenstand eines breiten Spektrums an Entscheidungen und damit Möglichkeiten, seine Effizienz noch im Betrieb zu erhöhen. Die Optimierung der Betriebs- und Wartungsprozesse beinhaltet hierbei auch, Lösungen für erst in dieser Lebensphase entstehende Probleme zu entwickeln und für die Konzeption anderer Parks als lessons learned zu verwenden. [5] Hieraus resultieren verschiedene Strategien zur Wartung der Windparks. Je nach Entfernung und installierter Ausrüstung werden die Wartungstechniker dann per Schiff oder Helikopter in die Windparks gebracht und bleiben während der Kampagne auf See oder kehren täglich in den nächst gelegenen Hafen zurück. [6] Der Einsatz der Serviceteams vor Ort ist damit außerdem abhängig von den aktuellen Wetterbedingungen. Stürme, hoher Wellengang, schlechtes Wetter und die Entfernung zur Küste erfordern besondere Vorgehensweisen sowohl bei der Logistik wie auch bei den eingesetzten Technologien und Materialien. [7] Schon allein aufgrund der harten Umweltbedingungen werden Wartungskampagnen mit großem Aufwand in den Schönwetterphasen des Jahres terminiert. Hierfür kommen die klassischen Methoden der Produktionsplanung (Programm-, Ablauf- und Ressourcenplanung, Kapazitätsabgleich, Ablaufterminierung) zum Einsatz, die auf die Planung der Kampagneninhalte adaptiert werden. [8] Mit Festlegung der

kampagnenspezifischen Arbeitsinhalte werden im Anschluss die Unterlagen zur Durchführung der anstehenden Arbeitsaufträge erstellt. Diese umfassen i.d.R. die technische Dokumentation der Systeme, Wartungshandbücher, Checklisten und Prüfprotokolle. Zwar setzen Unternehmen hierfür derzeit im besten Fall CMMS (Computerized Maintenance Management Systems) ein, jedoch werden die Dokumente für die Offshore-Kampagne immer noch papiergebunden auf See mitgenommen und dort manuell ausgefüllt. Zurück an Land werden die Unterlagen dann im Back-Office aufbereitet und dem Windparkbetreiber als Prüfbericht zur Verfügung gestellt. [3]

Dabei existiert bereits eine Vielzahl digitaler Assistenzsysteme zum Zweck der Informationsassistenz und Dokumentation im Bereich Wartung und Instandhaltung [9, 10], zum Teil bieten diese sogar eine Informationsdarstellung durch Augmented Reality an [11]. Diese Assistenzsysteme erfüllen, ob mit oder ohne Augmented Reality, den Zweck, Zusatzinformationen auf Bedarf hin bereitzustellen und dadurch schwierige Aufgaben leichter, sicherer und qualitativ hochwertiger zu erfüllen. Auch derzeitige Forschungsprojekte (StahlAssist, MARI, CyProAssist) nähern sich der Problematik im Produktionsbereich durch konfigurierbare Systeme oder die Anbindung an Sensordaten als Basis für predictive maintenance Strategien an. Ein ganzheitlicher Ansatz zum aufgabenspezifischen Einsatz von digitalen Assistenzsystemen unter rauen Umweltbedingungen wurde dennoch bisher nicht entwickelt bzw. ist am Markt nicht verfügbar.

3 Konzept und Umsetzung

Das Ziel, Offshore-Wartungsprozesse informationstechnisch digital mit mobilen Assistenzsystemen zu ermöglichen, setzte Kenntnisse der Prozessanforderungen und Informationsbedarfe der Mitarbeiter sowie der Umgebungsbedingungen zum Einsatz derartiger Systeme voraus. Aus diesem Grund basierte die Konzeptbildung und Umsetzung auf einer ausführlichen Analyse der aktuellen Situation in Wartungskampagnen von Offshore-Windparks und der Ableitung eines Anforderungskatalogs hinsichtlich der Konfiguration der Systemhardware, Informationsflüsse und Interaktionsmöglichkeiten. Zur Weiterverwendung der Analyseergebnisse wurden Referenzszenarien gebildet, durch die die Analyseergebnisse in breit gefächerter Variation exemplarisch dargestellt werden können. Ein Beispiel hierfür bildet die Inspektion und Wartung maritimer Krananlagen, wie sie an vielen Stellen in Offshore-Windparks vorkommen und für den Materialtransport genutzt werden.

Die Konfiguration der Informationsflüsse und des damit verbundenen Datenaustauschs wurde unter Beachtung der Offshore-Umgebung bedarfsorientiert ausgelegt. Die Möglichkeit eines online-Betriebs des Assistenzsystems ist in Offshore-Windparks nicht dauerhaft gegeben. Die Regel ist eher das Nichtvorhandensein

einer dauerhaften Internetverbindung. Dies erschwert die Realisierung digitaler Informationsflüsse dahingehend, dass eine serverseitige online-Datenverarbeitung selten möglich ist und deshalb erhobene Daten und angeforderte Informationen asynchron zum eigentlichen Zeitpunkt der Durchführung der Wartungsmaßnahme fließen. Es kann realistisch allerdings davon ausgegangen werden, dass während einer Wartungskampagne zumindest einmal täglich eine Internetverbindung hergestellt werden kann, die für die Synchronisierung der Daten genügt. Durch Einsatz eines Datenaustauschmoduls konnte so die Verwendung des Assistenzsystems sowohl im online- als auch offline-Modus konzipiert und realisiert werden. Dabei wird im offline-Modus einfach die online-Verarbeitungsmethodik auf einem lokalen Datenbankserver für die Bereitstellung und Verarbeitung der Daten eingesetzt.

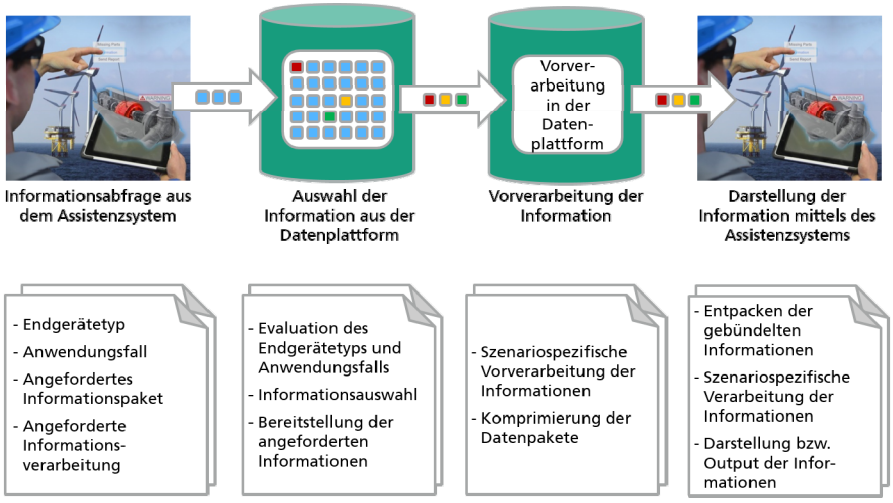


Bild 1: Konzept eines bedarfsorientierten Informationsflusses im Assistenzsystem

Die bedarfsgerechte Informationsversorgung basiert auf den szenariospezifischen Anforderungen und Umgebungseinflüssen. Hierbei werden anhand eines morphologischen Kastens Umgebungsbedingungen und Steuerungsmöglichkeiten, sowie die verschiedenen Möglichkeiten der Gestaltung von Nutzerschnittstellen miteinander kombiniert, um eine den tatsächlichen Nutzeranforderungen (z.B. hands-free Bedienbarkeit, Nutzung in beengten Räumen) entsprechende Konfiguration des Assistenzsystems zu ermöglichen. Das bedeutet, dass das Assistenzsystem je nach Interaktionsmöglichkeit der Wartungstechniker eine für das Einsatzszenario optimale Informationsaufbereitung vornimmt.

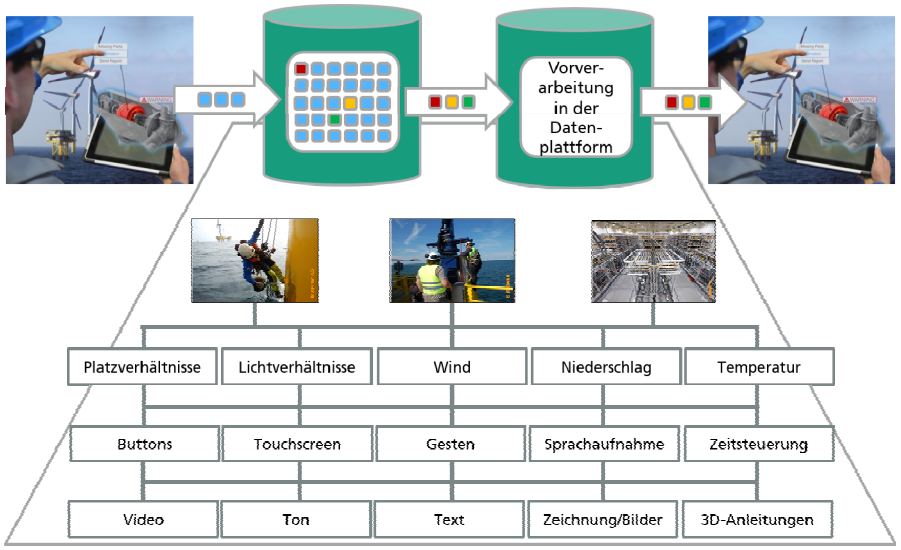


Bild 2: morphologischer Kasten zur Konfiguration der Informationsaufbereitung

Hardwareseitig ergab sich die Anforderung, dass potenzielle Endgeräte einfach in die ohnehin vielfältige, mehrteilige Ausrüstung der Wartungstechniker integriert werden können müssen. Aufgrund der zum Teil sehr spezifischen Arbeitsanforderungen ergab sich jedoch kein universell einsetzbarer Endgerätetyp, sodass zur Bestimmung eines für den Einsatz optimalen Endgeräts eine Konfigurationsmethodik entwickelt wurde, in die die jeweiligen Ergebnisse der Methoden zu bedarfsorientierten Informationsflüssen und der dabei stattfindenden Informationsaufbereitung einfließen. Hierbei werden die Bedarfe der Informationsdarstellung und Interkation mit dem Assistenzsystem sowie die Spezifika der durch das Szenario vorgegebenen Umgebungseinflüsse schrittweise in eine geeignete Hardwareauswahl überführt. Als Ergebnis kann anhand der Beschreibung des Einsatzszenarios und der Bedarfe hinsichtlich einer potenziellen Informationsversorgung eine Empfehlung bezüglich des Einsatzes eines bestimmten Endgerätetypen als Basis des Assistenzsystems generiert werden.

Somit liegt ein modularer Baukasten vor, aus dem die Eigenschaften des Assistenzsystems je nach szenariospezifischen Anforderungen bedarfsgerecht zusammengesetzt werden können. Hierbei sind Funktionen zum Datenaustausch mit der Informationsplattform, die Informationsaufbereitung, Hardwareauswahl und der Datenaufbereitung für verschiedene Nutzerschnittstellen in einzelnen Modulen zusammengefasst, die bedarfsgerecht miteinander kombiniert werden können.

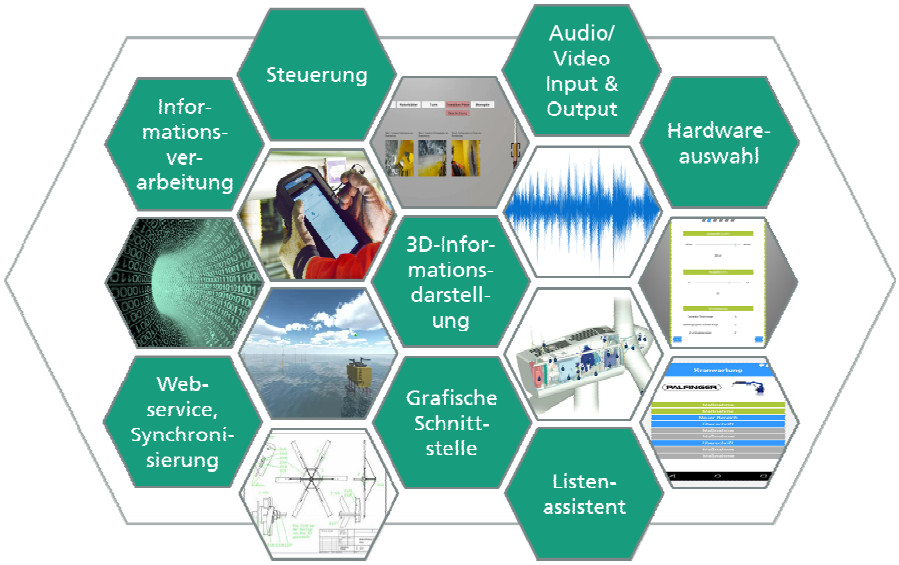


Bild 3: Module des digitalen mobilen Assistenzsystems

Auf diese Weise lässt sich das Assistenzsystem zur informationstechnischen Unterstützung bei Wartungsprozessen in Offshore-Windparks in verschiedenen Konfigurationen einsetzen. Dies schließt ebenfalls die Möglichkeit ein, Informationen in verschiedenen Detaillierungsgraden zur Verfügung zu stellen. Dies reicht von einfachen Checklisten bis hin zu komplexen 3D-Modellen. Gemeinsam mit der geeigneten Hardware ist dabei auch die Informationsaufbereitung zur Begleitung von Wartungsmaßnahmen mittels Augmented Reality möglich.

4 *Einsatz von Augmented Reality bei der Inspektion maritimer Krananlagen*

Am Beispiel der Inspektion maritimer Krananlagen konnte gezeigt werden, dass eine Assistenz im Sinne der methodisch aufbereiteten Darstellung von Instruktionen und eine gezielte Führung der Wartungstechniker in der Maßnahme selbst durch das Assistenzsystem möglich sind. Da Krananlagen in Offshore-Windparks im Bereich von Relingen aufgestellt sind, ist bei ihrer Inspektion eine hands-free Bedienung des Assistenzsystems Voraussetzung, damit sich die Wartungstechniker mit einer Hand an der Struktur absichern oder stützen können, um mit der anderen freien Hand die Inspektion auszuführen. Aus diesem Grund ergab sich für die Kranwartung eine mögliche Konfiguration des Assistenzsystems mit Datenbrillen

und der damit verbundenen Gestensteuerung als Interaktionsmöglichkeit. Es bot sich deshalb an, das Assistenzsystem um die Möglichkeit der Aufbereitung und Darstellung der Informationen mittels Augmented Reality inklusive der damit verbundenen Interaktionsmöglichkeiten zu erweitern. Um hierbei eine immersive Interaktion mit dem Assistenzsystem zu ermöglichen und gleichzeitig dem bedarfsorientierten Ansatz zur Informationsversorgung nachzukommen, wurde eine Methodik entwickelt, die auf Basis der Blickrichtung des Nutzers eine Überlagerung der Realität mit zusätzlichen Informationen realisieren kann. Im Fall der Kraninspektion konnte so erreicht werden, dass über den Betrachtungswinkel des Nutzers einzelne Systeme am Kran identifiziert werden können und die hierfür notwendigen Teilchecklisten als AR-Hologramme im Blickfeld und in direkter Nähe zum auf diese Weise ausgewählten System eingeblendet werden. Basis dieser Methode ist die vorherige Skalierung eines virtuellen 3D-Modells und seine Überlagerung mit der physischen Anlage. Hierfür wird einmalig ein Target direkt an der Anlage benötigt, anhand dessen die Skalierung und Überlagerung ausgeführt werden kann. Das ohnehin vorhandene Typenschild des Krans kann zu diesem Zweck genutzt werden, wodurch das Anbringen und die Verwendung eines zusätzlichen Targets entfallen. Der Wartungstechniker dann hat die Möglichkeit, über die Gestensteuerung mit den dargestellten Inhalten zu interagieren und dennoch beide Hände für die eigentliche Inspektion zu nutzen. Dabei wird er mittels Farbcodes durch die Inspektion geleitet und auf Lücken im laufenden Inspektionsprozess hingewiesen.

Bild 4: AR-Interaktion bei der Inspektion maritimer Krananlagen

Nach dem Ende der Inspektion werden die erhobenen Daten nach interner Verarbeitung im Assistenzsystem an die angeschlossene Informationsplattform weitergeleitet. Die Entwicklung und der Test des AR-Moduls des Assistenzsystems erfolgte an einem eigens per 3D-Druck hergestellten Modell einer Krananlage, die auf den Offshore-Windenergieanlagen zum Transport von Materialien beim Übersetzen auf die Anlage durch die Wartungstechniker eingesetzt wird.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Mit dem entwickelten System liegt eine Methode vor, mittels derer sich Informationsflüsse für die Ausführung der Wartung von Offshore-Windparks medienbruchfrei digital gestalten lassen. Die Methode wurde als Funktionsmuster eines konfigurierbaren Assistenzsystems exemplarisch für einige Wartungsszenarien umgesetzt, welches derzeit weiteren Evaluierungen unterzogen wird. Diese umfassen Tests sowohl im Laborbetrieb als auch in tatsächlichen Offshore-Wartungskampagnen.

Die Funktionen und die Struktur der Methode für die anwendungsspezifische Konfiguration von Assistenzsystemen für den mobilen Einsatz in der Wartung von Offshore-Strukturen erlauben es, komplexe Wartungs- und Inspektionsprozesse digital zu begleiten und so eine lückenlose, medienbruchfreie Dokumentation zu kreieren. Wartungstechniker vor Ort werden mit optimal für ihre Bedarfe und anhand der Umgebungsbedingungen aufbereiteten Informationen versorgt und durch digitale Anweisungen durch die Maßnahme begleitet. Das System fungiert hier als Assistent des Mitarbeiters und unterstützt den Prozess mit dem benötigten Funktionsumfang. Dabei können die notwendigen Informationen bedarfsgerecht in verschiedenen Detaillierungsgraden aufbereitet werden, was von der einfach dargestellten Checkliste bis hin zur grafisch komplexen AR-Anwendung reicht.

Die Ergebnisse der Methodik können vom Offshore-Wind-Sektor auch auf andere Industriebranchen, wie bspw. den industriellen Anlagenbau oder konstruktiven Hochbau übertragen werden. Die Methodik liefert hierfür die geeignete Basis, um nicht nur Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten, sondern auch Prozesse in anderen Lebenszyklusphasen digital abzubilden und Mitarbeiter in der Ausführung ihrer Arbeit unter industriell geprägten Umweltbedingungen informationstechnisch durch mobile Assistenzsysteme zu unterstützen und Workflows zu beschleunigen. Die durch die gesammelten Rückmeldungen im Assistenzsystem gewonnenen Daten lassen sich außerdem auswerten und für weitere Maßnahmen nutzen. Im Produktionsumfeld der Unikat- und Kleinserienfertigung eingesetzt, können derartige Systeme eine wesentliche Grundlage zum Aufbau von Wissensdatenbanken und der Planung und Steuerung von Prozessen bilden. Deshalb müssen in weiteren Entwicklungsschritten die Mensch-Technik-Interaktion und die Hardwareeignung für den industriellen Einsatz weiter vorangetrieben werden.

Literaturverzeichnis

[1] P. Svoboda, „Betriebskosten als Werttreiber von Windenergieanlagen - aktueller Stand und Entwicklungen," Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 63(5) 34-38, 2013.

[2] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, „Informationsportal Erneuerbare Energien - Wartung," [Online]. Available: https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/ Technologien/Windenergie-auf-See/Technik/Wartung/wartung.html. [28.08.2019]

[3] O. Wunderlich, A. Petersohn und M. Eggert, Durchgängige Digitalisierung von Betrieb und Wartung von Offshore-Windparks, Rostock: Vortrag auf der Zukunftskonferenz Wind & Maritim, Rostock, 2017.

[4] MCC Maritimes Consulting Center GmbH, „Offshore Wind Solutions Mecklenburg-Vorpommern," [Online]. Available: http://www.ows-mv.de/. [28.08.2019].

[5] I. B. Sperstad, F. D. McAuliffe, M. Kolstad und S. Sjømark, „Investigating key desicion problems to optimize the operation and maintenance strategy of offshore wind farms," in 13th Deep Sea Offshore Wind R&D Conference, EERA DeepWind'2016, Trondheim, Norwegen, 2016.

[6] A. Dewan und M. Asgarpour, Reference O&M Concepts for Near and Far Offshore Wind Farms, Petten, Niederlande: ECN, 2016.

[7] Stiftung OFFSHORE-WINDENERGIE, „Offshore-Windenergie - Sauberer Strom vom Meer," Stiftung der deutschen Wirtschaft für die Nutzung und Erforschung der Windenergie auf See, [Online]. Available: https://www.offshore-stiftung.de/offshore-windenergie. [28.08.2019].

[8] M. Lasse und O. Wunderlich, „Vorausschauende Kampagnenplanung. Basis für eine effiziente Wartung von Offshore-Windparks," in Zukunftskonferenz Wind&Maritim 2018, Rostock, 2018.

[9] instandhaltung.de, „Forschungsprojekt ADIMA - Intelligente Instandhaltung industrieller Maschinen," 11. Januar 2017. [Online]. Available: https://www.instandhaltung.de/news/intelligente-instandhaltung-industrieller-maschinen-290.html. [10.09.2019].

[10] Fraunhofer IFF, „ArdiAS," Fraunhofer IAO, 2017. [Online]. Available: https://www.transwork.de/index.php/foerderschwerpunkt/schwerpunktgruppen/assistenzsysteme-und-kompetenzentwicklung/ardias/. [10.09.2019].

[11] F. Titov, A. Friedewald und H. Lödding, „Augmented Reality zur kundenintegrierten Variantenplanung," Industrie, pp. 297-316, 2014.

User Experience / User Interface-Design für VR/AR-Anwendungen

Nguyen, T.B.M.[1]; Marczinzik, C.[1]

[1] A.MUSE – Interactive Design Studio

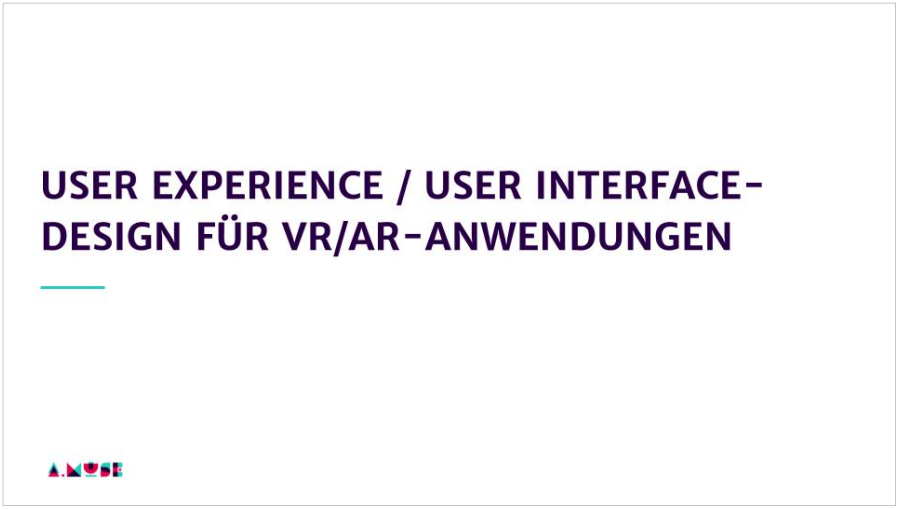
Abstract

Von dem Moment an, in dem der Mensch geboren wird, lernt er, die Welt aufgrund biologischer Eigenschaften dreidimensional wahrzunehmen, was ihn dazu bringt, räumlich zu denken. Im Gegensatz zu herkömmlichen, flachen 2D-Interfaces hat Mixed Reality das Potential, die menschliche und natürliche Interaktion in dreidimensionalen, virtuellen Räumen revolutionär zu erleichtern. Im letzten Jahrzehnt sind Virtual Reality und Augmented Reality (Mixed Reality) technologisch so weit vorangeschritten, dass neue Medienerlebnis-Formate entstehen, deren Möglichkeiten noch nicht vollständig ausgereizt und erforscht wurden. Bisher war es wie im "Wilden Westen", doch nun findet zum Beispiel "Mobile AR" immer mehr Anschluss an den Mainstream. Mit neuen technologischen Veröffentlichungen wie Google AR Core, SparkAR, ARKit 3 und Reality Composer von Apple können nun mehr als 100 Million mobile Endgeräte bespielt werden. Hinzu ist die VR-Industrie auf verschiedenen Wegen seit 2016 enorm gewachsen. Zunehmend werden dadurch zahlreiche Tools entwickelt, die das Gestalten, Prototypen und Entwickeln von Mixed Reality Anwendungen einfacher machen.

Deshalb gilt es nun, gemeinsam mit gebündelter Fachkompetenz Richtlinien für UX/UI-Design zu erarbeiten und stetig zu erweitern, um Nutzern dieser neuen Medienformate bestmögliche und bereichernde Erlebnisse zu bieten. In diesem Vortrag werden Parameter für intuitives und immersives User Experience & User Interface Design von Mixed Reality-Räumen beleuchtet, hilfreiche "Best Practises" aus dem Berufsalltag weitergegeben und aufschlussreich, verheißungsvolle Referenzbeispiele aus der Praxis dem Fachpublikum präsentiert.

Seit 2009 experimentieren und beschäftigen sich die Multimedia/VR-Designerinnen Christin Marczinzik und Thi Binh Minh Nguyen intensiv damit, wie man informative, unterhaltsame und begeisternde Anwendungen mit Cutting-Edge-Technologien entwickelt, die Menschen glücklich machen. Mit ihren interaktiven Erlebnissen gewannen sie zahlreiche Awards, internationale Aufmerksamkeit und sind Silicon Valley erfahren. 2019 wurde ihr Start-Up A.MUSE – Interactive Design Studio von

der Bundesregierung als eines der kreativsten und innovativsten Unternehmen Deutschlands mit dem Titel „Kultur- und Kreativpilot“ ausgezeichnet.



DEFINITION DER EXPERIENCE

Aktives Entdecken der Ausgangslage

Empathie & Verständnis für die Zielgruppe entwickeln

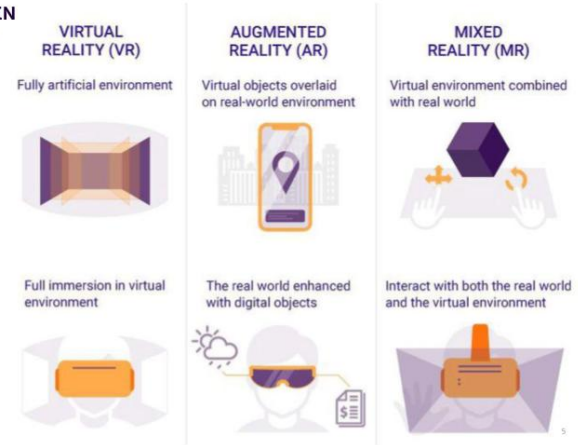
Ziele, Erwartungen, Art der Erfahrung ermitteln

Anforderungen für MVP erstellen

UX/UI-Design: Benutzerpersönlichkeiten, konzeptionelle Abläufe, Wireframes Interaktionsmodell

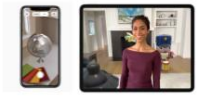
VOR- & NACHTEILE KENNEN

Strategische Vorüberlegungen



FÜR WELCHES MEDIUM SOLL ENTWICKELT WERDEN?

Strategische Vorüberlegungen

	Mobile	Highend	Standalone HMD
Virtual Reality			
Augmented Reality			

CONTROLLER ODER HAND-TRACKING?

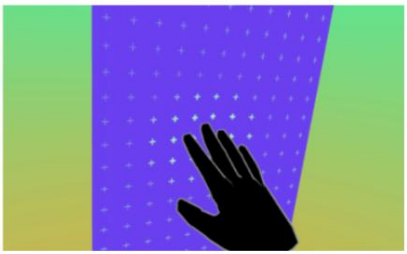
Strategische Vorüberlegungen

	Controller	Hand-Tracking
Virtual Reality		
Augmented Reality		

REISE IN EIN ANDERES UNIVERSUM

Neue physikalische Gesetze für VR-Design

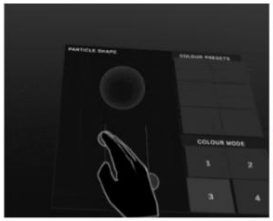
Beispiel-Element "Plaf"



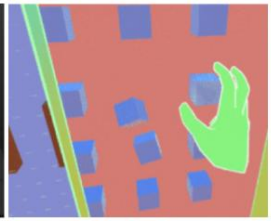
Beispiel-Element "Gracine"

VOM FLACHEN 2D ZUM RÄUMLICHEN 3D

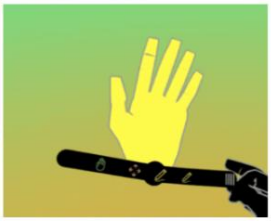
Neue Paradigmen für VR/AR-Interaktionen



Element "Tapron"



Auditive & haptische Elemente



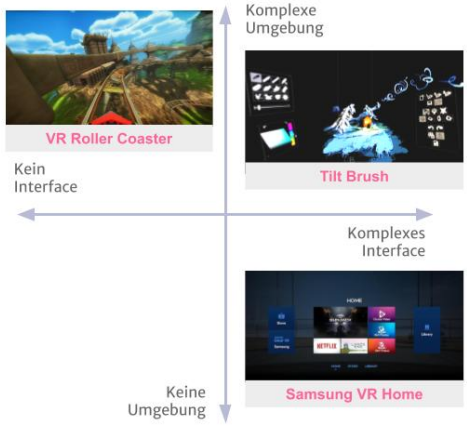
Super-Hände

VOM FLACHEN 2D ZUM RÄUMLICHEN 3D

Neue Paradigmen für VR/AR-Interaktionen

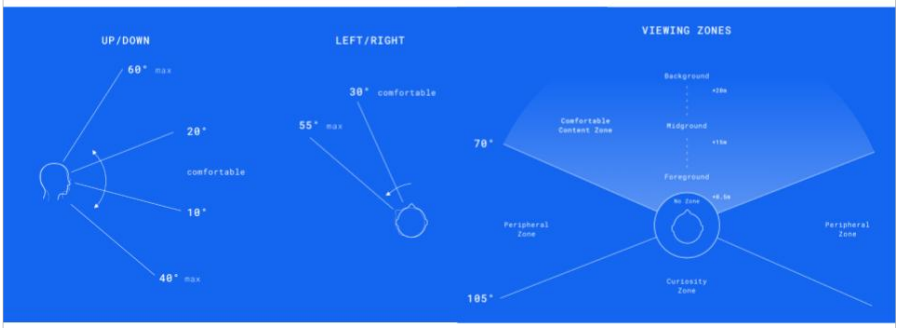
Beispiel Cat Explorer von Eugene Krivoruchko and Keiichi Matsuda

BENUTZEROBERFLÄCHER & -UMGEBUNG



ERGONOMIE FÜR AUGEN UND HALS

Horizontaler & vertikaler Erfassungswinkel



ERGONOMIE FÜR AUGEN UND HALS

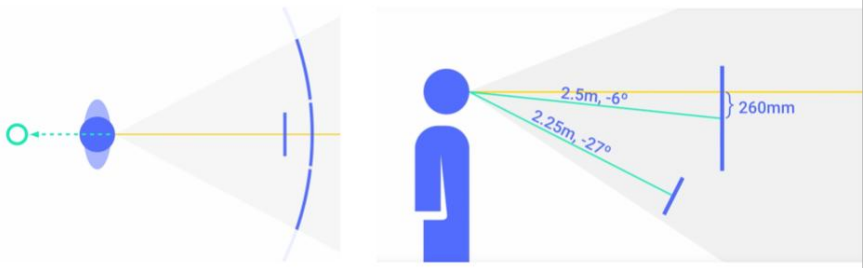
Horizontaler Erfassungswinkel

40 – 60°

PRIMÄRE KOMFORTZONE
(liegt über dem Mittelpunkt)

KOMFORTABLE LESBARKEIT IN VR

UI im komfortablen Bereich der Bewegungszonen



MOBILE AR

AR-EXPERIENCE TYPEN

REAL-TIME

z.B. Ikea Place App

NARRATIVE

z.B. Pokemon Go

CAPTURE

z.B. Instagram

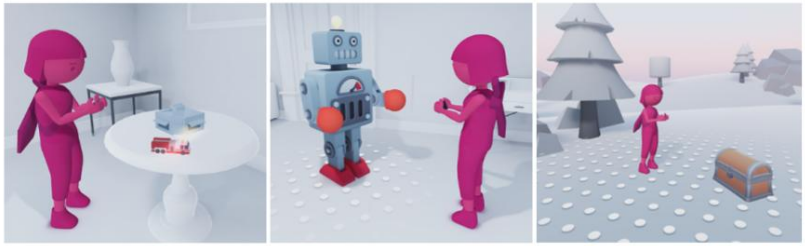
ONBOARDING

Klare Anweisungen vor dem App-Start geben

PHYSISCHE UMGEBUNG / SKALIERUNG

Nutzern die ideale Größe & die perfekten Bedingungen zeigen

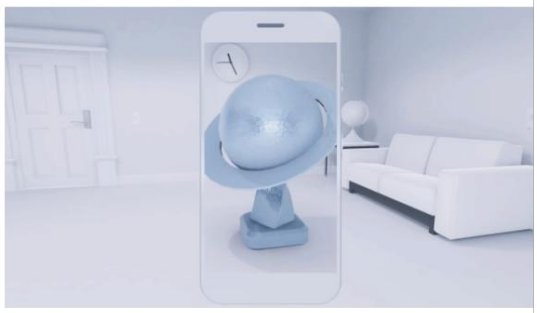
z.B. Brettspiel < Schnitzeljagd



Tischgröße Raumgröße Weltgröße

BEWEGUNGSMÖGLICHKEITEN

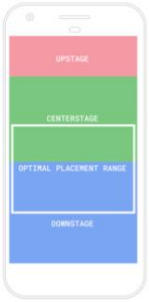
- Sitzend, mit fixierten Händen
- Sitzend mit beweglichen Händen
- Stillstehen, die Hände fixiert
- Sich in einem realen Raum bewegen

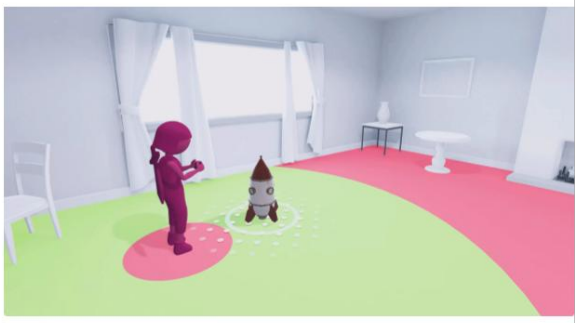


REALISMUS

- AR-Welt in die physische integrieren, unabhängig davon, ob das Ziel Realismus oder Abstraktion ist
- AR-Objekte mit ihrer Umgebung auseinandersetzen lassen und diese widerspiegeln
- Schatten, Beleuchtung, Occlusion, Reflexion und Kollision

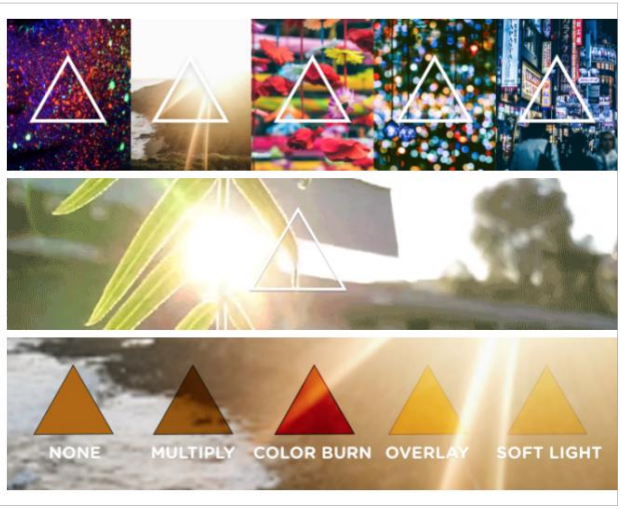
OPTIMALE PLATZIERUNGSREICHWEITE





DESIGN

- Farben
- Anordnungen / Positionen
- Text / Typographie
- Icons
- Indikatoren
- Blendmodes



AR USER INTERFACE TYPEN

(Graphical User Interface)
Grafische & visuelle Indikatoren
z.B. ✕ = Abbrechen

(Heads Up Display)
Überlagerung mit fester transparenter Anzeige
z.B. Google Maps AR

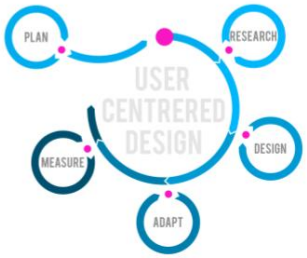
(Voice User Interface)
Sprache
z.B. Siri bitten, den Timer zu stellen

(Future User Interface)
Zukunftsorientiert
z.B. Iron Man

(Tangible User Interface)
Interaktion mit der physischen Welt
z.B. Verfolgung der täglichen Schritte mit Fitbit

LEARNINGS

- User Centered Design – Mensch als Mittelpunkt
- Aufmerksamkeits-Attraktoren aus der Evololutionsbiologie integrieren
- Körperliche und kognitive Fähigkeiten der User berücksichtigen
- Räumlich denken
- Eine Welt kreieren, die es Wert ist, entdeckt zu werden



A.MUSE Interactive Design Studio

Designhaus Halle
Ernst-König-Straße 1
06108 Halle (Saale)

www.amuse.vision
www.instagram.com/amuse.vision
www.facebook.com/amuse.vision

THI BINH MINH NGUYEN
Co-Founder / Art Direction & Creative Technology

minh@amuse.vision
01577 78 38 849

CHRISTIN MARCZINZIK
Co-Founder / Art Direction & Interaction Design

christin@amuse.vision
0177 19 75 609

QUELLEN 1/2

Gleb B. VR vs AR vs MR: Differences and Real-Life Applications AUG 28, 2019
https://rubygarage.org/blog/difference-between-ar-vr-mr

Ultraleap. Virtual Elements: The Periodic Table for Augmented and Virtual Reality, abgerufen am 01.12.2019, von
https://ultraleap.com/news/blog/virtual-elements-in-vr/?fbclid=IwAR3mpO_2qjpontoc8rrsqvPe3iq2snYrq58kxnY-_OvgfoRymi8DhEOWmDY

Apples Human Interface Guideline
https://developer.apple.com/design/human-interface-guidelines/ios/system-capabilities/augmented-reality/

Google's Augmented Reality Design Guidelines (GARDG)
https://designguidelines.withgoogle.com/ar-design/interaction/ux.html#

Bushra Mahmood, Feb 16, 2018. A Quick Guide to Designing for Augmented Reality on Mobile (Part 1–4)
https://medium.com/@goatsandbacon/a-quick-guide-to-designing-for-augmented-reality-on-mobile-part-1-c8ecaaf303d5
https://medium.com/@goatsandbacon/a-quick-guide-to-designing-for-augmented-reality-on-mobile-part-2-fb76fe87dd41
https://medium.com/@goatsandbacon/a-quick-guide-to-designing-for-augmented-reality-on-mobile-part-3-2380f253467a
https://medium.com/@goatsandbacon/a-quick-guide-to-designing-for-augmented-reality-on-mobile-part-4-f554f5b80c24

A designer's guide to hardware and software for mobile AR
https://uxdesign.cc/designers-guide-to-hardware-and-software-for-mobile-ar-5c800503676d

Context-First Design for Augmented Reality
https://medium.com/@goatsandbacon/context-first-design-in-spatial-computing-d647aefc9a3

Eugene Krivoruchko and Keiichi Matsuda / June 14, 2018 Designing Cat Explorer
http://blog.leapmotion.com/designing-cat-explorer/

Designing For Augmented Reality
https://www.youtube.com/watch?v=-r1VtYxvVlc&feature=youtu.be

QUELLEN 2/2

Designing in VR
http://www.mattschaeferdesign.com/designing-in-vr

Designing AR Applications (Google I/O'19)
https://www.youtube.com/watch?v=BIM2TIbeKbg

Designing Screen Interfaces for VR (Google I/O '17)
https://www.youtube.com/watch?v=ES9jArHRFHQ

A 3D Primer for Screen Designers. Paul Reynolds Aug 21, 2018
https://www.torch.app/blog/a-3d-primer-for-screen-designers

Designing User Experience for Virtual Reality (VR) applications:
https://uxplanet.org/designing-user-experience-for-virtual-reality-vr-applications-fc8e4faadd96

Google's AR Design Guidelines suffice while Apple's fall short / Paul Reynolds, CEO and Co-founder at Torch / October 22, 2018
https://www.figma.com/blog/googles-ar-design-guidelines-suffice-while-apples-fall-short/

VR as a Design Tool: A Conversation with Matt Schaefer /April 10, 2018
http://highway101etc.com/blog-1/2018/4/10/vr-as-a-design-tool-a-conversation-with-mattschaefer

VR UX Patterns
https://www.pinterest.de/Mschaefer123/vr-ux/

VR Interface Design Manifesto (2014)
https://www.youtube.com/watch?v=n3bBhZ5NV2E

Datenbrille mit Indoor-Navigation zur AR-gestützten Kommissionierung

Herold, R.[1]; Kämpf, M.[2]

[1] WSH Zwickau – Fakultät Elektrotechnik
[2] iFD GmbH Chemnitz

Abstract

Im Vortrag werden zuerst die Anforderungen an eine industrietaugliche Datenbrille im Bereich der Logistik erläutert und verschiedene Systemarchitekturen vorgestellt. Basierend auf diesen Anforderungen werden technische Datenbrillenlösungen gezeigt. Im Bereich der Logistik werden Anforderungen Hardware und Software definiert. Anschließend werden verschiedenen Use Cases zum Einsatz von Datenbrillen in der Logistik basierend auf Pilotprojekten präsentiert. Ein Schwerpunkt ist die visuelle Navigation im Lager durch eine Datenbrille mit Indoor-Navigation, um einen Mitarbeiter optimal auf kurze Wege durch den Kommissionierprozess zu führen. Abschließend wird ein Ausblick gegeben, welche Hardware- und Softwarefeatures im Bereich der Logistik zukünftig zur Verfügung stehen werden.

Inhalt

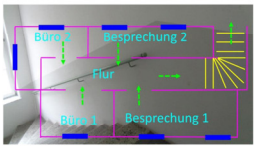
- Teil WHZ:
  - Anforderungen im Bereich Logistik
  - Datenbrillen Eigenschaften
  - Stand der Technik
  - Modulare Datenbrille in der Logistik
- Teil iFD:
  - Funktechnologien Indoor-Ortung
  - Augmented Reality in der Intralogistik
  - Beispielszenario

Anforderungen im Bereich Logistik

- Betriebszeit von mindestens einer Schichtdauer -> 8h
- Eignung für Brillenträger
- Optische Projektion wahlweise für rechts bzw. linkes Auge
- Robustes Design für raue industrielle Umgebungen
- Keine störenden Kabel am Körper
- Ergonomisches Design, an verschiedenen Kopfgrößen anpassbar
- Integration in vorhandene IT-Infrastruktur

Datenbrillen Eigenschaften

- Field of View - Datenbrille vs. Tablet / Smartphone
- Ausgabe von Tablet-Inhalten auf Datenbrillen?
  - Durch die Beschränkungen der Optik nicht möglich
  - Zu detaillierte Infos wie technische Zeichnungen können nicht erkannt werden
  - Beschränkung auf wesentliche Inhalte, die der Nutzer vor Ort benötigt
  - Analog zum Navi
- **Fazit**
  - Wenig Text
  - Zeichnungen möglichst groß

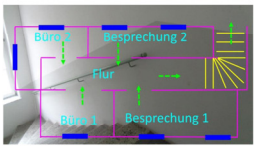


Fakebild einer Datenbrillenausgabe

Reale Datenbrillenausgabe FOV=30°

Datenbrillen Eigenschaften

- Field of View - Datenbrille vs. Tablet / Smartphone
- Ausgabe von Tablet-Inhalten auf Datenbrillen?
  - Durch die Beschränkungen der Optik nicht möglich
  - Zu detaillierte Infos wie technische Zeichnungen können nicht erkannt werden
  - Beschränkung auf wesentliche Inhalte, die der Nutzer vor Ort benötigt
  - Analog zum Navi
- **Fazit**
  - Wenig Text
  - Zeichnungen möglichst groß

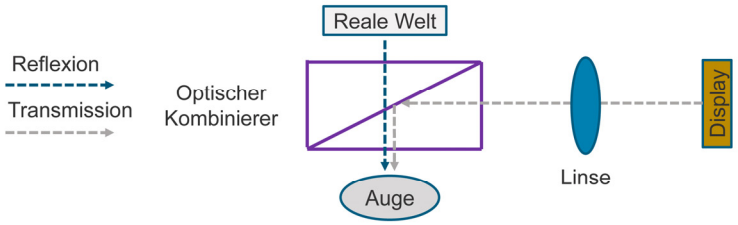


Fakebild einer Datenbrillenausgabe

Reale Datenbrillenausgabe FOV=30°

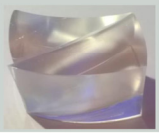
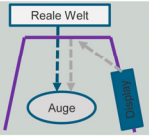
Datenbrillen Eigenschaften

- Abhängigkeiten der Fronthelligkeit
- virtuelle Fronthelligkeit bestimmt der optische Kombinierer
  - Ausführung als Strahlteiler oder Prisma
  - Virtuelle Information vom Display wird zum Auge reflektiert
  - Licht der realen Welt wird zum Auge transmittiert
  - Helle Außenumgebungen → hohe Reflexion, geringe Transmission
  - Dunkle Indoorbereiche → hohe Transmission, geringe Reflexion



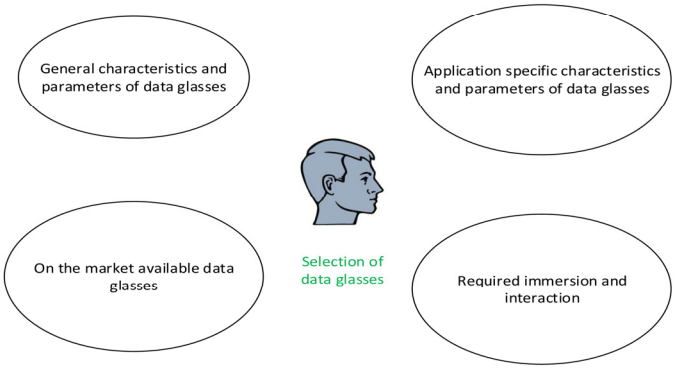
Datenbrillen Eigenschaften

- Ausführungsformen von Optiken

	Klassische Optik	Freiform Optik	Wellenleiter Optik	Projektion-Optik
				
Bauform	Bauraum gemäß der Anforderung	sehr kompakt	sehr dünn	in Brille integrierbar
FOV	skalierbar	fixiert	fixiert und klein	fix, sehr klein
Helligkeit	skalierbar	nicht skalierbar	nicht skalierbar	gering
Bildqualität	sehr gut	gut	mäßig	schlecht

Stand der Technik

- Auswahl der Datenbrille



Stand der Technik

- Aktuell 2 Systemkonzepte am Markt

Smart Glasses

High immersive glasses

Stand der Technik - Smart glasses

- Charakterisierung
  - Lesebrille als Grundgestell
  - Fest integrierter Prozessor
  - Stromversorgung am Brillengestell
  - Integrierte Projektionsoptik
  - Eingebaute Sensoren wie Kamera, Mikrofon etc.

Stand der Technik - Smart glasses

- Probleme
  - Nicht geeignet für Brillenträger
  - Fest integrierter Prozessor
  - Treiberprobleme für veraltete Hardware
  - Betriebssysteme oft nicht updatefähig (z.B. Android Versionen)

Stand der Technik - High immersive glasses

- Charakterisierung
  - Großes Field of View
  - 3D-Ausgabe
  - 3D-Sensoren
  - 3D-Interaktion
  - Hohe Rechenleistung
  - Lange Betriebszeit

Stand der Technik - High immersive glasses

- Probleme
  - Kann ein Nutzer einen 8h Arbeitstag so eine Immersion ohne gesundheitliche Folgen durchstehen
  - Begrenzte Sicht auf die reale Umgebung
    - Hohe Sturzgefahr
  - 3D-Sensoren
- Vorteile
  - Gut geeignet für Konstrukteure
  - Einsatz auf Messen zur AR-Präsentation neuer Produkte

Stand der Technik - Problems on the market

- Der Datenbrillenmarkt ist sehr kompliziert
- Große Firmen haben versagt
  - Google arbeitet nur noch heimlich im Enterprisemarkt
  - Intel hat kompletten Datenbrillen-Geschäftsbereich eingestellt
  - DAQRI → Produktionsstop (275 Millionen $ Förderung verloren)
  - ODG → Betrieb eingestellt (75 Millionen $ Förderung verloren)
  - Meta → hat die Produktion eingestellt und wurde aufgekauft
  - seit 2006 versucht Brother eine Datenbrille am Markt zu platzieren

Modulare Datenbrille - Konzeption

- Bottom-Up skalierbar
  - Nutzer sollte die Datenbrillenhardware für seine Anwendung konfigurieren können
- modulare Komponenten sollten an verschiedene Träger montiert werden
  - Kopfbänder
  - Schutzhelme
  - Stoßkappen
  - Schutzbrillen …

Modulare Datenbrille – System Konzeption

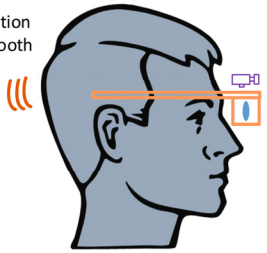
Acess-Point
Connection to WWW
e.g. Remote support, data exchange

Wireless connection
E.g. WIFI / Bluetooth

Mobile application server

Connection to all wireless input an output devices

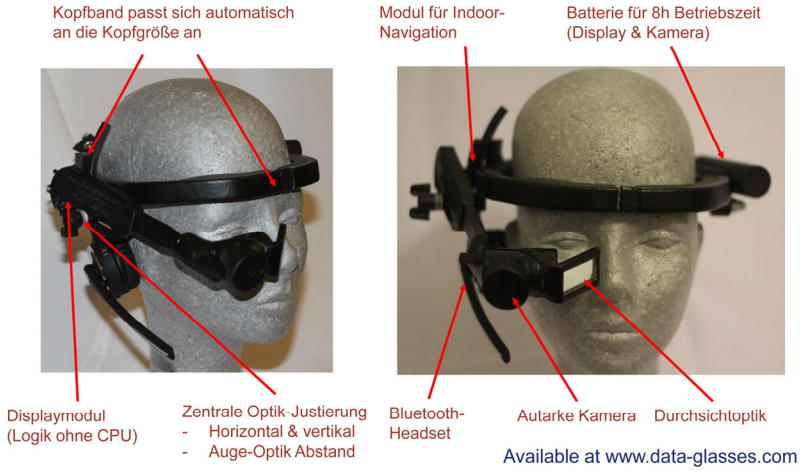
Data processing



-only projection unit without processor
- Wireless camera modul
- Power consumption

User-interface
e.g. smartwatch, data glove, bluetooth switch ...

Konfiguration für den Logistikbereich



Available at www.data-glasses.com

Modulare Datenbrille - Baukastensystem

Schutzbrille Slim optics

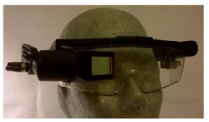
Kopfband slim optics

Gesis Helmet Glass

Stoßkappe

Gesis Helmet Glass Feuerwehrhelm

Schutzbrille über Lesebrille



Schutzbrille über Lesebrille

Available at www.data-glasses.com

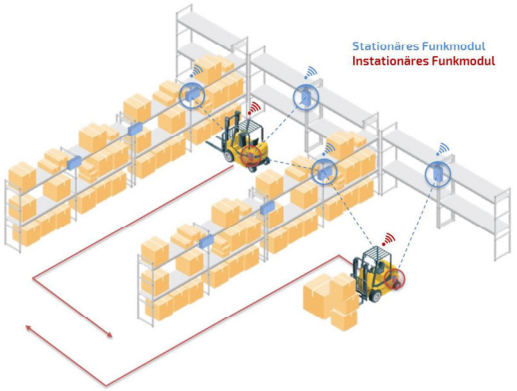
Funktechnologien Indoor-Ortung

Motivation

- Ortung oder Tracking von Transport-Fahrzeugen, Personen (anonym) oder hochwertigen Gütern

Funk-Techniken

- Indoor
  - WLAN
  - Bluetooth
  - UWB
  - 5G (zukünftig)
- Outdoor
  - GPS
  - 5G (zukünftig)



Herausforderungen

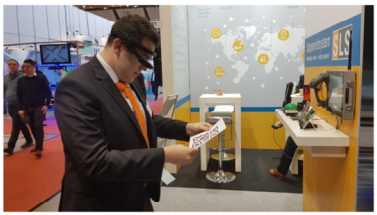
- Objektanzahl
- Ortungs-Genauigkeit
- Autonomie
- Bewegungstrajektorie
- Energie-Effizienz
- Wartung

05.12.2019 Dr.-Ing. Michael Kämpf

Augmented Reality (Intralogistik)

Augmented Reality

- Erweiterte Realität - computergestützte Erweiterung der Realitätswahrnehmung
- Überblendung von virtuellen Informationen auf reale Bilder
- Technologien:
  - Mobile Endgeräte
  - Datenbrillen (See-Through)



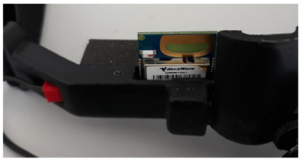
Augmented Reality

- Beispiel: Inventur

Beispielszenario

Vorgehensweise

- Erweiterung der Datenbrille um mobilen Ortungs-Tag

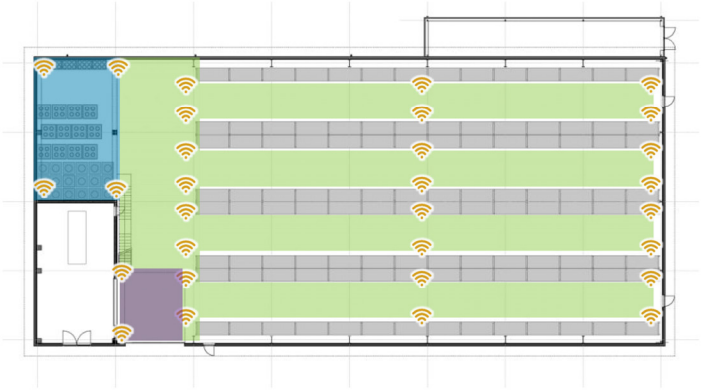


- Planung der stationären Ortungs-

- Entwicklung der mobilen App zur Kommunikation mit Datenbrille und Ortungssystem

Kombination AR und Ortung

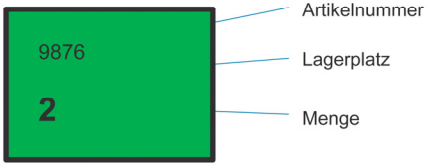
- Erzeugung von einer virtuellen Karte für mögliche Bewegungsbereiche



Kombination AR und Ortung

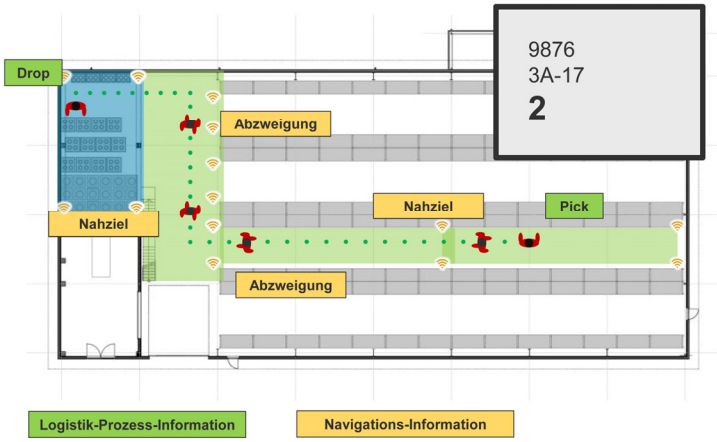
- Navigations-Informationen
  - Aktionen und Entfernungen
  - Gefahren-Situationen

- Logistik-Prozess-Informationen
  - Handlungs-Anweisungen
  - Erfolg / Misserfolg



Kombination AR und Ortung

- Beispiel-Szenario



05.12.2019 Dr.-Ing. Michael Kämpf

Westsächsische Hochschule Zwickau
University of Applied Sciences

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Rigo Herold

Westsächsische Hochschule Zwickau
Fakultät Elektrotechnik
Dr.-Friedrichs-Ring 2a
08056 Zwickau

E-Mail: rigo.herold@fh-zwickau.de
Telefon: +49 (0) 375 / 536 -1443
Fax: +49 (0) 375 / 536 -1403

Dr.-Ing. Michael Kämpf

iFD Gmbh
Schulstraße 38
09125 Chemnitz

E-Mail: dr.kaempf@ifd-gmbh.com
Telefon: +49 (0) 371 / 53880 - 48
Fax: +49 (0) 371 / 53880 - 90

Reproduzierbare Analyse von VR-Sessions

Dr.-Ing. Ulrich Häfner

IMSYS GmbH & Co. KG, 71229 Leonberg

Abstract

Die vielfältigen Möglichkeiten der VR sind unbestritten und werden zunehmend in Engineering und Vertriebs-Prozessen eingesetzt. Die Herausforderung ist, aus den VR-Sessions reproduzierbare und dokumentierte Ergebnisse zu erhalten, aus denen sich wiederum objektive und nachhaltige Ergebnisse für den Produktions- oder Vertriebsprozess ableiten lassen. Diese objektiven Ergebnisse stellen einen signifikanten Mehrwert für die Nutzung der VR-Technologie dar, da sie objektive, vergleichbare und reproduzierbare Ergebnisse darstellen. Die VR-Session ist dokumentiert und lässt sich über den Prozess der Produktentwicklung oder des Vertriebs wiederholbar nachvollziehen und fortschreiben.

1 Einleitung

1.1 Motivation und Zielsetzung

Bei immersiven Umgebungen stellt das Eintauchen in die künstliche Welt den Mehrwert für den individuellen Anwender dar. Spiele werden sehr realitätsnah erlebt, Konstruktionen und komplexe geometrische Zusammenhänge werden für den Laien verständlich. Die Gesetzte der Schwerkraft sind aufgehoben und tonnenschwere Bauteile lassen sich auf einfache Weise bewegen und verändern.

Die aktuellen Technologien ermöglichen das Zusehen und Mitarbeiten über das Netzwerk hinweg; virtuelle Meetings sind möglich und finden durch den Einsatz von Head Mounted Displays (HMD) zunehmend Anwendungen im industriellen Umfeld.

Vergleichbar mit den klassischen Methoden der Konferenzgestaltung und Ergebnisdokumentation steigt der Bedarf und die Notwendigkeit Ergebnisse aus einem virtuellen Meeting oder einer virtuellen Begutachtung reproduzieren zu können. Der für den Individualisten erkennbare Mehrwert muss objektivierbar werden und für unbeteiligte nachvollziehbar werden. Dies ersetzt nicht das individuelle Training, sondern ergänzt das subjektive Training durch vorab aufgezeichnet Abläufe auf der Basis bereits erarbeiteter Erkenntnisse.

Ein Schwerpunkt bei den Überlegungen für dieses Projekt lag in der Nutzung möglichst unabhängiger Werkzeuge um flexibel auf mögliche Anforderungen aus der Praxis reagieren zu können. Nach Möglichkeit sollte auf die Programmierung von Softwarewerkzeugen verzichtet werden.

1.2 Vorstellung der Firma IMSYS GmbH & Co. KG

Die Leonberger IMSYS GmbH & Co. KG ist Spezialist für Virtual Reality und Visualisierungs-Gesamtlösungen. Kunden von IMSYS nutzen unsere Lösungen für die Optimierung ihrer gesamten Produktentwicklung von Design und Marketing bis hin zu Service und Wartung. Die Lösungen von IMSYS verbinden dabei neueste technologische Erkenntnisse mit einem hohen Anspruch an Funktionalität, Benutzerfreundlichkeit und Design für den Aufbau effizienter und anwendungsorientierter Visualisierungsumgebungen.

Bild 1: VR-Arbeitsumgebung im Packaging Valley, Schwäbisch Hall

Wir verbinden Menschen in intelligenten, digitalen Arbeitsumgebungen. Wir vernetzen Ihre Informationsarchitektur und ermöglichen barrierefreie Kommunikation und Kollaboration. Unser Expertenteam begleitet Sie von der Entwicklung einer Strategie über die sukzessive Einführung audiovisueller Medien bis zur Begleitung und fachgerechten Einweisung Ihres Teams in die nachhaltige Nutzung digitaler Medien.

Als Gesamtlösungsanbieter verfügt IMSYS über eine hohe technologische Kompetenz, berät seine Kunden in allen Fragen der Planungs-, Installations- oder Einführungsphase und übernimmt den Betrieb und die Wartung bestehender Anlagen

2 Analyse der Bedienung einer VR-Session

Die klassischen Dokumentationsmedien wie Benutzungshandbücher und Schulungsunterlagen werden zunehmend ersetzt durch die Anwendung von Video-Tutorials oder Hilfsassistenzen (App), die den Anwender begleiten und schulen. Dabei steht das Selbststudium immer mehr im Vordergrund. Technisch gesehen gibt es jede Menge Software Werkzeuge, mit denen der Desktop und die Mausinteraktionen aufgenommen und kommentiert werden können.

Übertragen auf immersive Anwendungen ist es erforderlich die Interaktionsmöglichkeiten zu analysieren.

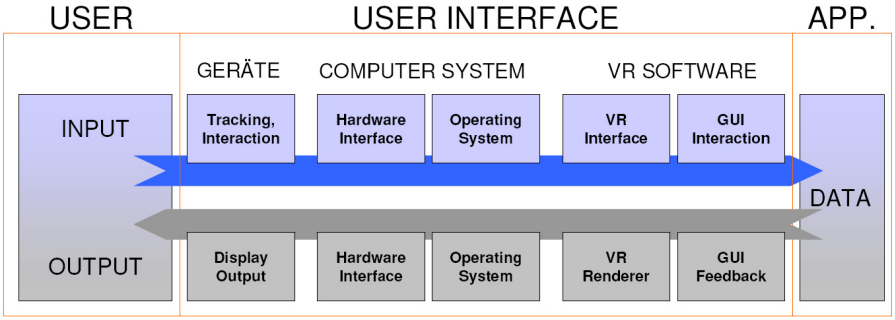


Bild 2: System-Modell Immersives System

Für die Interaktion mit einem Immersiven System stehen folgende Daten zur Verfügung:

- Tracking-Daten z.B. Kopf, Interaktionsgerät, zusätzliche Marker
- Button-Events für das Aufrufen von Funktions-Menüs, Navigation und Interaktion mit den dargestellten Objekten
- Posture-Daten im Falle Ganzkörper-Analyse oder Datenhandschuhe

Technisch gesehen reduziert sich die Immersion des Benutzers auf die Sensordaten aus Tracking, Buttonevents und ggfs. zusätzlichen Eingabedaten. Die sich anschließende Computing Schleife wird ausschließlich durch diese Daten angetrieben. Für das Abspielen eines einmal durchgeführten Ablaufs, reicht es also aus, die Sensordaten aufzuzeichnen und einen Weg zu finden, diese Daten erneut dem System zuzuführen.

Eine Vielzahl der Installationen beinhaltet folgende Hardware-Komponenten:

- ART-Tracking System (z.B.: Smartrack, Atrack-2, Atrack TP/E, Atrack-5)

- ART Flystick
- Weitere ART Targets

Die erste Lösung konzentriert sich also auf das Aufnehmen der Tracking- und Interaktionsdaten eines ART-Trackingsystems.

3 Die technische Lösung

Technisch betrachtet werden die Tracking- und Interaktionsdaten bei einem ART-System per Netzwerk an den Rechner übertragen, der die Daten auswertet. Die Kenndaten hierfür sind:

- Übertragungsprotokoll UDP
- Übertragung per Broadcast oder einzeln konfigurierbare UDP-Port ist möglich (z.B. üblich UDP port 5000)
- Lesbares ASCII-Protokoll

3.1 Dtrack Software Recorder

Es gibt ein Software Werkzeug (DTrack-Recorder [1]) der Firma A.R.T. mit der die Trackingdaten direkt aufgenommen und abgespielt werden können.

Der DTrack Recorder kann auf einem zusätzlichen Rechner oder auf dem Bedienrechner eingesetzt werden. Das Tracking-System wird so konfiguriert, dass ein zweiter Channel auf einem weiteren UDP-Port die Daten an den Rechner schickt.

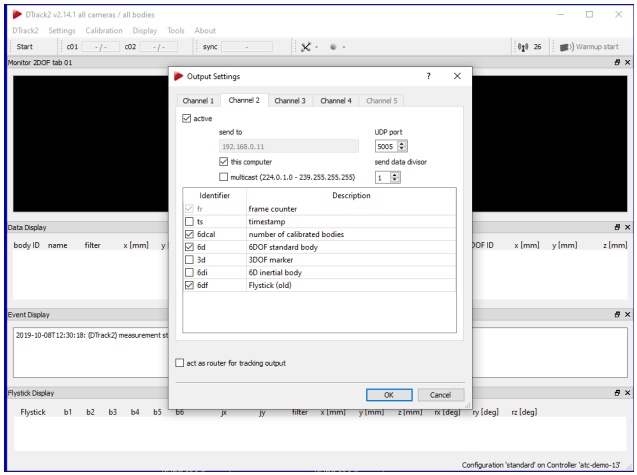


Bild 3: Einstellungen für den 2. Channel im DTrack2 System auf Port 5005

Der DTrack2 Recorder zeichnet die Daten des ART-Systems auf, sobald der Record Taster ausgelöst wird.

Zum Abspielen wird der Recorder imn Play Modus betrieben, schickt die Daten allerdings auf den Port 5000. Das Dtrack-2 System wird gestoppt, so dass keine Real-Messdaten die gespeicherten Messdaten überlagern.

Die Anwendungssoftware muss weder beendet noch neu gestartet werden.

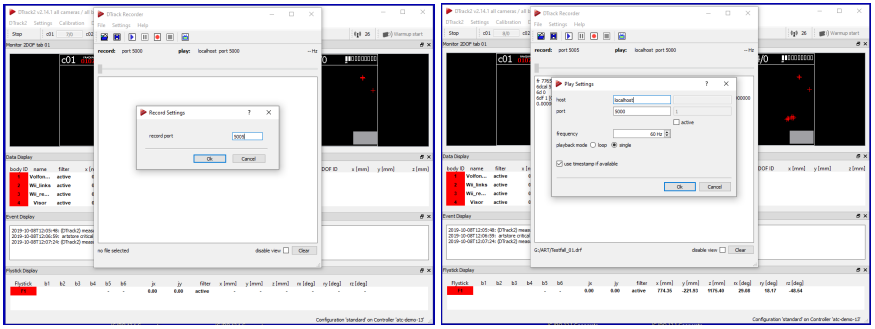


Bild 4: Einstellungen für den DTrack Recorder du Player auf Port 500 bzw. 5005

3.2 Alternative Aufzeichnungswerkzeuge

Alternativ zu der vorgestellten Methode mit Dtrack können die Rohdaten der Sensorik auch mit Hilfe von netcat [2] bzw. dem Modul vrpn [3] durchgeführt werden. Die Anwendung ist etwas komplexer, aber flexibel für die unterstützten Tracking- und Interaktionssysteme möglich.

4 Der Nutzen für den Anwender und die internen Prozesse

Die nachfolgend aufgeführten Anwendungsszenarien zeigen Beispiele auf und sollen ermutigen, diese Methodik im individuellen Umfeld einzusetzen und eigene Erfahrungen zu sammeln.

4.1 Reproduzierbarkeit

Zuschauen beim Durchgeführten Ablauf, Anhalten und Eingreifen, Dokumentation im PLM-System

4.1.1 Usecase Dokumentation eines virtuellen Montageablaufs

Bei dem virtuellen Montageablauf werden die Daten aufgezeichnet und im Nachgang von dem Team überprüft. Sobald ein kritischer Punkt erneut erreicht ist, kann der Anwender an dieser Stelle wieder interaktiv eingreifen und einen neuen oder veränderten Ablauf erproben.

Die Dokumentation ist Benutzerunabhängig und so kann der Ablauf auch einer anderen Person zu einem anderen Zeitpunkt vorgelegt werden. Die Dokumentation ist kein Video, der Anwender kann zu jedem Zeitpunkt individuell eingreifen. Sobald das Kopftracking aktiviert ist, taucht er in die entsprechende Szene ein und verfügt ab diesem Moment über die korrekte perspektivische Darstellung der Szene.

4.1.2 Usecase Übertragen auf eine andere immersive Konfiguration

Generell unterscheiden sich die gemessenen Interaktionsdaten je nach immersiver Konfiguration. So sind die aufgenommenen Interaktionsdaten in einer CAVE unterschiedlich zu den Interaktionsdaten an einer Powerwall.

Eine genaue Analyse wo die Unterschiede verschiedener immersiver Systeme liegen, führt zu folgendem Ergebnis.

- Anzahl und Anordnung der Projektionsflächen
- Auflösung der Projektoren
- Aufteilung der Berechnungsaufgaben (Anzahl der Renderclients)
- Einmessung und Festlegung des Tracking-Systems
- Koordinatenursprung und Lage des Koordinatensystems

In den untersuchten VR-Systemen (IC.IDO, Teamcenter, MiddleVR, Catia) wird die Konfiguration des Displaysystems und die Konfiguration des Trackingsystems je nach immersivem System konfiguriert und abgelegt. Die eigentlichen Messdaten werden als Rohdaten verarbeitet.

Werden also die Rohdaten des Tracking- und Interaktionssystems aufgezeichnet und ist der Nullpunkt bzw. die Lage des Koordinatensystems identisch, so können die aufgezeichneten Trackingdaten unabhängig vom eingesetzten Displaysystem (Powerwall, CAVE) abgespielt und begutachtet werden.

Die Methode ermöglicht damit:

- Aufzeichnen des Ablaufs an einer CAVE (z.B. Firmenzentrale)
- Abspielen auf einer Powerwall (z.B. Produktion, entfernter Standort, Zulieferer)

Wie in jedem anderen Szenario kann das interaktive Arbeiten jederzeit aktiviert werden. (Sofern an jedem Standort ein getracktes VR-System mit der gleichen Software vorhanden ist).

Falls die Koordinatensysteme der Standorte sich voneinander unterscheiden (Nullpunkt und Lage des Koordinatensystems) können die Rohdaten durch eine Matritzenoperation (Rotatiosmatrix und Offset) ineinander überführt werden. Der hierfür erforderliche Programmieraufwand ist überschaubar und kann individuell vorgenommen werden.

4.1.3 Usecase Übertragen der Rohdaten auf andere Softwaresysteme

Theoretisch ist die Methode auch dafür geeignet, die aufgezeichneten Rohdaten einem anderen VR-Softwaresystem zuzuführen. So ist es z.B. denkbar einen Navigationspfad in IC.IDO aufzuzeichnen und in VRED abzuspielen. Hierfür müssen die Trackingdaten durch die oben beschriebenen Matritzenoperationen ineinander überführt werden, zusätzlich müssen die Funktionsaufrufe (Buttonevents) in das jeweilige Zielsystem über eine Lookup-Tabelle übersetzt werden.

Es bleibt dem Anwender überlassen, ob der hierfür erforderliche Aufwand gerechtfertigt ist.

4.2 Fehleranalyse und Performance Tests

Gerade bei Systemen mit hoher Komplexität (Funktionsumfang der Software, Anzahl der Rechner, hohem Datenaufkommen) kann es zu Softwareproblemen kommen, die nicht reproduzierbar sind, sondern sporadisch und manchmal auch nur im Zusammenhang mit einem speziellen immersiven System auftreten. Die Methode ermöglicht dann das Aufzeichnen und wiederholt Abspielen einer solchen Situation und trägt damit dazu bei, den Fehler einzugrenzen und idealerweise auch komplett zu beheben.

Durch dieses maschinell endlos ablaufende Prüfverfahren können ebenfalls Speicherverläufe und Speicherprobleme über die Zeit nachgestellt und analysiert werden.

Für die effiziente Nutzung von immersiven Systemen ist die Gesamtperformance von großer Bedeutung. So werden z.B. Messepräsentationen auf einem Kundensystem vorbereitet und sollen dann auf einem speziellen System auf der Messe abgespielt werden. Diese Methode ermöglicht es, den Ablauf einer Session reproduzierbar zu überprüfen und objektiv zu beurteilen.

Darüber hinaus können GPU- und Treiber Updates hinsichtlich Stabilität und Performance objektiv überprüft werden.

4.3 Aufzeichnen von HMD-Sessions

Das Aufzeichnen von HMD Sessions ist theoretisch ebenfalls möglich, stellt aber zusätzliche Herausforderungen dar. Die hier zu berücksichtigenden Randbedingungen werden im Folgenden erläutert:

Das Kopftracking darf beim HMD nicht abgeschaltet werden, die vollständige Immersion des Betrachters erfordert ein lückenloses Erfassen der individuellen Kopfbewegung (HTC Lighthouse Tracking, Inside/Out Tracking, und andere)

Dennoch ist es möglich die Interaktionsdaten aufzuzeichnen und z.B. eine Kooperate Session zu starten, bei der der individuelle Betrachter einem virtuellen Benutzer über die Schulter schaut. D.h. die aufgezeichneten Daten werden auf einem zweiten System zugespielt, der individuelle Betrachter schaut über eine Netzwerkverbindung dem virtuellen Benutzer zu und kann so den eigentlichen Ablauf erlernen.

Dieser Anwendungsfall kann mit folgenden Softwarepaketen durchgeführt werden:

- IC.IDO Cooperate
- Siemens Teamcenter

Andere Softwarepakete können auf ihre Eignung hin analysiert werden.

5 Ausblick

Generell können die Interaktionsdaten von immersiven Systemen ausgelesen und protokolliert werden. Die Methode ist auch auf HMD Systeme übertragbar, erfordert hierfür zusätzlichen Analyse und Programmieraufwand, da zumindest die Kopfdaten durch reale Sensordaten ersetzt werden müssen. Hierfür muss ein Mischer aus realen und aufgezeichneten Interaktionsdaten realisiert werden.

Literaturangaben

[1] https://ar-tracking.com/support/software/

[2] https://de.wikipedia.org/wiki/Netcat

[3] http://vrpn.org/logging-and-playing-back-a-connection/

VR-gestütztes Closed-Loop-Engineering für schnelle Rekonfigurationsprozesse im Anlagenbau

Bender, J.[1]; Deckers (geb. Dücker), J.[1]; Kirsch, L.[2]; Ovtcharova, J.[3]

[1] FZI Forschungszentrum Informatik, Process and Data Management in Engineering

[2] CONTACT Software GmbH

[3] Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Informationsmanagement in Ingenieurwesen

Abstract

In dieser Veröffentlichung wird ein Closed-Loop-Engineering Ansatz für die schnelle Rekonfiguration von Produktionsanlagen unter Zuhilfenahme von Virtual Reality vorgestellt (VR). Dabei wird auf Technologien aus den Bereichen IoT, Digitaler Zwilling, Produktionsplanung und -steuerung sowie VR zurückgegriffen. Anhand des Beispiels einer Abfüllanlage mit eigenem Digitalem Zwilling wird gezeigt, wie Fabriklayouts, sowie Maschinenkonfigurationen und -positionen in VR angepasst und mithilfe einer holistischen Prozesssimulation virtuell in Betrieb genommen werden können. Dafür wird die in Unity umgesetzte VR-Simulation mit einem selbstgeschriebenen Manufacturing Execution System (MES) und einer kommerziellen IoT-Plattform gekoppelt. Zusätzlich können reale Maschinen über Ihre Digitalen Zwillinge in das System eingebunden werden. Mithilfe der simulierten und realen Sensordaten lassen sich Analysen auf Fehler und Ineffizienzen durchführen. Lösungen für so identifizierte Probleme können durch Rekonfiguration und erneute Simulation in VR zeitnah validiert werden. Diese Kopplung von leichtgewichtiger Prozesssimulation in VR mit einem MES und einer kommerziellen IoT-Plattform birgt große Potentiale im Anlagenbau.

1 Einleitung

Die produzierende Industrie steht zunehmend komplexeren Kundenanforderungen gegenüber, besonders hinsichtlich der steigenden Produktindividualisierung und durch die Verkürzung der Lieferzeiten. Gleichzeitig sinken die Losgrößen während sich die Produktion auf volatile Nachfragen und hochgradig konfigurierbare Produkte einstellen muss. Diese Umstände stellen signifikante Herausforderungen für

Produktionsingenieure und Prozessplaner dar. Eine Möglichkeit, diese Herausforderungen abzuschwächen ist der Einsatz von Methoden aus dem Bereich Virtual Reality (VR). VR ermöglicht eine Simulationsumgebung, um auf Basis von Internet-of-Things-Lösungen (IoT) Produktions- und Prozessoptimierungen durchzuführen. Somit kann eine geschlossene Engineeringprozesskette (Closed-Loop-Engineering) für die Digitale Fabrik etabliert werden.

Dabei kommt VR nicht nur als Visualisierungsmedium zum Einsatz. In der Praxis wird es zur Kollaboration eingesetzt, d.h. zur Schaffung eines gemeinsamen Verständnisses verschiedener Fachbereiche, um auf Basis einer fundierten Entscheidungsgrundlage zusammenzuarbeiten. Eine verbreitete Virtual-Engineering-Methode ist das VR-gestützte Design Review im Produktentwicklungsprozess. Die Vorteile des Einsatzes von VR lassen sich auch auf die Optimierung von Prozessen übertragen. Beim Closed-Loop-Engineering fließen heterogene Informationen aus verschiedenen Lebenszyklen zusammen. In dieser Veröffentlichung wird die Optimierung einer Produktionsanlage durch eine Rekonfiguration mittels Closed-Loop-Engineering näher beleuchtet.

2 Der Prozessablauf bei Closed-Loop-Engineering

Dieser Abschnitt gibt eine kurze Einführung in die allgemeinen Ideen hinter dem Closed-Loop-Engineering-Ansatz auf Basis eines Digitalen Zwillings, wie ursprünglich beschrieben in [2]. Bild 1 zeigt hierzu den grundlegenden Ablauf am Beispiel einer bestehenden Anlage. Die linke Seite der Abbildung beschreibt einen möglichen Fehlerfall im Realbetrieb der Produktion. Darauf aufbauend umfasst die rechte Seite die notwendigen Schritte bei der Problemlösung mittels einer Anlagenrekonfiguration.

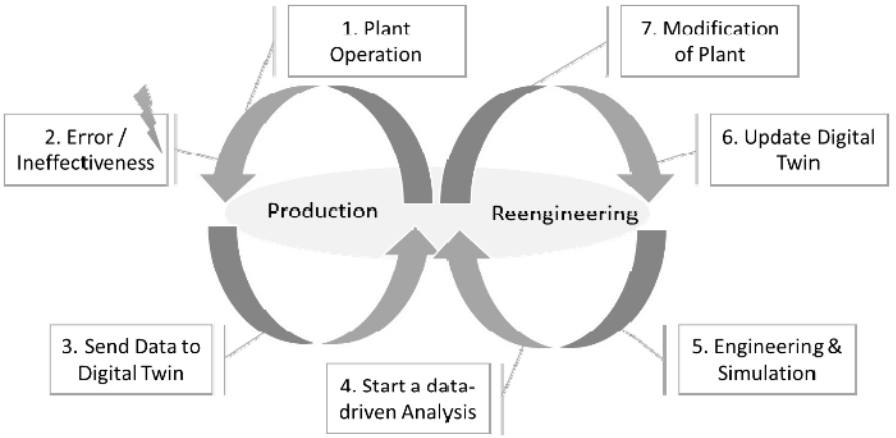


Bild 1: Systematisches Vorgehen im Closed-Loop-Engineering. [2]

Im Folgenden wird der “Closed-Loop” näher erläutert. Es wird eine laufende Produktionslinie betrachtet (1). Während der Produktion kommt es zu einem Fehlerfall (2). Dieser umfasst beispielsweise den Ausfall einer Maschine in der Anlage. Es kann aber auch zu einem verminderten Durchsatz kommen, welcher als Ineffizienz gewertet wird. Die Ursache dafür ist nicht direkt ersichtlich. Mögliche Gründe können Änderungen im Produktionsprozess, Verschleiß an den Maschinen oder ein bereits existierender Planungsfehler der Produktionslinie sein.

Bei einer idealtypischen Integration eines digitalen Fabrik-Zwillings in einer Produktion werden alle erfassten Daten stetig weitergeleitet (3). Diese umfassen nicht nur Fehlerfälle, sondern auch Maschinen-, Auftrags- und Umgebungsdaten. So ist die Analyse des Problems ohne größere Verzögerungen möglich (4). In Bild 1 befinden wir uns nun auf der rechten Seite.

Die Identifizierung der Ursache mittels des Digitalen Zwillings ermöglicht das Lösen des Problems durch eine Umplanung der Anlage bzw. des Produktionsprozesses. Diese Engineering-Änderungen werden durch Simulationen validiert, d.h. mit Methoden der virtuellen Inbetriebnahme (5). Sobald eine passende Lösung gefunden wurde, wird sie erst in den Digitalen Zwilling überführt (6) und anschließend in der realen Produktionslinie (7) umgesetzt.

Der Einsatz von Virtual Reality unterstützt hierbei die Analyse des Fehlerfalls (4), die Umplanung mithilfe von Simulationsmodellen sowie die Validierung des gesamten optimierten Produktionsprozesses (5). Auf diese Teilaspekte des Closed-Loop-Engineering-Prozesses wird im Folgenden eingegangen. Zunächst schlagen wir jedoch den Bogen über eine der Schlüsseltechnologien, auf die sich diese Arbeit stützt, den Digitalen Zwilling.

3 Stand der Technik: Digitaler Zwilling

Nach Kuhn [5] ist ein Digitaler Zwilling eine digitale Darstellung eines realen Objekts. In der Domäne Produktion können Digitale Zwillinge von unterschiedlichen Granularitäten erstellt werden: vom Sensor über eine Maschine oder ein Produkt bis hin zu einer ganzen Produktionslinie oder Fabrik. Der Digitale Zwilling ist nicht einmal an die Existenz seines realen Gegenstücks gebunden. Im Falle eines Produkts oder einer Maschine in der Entwicklung kann der Digitale Zwilling lange vor der Produktion des realen Objekts erstellt werden. Er kann über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg genutzt werden, um Daten zu sammeln und bereitzustellen. Diese Daten können CAD-Modelle, Parameter und Konfigurationen, Metadaten, Verhaltensmodelle und Zustandsinformationen wie den Maschinenzustand umfassen. Weiterhin ermöglicht der Digitale Zwilling Benutzern in verschiedenen Rollen, die digitale Repräsentation des realen Objekts aus unterschiedlichen Perspektiven zu betrachten und mit ihr zu interagieren, ohne das Objekt selbst zu beeinflussen.

Bereits in der frühen Konstruktionsphase einer Maschine wird ein Digitaler Master erstellt, der überwiegend CAD-Daten, Metadaten und Parameter enthält. Dieser wird in der Planungsphase in ein Layout mit anderen Maschinen eingebettet, was zum Digitalen Master einer Produktionslinie oder eines Produktionszentrums führt. Zu Beginn der Produktionsphase wird der eigentliche Digitale Zwilling aus dem Digitalen Master durch die Bereitstellung der realen Objekte abgeleitet. Der Digitale Zwilling erbt dann die Informationen seines Masters und ergänzt sie mit Informationen, die zur Laufzeit empfangen werden, wie Sensordaten oder Daten über den Zustand der Produktionslinie. Es kann eine Vielzahl von Digitalen Zwillingen geben, die von einem einzelnen Digitalen Master abgeleitet sind. Darüber hinaus können die Digitalen Zwillinge vollständig simuliert oder mit realen Daten versorgt werden.

Der Digitale Zwilling erfüllt dabei keinen reinen Selbstzweck, sondern dient als Grundlage für die Digitale Fabrik nach unserem Verständnis. Ursprünglich als Aggregation verschiedener Planungs- und Simulationsansätze für die Anlagentechnik konzipiert [7], kann die Digitale Fabrik um die Echtzeit- und Realdatenverarbeitungsmöglichkeiten des Digitalen Zwillings erweitert werden. Simulation und Planung sind nur ein Teil des Kreislaufs, der Engineering und Produktion miteinander verbindet. Der andere Teil sind die reale Information und das Wissen, das in der Produktion gesammelt wurde und im Rahmen eines iterativen Entwicklungsprozesses wieder in das Engineering zurückfließt.

Zur Nutzung der Technologien Digitaler Zwilling und Digitale Fabrik im Rahmen der Fabrikplanung und virtuellen Inbetriebnahme wird häufig VR eingesetzt. [10] VR als Medium erlaubt die Anwendung von immersiven und interaktiven Planungsvorgehen. Jedoch wird an bisherigen Lösungen kritisiert, dass die Simulationen und User-Interaktionen offline stattfinden [13].

Darüber hinaus sind in den letzten Jahren zahlreiche akademische und kommerzielle Lösungen entstanden wie taraVRbuilder [16], IPO.Log [9], R3DT [14], Boxplan [15] oder game4automation [8], die sich auf verschiedene Aspekte des Anlagenbaus und der virtuellen Inbetriebnahme in VR bzw. 3D konzentrieren. Beispielsweise verfolgt Häfner [6] einen Ontologie-basierten Ansatz eine virtuelle Fabrik mittels der Open-Source VR-Engine PolyVR intelligent aufzubauen und zu steuern. Choi et al. [3] präsentieren eine umfassende Liste von VR-Anwendungen in der Fertigungsindustrie.

Der in dieser Veröffentlichung vorgestellte Ansatz ist jedoch eng in die bestehende reale Überwachungs- und Steuerungssoftware integriert und stellt somit ein leichtes Werkzeug für Anlagenbauer dar, um die Auswirkungen von Layoutänderungen auf Prozessebene schnell zu simulieren. Im Rahmen des Projekts wurde die kommerzielle Spieleengine Unity [17] eingesetzt. Diese ist vergleichsweise günstig, zugänglich, umgeben von einer großen Community und die mit Unity entwickelten Programme sind auf einer Vielzahl von Plattformen ausführbar.

4 Einsatz des Digitalen Zwillings im Closed-Loop-Engineering mittels Virtual Reality

Wie in Kapitel 2 beschrieben verstehen wir unter Closed-Loop-Engineering die enge Verzahnung von Planungs- und Produktionsphasen durch datengetriebene Simulationsmodelle. Um kurze Iterationszyklen zu garantieren, existiert parallel zur realen Anlage ein virtuelles Abbild. Der hier beschriebene Digitale Zwilling entsteht bereits im Planungsprozess. Die notwendigen Daten stammen aus unterschiedlichen Systemen aus den verschiedenen Ebenen der Automatisierungspyramide. Es folgt eine Aufzählung der relevanten Informationen aus drei abstrahierten Softwaresystemen:

- PLM-System: Produktinformationen (CAD- und Stammdaten), Auftragsinformationen, Lage- und Prozessinformationen der Produktionsressourcen
- Manufacturing Execution System (MES): abhängig von verfügbaren Produktionsressourcen und Produktanforderungen generierte Produktionspläne
- IoT-Plattform: Digitale Master und davon abgeleitet Digitale Zwillinge der Produktionsressourcen, Maschinen- und Umgebungsdaten aus dem Betrieb, Analyseberichte über Ineffizienten

Um eine durchgängige Digitalisierung im Planungsprozess abzubilden, wird im ersten Schritt eine reale Anlage, beschrieben in einer AutomationML-Datei (AML) [1], welche Lage- und Prozessinformationen beinhaltet, aus einem PLM-System in ein domänenspezifisches Modell überführt. Dieses Modell wird genutzt, um in einer kommerziellen IoT-Plattform den Digitalen Master und davon abgeleitet Digitale

Zwillinge der Produktionsressourcen anzulegen und auf das Fabriklayout abgestimmte Produktionspläne zu generieren. Eine Produktionsressource wird dabei nicht nur durch die Geometrie und den Standort beschrieben, sondern ebenfalls durch ihre Fähigkeiten. Im Laufe der Simulation zeichnet das System Sensor- und Maschinendaten auf, welche den Digitalen Zwillingen zugeführt werden. Basierend auf der automatisierten Analyse der Sensordaten durch die IoT-Plattform werden Ineffizienzen und potentielle Fehler im Layout identifiziert. Mit einem intuitiven Versuchsansatz können wir das Fabriklayout schnell rekonfigurieren. Die angehängte VR-Echtzeitsimulation stellt eine umgehende Validierung der Layoutänderungen sicher. Abschließend wird die optimierte Version des initialen Layouts via AML in das PLM-System zurückgeführt, um für die Implementierung in der echten Anlage zu dienen.

Besonderheit bei der Echtzeitsimulation ist, dass sie nicht nur in regulärem 3D am Monitor, sondern auch auf anderen VR-Systemen wie CAVEs oder Powerwalls lauffähig ist. Insbesondere die VR-Simulation birgt große Potentiale. So können sich Anwender frei innerhalb der Szene bewegen und Objekte von allen Seiten betrachten und manipulieren. Im Rahmen der virtuellen Inbetriebnahme und damit auch in unserem Konzept des Closed-Loop-Engineering können beispielsweise Fehlerfälle aus der Realanlage in VR simuliert und durch den Anwender direkt analysiert werden. Dazu werden die Realdaten, die im Digitalen Zwilling während der Produktion aggregiert wurden, in die VR-Simulation übertragen und dort zur Nachstellung des Fehlerfalls genutzt. Darüber hinaus wird nicht nur eine Entscheidungsgrundlage für mögliche Änderungen geschaffen, zusätzlich wird auch eine Validierung von unterschiedlichen Rekonfigurationen im Kontext des Digitalen Zwillings möglich. Gleichzeitig können mit dem Digitalen Zwilling der virtuellen Maschinen aus der Simulation wieder Daten zu Analyse- und Validierungszwecken generiert werden.

5 Prototypische Implementierung anhand einer Abfüllanlage

Zur Überprüfung des Konzepts wurde ein echtzeitfähiger VR-Demonstrator in der Unity Spieleengine [17] entwickelt. Dieser nutzt die CONTACT CIM Database PLM-Lösung sowie die Elements for IoT Plattform [4] in Kombination mit einem vom FZI in Java geschriebenen webbasierten Produktionsprozessplaner und Manufacturing Execution System (MES). Der Anwendungsfall umfasst eine Abfüllanlage, in der Flaschen von einer Füllmaschine gefüllt und dann durch Roboterarme mit mehreren Werkzeugen verschlossen, graviert und verpackt werden. Kundenbestellungen sind anpassbar und können variable Mengen, verschiedene Flaschendesigns und Flüssigkeiten sowie eigene Gravuren definieren. Durch die Möglichkeit der Produktindi-

vidualisierung verkomplizieren sich Produktionsplanung und -ausführung und das MES ist gezwungen, sich an eine Reihe unterschiedlicher und nicht vorhersehbarer Konstellationen anzupassen. Die Teilmenge des im Demonstrator simulierten Produktionsprozesses läuft vollautomatisiert ab. Bild 2 zeigt den Aufbau des Testszenarios.

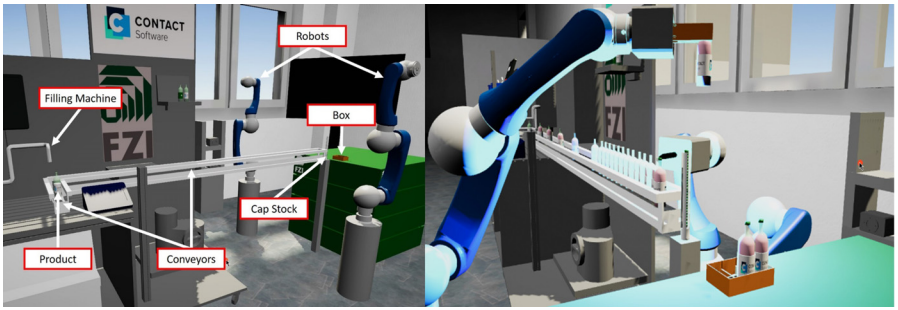


Bild 2: Aufbau des virtuellen Testszenarios einer Abfüllanlage in Unity [2]

Das Testszenario besteht aus einer Abfüllanlage, zwei Förderbändern, bis zu zwei Roboterarme, ein Deckellager sowie Kisten, in die die Flaschen verpackt werden. Das System generiert laufend Sensordaten z.B. zu Durchfluss, Gewicht auf den Förderern und an den Greifern, die Winkelstellungen der Roboterarme und den Gesamtdurchsatz der Anlage. Diese Daten werden in engen Intervallen an den Digitalen Zwilling der Produktionsstraße gesendet. Zusätzlich beeinflussen sie die Planung und Abarbeitung der Produktionsaufträge. So können bspw. über das Überladen des Förderbandes Warnungen oder Fehler, bis hin zum Stillstand der Anlage, provoziert werden. Darüber hinaus passt sich das MES zur Laufzeit an die jeweilige Roboterkonfiguration an. Besitzt ein Roboter nicht alle benötigten Werkzeuge oder wird ganz entfernt, bspw. aufgrund von Wartungsarbeiten, versucht das System, die jeweiligen Aufgaben auf den anderen Roboter umzulegen.

Im Testszenario lassen sich einfache Rekonfigurationen vornehmen, wie zum Beispiel das Einfügen, Entfernen oder Repositionieren der Roboterarme. Die Simulation passt sich automatisch an die Layoutänderungen an. Aus der Menge an möglichen Bestellparametern und Layoutkonfigurationen ergibt sich ein komplexes Gesamtmodell. Zusätzlich existiert die im Demonstrator genutzte Abfüllmaschine als Realmaschine. Somit kann die Abfüllanlage aus der echten Welt um ihren Digitalen Zwilling sowie zusätzliche rein virtuelle Maschinen in VR augmentiert werden. Das erlaubt die Anwendung von Methoden aus den Bereichen virtuelle Inbetriebnahme und Prozessvalidierung.

Der Demonstrator dient im Wesentlichen als Testumgebung zur Entwicklung von Konzepten und Algorithmen und zum Transfer von Forschungsergebnissen in Industrie, insbesondere auch für KMU. Sowohl der Demonstrator als auch die ihm

zugrundeliegende Konzeptarbeit unterliegen noch weiterer Forschung und Entwicklung, sodass eine abschließende Bewertung an dieser Stelle nicht möglich ist. Wie Bild 3 zeigt, wurde der Demonstrator schon mehrfach auf Messen und Veranstaltungen der Öffentlichkeit sowie Industriekontakten präsentiert. Die Reaktionen waren insgesamt positiv, da komplexe Produktionsprozesse mithilfe von VR in einem immersiven Format dargestellt werden konnten. Dabei liegt der Fokus nicht auf einer physikalisch genauen Simulation, welches das Ziel von vielen kommerziellen Softwarewerkzeugen ist, sondern auf einer holistischen Prozesssimulation.

Bild 3: Besucher testen VR- und Monitorversionen des Demonstrators auf der Hannover Messe 2019 sowie im FZI House of Living Labs

Die Implementierungen weiterer Anwendungsfälle zur Überprüfung des Konzeptes sind geplant. Zur Evaluierung wird eine hochdynamische und flexible Fertigungsstraße real und virtuell aufgebaut. Hierbei sollen die Eigenschaften der Echtzeitfähigkeit der Simulation weiterentwickelt werden.

6 Zusammenfassung und Ausblick

In dieser Veröffentlichung wurde ein Closed-Loop-Engineering Ansatz genutzt, um durch Rekonfiguration eine Produktionsanlage zu optimieren. Dabei wurden Technologien aus den Bereichen IoT, Digitaler Zwilling, Produktionsplanung und -steuerung sowie VR genutzt. Es wurde gezeigt, wie VR im Produktionskontext als immersives und interaktives Transfermedium für leichtgewichtige Prozesssimulationen und virtuelle Inbetriebnahmen angewendet werden kann.

Mit diesem Ergebnis wurden erste Schritte in Richtung der Implementierung eines vielfältig anwendbaren Closed-Loop-Engineering-Ansatzes im Anlagenbau ge-

macht. In der nahen Zukunft werden wir die Anwendbarkeit des Demonstrators weiter erhöhen, indem zusätzliche Industriestandards wie OPC Unified Architecture (OPC UA) [11] oder dem Robot Operating System (ROS) [12] integrieren werden.

In der Industrie besteht die Notwendigkeit, nicht nur Produkt und Ressourcen in Systemen abzubilden, sondern ebenfalls die Prozessebene und damit die Dynamik einer Fabrik. Durch VR-Anwendungen kann dieser Aspekt gut abgebildet werden. Jedoch fehlt eine standarisierte Möglichkeit, dies in bestehenden Systemen abzubilden, zu verwalten und weiter zu verwerten.

7 Literatur

[1] *AutomationML consortium: Whitepaper AutomationML Edition 2.1. 2018, URL: www.automationml.org/o.red.c/dateien.html [02.09.2019]*

[2] *Bender, J.; Deckers, J.; Fritz, S.; Ovtcharova, J.: Closed-Loop-Engineering – Enabler for Switft Reconfiguration in Plant Engineering. In: Proceedings of the European Modeling and Simulation Symposium 2019, 18. – 20. September 2019, Lissabon, Portugal, 2019, im Erscheinen*

[3] *Choi, S.; Jung, K.; Noh, S.D.: Virtual reality applications in manufacturing industries: Past research, present findings, and future directions. In: Concurrent Engineering 23(1), 2015, S. 40-63*

[4] *CONTACT Software GmbH: Homepage. 2019, URL: www.contact-software.com/de/produkte/iot-plattform-fuer-digitale-geschaeftsmodelle/ [02.09.2019]*

[5] *Gesellschaft für Informatik e.V. (GI); Kuhn, T.: Lexikon: Digitaler Zwilling. 2019, URL: www.gi.de/informatiklexikon/digitaler-zwilling/ [02.09.2019]*

[6] *Häfner, V.: Modelling Smart Virtual Environments. In: VAR² 2017 – Realität erweitern, 4. Fachkonferenz zu VR/AR-Technologien in Anwendung und Forschung, Chemnitz, 2017, S. 151-162*

[7] *Kuhn, W.: Digital Factory - Simulation Enhancing the Product and Production Engineering Process. In: Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference, Monterey, CA, USA, 2006, S. 1899 – 1906*

[8] *in2sight GmbH: Homepage. 2019, URL: www.game4automation.com [02.09.2019]*

[9] *IPO.Plan GmbH: Homepage. 2019, URL: www.ipoplan.de/software-ipolog/ [02.09.2019]*

[10] *Menck, N.; Yang, X.; Weidig, C.; Winkes, P.; Lauer, C.; Hagen, H.; Hamann, B.; Aurich, J.C.: Collaborative Factory Planning in Virtual Reality. In: Procedia CIRP, Volume 3, Athen, Griechenland, 2012, S. 317 – 322*

[11] OPC Foundation: Homepage. 2019, URL: www.opcfoundation.org [02.09.2019]

[12] Open Source Robotics Foundation, Inc.: Homepage. 2019, URL: www.ros.org [02.09.2019]

[13] Ovtcharova, J.; Grethler. M.: Beyond the Digital Twin – making analytics come alive., In: visIT , Industrial IoT – Digital Twin, Fraunhofer IOSB, Karlsruhe,2018

[14] R3DT GmbH: Homepage. 2019, URL: www.r3dt.com [02.09.2019]

[15] SALT AND PEPPER Holding GmbH & Co. KG: Homepage. 2019, URL: www.salt-and-pepper.eu/en/virtualreality/ [02.09.2019]

[16] tarakos GmbH: Homepage. 2019, URL: www.tarakos.de/taravrbuilder [02.09.2019]

[17] Unity Technologies: Homepage. 2019, URL: www.unity.com [02.09.2019]

VAR^2 2019 − Realität erweitern

5. Fachkonferenz zu VR/AR-Technologien
an der Professur Werkzeugmaschinenkonstruktion und Umformtechnik
der TU Chemnitz

Herausgeber
Prof. Dr.-Ing. Matthias Putz
Dr.-Ing. Philipp Klimant
Franziska Klimant

ISBN
978-3-00-064420-7

Wichtige Hinweise:

Das Werk, einschließlich aller seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwendung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung der Herausgeber unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Autoren sind für den Inhalt ihrer Beiträge selbst verantwortlich. Die Herausgeber des Tagungsbandes übernehmen keine Gewähr, insbesondere für die Richtigkeit, Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie die Beachtung privater Rechte.

© 2019

Technische Universität Chemnitz
Fakultät für Maschinenbau
Professur Werkzeugmaschinenkonstruktion und Umformtechnik
http://www.tu-chemnitz.de/mb/WerkzMasch/

Zur Konferenz

„Realität erweitern“ – so lautet auch das Motto der 5. Fachkonferenz zu VR/AR-Technologien der Professur für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik der Technischen Universität Chemnitz. Im Mittelpunkt der Konferenz stehen neben Basistechnologien virtueller Techniken wieder Anwendungsbeispiele von Virtual und Augmented Reality aus Industrie und Forschung.

Schon jetzt laden wir Sie herzlich zur 6. Fachkonferenz VAR² ein. Diese wird im Dezember 2021 in Chemnitz stattfinden.

AVARE - Netzwerk zur Anwendung von Virtual und Augmented Reality

Mitveranstalter der Konferenz ist das durch die Professur geführte Forschungsnetzwerk AVARE (Netzwerk zur Anwendung von Virtual und Augmented Reality). In diesem Netzwerk haben sich im Oktober 2015 interessierte Unternehmen zusammengeschlossen, um anwenderorientiert den Einsatz und die Möglichkeiten virtueller Techniken zu erforschen. Dabei orientiert sich die gemeinsame Forschung des Netzwerkes an drei Hauptentwicklungslinien:

- Integrative Lösungen für die direkte Weiterverwendung von 3D-Daten aus der Konstruktion
- Innovative Mensch-Maschine-Schnittstellen (MMI) für manuelle Tätigkeiten
- Problemlösung durch Vernetzung aktiver Systeme mit VR/AR

Weitere Informationen zum AVARE-Netzwerk finden Sie unter **www.avare.info**