

Themenheft Nr. 51:

Immersives Lehren und Lernen mit Augmented und Virtual Reality – Teil 2.

Herausgegeben von Miriam Mulders, Josef Buchner, Andreas Dengel und Raphael Zender

Vergleichende Evaluation von Explorationsarten in interaktiven 3D-360°-Anwendungen

Einsatz von explorativem Lernen zur Vorbereitung von Handwerkern auf Vor-Ort-Termine beim Kunden

Johannes Funk¹  und Ludger Schmidt¹ 

¹ Universität Kassel

Zusammenfassung

Die vorliegende Studie vergleicht drei Arten des explorativen Lernens mit interaktiven 3D-360°-Anwendungen. Als Szenarien für die Anwendung werden simulierte Vor-Ort-Termine von Handwerkern beim Kunden verwendet. In den Handwerksszenarien «Maler», «Elektriker» und «Klempner» sollen handwerksübliche Arbeitsaufgaben zur Vorbereitung auf reale Vor-Ort-Termine mit verschiedenen Explorationsarten durchgeführt werden. In Art A werden Arbeitsabläufe von einer Fachperson im Video durchgeführt und vom Nutzer beobachtet. In Art B werden arbeitsaufgabenrelevante Stellen in der gezeigten Umgebung durch «!»-Symbole markiert. In Art C werden keine Markierungen eingesetzt, relevante Stellen müssen vom Nutzer entdeckt werden. Die Studie mit 30 Teilnehmern im Within-Subject-Design prüft unter anderem die Hypothesen, ob sich die Explorationsart auf die Gebrauchstauglichkeit (SUS), das Benutzungserlebnis (UEQ) und die eingenommene Rolle der nutzenden Person (aktiv/passiv) auswirkt. Bei allen Explorationsarten liegt eine vergleichbar hohe Gebrauchstauglichkeit vor. Das Benutzungserlebnis ist sowohl in Art B als auch in Art C signifikant höher als in Art A. In Art C wird die eigene Nutzerrolle aktiver eingeschätzt als in Art A und B. Art B ist wiederum aktiver als Art A. Das bessere Benutzungserlebnis und die aktivere Rolle der nutzenden Person bei gleichbleibend hoher Gebrauchstauglichkeit machen die Explorationsarten B (markierte Stellen) und C (unmarkierte Umgebung) interessant für die Wissensvermittlung von praktischen Inhalten.

Comparative Evaluation of Exploration Modes in Interactive 3D-360°-Applications. Using Exploratory Learning to Prepare Craftsmen for On-Site Customer Appointments

Abstract

This study compares three types of exploratory learning with interactive 3D 360° applications. Simulated on-site appointments of craftsmen at the customer's site are used as scenarios for the application. In the «Painter», «Electrician» and «Plumber» craft scenarios, common craft work tasks are to be performed in preparation for real on-site appointments using different exploration types. In Type A, work tasks are performed by a skilled person on video and observed by the user. In Type B, work task relevant locations in the shown environment are marked by «!» symbols. In Type C, no markers are used and relevant locations must be discovered by the user. The study with 30 participants in within-subject design tests, among other things, the hypotheses whether the exploration type affects the usability (SUS), the user experience (UEQ) and the assumed role of the user (active/passive). A comparably high usability is present for all exploration types. The user experience is significantly higher in both Type B and Type C than in Type A. In Type C, the user's own role is assessed to be more active than in Types A and B. The user's own role is assessed as more active in Type C than in Type A. Type B is again more active than Type A. The better user experience and the more active role of the user, while maintaining a high usability, make Exploration Types B (marked areas) and C (unmarked surrounding) interesting for knowledge transfer of practical content.

1. Einleitung und Grundlagen

Manche Tätigkeiten und Situationen lassen sich in der handwerklichen Ausbildung nur schwer nachbilden. Hierzu gehört die Situation eines Vor-Ort-Termins beim Kunden. Um Auszubildende dennoch auf die später häufig auftretende Situation vorzubereiten, könnten 3D-360°-Video-Anwendungen nützlich sein. 3D-360°-Videos werden immer häufiger eingesetzt, um immersive Inhalte zu erzeugen (Matos et al. 2018, 1), und sind gut geeignet, auch umfangreiche und komplexe Situationen darzustellen (Hebbel-Seeger et al. 2019, 118). Im Gegensatz zu meist schwer zu erstellenden Virtual-Reality-(VR-)Inhalten werden 3D-360°-Videos mit speziellen Kameras aufgezeichnet, die über die Jahre immer günstiger geworden sind (Neng und Chambel 2010, 119). Ein weiterer Vorteil ist die mögliche Wiedergabe auf Smartphones (Tse et al. 2017, 2968), wodurch hohe Anschaffungskosten durch Verwendung meist vorhandener Geräte entfallen. Mögliche Nachteile im Vergleich zu herkömmlichen VR-Anwendungen – etwa Einschränkungen in den Interaktionsmöglichkeiten durch fehlende Controller (Qian und Teather 2017, 91) – lassen sich durch an die

vorhandene Technik angepasste Interaktionskonzepte verringern (Funk et al. 2019). Für die Interaktion hat sich die Kopfsteuerung mittels der in Smartphones vorhandenen Lagesensoren als intuitiv und effektiv herausgestellt (Klingauf et al. 2019).

Für die Konzeption der in dieser Studie untersuchten Explorationsarten mit 3D-360°-Anwendungen werden konstruktivistische Lerntheorien und das explorative Lernen betrachtet und einbezogen. Konstruktivistische Lerntheorien sehen das Lernen als kreativen und individuellen Konstruktionsprozess (Kerres 2018, 161). Nach Petko (2020, 36) bildet hierbei jeder Mensch subjektive Sinnesstrukturen, die auf Erfahrungen aufbauen, die bspw. beim Experimentieren oder dem Lösen von Problemen gesammelt werden. Eine hierzu geeignete didaktische Methode ist das explorative Lernen, das sich durch folgende vier Merkmale charakterisieren lässt: Die Person steckt sich ein Lernziel; die Person initiiert Handlungen, um das gesteckte Ziel zu erreichen und entscheidet selbst über Lernaktivitäten und deren Sequenz; das Lernen ist dabei kein linearer Prozess; der Vollzug der Lernaktivitäten wird als befriedigend erlebt (Kerres 2018, 347). Lerninhalte werden hierbei nicht in festgelegter Abfolge präsentiert, sondern können von Lernenden gewählt werden, was häufig als weniger langweilig erlebt wird und zu einer aktiven Rolle der Lernenden und mehr Engagement führen kann (ebd.). Im Gegensatz zum darbietenden Lernen (Hartinger und Lohrmann 2014, 385) wird das explorative Lernen als entdeckender, simulativer und spielerischer Prozess betrachtet (Euler und Wilbers 2020, 433). In Studien zur Untersuchung von Effekten zur mittelfristigen Behaltensleistung zeigte sich, dass Lernsituationen, die exploratives Lernen ermöglichen, im Vergleich zu gelenktem Unterricht besser abschnitten (Dean Jr. und Kuhn 2007; Dühlmeier 2009). Arnold (2019) entwickelte in Anlehnung an die konstruktivistische Lerntheorie und das damit verknüpfte explorative Lernen Kriterien, welche gelingendes Lernen ermöglichen sollen. Hierbei soll Lernen selbstgesteuert, produktiv, aktivierend, situativ und sozial sein (Arnold 2019, 79f.). Gemäss der Annahme, dass diese Kriterien als Anspruch für ein gelingendes Lernen gesehen werden können, sollen die Ergebnisse der Studie an diesem Modell diskutiert werden.

Im Gegensatz zu konventionellen Videos können mit 360°-Videos Inhalte in alle Richtungen gleichzeitig aufgenommen und später mit frei wählbarer Betrachtungsrichtung wiedergegeben werden. Zur Erstellung von 360°-Videos können Kameras verwendet werden, die mit mehreren Sensoren und speziellen Objektiven gleichzeitig die gesamte Umgebung aufnehmen (Hebbel-Seeger 2018, 269). Zwar kann die Kamera bei der Aufnahme bewegt werden, hiervon wird jedoch abgeraten, um Unwohlsein des späteren Betrachters zu vermeiden (Frank 2020, 266). Über einfache monoskopische 360°-Videos hinaus können stereoskopische 3D-360°-Videos sogar eine Tiefenwahrnehmung ermöglichen. Dabei werden pro Aufnahmerichtung zwei leicht versetzte Sensoren, ähnlich den beiden menschlichen Augen, eingesetzt (Jin 2016). Eine stereoskopische Darstellung kann im Vergleich zur monoskopischen

Darstellung sowohl die Präsenz als auch die Immersion signifikant erhöhen (Schild, LaViola und Masuch 2012, 93ff.). 360°-Inhalte können auf verschiedenen Endgeräten angezeigt werden. Monoskopische 360°-Videos können z. B. auf dem PC, dem Smartphone oder einem Tablet angezeigt und mit der Maus, der Tastatur oder dem Touchscreen gesteuert werden (Tse et al. 2017, 2968). Für stereoskopische 3D-360°-Videos können wie in dieser Studie Smartphone-basierte Head-Mounted Displays (HMDs) verwendet werden. Im Gegensatz zu teuren VR-Brillen handelt es sich hierbei um günstige Halterungen für Smartphones ohne eigene Technik (Fernandez 2017, 7). Das Smartphone dient hierbei als Anzeige und Recheneinheit für das HMD (Butz und Krüger 2017, 224). Neben Unterschieden zu klassischen VR-Brillen und -Anwendungen – z. B. durch aufgezeichnete Aufnahmen realer Orte statt computergenerierter virtueller Welten – gibt es viele Gemeinsamkeiten von Smartphone-basierten 3D-360°- und VR-Anwendungen. Brown und Green (2016, 517) bezeichnen Smartphone-basierte HMDs beispielsweise als eine der gängigsten und einfachsten Technologien für immersive VR.

2. Stand der Forschung

Der Einsatz von VR- und 360°-Anwendungen zur Wissensvermittlung wurde bereits in verschiedenen Studien untersucht. Bailey und Witmer untersuchten bereits 1994, ob VR verwendet werden kann, um Strecken durch Gebäude zu lernen. Im Vergleich zu einer mündlichen Weganweisung mit Fotos trafen Personen, die mit einer VR-Anwendung gelernt haben, signifikant weniger falsche Wegentscheidungen (Bailey und Witmer 1994). Ähnliche Studien vergleichen häufig das Lernen mittels einer VR-Anwendung mit bspw. einer Power-Point-Präsentation, Papieranleitungen oder konventionellen Desktopvideos. In einer Studie zum Erlernen des Blutkreislaufs waren die Ergebnisse der VR-Gruppe im Wissenstest schlechter als in der Power-Point-Gruppe, allerdings hatten Personen, die mit VR gelernt hatten, mehr Motivation, Interesse und Freude, wiesen aber auch eine höhere Ablenkung und weniger Konzentration auf (Parong und Mayer 2018). Ebenfalls keine Vorteile im Wissenstest bei Verwendung von VR-Anwendungen im Vergleich zu einer Papieranwendung fanden Makransky et al. (2019) in einer Studie für ein Laborsicherheitstraining. In einem anschließenden Verhaltenstest im Labor schnitten Personen, die mit VR gelernt haben, allerdings besser ab und waren motivierter als Personen, die mit Papierunterlagen gelernt hatten (Makransky, Borre-Gude, und Mayer 2019).

Positive Effekte von 360°-Anwendungen auf die Motivation und das Interesse der Lernenden werden in vielen Studien belegt. Lee et al. (2017) verglichen konventionelle Lehrvideos über Nepal mit 3D-360°-Videos per HMD. Die 3D-360°-Anwendung führte zu signifikant mehr Freude und Interesse (ebd.). Bei einem ähnlichen Vergleich zwischen Desktopvideo und 3D-360°-Videos per HMD untersuchten Klingauf

et al. (2019) das praktische Anfertigen eines Fliesenspiegels in der Handwerker- ausbildung. Hierbei zeigte sich ebenfalls eine höhere Motivation der Lernenden mit der 3D-360°-Anwendung, allerdings auch eine höhere Ablenkung (ebd.). Explorations- und Interaktionsmöglichkeiten in 360°-Anwendungen durch visuelle Markierungen wurden von Kallioniemi et al. (2018) und Violante et al. (2019) untersucht. Die von Kallioniemi et al. (2018) als Hotspot bezeichneten Markierungen in 360°-Anwendungen wurden in räumlicher Nähe zu den entsprechenden Objekten im Video platziert und verwendet, um Informationen zum Objekt anzuzeigen. Untersucht wurden hierbei die Aktivierungsart, die Textausrichtung und die Grösse der dargestellten Hotspots. Es wurden grosse Hotspots mit zentriertem Text und sofortiger Aktivierung der Schaltfläche bei Auswahl mittels Kopfsteuerung präferiert (Kallioniemi et al. 2018). Violante et al. (2019) nutzten ebenfalls Hotspots in Objektnähe in 360°-Videos, um in einem Messeszenario Text- und Videozusatzinformationen einzublenden. Auch hier zeigte sich durch 360°-Videos mehr Interesse und Aufmerksamkeit (Violante, Vezzetti, und Piazzolla 2019). Eine weitere Funktion von Hotspots kann der Raum- und Standortwechsel in 360°-Anwendungen sein. In einer Studie untersuchten Hayes und Yoo (2018) diese Interaktionsmöglichkeit für einen virtuellen Museumsrundgang und sprachen von grossem Potenzial solcher Anwendungen, besonders auch für eine jüngere Zielgruppe.

Eine umfassende Umsetzung einer immersiven 3D-360°-Anwendung mit interaktiven Elementen wurde von Argyriou et al. (2020) erstellt und untersucht. Hierbei mussten verschiedene Aufgaben in der historischen Stadt Rethymnon auf Kreta erledigt werden. Nach einer Einleitungsszene fand eine Wegentscheidung mittels Kopfsteuerung statt. Je nach Abschnitt in der Handlung wurden den Teilnehmenden Richtungsanweisungen durch eine im Video vorhandene Person oder durch Pfeile gegeben. In einer dritten Variante wurde keine Unterstützung gegeben und der Weg musste selbstständig gefunden werden. Zwischen den drei Arten wurde keine im Vergleich zu den jeweils anderen präferiert (Argyriou, Economou, und Bouki 2020). Als Fazit ziehen Argyriou et al. (2020), dass die Anwendung spannende Erlebnisse schaffen kann und Nutzer zum Mitdenken animiert werden. Dabei soll der Nutzer beim Erkunden der Umgebung nach und nach Informationen an entdeckten *Points of Interest* sammeln und ein Feedback erhalten (Argyriou, Economou, und Bouki 2020, 846).

In den vorgestellten Studien werden häufig unterschiedliche Arten von Anleitungen – z. B. Papier, Video oder VR-Anwendung – verglichen. Andere Studien untersuchen Komponenten zur Exploration, z. B. Hotspots, oder setzen verschiedene Explorationsarten gemeinsam in einer Anwendung ein. Eine Differenzierung zwischen Explorationsarten findet hierbei nicht statt. In dieser Studie soll daher der Einfluss von verschiedenen Explorationsmöglichkeiten für das explorative Lernen untersucht werden. In der nachfolgend vorgestellten vergleichenden Evaluation

von drei unterschiedlichen Explorationsarten sollen Ansätze der konstruktivistischen Lerntheorie, insbesondere des explorativen Lernens auf 3D-360°-Videos zur Vorbereitung von Handwerkern auf Vor-Ort-Termine beim Kunden, angewendet und untersucht werden. Neben dem Einfluss der Explorationsarten auf die Gebrauchstauglichkeit (H1), die Beanspruchung (H2) und das Benutzungserlebnis (H3) liegt ein besonderer Fokus auf der subjektiv eingeschätzten Vorbereitung der Handwerker auf reale Vor-Ort-Termine (H4), dem weiteren Nutzungswunsch (H5) und der durch Nutzende eingenommenen Rolle (H6).

3. Methode

3.1 Handwerksszenarien

In der Studie wird das sonst schwer nachstell- und trainierbare Szenario eines Vor-Ort-Termins bei der Kundschaft betrachtet. Hierbei nehmen die Proband:innen die Rolle der Handwerker ein, die beim Kunden handwerksübliche Aufgaben erledigen. Es wurden drei Szenarien aus den Handwerksberufen *Maler, Elektriker* sowie *Gas- und Wasserinstallateur* gewählt, wobei Letzterer in der Studie zur besseren Verständlichkeit mit dem umgangssprachlichen Begriff *Klempner* bezeichnet wurde. Zur besseren Vergleichbarkeit bestehen alle Szenarien aus denselben Elementen. Hierzu gehören je Szenario zwölf bzw. 13 Dialogflächen, fünf bzw. sechs Feedbacks an die Versuchsperson, zwei Zusatzinformationen zur Tätigkeit, zwei Ja/Nein-Entscheidungspunkte, sieben im Raum zu findende Stellen und eine eingeblendete Notiz mit der zu absolvierenden Arbeitsaufgabe. Für eine sinnvolle und nachvollziehbare Gestaltung der Handlung kommt es vereinzelt zu geringfügigen Abweichungen in der Anzahl der Dialogflächen und der Feedbacks. Die beiden Entscheidungspunkte ermöglichen je eine Raumveränderung und die Auswahl eines für die Aufgabe relevanten Objekts. Jedes Szenario beginnt mit der Vorstellung einer konkreten Arbeitsaufgabe. Die in der Studie gestellten Arbeitsaufgaben sind in Tabelle 1 zu sehen.

Szenario	Formulierung der Arbeitsaufgabe in der Studie
1. Maler	<i>Sie sind in der Ausbildung zum Maler und wurden zum Kunden gerufen. Prüfen Sie eine bestimmte Wand auf Problemstellen.</i>
2. Elektriker	<i>Sie sind in der Ausbildung zum Elektriker und wurden zum Kunden gerufen. Prüfen Sie den Sicherungskasten und die Steckerleiste.</i>
3. Klempner	<i>Sie sind in der Ausbildung zum Klempner und wurden zum Kunden gerufen. Prüfen Sie die Heizung.</i>

Tab. 1: Arbeitsaufgaben der drei Szenarien.

Nachfolgend wird exemplarisch der Ablauf des Szenarios Klempner vorgestellt. Nachdem die in Tabelle 1 vorgegebene Aufgabe gelesen wurde, beginnt das Szenario in einem Raum beim Kunden. Die zu prüfende Heizung wird durch eine Stellwand verdeckt, die erst zur Seite gestellt werden muss. Das Wegstellen der Trennwand ist die Raumveränderung dieses Szenarios und damit der erste Entscheidungspunkt. Sobald das Entlüftungsventil am Heizkörper gefunden wurde, wird über eine Dialogfläche darauf hingewiesen, dass ein Gegenstand zum Auffangen von austretendem Wasser benötigt wird. Ein ebenfalls im Raum befindlicher Eimer kann daraufhin ausgewählt (zweiter Entscheidungspunkt) und unter das Ventil gestellt werden. Beim Entlüften wird der Hinweis gegeben, dass so lange gewartet werden soll, bis Wasser aus der Heizung austritt und keine Gluckgeräusche mehr zu hören sind. Die Aufgabe endet mit der Prüfung des Thermostats. Hierbei wird erneut ein Hinweis eingeblendet, dass ein defektes Thermostat an der nicht zur Thermostateinstellung passenden Temperatur der Heizung erkannt werden kann.

3.2 Explorationsarten

Die in der Studie betrachteten Szenarien wurden so gestaltet, dass die Proband:innen ihre Umgebung selbstständig erkunden, um so die gestellte Handwerksaufgabe zu erfüllen. Hierzu wurden drei verschiedene Explorationsarten erstellt, mit denen sie ihre Umwelt in interaktiven 3D-360°-Anwendungen mittels Kopfsteuerung erkunden und mit dieser interagieren können.

In Explorationsart *Personenbeobachtung* (Art A) begleitet man virtuell einen Handwerker bei der Ausführung der handwerklichen Tätigkeit. Hierzu wurde der gesamte Arbeitsablauf von einer Person durchgeführt und aufgezeichnet. Das resultierende 3D-360°-Video wurde um Schaltflächen zum Starten und Pausieren sowie zum Vor- und Zurückspulen mittels Kopfsteuerung erweitert. Die Schaltflächen fungieren nach Frank (2020) als Möglichkeit zur Interaktion mit dem 360°-Video. Sie weisen eine Ähnlichkeit zur Videosteuerung nach Pakkanen et al. (2017) auf, werden aber wie bei Klingauf et al. (2019) mittig unter dem Nutzer platziert. Die Funktionen des Vor- und Zurückspulens, um nichts zu verpassen, folgen der Empfehlung von Petry und Huber (2015). Der Nutzer oder die Nutzerin nimmt eine passiv beobachtende Rolle ein, da er oder sie nicht Teil der Handlung ist und die Handlung nicht beeinflussen kann (Dolan und Parets 2016). Er oder sie beobachtet die Person bei ihrer Arbeit, was an das Lernen von Auszubildenden in der Realität angelehnt ist, in der erfahrene Handwerkskräfte Tätigkeiten ausführen. Dialoge und Feedbacks werden automatisch passend zur Handlung im Video ein- und ausgeblendet, wodurch eine systemautomatisierte Informationsbeschaffung vorliegt (Zhang, Bowman, und Jones 2019). Die Interaktivität ist hierbei niedrig (ebd.).

Explorationsart *markierte Stellen* (Art B) verwendet visuelle Markierungen in Form eines Ausrufezeichens auf kreisförmigen Grund, die der Nutzerin oder dem Nutzer zu findende Stellen in der gezeigten Umgebung anzeigen. Diese ähneln den interaktiven Hotspots von Kallioniemi et al. (2018), da sie als Objektschaltflächen fungieren. Durch die Aktivierung der Schaltfläche wird der nächste Schritt, z. B. das nächste Dialogfeld geladen. Somit gibt das System Informationen vor, jedoch können weitere Informationen durch nutzerinitiierte Interaktion aufgerufen werden. Nach Zhang et al. (2019) liegt daher eine mittlere Interaktivität vor.

In Explorationsart *unmarkierte Umgebung* (Art C) erkunden die Nutzenden oder Nutzer die Umgebung ohne Markierungen, aber mit unsichtbaren Objektschaltflächen an relevanten Stellen der gezeigten Umgebung im Raum. Die Nutzerin oder der Nutzer muss die relevanten Stellen also zunächst selbstständig im Raum finden. Genau wie in Explorationsart B wird durch die Aktivierung der Schaltfläche dann der nächste Schritt geladen. Die Informationsbeschaffung ist somit benutzerinitiiert, wodurch die Explorationsart C eine hohe Interaktion aufweist (Zhang, Bowman, und Jones 2019).

Die Explorationsart A stellt mit dem zu beobachtenden 3D-360°-Video den realen Beobachtungsfall nach. In den Explorationsarten B und C nehmen die Nutzenden eine Rolle mit einem deutlich höheren Mass an Partizipation ein. Die Nutzerrolle nach Dolan und Parets (2016) ist hier die des oder der Teilnehmenden. Das Signalisierungsprinzip nach Preuß und Kauffeld (2019) wird durch die fehlenden Markierungen in der Explorationsart C bewusst nicht umgesetzt. In Art A wird es über die Person im Video und in Art B über die Markierungen umgesetzt.

3.3 3D-360°-Anwendungen

Für die Studie wurden die drei Handwerksszenarien (Maler, Elektriker, Klempner) jeweils nach den drei Explorationsarten (A, B, C) umgesetzt. Hieraus ergeben sich neun 3D-360°-Anwendungen. Für jedes Szenario wurde ein eigener Raum verwendet, um das Gefühl von drei unterschiedlichen Vor-Ort-Terminen zu vermitteln. Alle Räume wurden entsprechend dem geplanten Szenario vorbereitet, bspw. wurden Requisiten sichtbar platziert. Es wurde darauf geachtet, dass sich relevante Objekte senkrecht zu den vier Hauptaufnahmerichtungen der mit 8 Objektiven ausgestatteten 3D-360°-Kamera und in geeignetem Abstand zu dieser befinden, um eine hohe Qualität der Stereo-Aufnahmen zu erreichen. Zur Aufnahme der Räume wurde die 3D-360°-Kamera Vuze+ mit einer Auflösung von 3.840 x 2.160 Pixel (1.920 x 2.160 Pixel pro Auge) und einer Bildwiederholungsrate von 30 Hz bei den Videos verwendet (HumanEyes 2021). Im Gegensatz zu Explorationsart A, in der eine Person bei der Durchführung der Tätigkeit gefilmt wurde, wurde bei Art B und C nur der Raum ohne weitere Handlung als 3D-360°-Foto aufgenommen. Für alle Aufnahmen wurde ein

Dreibein-Stativ an einem einheitlichen Standort verwendet. In Abbildung 1 ist die Kamera beim Einrichten der Aufnahme (links) und ein Ausschnitt aus dem aufgenommenen Video (rechts) zu sehen.



Abb. 1: Vorbereitung der 3D-360°-Kamera vor der Aufnahme des Raums (links) und Ausschnitt aus dem aufgezeichneten Video in der Fischaugen-Ansicht mit einem Handwerker bei der Dokumentation von Wandschäden (rechts).

Die aufgenommenen 3D-360°-Videos und -Fotos wurden in der 3D-Entwicklungsumgebung Unity (Version 2018.4.32f1) weiterverarbeitet. Zur Anzeige der Aufnahmen wurden diese mithilfe einer Skybox als Hintergrund in der Anwendung eingefügt (Unity Technologies 2021). Für die geplante HMD-Nutzung mit Kopfsteuerung wurden die Assets GoogleVR (Google Developers 2019) und Gaze UI (YOU++ 2019) aus dem Unity Asset Store importiert. Als Kopfsteuerung wird eine kopfgekoppelte weiße Markierung in der Mitte des Sichtfelds (siehe Bildmitten in Abbildung 2) verwendet. Wenn die Nutzenden die Markierung durch Kopfbewegungen auf eine Schaltfläche ausrichten, ändert sich die Darstellung der Markierung von einem Punkt zu einem Ring. Nach einer Verzögerung von ca. einer Sekunde wird die Funktion der Schaltfläche ausgelöst. Die Verzögerung soll unbeabsichtigte Aktivierungen beim Umsehen der Nutzenden vermeiden. Die Verwendung dieser Eingabemethode wurde u. a. gewählt, da so keine zusätzliche Hardware benötigt wird. Zuvor in Adobe XD gestaltete Dialogflächen und Icons wurden in Unity importiert und passend zur Kameraposition im virtuellen Raum platziert, sodass z. B. Dialoge in der späteren Anwendung an den Stellen angezeigt werden, auf die sie sich inhaltlich beziehen. Abbildung 2 zeigt eine Gegenüberstellung der drei Explorationsarten für die Aufgabe «Prüfen Sie den Sicherungskasten» im Szenario *Elektriker*.



Abb. 2: Gegenüberstellung der drei Explorationsarten A, B und C am Beispiel des Szenarios Elektriker. In Art A (links) schauen die Probanden einem Handwerker bei der Arbeitsaufgabe zu, in Art B (Mitte) sind relevante Stellen im Raum markiert und können ausgewählt werden, in Art C (rechts) sind keine Markierungen vorhanden und relevante Stellen müssen aufgrund der gestellten Aufgabe selbstständig gefunden werden. Die rot gestrichelte Linie gibt die Lage der Schaltfläche an, um zum nächsten Schritt zu gelangen, und war in der Studie unsichtbar.

In Abbildung 3 sind zwei Auszüge aus dem Szenario *Elektriker* mit der Explorationsart C zu sehen. Bei Betrachtung des Sicherungskastens erscheint ein Feedback. Der Entscheidungspunkt gibt dem Anwender die Option, den Sicherungskasten zu öffnen. Durch Auswahl der *Ja*-Schaltfläche mit der Kopfsteuerung wird der Sicherungskasten virtuell geöffnet und es erscheint ein Zusatzhinweis zur Arbeitsaufgabe. Alle Raumveränderungen werden durch das Laden eines neuen 3D-360°-Fotos in der Anwendung realisiert.



Abb. 3: Zustand vor der Raumveränderung durch einen Entscheidungspunkt mit Feedback (links), Zustand nach der Raumveränderung mit eingeblendeter Zusatzinformation zur Arbeitsaufgabe (rechts).

Abbildung 4 zeigt links die Darstellung nach Auswahl eines für die Arbeitsaufgabe benötigten Utensils am Beispiel der Spiegelreflexkamera zur Dokumentation von Wandschäden im Szenario *Maler*. In der rechten Abbildung ist die für Explorationsart A ergänzte Videosteuerung zu sehen.

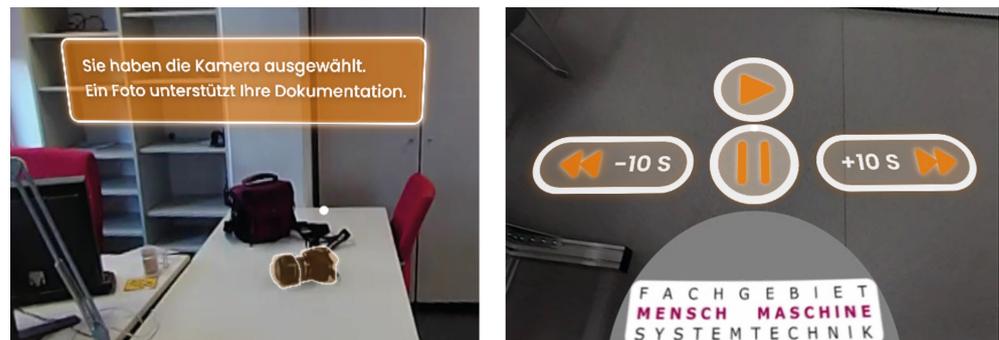


Abb. 4: Darstellung mit Feedback nach Auswahl eines für die Arbeitsaufgabe benötigten Utensils (links); Videosteurelemente in allen Szenarien mit Explorationsart A zum Pausieren und Abspielen sowie je 10 Sekunden Vor- und Zurückspulen des Videos (rechts).

Alle Anwendungen wurden um einen Vorraum und eine Abschlussansicht ergänzt. Der Vorraum dient der Einleitung in die jeweils verwendete Explorationsart sowie der Vorstellung der anschliessend zu absolvierenden Aufgabe. In Abbildung 5 ist links exemplarisch ein Vorraum zu sehen. Die Arbeitsaufgabe beginnt, sobald der nächste Raum durch Aktivierung der zugehörigen Schaltfläche betreten wird. Hierdurch wird gleichzeitig sichergestellt, dass die Verwendung der Kopfsteuerung vor Beginn der Arbeitsaufgabe verstanden wurde.

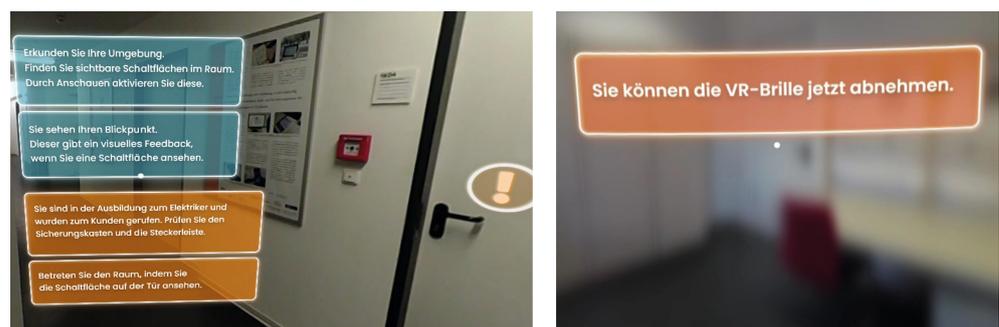


Abb. 5: Vorraum mit Erklärung zur verwendeten Explorationsart (blaue Dialogflächen) und Beschreibung der Arbeitsaufgabe des Szenarios (orange Dialogflächen) (links); Abschlussansicht der Anwendung nach Beendigung der Arbeitsaufgabe (rechts).

Nach Abschluss der Arbeitsaufgabe erscheint eine Abschlussansicht in Form eines Feedbacks, dass das HMD abgenommen werden kann. Zusätzlich wird der Hintergrund unscharf gestellt, um das Ende der Anwendung zu verdeutlichen.

3.4 Messung

Die Technikaffinität der Proband:innen wurde mit dem standardisierten TA-EG-Fragebogen erhoben (Karrer et al. 2009). Hierzu werden die insgesamt 19 Items der vier Skalen *Begeisterung*, *Kompetenz* sowie *negative* und *positive Einstellung* auf einer fünfgliedrigen Likert-Skala von 1 («Trifft gar nicht zu») bis 5 («Trifft voll zu») bewertet. Nachdem negativ formulierte Items negiert wurden, werden die Mittelwerte der vier Skalen zu einem Gesamtwert gemittelt. Der Gesamtwert liegt in einem Bereich zwischen 1 (sehr niedrige Technikaffinität) und 5 (sehr hohe Technikaffinität).

Zur Erhebung der Gebrauchstauglichkeit wurde der ebenfalls standardisierte System-Usability-Scale-Fragebogen (SUS), bestehend aus je fünf positiv und fünf negativ formulierten Items auf einer fünfgliedrigen Likert-Skala von 1 («Ich stimme gar nicht zu») bis 5 («Ich stimme voll zu») verwendet (Brooke 2014). Entsprechend den Vorgaben werden die negativ formulierten Items in der Auswertung negiert. Anschliessend werden alle Werte von 1–5 auf 0–4 umgerechnet, summiert und mit dem Faktor 2,5 multipliziert, wodurch sich ein möglicher Gesamtwert von 0 (sehr schlechte Gebrauchstauglichkeit) bis 100 (sehr gute Gebrauchstauglichkeit) ergibt (ebd.).

Zur Messung der Beanspruchung wurde der weitverbreitete und einfach anzuwendende NASA-RTLX-Fragebogen verwendet (Hart 2006), der eine vereinfachte Form des NASA-TLX von Hart & Staveland (1988) darstellt. Beim NASA-RTLX werden keine paarweisen Vergleiche mit anschliessender Gewichtung der Subskalen zur Berechnung des Gesamtwerts durchgeführt. Der Fragebogen besteht aus der subjektiven Bewertung der sechs Unterpunkte der *geistigen*, *körperlichen* und *zeitlichen Anforderung* sowie *Leistung*, *Anstrengung* und *Frustration* auf einer 20-gliedrigen Skala von «gering» bis «hoch». Die Summe aller Werte wird auf den Bereich von 0 (keine Beanspruchung) bis 100 (extreme Beanspruchung) normiert.

Das Benutzungserlebnis wurde mit dem User Experience Questionnaire (UEQ) mit 26 Items, bestehend aus je einem Gegensatzpaar von Eigenschaften, z. B. *attraktiv* – *unattraktiv* oder *kompliziert* – *einfach*, auf einer siebengliedrigen Likert-Skala von -3 (stimme dem negativen Ausdruck voll zu) bis +3 (stimme dem positiven Ausdruck voll zu) (Schrepp, Hinderks und Thomaschewski 2017b) protokolliert. Der Fragebogen hat sechs Subskalen, von denen sich fünf (*Durchschaubarkeit*, *Effizienz*, *Steuerbarkeit*, *Stimulation* und *Originalität*) aus dem Mittelwert von je vier Items und eine Subskala (*Attraktivität*) aus dem Mittelwert von sechs Items berechnen. Der Gesamtwert des UEQ-Fragebogens ist der Mittelwert der sechs Subskalen und liegt im Bereich von -3 (sehr schlechtes Benutzungserlebnis) bis +3 (sehr gutes Benutzungserlebnis).

Nach Abschluss der drei Versuchsdurchgänge wurden ausserdem Daten mit selbst erstellten Items bestehend aus Aussagen über die drei zuvor kennengelernten Explorationsarten auf einer 20-gliedrigen Likert-Skala von 1 («stimme überhaupt nicht zu») bis 20 («stimme voll zu») erhoben bzw. beim Aktivitätsniveau von 1 («passiv») bis 20 («aktiv»). Die Items sind in Tabelle 2 zu sehen.

Bewertungsvariablen	Item
Vorbereitung	Ich fühle mich durch die Art der Erkundung auf einen realen Vor-Ort-Termin als Handwerker*in vorbereitet.
Nutzungswunsch	Ich möchte mit der Art der Erkundung weitere Handwerksszenarien erkunden.
Aktivitätsniveau	Meine Rolle im Szenario war... (passiv/aktiv)

Tab. 2: Bewertungsvariablen mit zugehörigen Items.

Zusätzlich wurden die drei Explorationsarten A, B und C in einem Ranking auf Platz 1, 2 und 3 einsortiert. Hierfür sollten Proband:innen bspw. anhand der Bewertungsvariablen «Vorbereitung» angeben, mit welcher der drei Explorationsarten sie sich am besten auf einen bestehenden Vor-Ort-Termin vorbereitet fühlen. Abbildung 6 zeigt exemplarisch die Erhebung der Bewertungsvariable Nutzungswunsch.

2) Mit welcher der drei vorgestellten Arten der Erkundung würden Sie am liebsten weitere Handwerksszenarien erkunden wollen?
Bitte ordnen Sie die Arten nach Ihrer Präferenz in der Reihenfolge von 1 bis 3 und bewerten Sie die untenstehende Aussage für die einzelnen Arten.

Rang	Art der Erkundung A, B, C	Stimme überhaupt nicht zu	<i>Ich möchte mit der Art der Erkundung weitere Handwerksszenarien erkunden.</i>	Stimme voll zu
1.		<input type="text"/>		
2.		<input type="text"/>		
3.		<input type="text"/>		

Abb. 6: Beispiel für die Erhebung des weiteren Nutzungswunschs der einzelnen Explorationsarten mit Likert-Skala und Ranking.

3.5 Versuchsaufbau

Für die 3D-360°-Anwendung wurde das smartphonebasierte HMD Zeiss VR One Plus verwendet, in das ein Smartphone eingelegt wird. In der Studie wurde dazu das Smartphone OnePlus 3T mit einem 5,5 Zoll grossen Display und einer Auflösung

von 1.080 x 1.920 Pixel verwendet, was einer Pixeldichte von 401 ppi (Pixel pro Zoll) entspricht. Für eine korrekte Darstellung wurde die Anzeige des Smartphones auf das verwendete HMD kalibriert. Im Versuchsraum gab es einen Tisch für die Probanden zum Lesen und Ausfüllen der Unterlagen und Fragebögen. Für die Verwendung der 3D-360°-Anwendung wurde auf genügend freien Platz geachtet, damit Proband:innen bei unbeabsichtigtem Bewegen nicht auf Hindernisse stießen. Ein Laptop wurde verwendet, um vom Smartphone gestreamte Displayinhalte anzuzeigen. So konnte der Versuchsleiter während der Durchführung der drei Handwerkszenarien Notizen machen und nötigenfalls unterstützend eingreifen.

3.6 Versuchsablauf

Nach Lesen eines Einleitungstextes, einer Vorstellung des Versuchsablaufs und der Klärung etwaiger Fragen unterschrieben die Proband:innen die Einverständniserklärung zur Aufzeichnung und anonymisierten Auswertung der Daten. Anschließend wurde der demografische Fragebogen mit Fragen zu Alter, Geschlecht und Vorerfahrung mit 360°- oder VR-Anwendungen etc. und der TA-EG Fragebogen zur Technikaffinität ausgefüllt.

Vor Beginn des ersten Versuchsdurchgangs wurde auf die Kopfsteuerung in der Anwendung hingewiesen und erklärt, dass Schaltflächen durch die Ausrichtung des weissen Punkts in der Mitte des Sichtfelds auf die entsprechende Schaltfläche ausgelöst werden können. Weiterhin wurden die Proband:innen gebeten, sich während der Nutzung der 3D-360°-Anwendungen möglichst wenig von der Startposition wegzubewegen, um Kollisionen zu realen Gegenständen zu vermeiden. In Abbildung 7 ist der Versuchsaufbau und der Versuchsleiter während eines Versuchsdurchgangs zu sehen.



Abb. 7: Probandin und Versuchsleiter während eines Versuchsdurchgangs (links); Versuchsleiter am Laptop mit gespiegeltem Displayinhalt (rechts).

Der Hauptteil des Versuchs teilte sich in drei Abschnitte, in denen je ein Handwerksszenario mit einer Explorationsart (A, B, C) durchgeführt wurde. Die Reihenfolge der Explorationsarten wurde ausbalanciert, sodass alle sechs möglichen Permutationen (A, B, C), (A, C, B), (B, A, C), (B, C, A), (C, A, B), (C, B, A) gleich häufig vorkamen. Nach jedem Durchgang wurden die Fragebögen SUS, NASA-RTLX und UEQ zur zuvor verwendeten Explorationsart ausgefüllt. Dieses Vorgehen wurde insgesamt dreimal wiederholt. Der Versuch endete mit dem Ausfüllen der Rankings, in denen die drei kennengelernten Explorationsarten relativ zueinander und absolut (von 1 bis 20) bewertet wurden, sowie einem strukturierten Interview zu den subjektiven Vor- und Nachteilen der einzelnen Explorationsarten.

3.7 Stichprobe

Zur Überprüfung der Hypothesen wurde eine Laborstudie mit zwölf Probandinnen und 18 Probanden durchgeführt. Die vorwiegend studentische Stichprobe weist ein Durchschnittsalter von 25,2 Jahren ($SD=3,0$ Jahre) und eine Technikaffinität (TA-EG-Wert) von 3,69 ($SD=0,49$) auf. In Abbildung 8 ist je ein Boxplot zur Altersverteilung und der Technikaffinität zu sehen.

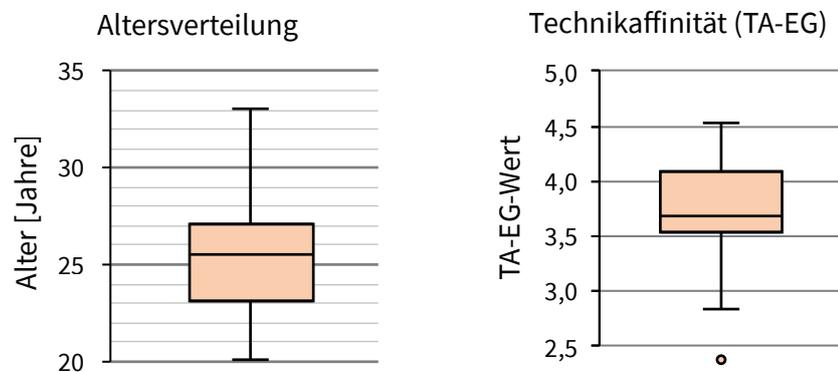


Abb. 8: Boxplots zu Altersverteilung (links) und Technikaffinität (rechts) der Proband:innen.

Die Hälfte der Teilnehmenden (15) gab an, bereits Erfahrungen mit VR-Anwendungen zu haben. Dabei nannten sie u. a. VR-Spiele, VR-Simulatoren (Aquariumssimulator, Achterbahnfahrt) oder das Ansehen von VR-YouTube-Videos. Alle genannten Anwendungen sind dem Freizeitbereich zuzuordnen.

4. Ergebnisse

Zu Beginn der Auswertung wurden alle Skalen auf Ausreisser untersucht. Die Daten der selbsterstellten Skalen weisen Ausreisser auf. Da es sich in allen Fällen um leichte Ausreisser handelt, wurden keine Daten von der Auswertung ausgeschlossen.

Eine Normalverteilung wurde aufgrund des Stichprobenumfangs von 30 Personen angenommen (Field, Miles, und Field 2012). Die Überprüfung der Daten auf Sphärizität wurde mit dem Mauchly-Test durchgeführt. Eine Verletzung der Voraussetzung der Sphärizität lag bei der selbsterstellten Skala *Aktivitätsniveau* vor. Abhängig vom Ausmass der Verletzung wurde beim Aktivitätsniveau eine Huynh-Feldt-Korrektur der Freiheitsgrade vorgenommen. Anschliessend wurden alle Daten mit einer ein-faktoriellen ANOVA mit Messwiederholung auf statisch relevante Unterschiede untersucht. Sofern ein signifikanter Haupteffekt vorlag, wurden Post-hoc-Tests zwischen den einzelnen Explorationsarten durchgeführt.

Bei den Hypothesen H1 und H2 wird geprüft, ob sich die Gebrauchstauglichkeit (H1) und die Beanspruchung (H2) zwischen den Explorationsarten unterscheiden. Die Ergebnisse der Auswertung des SUS-Fragebogens und des NASA-RTLX sind in Abbildung 9 zu sehen.

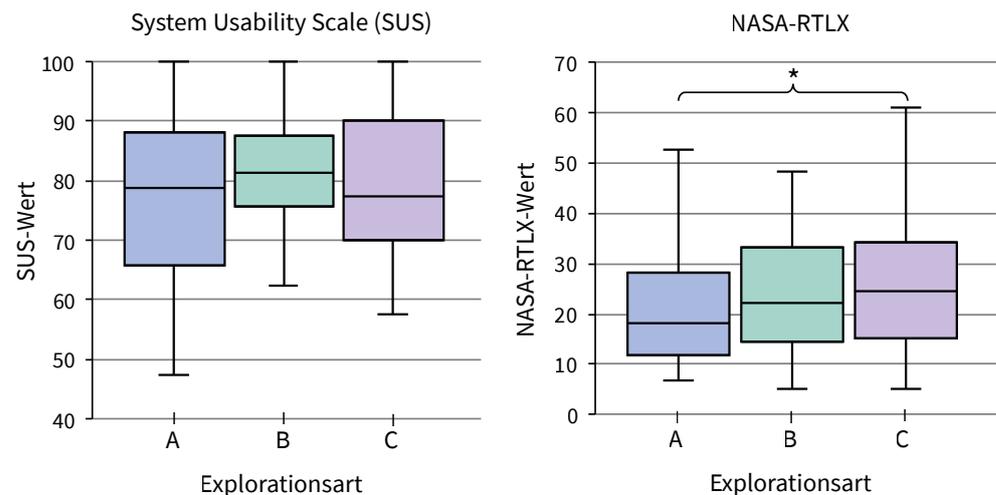


Abb. 9: Boxplots zur Gebrauchstauglichkeit (SUS) (links) und Beanspruchung (NASA-RTLX) (rechts); * $p < 0,05$.

Die mit dem SUS erhobene Gebrauchstauglichkeit liegt durchschnittlich bei allen Explorationsarten (A: $M = 77,42$; $SD = 13,64$; B: $M = 81,50$; $SD = 10,21$; C: $M = 78,67$; $SD = 12,61$) in einem ähnlichen Bereich. Hohe Werte entsprechen einer guten Gebrauchstauglichkeit. Es liegt kein statistisch signifikanter Unterschied vor, $F(2, 58) = 1,89$; $p = 0,16$.

Die mit dem NASA-RTLX erhobene Beanspruchung liegt bei allen Explorationsarten durchschnittlich unter einem Wert von 30 (A: $M = 20,96$; $SD = 11,62$; B: $M = 23,79$; $SD = 12,55$; C: $M = 26,92$; $SD = 14,59$). Niedrige Werte entsprechen einer niedrigen Beanspruchung. Die durchgeführte ANOVA zeigt einen signifikanten Unterschied, $F(2, 58) = 4,46$, $p = 0,016$; partielles $\eta^2 = 0,13$. Nach Cohen (1988) liegt somit ein mittlerer

Effekt vor. Post-hoc-Tests mit Bonferroni-Korrektur zeigen eine signifikant niedrigere Beanspruchung in der Explorationsart A, als in der Art B ($p=0,027$; $M_{\text{Diff}}=5,96$; $95\text{-CI}[11,35; 0,56]$). Ansonsten liegen keine signifikanten Unterschiede vor.

Nach Hypothese H3 wird geprüft, ob sich das Benutzungserlebnis zwischen den Explorationsarten A, B und C unterscheidet. Die Ergebnisse sind in Abbildung 10 zu sehen.

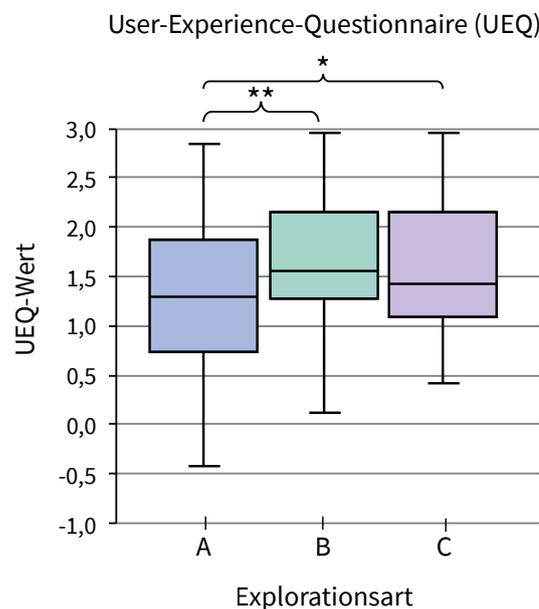


Abb. 10: Boxplot des Benutzungserlebnisses (UEQ); * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$.

Das mit dem UEQ erhobene Benutzungserlebnis ist im Durchschnitt bei der Explorationsart A mit einem Wert von 1,30 ($SD=0,76$) niedriger als bei den Arten B ($M=1,65$; $SD=0,70$) und C ($M=1,62$; $SD=0,67$). Hohe Werte entsprechen einem guten Benutzungserlebnis. Eine ANOVA mit Messwiederholung zeigt, dass sich die drei Explorationsarten signifikant in ihrem Benutzungserlebnis unterscheiden, $F(2, 58)=8,37$, $p < 0,01$; partielles $\eta^2 = 0,22$. Nach Cohen (1988) liegt somit ein grosser Effekt vor. Post-hoc-Tests mit Bonferroni-Korrektur zeigen ein signifikant niedrigeres Nutzererlebnis in der Explorationsart A als in den Arten B ($p=0,005$; $M_{\text{Diff}}=0,34$; $95\text{-CI}[0,59; 0,09]$) und C ($p=0,014$; $M_{\text{Diff}}=0,31$; $95\text{-CI}[0,57; 0,05]$). Zwischen den Arten B und C liegt kein signifikanter Unterschied vor.

Bei den Hypothesen H4, H5 und H6 wird geprüft, ob sich die subjektiv eingeschätzte Vorbereitung (H4), der weitere Nutzungswunsch (H5) und das Aktivitätsniveau (H6) zwischen den Explorationsarten unterscheiden. Die Mittelwerte und Standardabweichungen sind in Tabelle 3 angegeben. Hohe Werte entsprechen einer grossen Zustimmung zu den zugehörigen Items bzw. einer aktiven Rolle (siehe Tabelle 2).

Bewertungsvariable	Explorationsart		
	A	B	C
Vorbereitung	M=12,67 SD=4,41	M=13,17 SD=5,03	M=14,32 SD=4,77
Nutzungswunsch	M=11,07 SD=5,34	M=15,40 SD=3,80	M=15,15 SD=4,77
Aktivitätsniveau	M=4,500 SD=4,14	M=16,13 SD=3,10	M=18,01 SD=1,90

Tab. 3: Mittelwerte und Standardabweichungen der Bewertungsvariablen Vorbereitung, Nutzungswunsch und Aktivitätsniveau für die drei Explorationsarten.

Die Verteilung der Daten ist als Boxplot in Abbildung 11 zu sehen.

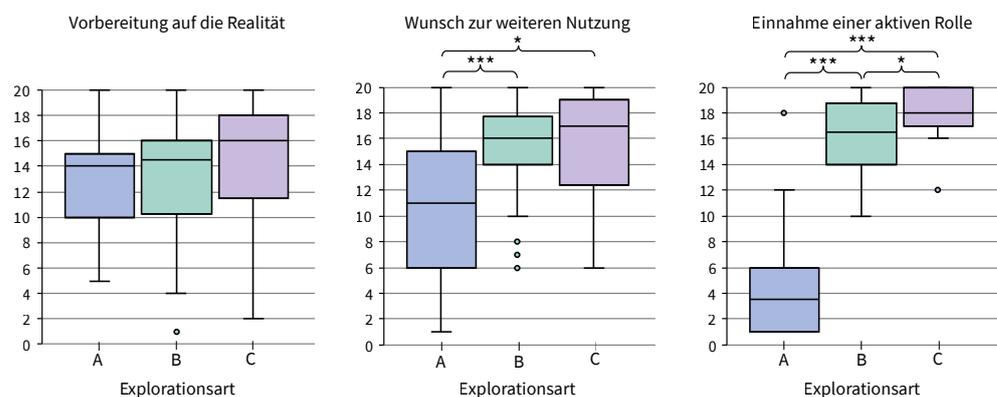


Abb. 11: Boxplots der Vorbereitung auf die Realität (links), des Wunschs zur weiteren Nutzung und der Einnahme einer aktiven Rolle (rechts); * $p < 0,05$, *** $p < 0,001$.

Bei der Vorbereitung auf eine reale Arbeitsaufgabe gab es keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den drei Explorationsarten, $F(2, 58) = 1,06$; $p = 0,36$. Zum weiteren Nutzungswunsch hingegen liegt ein signifikanter Unterschied vor, $F(2, 58) = 8,78$; $p < 0,001$; partielles $\eta^2 = 0,23$. Nach Cohen (1988) liegt ein grosser Effekt vor. Post-hoc Tests mit Bonferroni-Korrektur zeigen hierbei signifikante Unterschiede zwischen der Explorationsart A und B ($p < 0,001$; $M_{\text{Diff}} = 4,33$; 95%-CI[7,04; 1,63]) sowie zwischen A und C ($p = 0,01$; $M_{\text{Diff}} = 4,08$; 95%-CI[7,34; 0,82]). Zwischen den Arten B und C liegt kein signifikanter Unterschied vor.

Eine ANOVA mit Messwiederholung mit Huynh-Feldt-Korrektur zeigt Unterschiede im subjektiven Aktivitätsniveau, $F(1,74; 50,32) = 159,69$; $p < 0,001$; partielles $\eta^2 = 0,85$. Nach Cohen (1988) liegt auch hier ein grosser Effekt vor. Anschliessende Post-hoc-Tests mit Bonferroni-Korrektur zeigen signifikante Unterschiede in allen paarweisen Vergleichen der Explorationsarten: A/B ($p < 0,001$; $M_{\text{Diff}} = 11,63$; 95%-CI[14,01; 9,25]), A/C ($p < 0,001$; $M_{\text{Diff}} = 13,52$; 95%-CI[15,75; 11,29]) und B/C ($p = 0,013$; $M_{\text{Diff}} = 1,88$; 95%-CI[3,42; 0,34]).

Neben der Bewertung der einzelnen Bewertungsvariablen wurde je eine Präferenzreihenfolge abgefragt. Hierbei sollten die Nutzer angeben, welche der drei zuvor verwendeten Explorationsarten sie bspw. am besten auf einen realen Handwerkseinsatz vorbereitet hat oder in welcher Art sie die aktivste Rolle eingenommen haben. Die Ergebnisse der Präferenzabfrage sind in Abbildung 12 zu sehen.

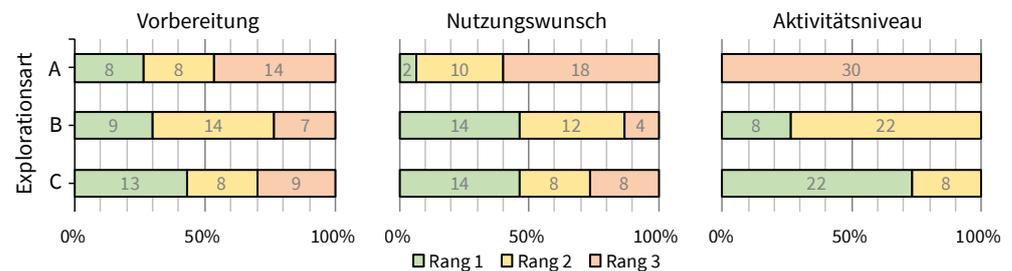


Abb. 12: Präferenzabfrage der Bewertungsvariablen Vorbereitung (links), Nutzungswunsch (Mitte) und Aktivitätsniveau (rechts). Rang 1 (grün), Rang 2 (gelb), Rang 3 (rot) mit Angabe der Häufigkeit des Rangs pro Art der Exploration.

5. Diskussion

Die *Gebrauchstauglichkeit* der in der Studie untersuchten Explorationsarten lässt sich als gut bis exzellent einstufen (Bangor, Kortum, und Miller 2009). Unterschiede in der Gebrauchstauglichkeit zwischen den Explorationsarten konnten nicht nachgewiesen werden. Interviewaussagen belegen mit 14 Nennungen zur einfachen Bedienung die intuitive und leicht verständliche Nutzung. Die subjektive Beanspruchung durch die Art C war signifikant höher als in Art A, was am höheren Einbezug der Nutzenden liegen könnte. Im Interview wurden bspw. für Art C die Vorteile «Aktiv» (8x), «intensiver Einbezug» (3x) und «leicht fordernd» (2x) genannt, wogegen bei Art A die Nachteile «langweilig» (3x), «keine eigene Aktivität» (14x) und «nicht fordernd» (1x) genannt wurden.

Zur Einordnung der *Beanspruchungswerte* wird auf Ergebnisse anderer Studien zurückgegriffen. In einer Meta-Analyse (Grier 2015) unter Einbezug von 237 Studien lagen 25% der NASA-TLX Werte unter 36,77. Damit lassen sich alle vorliegenden Werte (20,96 bis 26,92) einer eher geringen Beanspruchung zuordnen. Aufgrund der guten Gebrauchstauglichkeit in Kombination mit der geringen Beanspruchung durch die Anwendungen ist davon auszugehen, dass die prototypische Umsetzung der Explorationsarten gut funktioniert hat und diese intuitiv und einfach nutzbar waren.

Beim *Benutzungserlebnis* schneiden die beiden Explorationsarten besser ab, in denen Nutzende nicht nur das Video betrachten, sondern selbst aktiv an der Aufgabenerfüllung beteiligt sind. Nach Vergleichswerten aus einer Benchmark-Studie mit ca. 10.000 UEQ-Datensätzen liegen die ermittelten Werte von Art B und Art C im Bereich gut und sind damit überdurchschnittlich (Schrepp, Hinderks, und Thomaschewski 2017a).

Nach der *subjektiven Vorbereitung* auf einen realen Vor-Ort-Termin liegen alle Werte auf einem ähnlich hohen Niveau ohne signifikante Unterschiede zwischen den drei Arten. Beim Wunsch zur weiteren Nutzung und der Einschätzung der eigenen Rolle schnitten die Arten B und C jeweils signifikant besser ab als A. Zwar werden alle drei Arten als geeignet zur Vorbereitung auf reale Vor-Ort-Termine wahrgenommen, allerdings werden die Arten B und C mit einem höheren Anteil an eigener Exploration der Umwelt in der Nutzung präferiert und führen zu einer sehr aktiven Rolle der Nutzenden in der Anwendung.

In der durchgeführten Studie stand die Wissensvermittlung nicht im Fokus, allerdings sprechen die in den Grundlagen vorgestellten Studien von einer besseren Behaltensleistung in den Fällen des explorativen Lernens. Aufgrund des Charakters von Art A, der eher dem darbietenden Unterricht zuzuordnen ist, sind die Arten B und C in der Praxis vorzuziehen. Im Vergleich zum selbstständigen entdeckenden Lernen sind Formen gelenkt entdeckenden Lernens bezüglich des Wissenserwerbs und -transfers erfolgreicher (Kirschner, Sweller, und Clark 2006; Mayer 2004). Dieser Umstand spricht eher für die Explorationsart B statt C, da in dieser Variante durch die sichtbaren Schaltflächen eine höhere Unterstützung vorliegt. Für die Auswahl der jeweils geeigneten Explorationsart ist die Berücksichtigung der Lernvoraussetzungen der Lernenden von Bedeutung. Hierzu können bspw. Vorwissen, allgemeine kognitive Fähigkeiten und das Selbstkonzept der Lernenden einbezogen werden um zu entscheiden, wie viel Unterstützung und Lenkung nötig ist (Möller et al. 2006).

Entsprechend den von Arnold (2019, 79f.) vorgestellten Kriterien für gelingendes Lernen soll die *Erfüllung* durch die drei Explorationsarten diskutiert werden. Die Kriterien, nach denen Lernen ein selbstgesteuerter, aktivierender und konstruierender Prozess sein sollte, werden sowohl von Art B und Art C erfüllt. In beiden liegt eine sehr aktive Rolle der Nutzenden vor und sie fühlen sich einbezogen. Technisch gesehen haben sie auch in Art A klassische Funktionen der Videosteuerung, allerdings wurde diese in den meisten Fällen nicht verwendet. Die im Kriterium *Produktiv* enthaltene Forderung nach *Raum für Neugier und Entdeckung* ist bei Explorationsart C am ehesten als erfüllt anzusehen, da in den Interviews Begriffe wie Spass (2x), leicht fordernd (2x) und Spannung genannt wurden. Explorationsart A wurde mehrfach als langweilig (3x) beschrieben und zu Art B wurde häufig gesagt, dass die Markierungen zu einem «Durchklicken» (8x) der Anwendung führen mit «wenig Mitdenken» (6x). Das Kriterium für situatives und praxisbezogenes Lernen kann in allen Explorationsarten als erfüllt angesehen werden, da Praxisbezug und situative Einbindung bestehen. Dagegen wird das Kriterium *Sozial* und die darin für ein gelingendes Lernen formulierten Anforderungen in keiner der Explorationsarten umgesetzt.

In aufbauenden Untersuchungen von 3D-360°-Anwendungen kann das bisher fehlende Kriterium *Sozial*, wonach Lernen ein sozialer Prozess ist, stärker einbezogen werden, bspw. durch eigenständige Erstellung von 360°-Videos in Gruppenarbeit.

Dies würde zu einer Generierung von Wissen im sozialen Austausch beitragen und in diesem Szenario wäre dann auch die Stufe «Erschaffen» nach der Bloomschen Taxonomie erreicht (Bloom, Engelhart, und Fünér 1976).

6. Fazit

Im Vergleich zu anderen Studien geben die Ergebnisse dieser Studie konkret Aufschluss über Potenziale einzelner für 3D-360°-Videos als geeignete Explorationsarten. Es konnte am Beispiel von Vor-Ort-Terminen im Handwerk gezeigt werden, dass exploratives Lernen bspw. zu einer aktiven Nutzerrolle und einem guten Benutzungserlebnis beitragen kann. Die dabei eingesetzte günstige Technik von smartphonebasierten HMDs sowie leicht zu erstellende 360°-Inhalte machen die gezeigten Anwendungen besonders für Schulen und Ausbildungsstätten interessant.

Literatur

- Argyriou, LEMONIA, DAPHNE ECONOMOU, und VASSILIKI BOUKI. 2020. «Design methodology for 360° immersive video applications: the case study of a cultural heritage virtual tour». *Pers Ubiquit Comput* 24 (6): 843–59. <https://doi.org/10.1007/s00779-020-01373-8>.
- Arnold, ROLF. 2019. *Wie man lehrt, ohne zu belehren: 29 Regeln für eine kluge Lehre. Das LENA-Modell*. 5. Auflage. Heidelberg: Carl Auer.
- Bailey, JOHN H., und BOB G. WITMER. 1994. «Learning and Transfer of Spatial Knowledge in a Virtual Environment». *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* 38 (18): 1158–62. <https://doi.org/10.1177/154193129403801803>.
- Bangor, AARON, PHILIP KORTUM, und JAMES MILLER. 2009. «Determining What Individual SUS Scores Mean: Adding an Adjective Rating Scale». *Journal of Usability Studies* 4 (3): 114–23. <https://dl.acm.org/doi/10.5555/2835587.2835589>.
- Bloom, BENJAMIN SAMUEL, MAX D. ENGELHART, und EUGEN FÜNÉR. 1976. *Taxonomie von Lernzielen im kognitiven Bereich*. 5. Aufl. Beltz Studienbuch 35. Weinheim, Basel: Beltz.
- Brooke, JOHN. 2014. «SUS: a «quick and dirty» usability scale». In *Usability Evaluation in Industry*, herausgegeben von Patrick W. Jordan, B. Thomas, Ian L. McClelland, und Bernard Weerdmeester, 189–94. Boca Raton: Chapman and Hall/CRC.
- Brown, ABIE, und TIM GREEN. 2016. «Virtual Reality: Low-Cost Tools and Resources for the Classroom». *TechTrends* 60 (5): 517–9. <https://doi.org/10.1007/s11528-016-0102-z>.
- Butz, ANDREAS, und ANTONIO KRÜGER. 2017. *Mensch-Maschine-Interaktion*. 2., erweiterte Auflage. Berlin: De Gruyter.
- Cohen, JACOB. 1988. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. 2. Auflage. Hillsdale, NJ: Erlbaum. <http://www.loc.gov/catdir/enhancements/fy0731/88012110-d.html>.
- Dean Jr., DAVID, und DEANNA KUHN. 2007. «Direct instruction vs. discovery: The long view». *Sci. Ed.* 91 (3): 384–97. <https://doi.org/10.1002/sce.20194>.

- Dolan, Devon, und Michael Parets. 2016. «*Redefining The Axiom Of Story: The VR And 360 Video Complex*». <https://techcrunch.com/2016/01/14/redefining-the-axiom-of-story-the-vr-and-360-video-complex>.
- Dühlmeier, Bernd 2009. «Entdeckendes Lernen». In *Grundschule von A bis Z*, herausgegeben von Dietlinde H. Heckt, und Uwe Sandfuchs. Neubearb, 44–5. Praxis Pädagogik. Braunschweig: Westermann.
- Euler, Dieter, und Karl Wilbers. 2020. «Berufsbildung in digitalen Lernumgebungen». In *Handbuch Berufsbildung: Mit 53 Abbildungen und 19 Tabellen*, herausgegeben von Rolf Arnold, Antonius Lipsmeier, und Matthias Rohs. 3., völlig neu bearbeitete Auflage, 427–38. Wiesbaden: Springer VS. https://doi.org/10.1007/978-3-658-19312-6_34.
- Fernandez, Manuel. 2017. «Augmented Virtual Reality: How to Improve Education Systems». *Higher Learning Research Communications* 7 (1): 1–15. <https://eric.ed.gov/?id=EJ1150087#?>
- Field, Andy, Jeremy Miles, und Zoë Field. 2012. *Discovering Statistics Using R*. Los Angeles, CA: Sage.
- Frank, Tim Bastian. 2020. «Erstellung und Anwendung von 360°-Videos». In *Virtual Reality und Augmented Reality in der Digitalen Produktion*, herausgegeben von Horst Orsolits, und Maximilian Lackner, 263–73. Wiesbaden: Springer Gabler. https://doi.org/10.1007/978-3-658-29009-2_13.
- Funk, Johannes., Anna Klingauf, Angela. Lüüs, und Ludger Schmidt. 2019. «Umsetzung einer 3D-360°-Lerneinheit in der praktischen Ausbildung von Handwerkern: Einsatzmöglichkeiten von interaktiven immersiven Medien». In *Proceedings of DELFI Workshops (Berlin 2019)*, herausgegeben von Sandra Schulz, 161–72. Bonn: Gesellschaft für Informatik e. V. <https://dx.doi.org/10.18420/delfi2019-ws-118>.
- Google Developers. 2019. «Quickstart for Google VR SDK for Unity with Android». <https://developers.google.com/vr/develop/unity/get-started-android>.
- Grier, Rebecca A. 2015. «How High is High? A Meta-Analysis of NASA-TLX Global Workload Scores». *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* 59 (1): 1727–31. <https://doi.org/10.1177/1541931215591373>.
- Hart, Sandra G. 2006. «NASA-Task Load Index (NASA-TLX); 20 Years Later». *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* 50 (9): 904–8. <https://doi.org/10.1177/154193120605000909>.
- Hart, Sandra G., und Lowell E. Staveland. 1988. «Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research». In *Human Mental Workload*, 139–83. Advances in Psychology: Elsevier.
- Hartinger, Andreas, und Katrin Lohrmann. 2014. «Entdeckendes Lernen». In *Handbuch Grundschulpädagogik und Grundschuldidaktik*, herausgegeben von Wolfgang Einsiedler, Margarete Götz, Andreas Hartinger, Friederike Heinzl, Joachim Kahlert, und Uwe Sandfuchs. 4., erg. und aktual. Aufl., 385–8. UTB Schulpädagogik, Grundschulpädagogik 8444. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.

- Hayes, Julia, und Kyungjin Yoo. 2018. «Virtual Reality Interactivity in a Museum Environment». In *Proceedings of the 24th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST)*, herausgegeben von Stephen N. Spencer, Shigeo Morishima, Yuichi Itoh, Takaaki Shiratori, Yonghao Yue, und Rob Lindeman, 1–2. New York, NY: ACM. <https://doi.org/10.1145/3281505.3281620>.
- Hebbel-Seeger, Andreas. 2018. «360°-Video in Trainings- und Lernprozessen». In *Hochschule der Zukunft*, herausgegeben von Ullrich Dittler, und Christian Kreidl, 265–90. Wiesbaden: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-658-20403-7_16.
- Hebbel-Seeger, Andreas, André Kopischke, Philipp Riehm, und Marianna Baranovskaa. 2019. «LectureCast als 360°-Video: Welchen Einfluss haben Immersion und Präsenzerleben auf die Lernleistung?». In *Teilhabe in der digitalen Bildungswelt*, herausgegeben von Jörg Hafer, Martina Mauch, und Marlen Schumann, 118–27. Medien in der Wissenschaft. Münster: Waxmann. <https://doi.org/10.25656/01:18016>.
- HumanEyes. 2021. «Vuze+ 3D 360 VR Camera». <https://vuze.camera/camera/vuze-plus-camera>.
- Jin, Han. 2016. «Critical Impact on a Viewer's Virtual Reality Experience: How the Differences in Building 360 2D vs. 3D Cameras Will Shape VR Adoption». <https://medium.com/cinematicvr/critical-impact-on-a-viewers-virtual-reality-experience-how-the-differences-in-building-360-2d-vs-b3abff6185e3>.
- Kallioniemi, Pekka, Tuuli Keskinen, Ville Mäkelä, Jussi Karhu, Kimmo Ronkainen, Arttu Nevalainen, Jaakko Hakulinen, und Markku Turunen. 2018. «Hotspot Interaction in Omnidirectional Videos Using Head-Mounted Displays». In *Proceedings of the 22nd International Academic Mindtrek Conference*, 126–34. New York, NY: ACM. <https://doi.org/10.1145/3275116.3275148>.
- Karrer, Katja, Charlotte Glaser, Caroline Clemens, und Carmen Bruder. 2009. «Technikaffinität erfassen: Der Fragebogen TA-EG». In *Der Mensch im Mittelpunkt technischer Systeme*, herausgegeben von Antje Lichtenstein, Christian Stößel, und Caroline Clemens, 169–201. Düsseldorf: VDI.
- Kerres, Michael. 2018. *Mediendidaktik: Konzeption und Entwicklung digitaler Lernangebote*. 5. Auflage. De Gruyter Studium. Berlin, Boston: De Gruyter Oldenbourg.
- Kirschner, Paul A., John Sweller, und Richard E. Clark. 2006. «Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching». *Educational Psychologist* 41 (2): 75–86. https://doi.org/10.1207/s15326985ep4102_1.
- Klingauf, Anna, Johannes. Funk, Angela Lüüs, und Ludger Schmidt. 2019. «Wirkung von interaktiven 3D-360°-Lernvideos in der praktischen Ausbildung von Handwerkern». In *DELFI 2019 – Die 17. Fachtagung Bildungstechnologien*, herausgegeben von Niels Pinkwart, und Johannes Konert, 145–56. Bonn: Gesellschaft für Informatik. https://dx.doi.org/10.18420/delfi2019_298.

- Lee, Seung Hwan, Ksenia Sergueeva, Mathew Catangui, und Maria Kandaurova. 2017. «Assessing Google Cardboard virtual reality as a content delivery system in business classrooms». *Journal of Education for Business* 92 (4): 153–60. <https://doi.org/10.1080/08832323.2017.1308308>.
- Makransky, Guido, Stefan Borre-Gude, und Richard E. Mayer. 2019. «Motivational and cognitive benefits of training in immersive virtual reality based on multiple assessments». *Journal of Computer Assisted Learning* 35 (6): 691–707. <https://doi.org/10.1111/jcal.12375>.
- Matos, Teresa, Rui Nóbrega, Rui Rodrigues, und Marisa Pinheiro. 2018. «Dynamic annotations on an interactive web-based 360° video player». In *Proceedings of the 23rd International ACM Conference on 3D Web Technology (Web3D)*, herausgegeben von Krzysztof Walczak, Gabriel Zachmann, Jakub Flotyński, Kiyoshi Kiyokawa, und Daniel Thalmann, 1–4. ACM Conferences. New York, NY: ACM. <https://doi.org/10.1145/3208806.3208818>.
- Mayer, Richard E. 2004. «Should There Be a Three-Strikes Rule Against Pure Discovery Learning? The Case for Guided Methods of Instruction». *The American psychologist* 59 (1): 14–19. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.59.1.14>.
- Möller, Kornelia, Ilonca Hardy, Angela Jonen, Thilo Kleickmann, und Eva Blumberg. 2006. «Naturwissenschaft in der Primärstufe: Zur Förderung konzeptuellen Verständnisses durch Unterricht und zur Wirksamkeit von Lehrerfortbildung». In *Untersuchungen zur Bildungsqualität von Schule: Abschlussbericht des DFG-Schwerpunktprogramms*, herausgegeben von Manfred Prenzel, und Lars Allolio-Näcke, 161–93. Münster, München, Berlin: Waxmann.
- Neng, LuíA. R., und Teresa Chambel. 2010. «Get around 360° hypervideo». In *Proceedings of the 14th International Academic MindTrek Conference Envisioning Future Media Environments*, herausgegeben von Artur Lugmayr, Heljä Franssila, Olli Sotamaa, Christian Safran, und Timo Aaltonen, 119–22. ACM Digital Library. New York, NY: ACM. <https://doi.org/10.1145/1930488.1930512>.
- Pakkanen, Toni, Jaakko Hakulinen, Tero Jokela, Ismo Rakkolainen, Jari Kangas, Petri Piippo, Roope Raisamo, und Marja Salmimaa. 2017. «Interaction with WebVR 360° video player: Comparing three interaction paradigms». In *2017 IEEE Virtual Reality (VR): Proceedings: March 18–22, 2017, Los Angeles, CA, USA*, herausgegeben von IEEE VR, 279–80. Piscataway, NJ: IEEE. <https://doi.org/10.1109/VR.2017.7892285>.
- Parong, Jocelyn, und Richard E. Mayer. 2018. «Learning science in immersive virtual reality». *Journal of Educational Psychology* 110 (6): 785–97. <https://doi.org/10.1037/edu0000241>.
- Petko, Dominik. 2020. *Einführung in die Mediendidaktik: Lehren und Lernen mit digitalen Medien. Mit E-Book inside*. 2., vollständig überarbeitete Aufl. Weinheim: Beltz. <http://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-epflicht-1809455>.
- Petry, Benjamin, und Jochen Huber. 2015. «Towards Effective Interaction with Omnidirectional Videos Using Immersive Virtual Reality Headsets». In *Proceedings of the 6th Augmented Human International Conference (AH)*, herausgegeben von Suranga Nanayakkara, Ellen Y.-L. Do, Jun Rekimoto, Jochen Huber, und Bing-Yu Chen, 217–18. New York, NY: ACM. <https://doi.org/10.1145/2735711.2735785>.

- Preuß, Philipp, und Simone Kauffeld. 2019. «Visualisierung in der Lehre». In *Handbuch Innovative Lehre*, herausgegeben von Simone Kauffeld, und Julius Othmer, 403–8. Wiesbaden: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-658-22797-5_29.
- Qian, Yuan Yuan, und Robert J. Teather. 2017. «The Eyes Don't Have It: An Empirical Comparison of Head-Based and Eye-Based Selection in Virtual Reality». In *Proceedings of the 5th Symposium on Spatial User Interaction (SUI)*, herausgegeben von Adalberto L. Simeone, Kyle Johnsen, Rob Teather, und Christian Sandor, 91–8. New York, NY: ACM. <https://doi.org/10.1145/3131277.3132182>.
- Schild, Jonas, Joseph LaViola, und Maic Masuch. 2012. «Understanding user experience in stereoscopic 3D games». In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 89–98, herausgegeben von Joseph A. Konstan. ACM Digital Library. New York: ACM. <https://doi.org/10.1145/2207676.2207690>.
- Schrepp, Martin, Andreas Hinderks, und Jörg Thomaschewski. 2017a. «Construction of a Benchmark for the User Experience Questionnaire (UEQ)». *IJIMAI* 4 (4): 40–44. <https://doi.org/10.9781/ijimai.2017.445>.
- Schrepp, Martin, Andreas Hinderks, und Jörg Thomaschewski. 2017b. «Design and Evaluation of a Short Version of the User Experience Questionnaire (UEQ-S)». *IJIMAI* 4 (6): 103–8. <https://doi.org/10.9781/ijimai.2017.09.001>.
- Tse, Audrey, Charlene Jennett, Joanne Moore, Zillah Watson, Jacob Rigby, und Anna L. Cox. 2017. «Was I There?». In *CHI'17: Extended abstracts: proceedings of the 2017 ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems : May 6-11, 2017, Denver, CO, USA*, herausgegeben von Gloria Mark, Susan Fussell, Cliff Lampe, Monica Schraefel, Juan P. Hourcade, Caroline Appert, und Daniel Wigdor, 2967–74. New York, NY: The Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3027063.3053225>.
- Unity Technologies 2021. Unity (Version 2018.4.32f1). <https://unity.com/de>.
- Violante, Maria Grazia, Enrico Vezzetti, und Pietro Piazzolla. 2019. «Interactive virtual technologies in engineering education: Why not 360° videos?». *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJDeM)* 13 (2): 729–42. <https://doi.org/10.1007/s12008-019-00553-y>.
- YOUE++. 2019. «Gaze UI for Canvas». <https://assetstore.unity.com/packages/tools/gui/gaze-ui-for-canvas-70881#reviews>.
- Zhang, Lei, Doug A. Bowman, und Caroline N. Jones. 2019. «Exploring Effects of Interactivity on Learning with Interactive Storytelling in Immersive Virtual Reality». In *2019 11th International Conference on Virtual Worlds and Games for Serious Applications (VS-Games)*, 1–8. Piscataway, NJ: IEEE. <https://doi.org/10.1109/VS-Games.2019.8864531>.