

Kapp, Felix; Matthes, Nadine; Kruse, Linda; Niebeling, Moritz; Spangenberg, Pia

Article — Published Version

Fehlerdiagnose mit Virtual Reality trainieren – Entwicklung und Erprobung einer virtuellen Offshore- Windenergieanlage

Zeitschrift für Arbeitswissenschaft

Provided in Cooperation with:

Springer Nature

Suggested Citation: Kapp, Felix; Matthes, Nadine; Kruse, Linda; Niebeling, Moritz; Spangenberg, Pia (2022) : Fehlerdiagnose mit Virtual Reality trainieren – Entwicklung und Erprobung einer virtuellen Offshore-Windenergieanlage, Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, ISSN 2366-4681, Springer, Berlin, Heidelberg, Vol. 76, Iss. 2, pp. 192-201, <https://doi.org/10.1007/s41449-022-00316-8>

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/310998>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.



<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Fehlerdiagnose mit Virtual Reality trainieren – Entwicklung und Erprobung einer virtuellen Offshore-Windenergieanlage

Felix Kapp¹ · Nadine Matthes² · Linda Kruse³ · Moritz Niebeling¹ · Pia Spangenberg²

Angenommen: 4. Mai 2022 / Online publiziert: 30. Mai 2022
© Der/die Autor(en) 2022

Zusammenfassung

Virtual Reality Lernumgebungen bieten besonderes Potenzial für die Vermittlung komplexer Inhalte und Fähigkeiten im beruflichen Kontext. In solchen Lernumgebungen lassen sich authentische Arbeitsaufgaben umsetzen anhand derer anwendungsnah Kompetenzen erlernt werden können. In der VR Lernumgebung MARLA wird die Fehlerdiagnose in den Bereichen Elektro- und Metalltechnik in Form eines achtstufigen Prozesses anhand eines konkreten Beispiels auf einer Offshore-Windenergieanlage trainiert. Auszubildende bekommen dafür in Anlehnung an den Cognitive Apprenticeship Ansatz zunächst von einem Non-Player Character innerhalb der Anwendung die einzelnen Schritte erklärt und vorgemacht, bevor sie anschließend schrittweise selbständig den Prozess durchlaufen. Der vorliegende Beitrag stellt die Anwendung und ihre Entwicklung vor und berichtet Ergebnisse der formativen Evaluation, welche wichtige Erkenntnisse für die Ausgestaltung der Umgebung geliefert hat.

Praktische Relevanz Im vorliegenden Beitrag wird zum einen auf theoretische Erkenntnisse hinsichtlich des Potentials von Virtual Reality Anwendungen für die berufliche Bildung eingegangen. Zum anderen werden Erfahrungen aus dem Bereich der konzeptionellen Entwicklung der VR Anwendung und der empirischen Evaluation der Anwendung präsentiert. Beide Punkte haben zum Ziel einen Beitrag zur Weiterentwicklung der Weiterbildung im Arbeitskontext zu leisten.

Schlüsselwörter Virtual Reality · Training · Berufliche Bildung · Fehlerdiagnose · Cognitive Apprenticeship · Offshore-Windenergieanlagen

Training of troubleshooting skills with virtual reality—development and testing of a virtual offshore wind turbine

Abstract

Virtual Reality learning environments offer special potential for training of complex skills and teaching complex content in a professional context. In such learning environments, authentic work tasks can be implemented, on the basis of which application-oriented competencies can be learned. In the VR learning environment MARLA, troubleshooting in the field of metal and electrical engineering is trained. Therefore students are taught a process containing eight steps facilitating a systematic approach in finding and fixing bugs in a complex system. By using an offshore wind turbine a concrete and authentic setting has been chosen to address the systematic troubleshooting process.

✉ Dr. Felix Kapp
felix.kapp@tu-berlin.de

¹ Fachgebiet Mensch-Maschine-Systeme, Institut für Psychologie und Arbeitswissenschaft, Technische Universität Berlin, Marchstraße 23, 10587 Berlin, Deutschland

² Fachgebiet Fachdidaktik Bautechnik und Landschaftsgestaltung, Institut für Berufliche Bildung und Arbeitslehre, Technische Universität Berlin, Marchstraße 23, 10587 Berlin, Deutschland

³ the Good Evil GmbH, Gilbachstraße 22, 50672 Köln, Deutschland

Based on the cognitive apprenticeship approach, a so-called non-player character explains and demonstrates the individual steps within the application to the trainees. Afterwards they go independently through the process step by step. The present article presents the application and its development and reports the results of the formative evaluation, which provided important findings for the design of the environment.

Practical Relevance On the one hand, this article deals with theoretical findings regarding the potential of virtual reality applications for vocational training. On the other hand, experiences from the area of the conceptual development of the VR application and the empirical evaluation of the application are presented. Both points aim to make a contribution to the further development of future training scenarios in the work context.

Keywords Virtual Reality · Training · Vocational education · Troubleshooting · Cognitive Apprenticeship · Offshore wind turbines

1 Einleitung

Virtual-Reality-Umgebungen (VR-Umgebungen) erfreuen sich auf Grund der schnellen technologischen Entwicklung der VR-Headsets und einer damit einhergehenden Reduktion der Anschaffungskosten einer immer größeren Beliebtheit. Nach Slater und Sanchez-Vives (2016) bestehen sogenannte VR-Systeme dabei aus Head-Mounted Displays (HMD), welche für jedes Auge 2D Bilder in der entsprechenden Perspektive darstellen. Dabei wird auch auf die Position des HMD zurückgegriffen, welche wiederum verwendet wird um auf die aktuelle Perspektive angepasste Bilder auf den Displays zu präsentieren. In Summe entsteht so für die Nutzenden der Eindruck sich in einer zur Realität alternativen Umgebung – einem sogenannten „virtual environment“ (Milgram und Kishino 1994) – zu befinden, welche man in alle Richtungen erkunden kann.

Bereits 2019 wurde davon ausgegangen, dass in Deutschland über 800.000 Konsumenten über VR-Headsets verfügen (pwc 2020). Hierbei werden VR-Hüllen (welche in Kombination mit Smartphones verwendet werden), VR-Kombigeräte (welche in Kombination mit einem PC verwendet werden) und autonome VR-Geräte zusammengefasst. Die Markteinführung autonomer Head-Mounted Displays um 2016 erweitert die Einsatzmöglichkeiten von VR-Umgebungen dabei deutlich. Während die motivationalen und kognitiven Effekte beim Lernen mit VR schon länger untersucht werden (z. B. Merchant et al. 2014) ergeben sich durch die wachsende Verfügbarkeit und die technologische Entwicklung hin zu autonomen HMDs neue Möglichkeiten für den Einsatz dieser Technologie in der beruflichen Bildung. Der vorliegende Beitrag stellt vor diesem Hintergrund die Entwicklung und eine erste Evaluationsstudie einer VR Lernumgebung zum Thema Training der Fehlerdiagnosekompetenz am Beispiel einer Offshore-Windkraftanlage vor.

2 Virtual Reality in der beruflichen Bildung

Virtual Reality Anwendungen bieten vielfältige Potenziale für unterschiedlichste Bildungskontexte (Jensen und Konradsen 2018; Merchant et al. 2014). Thematisch reichen die Anwendungsfelder der letzten 20 Jahre dabei von der Vermittlung von mathematischen Fähigkeiten (Kaufmann et al. 2000) über das Trainieren chirurgischer Eingriffe (Alaraj et al. 2011) hin zu Beispielen aus dem Bereich Engineering (Rahimian et al. 2014). Zielgruppen waren sowohl Studierende als auch Beschäftigte und Auszubildende (z. B. Freina und Ott 2015; Janssen et al. 2019). Betrachtet man die Erkenntnisse der VR Forschung im Bildungsbereich näher lassen sich für den Bereich der beruflichen Bildung Vorteile benennen, welche mit dem Einsatz von VR-Umgebungen einhergehen können.

2.1 Potenziale von VR Lernumgebungen

In Virtual Reality (VR) entwickelte Lernumgebungen können in der beruflichen Bildung als Zwischenschritt zwischen der theoretischen Auseinandersetzung mit Lerninhalten und der Anwendung dieser in der beruflichen Praxis dienen und somit beim Trainieren von beruflichen Kompetenzen unterstützen. Vorteile von VR Umgebungen sind dabei, dass die Lernenden Arbeitssituationen erleben können, die in der Realität für Trainingszwecke nur schwer zugänglich sind. Darüber hinaus können verschiedene Handlungsoptionen innerhalb der Virtual Reality ausprobiert werden, der Simulationscharakter der Umgebung erlaubt es Konsequenzen des eigenen Handelns mit einer hohen Immersion zu erleben. Slater und Sanchez-Vives (2016) fassen die Vorteile dabei wie folgt zusammen: VR-Umgebungen ermöglichen es (1) das Abstrakte greifbar zu machen. Stellt man sich hier vor, dass die abstrakte Darstellung eines Systems auf einem Schaltplan innerhalb einer VR-Umgebung greifbar gemacht wird, indem bspw. jedem Symbol auf dem Schaltplan ein Objekt in realer Größe zugeordnet wird, so wird deutlich, welche Potenziale hier angesprochen werden. VR-Umgebungen ermöglichen es (2) aktiv zu wer-

den anstatt nur passiv zu beobachten. Hierunter werden die Potenziale, die die zahlreichen Interaktionsmöglichkeiten innerhalb von VR-Umgebungen beinhalten, zusammengefasst. Als weiteren Punkt benennen Slater und Sanchez-Vives (2016) (3) das Orte besucht werden können, welche in der Realität gar nicht oder nur mit hohen Kosten verbunden erreichbar sind.

Betrachtet man das Potenzial der VR Technologie aus einer fachdidaktischen und lernpsychologischen Perspektive ergeben sich für die Vermittlung komplexer Inhalte und Fähigkeiten in der beruflichen Aus- und Weiterbildung noch weitere Möglichkeiten: durch die Gestaltung von pädagogischen Agenten oder sogenannten Non-Player Character, welche durch das System gesteuert werden, ist eine gezielte Anleitung und Lernen am Modell im Sinne des Cognitive Apprenticeship Ansatzes (Collins et al. 1987) umsetzbar. Darüber hinaus kann innerhalb der VR Umgebung nicht nur die reale Arbeitssituation abgebildet werden, punktuell kann diese auch durch digitale Hilfestellungen erweitert werden, was wiederum beim Aufbau neuer Fähigkeiten gezielt eingesetzt werden kann. Während beispielsweise innerhalb der VR ein komplexes technisches System wie eine Windkraftanlage dargestellt werden kann, übertrifft die virtuelle Umsetzung die Realität in Bezug auf das Potenzial für Trainingszwecke sogar noch, da innerhalb der VR zusätzliche Infos zu einzelnen Bauteilen eingeblendet werden können oder systemische Zusammenhänge in Form von zusätzlichen Visualisierungen verdeutlicht werden können (z.B. Visualisierung des Stromflusses oder Druck im hydraulischen Bremssystem).

Parong und Mayer (2018) sehen das Potenzial von VR-Umgebungen darin, das Studierende in ihnen immersive sensorische Erfahrungen machen, welche in mehr Elaboration und damit nachhaltigeren Lernprozessen resultieren. Das Cognitive Affective Model of Immersive Learning (CAMIL, Makransky und Petersen 2021) erweitert diese Überlegung und postuliert, dass technische Eigenschaften von Virtual Reality Umgebungen (wie z.B. der Grad an Immersion und Möglichkeiten Kontrolle in der Umgebung auszuüben etc.) das Angebot mit sich bringen sowohl Präsenzerleben als auch Handlungsfähigkeit zu erfahren. Diese beiden Faktoren erhöhen Lernmotivation, die Selbstwirksamkeit, die Möglichkeiten der erfolgreichen Selbstregulation während des Lernprozesses und führen so über eine intensivere Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand zu Wissenserwerb. Der Educational Framework for Immersive Learning (EFiL, Dengel und Magdefrau 2018) benennt darüber hinaus Einflussfaktoren wie die didaktische und inhaltliche Qualität der in VR umgesetzten Szenarien sowie den Kontext des Einsatzes. Hier wird deutlich, dass sowohl eine systematische Konstruktion passend zu den jeweiligen Lernzielen als auch ein geplanter Einsatz der

VR Lernumgebung entscheidenden Einfluss auf den Erfolg des Einsatzes hat.

Die in den beiden Modellen vorgestellten Faktoren sind somit ein Ansatzpunkt für die Entwicklung von lernförderlichen VR Umgebungen und können gleichzeitig auch herangezogen werden, um empirische Beispiele zu verstehen in denen sich das VR Potenzial im Vergleich zu klassischen Lernsettings nicht zeigte (z. B. Parong und Mayer 2018).

2.2 Entwicklung von VR Lernumgebungen

Für die erfolgreiche Entwicklung von VR Lernumgebungen, die das eingangs angesprochene Potenzial auch entfalten, ist ein systematischer Konstruktionsprozess notwendig. Dabei kann durchaus auf bestehende Heuristiken zur Trainingsentwicklung zurückgegriffen werden. Das von Branch (2009) vorgeschlagene Vorgehen entlang der Schritte Analysis, Develop, Design, Implement und Evaluate zeigt die zentralen Herausforderungen auf: die Grundlage für die VR Lernumgebung bietet die Analyse (1. Analysis) des Lerngegenstands und der Eigenschaften der Zielgruppe. Welches Vorwissen bringen sie mit, welche Vorerfahrungen mit Virtual Reality sind vorhanden? Im zweiten Schritt (2. Develop) werden Lernziele formuliert und Inhalte ausgewählt, welche in Schritt 3 (3. Design) in Quests innerhalb der VR Umgebung umgesetzt werden. Für eine erfolgreiche Fertigstellung der Trainingsmaßnahme darf die Implementierung der Anwendung (4. Implement) in das jeweilige Setting (z.B. Berufsschule, Hochschule, innerbetriebliche Weiterbildung) nicht fehlen. Während dieser Schritte ist es Aufgabe der Evaluation im Sinne einer formativen und summativen Evaluation Informationen hinsichtlich der Qualität und Effekte erster Prototypen und auch der finalen Anwendung zu generieren (5. Evaluate). Damit finden sich in diesem Ansatz grundlegende Aspekte der Entwicklung von interaktiven Systemen wieder (siehe ISO 9241-220) – wie z.B. die iterative Entwicklung unter Berücksichtigung der individuellen Eigenschaften der Zielgruppe. Gleichzeitig spezifiziert Branch (2009) das Vorgehen für Bildungskontexte.

Die in der Virtual Reality Umgebung realisierten Tätigkeiten und Aufgaben sollten sich dementsprechend eng an den konkreten Lernzielen orientieren. Im Rahmen der vorliegenden Anwendung wurde bei der Entwicklung konzeptionell auf die folgenden vier Aspekte besonders eingegangen: (1) Die Lernaufgaben oder auch Quests innerhalb der VR Umgebung standen besonders im Fokus. Die auszuführenden kognitiven und motorischen Operationen müssen sich an den definierten Lernzielen orientieren und in diesem Sinne kontextvalid sein (Jensen und Konradsen 2018; Kapp et al. 2019a). Gleichzeitig kann über eine sich an der Realität orientierende Aufgabe eine hohe Authentizität hergestellt werden, was die Attraktivität der Anwendung für die Lernenden erhöht. Darüber hinaus sollte sich die Ge-

staltung des (2) Feedbacks innerhalb der VR Umgebung, (3) der Interaktivität (z. B. Gestaltung der Schnittstelle mit Hilfe von Controllern, Finger Tracking, Spracheingabe etc. bzw. inwiefern die VR Umgebung Manipulationen zulässt) sowie (4) eventuell vorhandene Game Features an der Zielgruppe und den Lernzielen orientieren (Kapp et al. 2019a).

Der vorliegende Artikel leistet einen Beitrag zur Fragestellung welches Potenzial VR Lernumgebungen haben, indem er eine systematisch entwickelte Anwendung vorstellt und die Ergebnisse einer ersten Evaluationsuntersuchung präsentiert. Dabei wird im Folgenden auf die Lernziele und den Ablauf der Anwendung MARLA näher eingegangen.

3 Die MARLA VR Lernumgebung: Fehlerdiagnosekompetenz mit VR trainieren

Die im Rahmen des Projektes MARLA (MARLA 2021) entwickelte VR Anwendung versetzt Auszubildende aus den Bereichen Elektro- und Metalltechnik in die Lage die systematische Fehlerdiagnose in einer Offshore-Windkraftanlage (WKA) anhand eines authentischen Fehlers zu trainieren.

Die Grundlage für die didaktische Gestaltung der VR Lernumgebung lieferte der Cognitive-Apprenticeship Ansatz (Collins et al. 1987): die Lernenden haben innerhalb der VR sowohl die Möglichkeit durch einen virtuellen pädagogischen Agenten Abläufe der Fehlerdiagnose in einer WKA demonstriert zu bekommen und bei einer ersten Bearbeitung angeleitet zu werden als auch sich in einem weiteren Durchgang mit größeren Freiheitsgraden und einer nur noch punktuell und auf Anfrage erfolgenden Unterstützung selbständig auszuprobieren. Das Lernziel der Anwendung

ist es dabei, den Auszubildenden die systematische Fehlerdiagnose anhand von acht Schritten beizubringen:

1. Fehler erfassen
2. Ist-Zustand beschreiben
3. Suchraum eingrenzen
4. Hypothesen aufstellen und bewerten
5. Hypothesen überprüfen
6. Instandsetzen
7. Wiederinbetriebnahme
8. Fehlerdokumentation ausfüllen

Darüber hinaus bietet die VR Anwendung einen immersiven Einblick in den Arbeitsalltag auf einer Offshore-WKA und bettet den Fehlerdiagnoseprozess in ein realistisches Setting ein, welches auch spezifische Arbeitssicherheit- und Kommunikationsprozesse beinhaltet. Mit dem authentischen Setting geht darüber hinaus die Vermittlung von grundlegendem Wissen zur Funktionsweise einer WKA und im spezifischen des hydraulischen Bremssystems der WKA einher, da hier der zu findende Fehler verortet ist.

Zur Erreichung der beschriebenen Lernziele wurde dabei auf der Grundlage einer spezifischen Fehlermeldung (der Sensor 228 meldet den Fehler – „Brake Pressure Sensor Error“) eine Quest konstruiert, welche die Lernenden alle acht Schritte durchlaufen lässt.

Die Lernenden starten dafür im Betriebsgebäude eines Offshore-Windparks und werden von ihrer Kollegin begrüßt (Abb. 1). Nach einer Einführung in die VR-Umgebung und die Möglichkeiten der Interaktion und Steuerung bekommt man einen thematischen Input zur Funktionsweise. Anhand eines interaktiven Modells erklärt der NPC die Stromerzeugung durch Windkraft.

Im Anschluss geht es mit dem Arbeitsauftrag einen Fehler auf einer WKA im Windpark zu beheben auf das Boot. Auf der Anlage angekommen übernimmt man die Kontrolle

Abb. 1 Im ersten Teil der MARLA VR-Umgebung befindet man sich im Betriebsgebäude im Hafen (Projekt MARLA/the Good Evil GmbH)

Fig. 1 In the first level of the MARLA VR-environment learners are briefed in the operational facility located at the port (Project MARLA/the Good Evil GmbH)



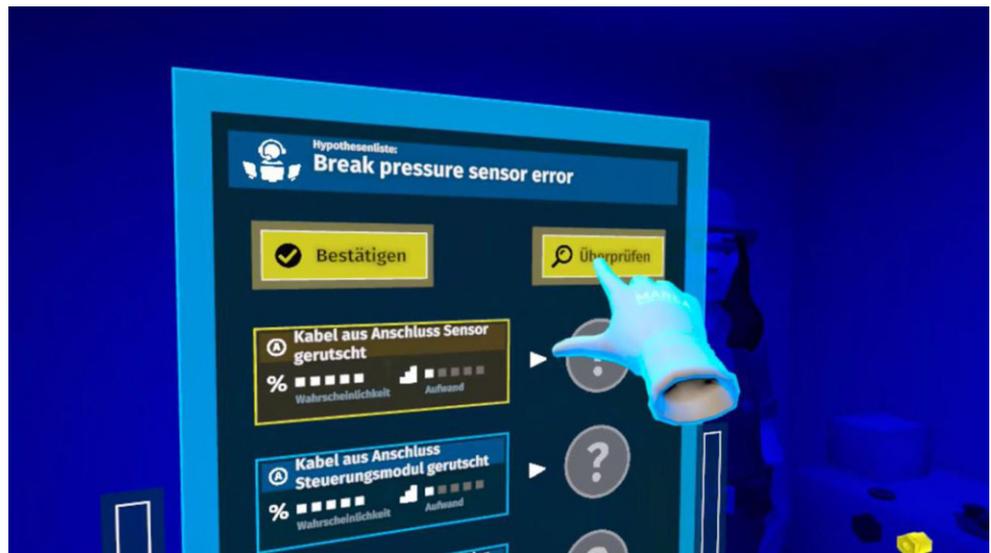
Abb. 2 Die Instruktorin übernimmt im Sinne des Cognitive Apprenticeship Ansatzes die Rolle des Modells, welches durch den Fehlerdiagnoseprozess führt (Projekt MARLA/the Good Evil GmbH)

Fig. 2 The instructor serves as a model for the systematic troubleshooting process according to the cognitive apprenticeship approach (Project MARLA/the Good Evil GmbH)



Abb. 3 Die Auswahl und Bewertung von Hypothesen im Rahmen des Fehlerdiagnoseprozesses (Projekt MARLA/the Good Evil GmbH)

Fig. 3 Selection and ranking of hypotheses concerning the reported error (Project MARLA/the Good Evil GmbH)



über die Anlage und beginnt mit Schritt 1 „Fehler erfassen“. Unter Anleitung des NPC wird dafür der Fehler mit Hilfe eines Human-Machine-Interface (HMI) ausgelesen (Abb. 2). Im Schritt 2 „Ist-Zustand beschreiben“ werden die Informationen aus dem HMI mit einer Sichtprüfung während eines Rundgangs durch die Gondel ergänzt.

Nach einem weiteren inhaltlichen Input durch den NPC zum Thema „hydraulisches Bremssystem“ wird in Schritt 3 der „Suchraum eingegrenzt“. Dafür werden unter Verwendung eines Hydraulikplans relevante Bauteile identifiziert. Kategorisiert über die relevanten Bauteile (z.B. Akkumulatoren, Sensor, Steuermodul) werden im nächsten Schritt mögliche Hypothesen gesammelt und hinsichtlich ihrer Auftretenswahrscheinlichkeit und des Aufwands bei der Überprüfung bewertet (Schritt 4 „Hypothesen aufstellen und bewerten“, Abb. 3). Die Lernenden müssen

die möglichen Fehlerursachen in eine Reihenfolge bringen. In Schritt 5 „Hypothesen prüfen“ wird dann je nach ausgewählter Hypothese durch Sichtprüfung und Messen ermittelt, ob sie verantwortlich für die ausgegebene Fehlermeldung ist. Dabei werden die Hypothesen bis zum Finden der Ursachen in der vorher festgelegten Reihenfolge durchgetestet. Anschließend wird der Fehler bspw. durch das Tauschen des fehlerhaften Bauteils behoben (Schritt 6 „Instandsetzen“), die Anlage wird mit Hilfe des HMI wieder in Betrieb genommen (Schritt 7 „Inbetriebnahme“) und der Fehler wird im letzten Schritt dokumentiert (Schritt 8 „Dokumentation“).

Im Folgenden werden Ergebnisse einer ersten empirischen Evaluation des MARLA Prototyps berichtet.

4 Evaluation des MARLA Prototyps – motivationale und kognitive Effekte

Die Evaluation hatte im Wesentlichen zwei Ziele: sie sollte (1) einen Beitrag im Sinne einer formativen Evaluation zur Weiterentwicklung der Anwendung leisten. Dies beinhaltet, dass sie Informationen hinsichtlich der Usability und mögliche kritische Punkte in der Anwendung im Kontext Berufsschule liefert. Sie sollte darüber hinaus (2) Erkenntnisse hinsichtlich der motivationalen und kognitiven Effekte generieren. Die dahinterliegende Forschungsfrage ist hier, ob die Verwendung von Virtual Reality zu einer Steigerung der Motivation sich mit Lerninhalten auseinanderzusetzen führen kann und inwiefern mit der MARLA Umgebung Wissen erworben wird. Zu diesem Zweck wurde die Virtual Reality Umgebung MARLA an einer Berliner Berufsschule eingesetzt.

4.1 Methoden

Stichprobe An der Untersuchung nahmen insgesamt 46 Personen (45 Männer und eine Frau) teil. Das Durchschnittsalter betrug 22,5 Jahre ($SD=4,41$). Alle Teilnehmenden besuchten die Berliner Berufsschule und machten entweder eine Ausbildung zum Elektroniker/in für Informations- und Telekommunikationstechnik, zum Elektroniker/in für Maschinen und Antriebstechnik oder zum Elektroniker/in für Gebäudetechnik. Die Schülerinnen und Schüler waren dabei sowohl aus dem 1. Lehrjahr (2), dem 2. Lehrjahr (11), dem 3. Lehrjahr (23) als auch dem 4. Lehrjahr (10).

Design Zur Untersuchung möglicher Usability-Probleme und der näheren Betrachtung der kognitiven und motivationalen Effekte der VR Anwendung MARLA wurde eine Studie mit einem Pre-Post Vergleich motivationaler Variablen und des Wissenstands durchgeführt. Anmerkungen und Probleme bei der Bedienung wurden sowohl durch die Versuchsleiter dokumentiert als auch von den Probanden in der Nachbefragung angegeben.

Erhebungsinstrumente Ein Fragebogen in der Vorbefragung erfasste soziodemografische Angaben der Teilnehmenden (Alter, Geschlecht, Vorerfahrung mit VR, Ausbildung und Lehrjahr). Die gegenstandsspezifische und tätigkeitsspezifische Motivation zum Thema Windkraftanlagen wurden sowohl im Vorfeld der Verwendung der VR Lernumgebung als auch im Nachgang erfragt. Dabei kamen in Anlehnung an Kapp et al. (Kapp et al. 2019b) jeweils drei Items zum Einsatz (z.B. tätigkeitsspezifisch „Es macht mir Spaß, mich mit Windkraftanlagen zu beschäftigen“, gegenstandsspezifisch „Ich finde Windkraftanlagen sehr spannend.“) welche auf einer sechs-stufigen Skala (1 – „trifft überhaupt nicht zu“ bis 6 – „trifft voll

und ganz zu“) bewertet werden sollten. Zur Erfassung des Wissenstands wurde sowohl vor als auch nach Verwendung der VR Umgebung ein Wissenstest bestehend aus 13 Items verwendet. Insgesamt konnten 19 Punkte erreicht werden. Jede Frage präsentierte dabei im Multiple- bzw. Single-Best Choice Format mehrere Antwortmöglichkeiten von denen entweder eine oder mehrere korrekt waren. Die Wissenstestitems fragten dabei sowohl nach Inhalten zum Thema Aufbau und Funktionsweise einer Windkraftanlage (z.B. „Was sind Bestandteile des hydraulischen Bremssystems einer Windkraftanlage“ – „Azimutssystem“, „Ocean Piece“, „Generator“, „Turmnachführung“, „Gondelblätter“, „Wechselrichter“) als auch nach Wissensinhalten aus dem Bereich systematische Fehlerdiagnose in acht Schritten (z.B. „Welcher der folgenden Schritte wird im Fehlerdiagnoseprozess zuerst ausgeführt?“ oder „Nach welchen Dimensionen sollte man Hypothesen/mögliche Fehlerursachen bewerten?“). Zu Erfassung möglicher Motion Sickness/Unannehmlichkeiten bei der Bedienung wurde ein Fragebogen bestehend aus neun Items verwendet, welcher auf dem Virtual Reality Sickness Questionnaire (VRSQ, Kim et al. 2018) basiert. Die Items deckten dabei unterschiedliche Aspekte des Wohlbefindens während der Nutzung der Virtual Reality Umgebung ab (z.B. „Bitte bewerte nun, ob die nachfolgenden Symptome bei dir während oder nach der Nutzung auftraten.“ „Ermüdung“, „Verschwommene Sicht“). Die Probanden wurden gebeten auf einer vierstufigen Skala („Gar nicht“, „Leicht“, „Mittel“, „Stark“) anzugeben, inwiefern die genannten Symptome bei Ihnen aufgetreten sind.

MARLA Prototyp Zum Einsatz kam ein Prototyp der MARLA VR Umgebung, welcher die Einführung und die vollständige Bearbeitung des Fehlerdiagnoseprozesses ermöglicht. Innerhalb der VR Umgebung starteten die Teilnehmenden im Betriebsgebäude eines Offshore-Windparks, in welchem sie von ihrer Kollegin Alex begrüßt werden. Es schließt sich eine Einführung in die Steuerung der VR an. Im Anschluss wird mit Hilfe eines Modells die grundlegende Funktionsweise einer Windkraftanlage dargestellt. In der nächsten Sequenz fährt man gemeinsam mit Alex mit einem Boot raus zu einer Windkraftanlage. Diese hat einen Fehler gemeldet, welchen man nun systematisch durch das Durchlaufen der acht Schritte der Fehlerdiagnose finden und beheben muss. Alex übernimmt dabei die Rolle einer Instruktorin, die durch die Schritte führt und als Modell für die Lösung des Problems fungiert. Im Laufe des Fehlerdiagnoseprozesses begibt man sich dabei vom Außenbereich am Fuße des Turms über den Eingangsbereich in den Turm hoch in die Gondel. Hier ist man auf allen drei Ebenen unterwegs und grenzt den Suchraum schließlich auf den Maschinenraum in der Gondel ein. Zum Abschluss begibt man sich wieder nach unten, übergibt die Kontrolle der

Anlage wieder an die Leitzentrale und dokumentiert den Prozess ganz am Ende. Der verwendete MARLA Prototyp hat insgesamt eine Spielzeit von ca. 45 min. Für die vorliegende Evaluation spielten die Teilnehmenden entweder eine Version, in der die Kollegin Alex eine ausgearbeitete Figur mit einer menschlichen Stimme war oder eine eher einfach gehaltene Figur mit einer computergenerierten Stimme. Da es keine Unterschiede hinsichtlich der abhängigen Variablen zwischen den zwei Versionen gab, werden die Ergebnisse in der vorliegenden Arbeit zusammengefasst für beide Gruppen dargestellt.

Ablauf Die Untersuchung fand in einer Berliner Berufsschule statt. Die Probanden kamen dafür für jeweils 90 min in einen Seminarraum in welchem sowohl die Befragung als auch das Erproben der VR stattfand. Nach einer Begrüßung und Aufklärung über das Projekt wurden die Teilnehmenden gebeten in einer Vorbefragung Angaben zu ihrer Person zu machen. Im Anschluss wurden die Motivation hinsichtlich des Themas Windkraftanlagen sowie mit Hilfe des Vorwissenstest die Kenntnisse im Bereich Windkraftanlagen und Fehlerdiagnose erfasst. Nach Abschluss der Vorbefragung begaben sich die Teilnehmenden in die Virtual Reality Umgebung. Sie bekamen dafür eine kurze Einführung zur Oculus Quest und befanden sich dann ca. 20 min in der MARLA VR Umgebung. Sobald sie einen bestimmten Punkt im Verlauf der Anwendung erreichten (die erstmalige Verwendung des Hydraulikplans im Schritt „Suchraum eingrenzen“) wurden sie vom Versuchsleiter aufgefordert das HMD abzusetzen und eine kurze Pause einzulegen. In dieser wurden sie hinsichtlich eventuell auftretender Motion Sickness befragt. Nach einer kurzen Pause bearbeiteten alle Probanden den zweiten Teil der VR, in welcher der Fehlerdiagnoseprozess bis zum Ende durchlaufen wurde. Die anschließende Nachbefragung erfasste nochmals die Motion Sickness anhand der neun Items, die Motivation sich mit Windkraftanlagen zu beschäftigen sowie den Wissensstand mit dem bereits eingangs verwendeten Wissenstest.

Verwendete Geräte Die MARLA VR Anwendung wurde mit Hilfe einer Oculus Quest 1 bearbeitet. Dafür wurde in

den Seminarräumen ein drei mal drei Meter großer Spielbereich definiert. Die Anwendung verwendet dabei die beiden Controller der Quest. Das Handtracking war deaktiviert. Die Vor-, Zwischen- und Nachbefragung wurde digital mit Hilfe eines Tablets mit Tastatur durch die Teilnehmenden ausgefüllt.

Datenauswertung Inferenzstatistische Analyse und deskriptive Datenauswertung wurden mit Hilfe von SPSS durchgeführt. Die Fragestellungen hinsichtlich der motivationalen und kognitiven Effekte wurden mit Hilfe von Varianzanalysen mit Messwiederholung berechnet.

4.2 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse hinsichtlich der drei Fragestellungen präsentiert. Dabei wird zuerst auf die motivationalen Effekte der VR Umgebung eingegangen. Im Anschluss werden die Ergebnisse auf den Wissenserwerb dargestellt. Der Ergebnisteil schließt mit den Berichten der Teilnehmenden hinsichtlich der Usability der Anwendung und eventueller Unannehmlichkeiten bei der Verwendung. Von den 46 Teilnehmenden konnten insgesamt 45 Datensätze für die Auswertung verwendet werden. Eine Person klagte bereits zu Beginn der Erprobung über Kopfschmerzen und brach die Studie nach ca. der Hälfte der Zeit ab. Dieser Datensatz ging daraufhin nicht in die Auswertung ein.

Motivationale Effekte Sowohl die tätigkeitsbezogene Motivation ($F(1,44)=61,06; p<0,001; \eta^2_p=0,581$) als auch die gegenstandsspezifische Motivation ($F(1,44)=81,87; p<0,001; \eta^2_p=0,650$) in Bezug auf Windkraftanlagen stieg im Pre-Post Vergleich signifikant an. In Tab. 1 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen für die 45 Teilnehmenden dargestellt. Während die Auszubildenden vor dem Ausprobieren der VR Anwendung ein mittleres Interesse auf der sechsstufigen Skala in Bezug auf Tätigkeiten in Verbindung mit Windkraftanlagen angaben, ist dieses nach der VR Umgebung auf 4,43 angestiegen. In Bezug auf die gegenstandsspezifische Motivation ist ein bereits über dem

Tab. 1 Mittelwerte und Standardabweichungen für Pre- und Post-Motivation

Table 1 Average motivation scores and standard deviation for pre- and post-measurements

	Pre Mittelwert	Pre Standardabweichung	Post Mittelwert	Post Standardabweichung	<i>n</i>
Tätigkeitsspezifische Motivation	3,52	0,97	4,43	0,77	45
Gegenstandsspezifische Motivation	4,66	0,73	5,04	0,71	

Tab. 2 Mittelwerte und Standardabweichungen für Pre- und Post-Testscores im Wissenstest

Table 2 Average pre- and post-test scores and corresponding standard deviations

	Pre Mittelwert	Pre Standardabweichung	Post Mittelwert	Post Standardabweichung	<i>n</i>
Wissenstestscore	0,78	0,60	6,16	2,33	45

theoretischen mittleren Wert (3,5) liegender Durchschnitt vor der VR Anwendung zu beobachten (4,66), welcher sich nochmals signifikant erhöht (5,04).

Wissenserwerb Von 19 möglichen Punkten im Wissenstest zu den Themen technische Grundlagen von Windkraftanlagen und systematische Fehlerdiagnose erreichten die Teilnehmenden vor der Bearbeitung der VR Umgebung weniger als einen (0,78). Nach der Bearbeitung erreichten sie im Mittel 6,15 Punkte. Dabei handelt es sich um einen signifikanten Anstieg in Bezug auf die erreichten Punkte ($F(1,44) = 210,08; p < 0,001; \eta^2_p = 0,827$). In Tab. 2 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen für die Testscores vor (Pre) und nach (Post) der Bearbeitung der VR Umgebung dargestellt.

Usability und Wahrnehmung der VR durch die Teilnehmenden Die Auswertung des Fragebogens zur Motion Sickness ergab, dass keine gravierenden Beeinträchtigungen durch die Verwendung der VR Umgebung berichtet wurden. Auf der vierstufigen Skala („gar nicht“ (1) bis „stark“ (4) ausgeprägt) zur Motion Sickness wurden insgesamt lediglich wenige Symptome in „leichter“ Ausprägung beschrieben („Überanstrengte Augen“, „Schwierigkeiten mit der Sehschärfe“ und „Verschwommene Sicht“). Des Weiteren gibt es keine signifikanten Unterschiede zwischen Zeitpunkt 1 und Zeitpunkt 2. In Tab. 3 sind alle Ausprägungen zu Zeitpunkt 1 und Zeitpunkt 2 dargestellt.

Anmerkungen während der Verwendung der VR Umgebung und im Anschluss brachten sowohl die Notwendigkeit zu Tage, bestimmte Interaktionen innerhalb der Umgebung entweder noch einmal zu überarbeiten oder in die Umgebung zu Beginn noch ein weiteres Tutorial zu implementieren, in welchem den Nutzenden erläutert wird, wie bestimmte Schalter und Tasten innerhalb der Umgebung bedient werden. Innerhalb der Gondel wurden darüber hinaus Usability Probleme deutlich, die sich auf die Navigation von einem Sprungpunkt zum nächsten bezogen. Auf Grund der realistischen Darstellung der Gondel sind nicht alle Areale

einsehbar, was wiederum Probleme mit sich bringt, wenn man innerhalb der VR durch Anvisieren und anschließendes Teleportieren von einem Punkt zum nächsten gelangt.

4.3 Diskussion und Limitationen

Die Ergebnisse der Evaluationsstudie zeigen, dass die Verwendung der MARLA VR-Umgebung die Motivation sich mit dem Thema Windkraft auseinanderzusetzen steigert. Die Teilnehmenden schnitten zudem im Nachwissenstest besser ab. Sie verbesserten sich sowohl in Bezug auf Wissen zum Thema WKA als auch in Bezug auf Kenntnisse der Vorgehensweise bei der systematischen Fehlerdiagnose. Auf Grund der Länge der Bearbeitungszeit innerhalb der Umgebung und der Vielzahl an umgesetzten Features ist im Rahmen dieser Evaluation keine Aussage möglich, welche Gestaltungsmerkmale innerhalb der VR-Umgebung zum Anstieg der Motivation geführt haben. Zukünftige Untersuchungen sollten auch eine Vergleichsgruppe außerhalb der VR enthalten, um die hier gefundenen positiven Effekte hinsichtlich ihrer Effektstärke besser einschätzen zu können.

Auch in Bezug auf den Wissenserwerb lässt sich mit dem verwendeten Design der Einfluss einzelner Gestaltungsmerkmale (wie z. B. die Unterstützung durch den Non-Player-Character) nicht eindeutig zuordnen. Weitere Studien sollten hier gezielt Variationen von VR-Umgebungen miteinander vergleichen, um Empfehlungen hinsichtlich der Gestaltung ableiten zu können. Darüber hinaus weist die Stichprobe eine für die Ausbildungsberufe in der Elektrotechnik nicht unübliche ungleiche Verteilung der Geschlechter auf. In zukünftigen Untersuchungen gilt es verschiedene Geschlechterperspektiven zu berücksichtigen. An dieser Stelle wird exemplarisch deutlich, dass kontextspezifische Eigenschaften bei der Übertragung der hier gemachten Erfahrungen zu berücksichtigen sind.

In Bezug auf Aspekte der Usability ergab die Evaluation, dass lediglich in Ausnahmen und dann auch nur in leichter Form Unannehmlichkeiten wie überanstrengte Augen oder

Tab. 3 Motion Sickness Symptome nach ca. 20 min (Zeitpunkt 1) und nach ca. 45 min (Zeitpunkt 2) in der VR Umgebung MARLA
Table 3 Reported motion sickness symptoms after 20 min (Zeitpunkt 1) and after appr. 45 min (Zeitpunkt 2) in the VR-environment MARLA

	Zeitpunkt 1 Mittelwert	Zeitpunkt 1 Standardabweichung	Zeitpunkt 2 Mittelwert	Zeitpunkt 2 Standardabweichung	<i>n</i>
Allgemeines Unbehagen/Unwohlsein	1,31	0,51	1,22	0,60	45
Ermüdung	1,31	0,56	1,33	0,56	
Überanstrengte Augen	1,82	0,75	1,78	0,90	
Schwierigkeiten mit der Sehschärfe	1,91	0,79	1,71	0,79	
Kopfschmerzen	1,11	0,32	1,22	0,60	
Druckgefühl im Kopfbereich	1,47	0,63	1,56	0,69	
Verschwommene Sicht	1,53	0,66	1,51	0,70	
Schwindel bei geschlossenen Augen	1,11	0,32	1,18	0,44	
Gleichgewichtsstörungen	1,16	0,42	1,13	0,46	

Schwierigkeiten mit der Sehschärfe berichtet wurden. Dies ist insbesondere vor dem Hintergrund interessant, dass die Teilnehmenden insgesamt ca. 45 min in der VR-Umgebung die Aufgaben zur Fehlerdiagnose bearbeitet haben. Für die schulische Praxis scheinen Einheiten von 40–45 min unterbrochen von einer kurzen Pause praktikabel zu sein.

5 Fazit und Ausblick

Im vorliegenden Beitrag wurde sowohl das Vorgehen bei Entwicklung der MARLA VR-Umgebung beschrieben als auch erste Evaluationsergebnisse präsentiert. Dafür wurde eine Studie vorgestellt, welche motivationale und kognitive Effekte der VR-Umgebung bei der Zielgruppe Auszubildende im Bereich Elektrotechnik untersucht hat. In Bezug auf die Entwicklung ist MARLA ein Beispiel für die konkrete Umsetzung von Trainingsmaßnahmen für komplexe Tätigkeiten, welche sich über mehrere Schritte hinweg vollziehen lassen. Der Prozess der Fehlerdiagnose, welcher aus acht Schritten besteht, wurde hier innerhalb der VR-Umgebung in ein authentisches Setting eingebettet („Finde den Fehler auf der Offshore Windenergieanlage!“). Diese Umsetzung beinhaltet gleichzeitig die Möglichkeit den Lernenden auch Einblicke in die berufliche Tätigkeit zu geben. Die Aufgaben innerhalb der VR so anzulegen, dass sie zum einen mit Hilfe der virtuellen Kollegin erfolgreich zu bearbeiten sind und zum anderen die Lernenden selbst im Sinne von Agency (Makransky und Petersen 2021) handeln lassen, ist hier die Herausforderung. Die empirische Evaluation zeigt, dass die Auszubildenden in Bezug auf die Motivation und den Wissenserwerb durch die Verwendung von MARLA profitieren. Auch wenn die Ergebnisse der Evaluationsstudien keine Aussagen darüber zulassen, welche Wirkmechanismen für die motivationalen und kognitiven Effekte verantwortlich sind, so dient die MARLA Anwendung doch als ein Beispiel dafür wie anspruchsvolle Tätigkeiten wie die Fehlerdiagnose mit Hilfe von VR-Umgebungen in einem authentischen Setting trainiert werden können. Auf der Grundlage der Erfahrungen aus der Studie sollten Modelle zur Wirkung von VR Lernumgebungen sowohl den spezifischen Kontext wie im Falle des EFiL (Dengel und Magdefrau 2018) als auch Faktoren wie Usability Eigenschaften der VR mit aufgreifen. Der Einsatzort Berufsschule bringt beispielsweise ganz praktische Einschränkungen oder determinierende Faktoren mit sich – so handelt es sich meist um Gruppensituationen mit mehreren Auszubildenden in Räumen, in welchen lediglich eine bestimmte Anzahl an VR Spielflächen eingerichtet werden können. Die vorliegende Untersuchung hat darüber hinaus dazu beigetragen, dass einige Usability Probleme identifiziert werden konnte, was in zukünftigen Versionen von MARLA zu einer besseren Interaktion in der VR führt und

in einer effektiveren Nutzung von Lernzeit in VR münden wird.

In einem nächsten Schritt wird angestrebt die dann fertiggestellte Anwendung eingebettet in ein weiterführendes didaktisches Szenario hinsichtlich der kognitiven und motivationalen Effekte zu untersuchen. Die gezielte Vor- und Nachbereitung der Erfahrung innerhalb der VR-Umgebung und die didaktische Einbettung in ein Trainingsszenario, welche in Form eines Debriefings die gemachten Erfahrungen innerhalb der VR-Umgebung aufgreift bieten die Möglichkeit, durch Wiederholen und das Übertragen auf die eigene Arbeitsrealität das erworbene Wissen noch zu festigen.

Danksagung Ein besonderer Dank gilt Yannek Karim Adams, Markus Kybart und Kristina Schmidt von den Projektpartnern der Handwerkskammer Osnabrück Emsland Grafschaft Bentheim und der Handwerkskammer Koblenz, dem Team vom Game Design Studio the Good Evil GmbH sowie den Projektbeteiligten vom Windpark Arkona.

Funding Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

Open Access Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

Literatur

- Alaraj A, Lemole MG, Finkle JH, Yudkowsky R, Wallace A, Luciano C et al (2011) Virtual reality training in neurosurgery: review of current status and future applications. *Surg Neurol Int* 2:52
- Branch RM (2009) *Instructional design: The ADDIE approach* Bd. 722. Springer
- Collins A, Brown JS, Newman SE (1987) *Cognitive apprenticeship: Teaching the craft of reading, writing and mathematics*. Technical Report No. 403. BBN Laboratories, Centre for the Study of Reading, University of Illinois, Cambridge (Centre for the Study of Reading, University of Illinois)
- Dengel A, Magdefrau J (2018) Immersive learning explored: subjective and objective factors influencing learning outcomes in Immersive educational virtual environments. In: 2018 IEEE international conference on teaching, assessment, and learning for engineering (TALE). IEEE,
- Freina L, Ott M (2015) A literature review on immersive virtual reality in education: state of the art and perspectives. *Int Sci Conf Elearning Softw Educ* 1:133–141

- Janssen D, Stehling V, Richert A, Isenhardt I (2019) Education 4.0: Lehren und Lernen in Mixed Realit. In: Handbuch Innovative Lehre. Springer, Wiesbaden, S 453–463
- Jensen L, Konradsen F (2018) A review of the use of virtual reality head-mounted displays in education and training. *Educ Inf Technol* 23(4):1515–1529
- Kapp F, Kruse L, Spangenberg P (2019a) AR – VR – MR? Erfolgsfaktoren für immersive Lernumgebungen am Beispiel einer Lernanwendung für die Windenergiebranche. In: Schulz S (Hrsg) Proceedings of DELFI Workshops 2019 Berlin, 16.09., S 130–143
- Kapp F, Spangenberg P, Kruse L, Narciss S (2019b) Investigating changes in self-evaluation of technical competences in the serious game *Serena Supergreen*: Findings, challenges and lessons learned. *Metacognition Learning* 14(3):387–411
- Kaufmann H, Schmalstieg D, Wagner M (2000) Construct3D: a virtual reality application for mathematics and geometry education. *Educ Inf Technol* 5:263–276
- Kim HK, Park J, Choi Y, Choe M (2018) Virtual reality sickness questionnaire (VRSQ): motion sickness measurement index in a virtual reality environment. *Appl Ergon* 69:66–73
- Makransky G, Petersen GB (2021) The cognitive affective model of Immersive learning (CAMIL): a theoretical research-based model of learning in Immersive virtual reality. *Educ Psychol Rev* 33(3):937–958
- MARLA (2021) <https://marla.tech>. Zugegriffen: 1. Sept. 2021
- Merchant Z, Goetz ET, Cifuentes L, Keeney-Kennicutt W, Davis TJ (2014) Effectiveness of virtual reality-based instruction on students' learning outcomes in K-12 and higher education: a meta-analysis. *Comput Educ* 70:29–40
- Milgram P, Kishino F (1994) A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Trans Inf Syst* E77-D(12):1321–1329
- Parong J, Mayer RE (2018) Learning science in immersive virtual reality. *J Educ Psychol* 110(6):785–797
- pwc (2020) German entertainment and media outlook 2020–2024. <https://www.pwc.de/outlook>. Zugegriffen: 1. Sept. 2021 (168 Seiten)
- Rahimian FP, Arciszewski T, Goulding JS (2014) Successful education for AEC professionals: case study of applying immersive game-like virtual reality interfaces. *Vis Eng* 2(1):1–12
- Slater M, Sanchez-Vives MV (2016) Enhancing our lives with immersive virtual reality. *Front Robotics AI* 3:74