

**Martin BERGER¹, Katrin KRAUS², Thomas KELLER³,
Elke BRUCKER-KLEY³, Reto KNAACK⁴**

(¹Pädagogische Hochschule Zürich, ²Universität Zürich ³ZHAW School of Management and Law, ⁴ZHAW School of Engineering)

**Virtuelle Lernumgebungen in der betrieblichen Ausbildung –
eine Analyse am Beispiel der Elektrobranche in der Schweiz.**

bwp@-Format: **Forschungsbeiträge**

Online unter:

https://www.bwpat.de/ausgabe43/berger_etal_bwpat43.pdf

in

bwp@ Ausgabe Nr. **43** | Dezember 2022

Digitale Arbeitsprozesse als Lernräume für Aus- und Weiterbildung

Hrsg. v. **Karin Büchter, Karl Wilbers, Lars Windelband & Bernd Gössling**

www.bwpat.de | ISSN 1618-8543 | *bwp@* 2001–2022

bwp@

www.bwpat.de



Herausgeber von *bwp@* : Karin Büchter, Franz Gramlinger, H.-Hugo Kremer, Nicole Naeve-Stoß, Karl Wilbers & Lars Windelband

Berufs- und Wirtschaftspädagogik - online

**MARTIN BERGER¹, KATRIN KRAUS², THOMAS KELLER³,
ELKE BRUCKER-KLEY³ & RETO KNAACK⁴**

(¹Pädagogische Hochschule Zürich, ²Universität Zürich ³ZHAW School of Management and Law, ⁴ZHAW School of Engineering)

Virtuelle Lernumgebungen in der betrieblichen Ausbildung – eine Analyse am Beispiel der Elektrobranche in der Schweiz

Abstract

Für viele Lehrbetriebe ist es schwierig, Berufslernenden genügend Situationen zu ermöglichen, in denen sie die vorgesehenen beruflichen Handlungskompetenzen erlernen und üben können. Die Anreicherung der betrieblichen Ausbildung mit technologiegestützten Erfahrungswelten auf der Basis von Virtual Reality (VR) ist deshalb vielversprechend. VR wird in der betrieblichen Ausbildung jedoch kaum systematisch angewandt, was u.a. auf eine geringe Erfahrungs- und Forschungslage zurückgeführt werden kann. Daher wurde in einem Projekt auf Basis des Design-Based Research-Ansatzes die Erstellung und Anwendung einer VR-Lernumgebung für angehende Elektrofachpersonen aufgenommen. Dieser Beitrag stellt die aus pädagogischer und technologischer Sicht herausfordernde Auswahl einer Handlungssituation, die für die Möglichkeiten einer VR-Simulation prädestiniert ist, und deren sinnvolle pädagogische Rahmung in den Mittelpunkt. Zudem werden Ergebnisse der Evaluation des erstellten Prototyps mittels einer Interventionsstudie bei Schweizer Montage-Elektriker:innen und Elektroinstallateur:innen im letzten Ausbildungsjahr präsentiert.

Virtual learning environments in VET host companies – an analysis based on the example of the electrician sector in Switzerland

For many VET host companies, it is difficult to provide apprentices with sufficient situations in which they can learn and practise the required vocational skills. Enriching vocational education with technology-enabled worlds of experience based on virtual reality (VR) is therefore promising. However, VR is hardly used systematically in vocational training, which can be attributed to a lack of experience and research, among other factors. Therefore, the creation and application of a VR learning environment for prospective electricians in VET host companies was explored in a project applying a design-based research approach. This paper focuses on the challenging selection of an action-centred situation from a pedagogical and technological point of view, which is predestined for the possibilities of a VR simulation, and its meaningful pedagogical framing. In addition, the results of the evaluation of the prototype by means of an interventional study with Swiss assembly electricians and installation electricians in their final year of training are presented.

Schlüsselwörter: *Virtual Reality, betriebliche Ausbildung, Kompetenzerwerb, Design-Based-Research, Simulation*

bwp@-Format: **FORSCHUNGSBEITRÄGE**

1 Ausgangslage und Zielsetzung

Im Zentrum der beruflichen Grundbildung steht der Aufbau beruflicher Handlungskompetenzen, die als „ganzheitliches Handlungsrepertoire und als Disposition einer Person, in unterschiedlichen Situationen selbstorganisiert zu handeln« verstanden werden (SBFI 2017, 7). In der dual organisierten Grundbildung erfolgt die Bereitstellung ausbildungsrelevanter Handlungssituationen überwiegend in den Ausbildungsbetrieben. Dort wird situatives berufliches Handeln aber nicht nur ermöglicht, sondern es muss im Rahmen des beruflichen Lernens auch begleitend unterstützt werden (Dehnbostel 2006). Durch die in der Berufsbildung verfolgte Verbindung begrifflich-systematischen Lernens (überwiegend von Seiten der Berufsfachschule) mit handlungsgebundenem Erfahrungslernen wird ein wesentlicher Beitrag zum Aufbau der beruflichen Handlungskompetenz geleistet.

Aus strukturellen, betriebswirtschaftlichen und auch sicherheitstechnischen Gründen ist es für viele Ausbildungsbetriebe nicht einfach, ihren Lernenden das begleitete Handeln im ganzen Spektrum der ausbildungsrelevanten Situationen genügend zu ermöglichen (Stalder & Carigiet 2013; Leemann 2019). Eine Ergänzung der betrieblichen Ausbildung durch «technologiegestützte Erfahrungswelten» (Anon 2020) erscheint deshalb interessant. Mit immersiver VR lassen sich solche Erfahrungswelten schaffen. Unter immersiver VR werden Erlebnisse in einer technisch erzeugten 3D-Welt verstanden, in die Lernende audiovisuell durch ein VR-Headset abgeschirmt eintauchen, um sich im 360 Grad-Raum umzuschauen, zu bewegen und mit Objekten zu interagieren und so ein reales Gefühl der Präsenz zu empfinden (Lanier 2017; Slater & Sanchez-Vives 2014). Mit dieser Technologie können komplexe Inhalte realitätsnah aufbereitet, vermittelt und somit berufliche Fertigkeiten respektive berufliche Fachkompetenzen gefördert werden (Kim, Oertel, Dobricki, et al. 2020; Goertz, Fehling & Hagenhofer 2021; Cattaneo 2022), dies beispielsweise für eine arbeitsintegrierte Kompetenzentwicklung im Rahmen des betrieblichen Umfelds (Heinlein et al. 2021; Zenisek, Wild & Wolfartsberger 2021). Trotzdem wird das Potential von VR-Lernumgebungen in der betrieblichen Ausbildung der dualen beruflichen Grundbildung bisher kaum systematisch eingesetzt und die diesbezügliche Forschungslage ist noch mangelhaft – unter anderem im industriellen Bereich, in dem die Technologie in den letzten Jahren am ehesten Einzug findet (Wolfartsberger et al. 2022). Die vorhandene Forschung bezieht sich hierbei vor allem auf Laborstudien, die den Mehrwert von VR-Lernumgebungen gegenüber klassischen Methoden zur Aneignung beruflicher Fertigkeiten untersuchen. So zum Beispiel gegenüber Präsenzs Schulungen bei Industrieroboter-Bediener:innen (Pratticò & Lamberti 2021), oder gegenüber 2D-Lernprogrammen bei der Aneignung der Bezeichnungen von Motorradteilen (Babu, Krishna, R, et al. 2018). Winter et al. (Winther et al. 2020) untersuchen den Mehrwert einer VR-Trainingssimulation für die Wartung einer Dosierpumpe gegenüber Video-Training und Wolfartsberger et al. (2022) den Mehrwert einer VR-Simulation gegenüber traditionellem Training on the Job mit Tutorbegleitung für das Erlernen eines Montageprozesses. Die Studienergebnisse der genannten Studien zeigen, dass VR-Lernumgebungen je nach Anwendungsbereich grundsätzlich für berufliches Lernen geeignet sind, jedoch das Potential der Technologie für die Aneignung beruflicher Kompetenzen noch unklar ist (Wolfartsberger 2022, 298). Es fehlen insbesondere Feldstudien, die den Effekt von VR-Lernumgebungen, die im Rahmen der regulären betrieblichen Ausbildung unbegleitet und über einen längeren Zeitraum angewandt werden, untersuchen.

Um die Lücken der geringe Erfahrungs- und Forschungslage hinsichtlich der Nutzung von VR-Technologie im Rahmen der beruflichen Aus- und Weiterbildung zu schließen, schlagen Zender et al. (2018, 7) empirische Validierungen mit Research Based Design-Ansätzen und den Transfer didaktischer Konzepte auf VR-Anwendungen vor. Einem solchen Ansatz folgt das diesem Beitrag zugrundeliegende angewandte Forschungsprojekt «[Virtual Reality als Lernort für die Berufliche Grundbildung – Handlungskompetent durch Immersive Lernerlebnisse](#)» (DIZH 2022). In diesem Projekt wurde auf der Basis des Design-Based Research-Ansatzes ein Prototyp einer VR-Lernumgebung für die betriebliche Ausbildung entwickelt und angewandt. Die Projektergebnisse sollen konkrete Hinweise für die Implementierung von VR-Lernumgebungen in der betrieblichen Ausbildung generieren und die Innovation in der Praxis durch technologiebasierte Lernumgebungen unterstützen.

2 Design-Based Research als methodischer Zugang des Projekts

Der Design-Based Research-Ansatz (Brown 1992; Collins 1992) ist in den 1990er-Jahren als Alternative zu Korrelations- und Experimentalstudien entstanden (Reinmann 2005). Dadurch, dass Design-Based Research (DBR) explizit auf die Innovation von Bildungspraxis zielt, hat sich der Ansatz bald für die Gestaltung technologiebezogener Lernumgebungen etabliert (Wang & Hannafin 2005). Dies trifft auch im Feld der Berufs- und Wirtschaftspädagogik zu, in der DBR seit Mitte der 2000er Jahre zunehmend Eingang findet (Euler & Sloane 2014; Burda-Zoyke 2017) und «als Ansatz einer Lehr-Lernforschung, die das Potenzial digitaler Technologien zur Erreichung erstrebenswerter Ziele durch noch zu entwickelnde Lernarrangements exploriert, zunächst angemessener als traditionelle Ansätze der empirischen Wirkungsforschung [erscheint]» (Euler & Wilbers 2020, 11). Die zahlreichen im Rahmen von DBR existierenden Prozessmodelle haben unterschiedliche Strukturen, verfolgen jedoch alle ein interventionsorientiertes und iteratives Vorgehen, das zwischen Invention, Analyse und Revision wechselt (Euler & Sloane 2014). Für das vorliegende Projekt wurde eine Struktur mit den Phasen *Analyse und Konzeption des Prototyps*, *Design des Prototyps* und *summative Evaluation* gewählt, die in diesem Beitrag aufgenommen wird:

In der *Analyse und Konzeption des Prototyps* (vgl. Kap. 3) wurden die Herausforderung, die sich bei der Implementierung der VR-Technologie in der betrieblichen Ausbildung ergeben, aus pädagogisch-fachdidaktischer Perspektive analysiert. Es wurden handlungsleitende Prinzipien respektive Ansätze für die Implementierung einer VR-Lernumgebung herausgearbeitet, auf deren Grundlage eine VR-Lernumgebung für die Anwendung in der betrieblichen Ausbildung erstellt werden kann. Zwei Bereiche werden in diesem Beitrag fokussiert: Die *VR-Implementierung als kollaborativer, multidisziplinärer Prozess* (Kap. 3.1) und die *pädagogische Rahmung als Grundlage des Lernens in der VR-Simulation* (Kap. 3.2).

Auf der Grundlage der Analyse erfolgte das *Design des Prototyps* (Kap. 4) exemplarisch anhand des Prototyps einer VR-Lernumgebung für die betriebliche Ausbildung von Elektrofachpersonen. In einem iterativen Prozess wurde der Prototyp mehrmals formativ mit Pädagog:innen, Ausbilder:innen und Lernenden evaluiert und weiterentwickelt. Zuerst wurde auf Grundlage der pädagogischen Bedürfnisse und technologischen Möglichkeiten eine berufliche Handlungssituation im Curriculum der betrieblichen Ausbildung von Elektroberufen gewählt

(Kap. 4.1). Anschließend wurde die VR-Simulation der Handlungssituation entwickelt (Kap. 4.2) und mit Unterstützungselementen als pädagogische Rahmung ergänzt (Kap. 4.3).

Über eine *summative Evaluation* (Kap. 5) wurde im Rahmen einer Feldstudie die Wirkung der Anwendung des erstellten Prototyps in der betrieblichen Ausbildung von Elektrofachpersonen überprüft. Anders als in den in diesem Bereich verbreiteten Laborstudien wendeten die Lernenden im Projekt die VR-Lernumgebung primär unbegleitet an ihrem betrieblichen Lernort an. Die Anwendung der Technologie lag somit in der Verantwortung der Lernenden und ihrer Ausbilder:innen. Auch wenn im Projekt die VR-Lernumgebung nicht als Ersatz, sondern als Ergänzung von begleitetem Training on the Job positioniert wurde, wurde die Effektivität des VR-Trainings gegenüber selbständigem, unbegleitetem Lernen im Betrieb analysiert.

DBR-Ansätze zeichnen sich dadurch aus, dass sie im Zuge der verschiedenen Phasen der Forschung unterschiedliche Erkenntnisse hervorbringen, diese teilweise direkt wieder in den Prozess einspeisen und so zu Grundlage weiterer Erkenntnisgewinnung machen. Diese Erkenntnisse und die Perspektiven für weitere Forschungszyklen werden hier im Kapitel *Konklusion und Forschungsperspektiven* (Kap. 6) dargelegt. Die Ausführungen in diesem Beitrag legen ausschließlich die Ergebnisse der quantitativen Analysen innerhalb der Feldstudie dar. Die Rekonstruktion des Einsatzes und der Nutzungsprozesses des virtuellen Lernortes sind Gegenstand von qualitativen Analysen, deren Ergebnisse zu einem späteren Zeitpunkt an anderer Stelle veröffentlicht werden.

3 Analyse und Konzeption des Prototyps

Dass VR-Lernumgebungen, trotz der generell zunehmenden Digitalisierung betrieblicher Lernprozesse und dem Potential technologiebasierte Erfahrungswelten, in der betrieblichen Ausbildung nicht systematisch genutzt werden, kann auf diverse Gründe zurückgeführt werden. Anspruchsgruppen äußern beispielsweise Bedenken hinsichtlich Gesundheit und Tragekomfort, Realitätsverlust und auch soziale Bedenken werden vorgebracht (Zinn et al. 2020; Zender et al. 2022). Dazu kommen Zweifel an der Wirksamkeit von VR im Rahmen der beruflichen Bildung, die die technologische Innovation durch VR verhindern (Pletz & Zinn 2018). Weiter ist es offensichtlich, dass die Technologie trotz ihrer rasch fortschreitenden Entwicklung nach wie vor Grenzen bei der Vermittlung von Kenntnissen in der beruflichen Bildung hat, beispielsweise aufgrund der eingeschränkten Abbildbarkeit von Komplexität, Körperlichkeit und Materialität (Huchler, Wittal & Heinlein 2022, 30). Zender et al. (2018) formulieren auf der Basis eines online-Brainstormings mit 15 Expert:innen nebst technologie- beziehungsweise medien-spezifische Herausforderungen (Kosten, technologische Reife, fehlende technische Standards) auch Lernprozess- beziehungsweise bildungsspezifische Herausforderungen.

3.1 VR-Implementierung als kollaborativer, multidisziplinärer Prozess

Leitfäden wie beispielsweise der ‘Methodisch-didaktische Baukasten für die Gestaltung virtueller Lernumgebungen’ (Zinn et al. 2020) und der ‘Leitfaden der Community of Practice zum Lernen mit AR und VR»’ kurz ‘COPLAR-Leitfaden’ (Goertz, Fehling & Hagenhofer 2021) zeigen auf, wie vielfältig die Kriterien und Aspekte sind, die bei zur Anwendung von VR in der

Berufsbildung berücksichtigt werden müssen. Es kommt dabei zum Ausdruck, dass die Qualität von VR-Lernumgebungen im Wesentlichen von einer Passung zwischen Lernziel und Lern-technologie abhängt, die generell beim Einbezug neuer Technologien oft nicht gegeben ist (Kerres 2003). So wird auch bei der VR-Technologie eine eher technologie- beziehungsweise methodengetriebenen Implementierung kritisiert (Zender et al. 2018, 7) – eine grundsätzliche didaktisch-methodische Problematik. So weist beispielsweise – zeitlich weit vor Fragen zu VR – Klafki, der den Zusammenhang zwischen Unterrichtszielen und Methoden in einer Ziel-Weg-Analogie abbildet, darauf hin, dass man zuerst «das Ziel kennen [muss], um über den Weg entscheiden zu können» (Klafki 1961, 76). Dies wird mit dem Grundsatz «Pädagogik vor Technik» auf die Nutzung neuer Technologien im Allgemeinen (Zierer 2017) und auf die Nutzung von VR im Speziellen (Cowling & Birt 2018) angewandt. Die damit geforderte Privilegierung der Pädagogik vor der Technik wird kontrovers diskutiert (Krommer 2018), es ist aber unbestritten, dass eine Technologie oder eine Methode im Bildungskontext keinen Wert an sich darstellt und vielmehr eine stimmige Kombination von Ziel-, Inhalts- und Methodenentscheidungen verfolgt werden muss (Meyer 2007 39). Im Kontext der Implementierung von VR-Technologie bedarf es des Einbezugs verschiedenster fachlichen Perspektiven (Zender et al. 2022). Als diesbezüglicher Orientierungsrahmen wurde im Projekt das TPACK-Modell (Koehler und Mishra 2009) herangezogen. Es handelt sich um ein etabliertes «Leitmodell medienpädagogischer Kompetenz» (Schmid und Petko 2020), das hier als Grundlage für die multidisziplinäre Herangehensweise verwendet wird. Das TPACK-Modell beschreibt das Verschränkungswissen, das *Technological Pedagogical Content Knowledge* (kurz TPACK), das für die sinnvolle Implementierung von Technologie notwendig ist. Es setzt sich zusammen aus *Content Knowledge* (inhaltlichem Wissen) um die zu erlernenden Fachinhalte und deren Struktur, *Pedagogical Knowledge* (pädagogischem Wissen) um die Lehr- und Lernprozesse und *Technological Knowledge* (technologiebezogenem) Wissen um die Möglichkeiten (und Grenzen) der Technologie (siehe Abbildung 1).

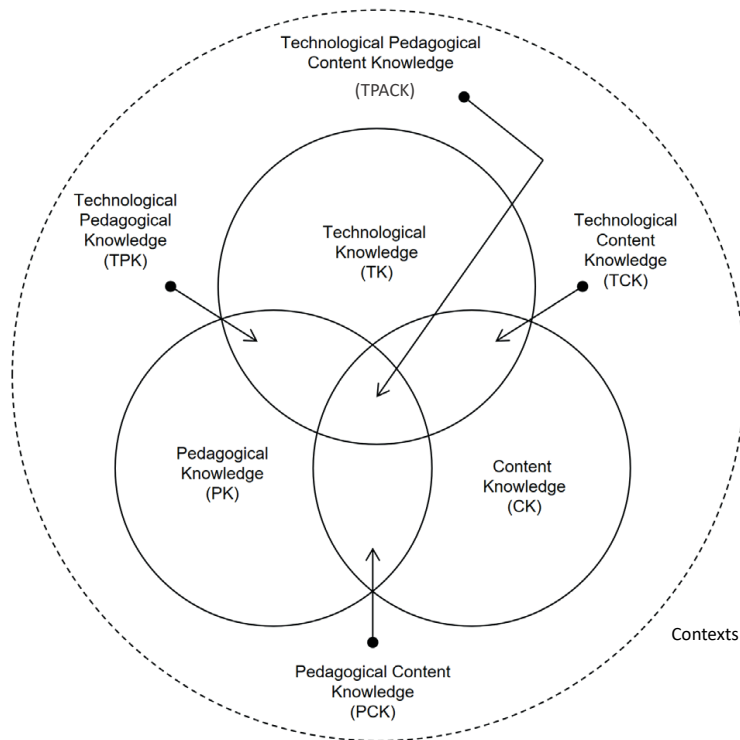


Abbildung 1: Das Modell des „Technological Paedagogical Knowledge“ (Koehler und Mishra 2009) als Orientierungsrahmen der multidisziplinäre Herangehensweise im Projekt.

Um die multidisziplinäre Wissensbasis zu gewährleisten erfolgte im Projekt eine enge interinstitutionelle Kooperation, die sich am TPACK-Modell orientierte. Fachpersonen aus dem führenden Schweizer Verband für Elektroberufe *EIT.swiss* deckten das inhaltliche Wissen, Fachpersonen aus der Pädagogischen Hochschule Zürich (PH Zürich) das pädagogische Wissen und Fachpersonen aus der Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften (ZHAW) das technologische Wissen ab. Die fokussierten Herausforderungen wurden primär aus fachdidaktischer Sicht behandelt, dementsprechend war für den Designprozess das inhaltliche Wissen und das pädagogische Wissen mit deren Schnittmengen zum technologischen Wissen handlungsleitend. In einem kollaborativen Prozess mussten die pädagogisch-fachdidaktischen Bedürfnisse analysiert und mit den aktuellen technologischen Möglichkeiten zusammengebracht werden.

3.2 Die pädagogische Rahmung als Grundlage des Lernens in der VR-Simulation

Das Handeln in komplexen Situationen in der betrieblichen Ausbildung ist vor allem dann sinnvoll, wenn es pädagogisch begleitet wird (Dehnbostel 2006). Um Lernen in komplexen Situationen zu ermöglichen, bedarf es einer pädagogischen Rahmung der Situationen. Die Bereitstellung einer solchen Rahmung übernehmen in realen Situationen der betrieblichen Ausbildung die Ausbilder:innen. In virtuellen Situationen kann diese computergestützt erfolgen, was aus betrieblicher Sicht interessant ist, da es hier die Personalressourcen zur Lernbegleitung wegfallen. Die Grundlage einer pädagogischen Rahmung bilden Lerntheorien und pädagogische Ansätze. Im Kontext von VR-Lernumgebungen stellen sich ausgehend vom einschlägigen Forschungsstand mehrere konzeptuelle Ansätze als anschlussfähig dar. Beispielsweise Loke et

al. (2015) identifizieren bei 80 relevanten VR-Forschungen elf verschiedene Ansätze. Als die sechs häufigsten Ansätze werden dabei Experimental Learning, Situated learning, Social constructivism, Constructivism, Presence learning und Flow theory genannt (Loke 2015, 4). Im Kontext der Anwendung von VR in der beruflichen Bildung werden beispielsweise Embodied Cognition, Erfahrungslernen, Situiertes Lernen, Konstruktivismus, Sozialkonstruktivismus, Präsenztheorie, Flow-Theorie und Cognitive Load Theorie als besonders zentral betrachtet (Zinn 2019; Zinn & Ariali 2020; Schwendimann et al. 2015). Die oben aufgezählten Ansätze zeigen, wie vielfältig die pädagogischen Bezüge bei der Anwendung von VR sind. Für das Design der exemplarischen VR-Lernumgebung im Projekt wurde dieser Diskurs aufgegriffen und über konkrete Ansätze der pädagogischen Gestaltung der Lern- Lehrsituationen spezifiziert: Der *Scaffolding-Ansatz* um den Lernprozesses innerhalb des virtuellen Raums zu modulieren, die *Kompetenzorientierung* damit die in der beruflichen Bildung zentrale Verbindung von systematischem und handlungsgebundenem Lernen gefördert wird und der *Gamification-Ansatz* um dieses im motivationalen Bereich zu unterstützen.

Scaffolding: Als Grundlage für die Gestaltung eines pädagogischen Rahmens kann der Scaffolding-Ansatz beizogen werden (Seidel & Shavelson 2007). Mit Scaffolding ist ein Begleitprozess gemeint, der Lernenden ermöglicht, eine Aufgabe auszuführen, auch wenn diese außerhalb deren momentanen Fähigkeiten liegt. Scaffolding erfolgt situativ, was bedeutet, dass nur bei auftretenden Lernschwierigkeiten minimale Unterstützung erfolgt, die dann gesteigert wird, bis diese Lernschwierigkeiten überwunden sind (Wood, Bruner & Ross 1976). Dies soll dazu führen, dass die Lernenden innerhalb ihrer „Zone der proximalen Entwicklung“ bleiben, in der ein Lernzuwachs optimal stattfinden kann (Vygotsky und Cole 1978). Computergestütztes Scaffolding wird als wirksamer als lehrpersonengestütztes Scaffolding beschrieben (Doo, Bonk & Heo 2020) und eignet sich auch im Kontext von VR-Lernumgeben (Wang & Cheng 2011). Im Projekt wird es durch das Einfügen von *Unterstützungselementen* umgesetzt.

Kompetenzorientierung: Berufliche Handlungskompetenz beruht neben entsprechenden Fertigkeiten und Bereitschaften auch auf einem situations- und berufsspezifischen Wissen, das in der entsprechenden Anforderungssituation aktiviert werden kann (Dietzen 2015). Die Verbindung von begrifflich-systematischem Lernen und handlungsgebundenem Erfahrungslernen wird daher auch als eine zentrale Herausforderung der beruflichen Ausbildung beschrieben (Tramm 2011). Zugleich stellen (Schwendimann et al. 2015, 1) fest, dass es dual organisierten Ausbildungen häufig nicht ausreichend gelingt, konkrete Erfahrungen und theoretisches Wissen zu integrieren und betonen in diesem Zusammenhang auch das Potenzial digitaler Technologie, um theoretische und praktische Lerninhalte zu vereinen. Die Festigung von berufsspezifischem Wissen in Verbindung mit der ausgewählten Handlungssituationen wurden daher in der VR-Simulation aufgenommen. Dazu wurden einzelnen Handlungsschritten *Frage- und Reflexions-elemente* zu den jeweiligen Hintergründen und theoretischen Grundlagen beigefügt. Die VR-Lernumgebung kann damit einen Beitrag zur Verbindung von Erfahrung und Wissen im Sinne der Kompetenzorientierung leisten.

Gamification: Die pädagogische Rahmung kann zusätzlich auf der Basis des Gamification-Ansatzes erweitert werden, indem *Spiel-Design-Elemente* eingesetzt werden, die die Motivation von Lernenden positiv beeinflussen können (Deterding et al. 2011). Als häufige Elemente

werden beispielsweise die Vergabe von Punkten für eine erfüllte Aufgabe und das Bereitstellen von Rangfolgen oder Fortschrittsanzeigen für zu erfüllende Aufgaben genannt (Hamari, Koivisto & Sarsa 2014). Der Einsatz von Gamification in VR-Trainingssimulation scheint insbesondere für die Teilnehmer, die noch keine Erfahrung mit VR haben, wirksam zu sein (Palmas et al. 2019). Dies wurde im Prototyp über ein Punkte-System mit Wettbewerbscharakter sowie über audiovisuelle Effekte implementiert.

4 Design des Prototyps

4.1 Auswahl der beruflichen Handlungssituation

In einem kollaborativen multidisziplinären Prozess wurde in den Bildungsplänen der dreijährigen Ausbildung von Montage-Elektriker:innen und der vierjährigen Ausbildung von Elektroinstallateur:innen eine betriebliche Handlungssituation für den Prototypen der VR-Lernumgebung bestimmt. Aus fachdidaktischer Perspektive respektive auf der Grundlage des *Pedagogical Content Knowledge* (vgl. Abb. 1) wurde dabei auf Situationen fokussiert, die für die Ausbildung einerseits zentral und deren Erarbeitung für Lernende andererseits herausfordernd sind – insbesondere aufgrund mangelnder Praxismöglichkeit in der betrieblichen Ausbildung. Dies erfolgte unter anderem auf der Basis der aktuellen Bildungspläne für die beiden Ausbildungen, in denen die Handlungssituationen respektive -kompetenzen aufgeführt sind (EIT.swiss 2015a, 2015b), auf der Basis der Prüfungswegleitungen, in denen die zu beurteilenden praktischen Prüfungssituationen des Qualifikationsverfahrens (QV) definiert werden (EIT.swiss 2020a, 2020b) und auf der Basis der Evaluationsberichte zu ehemaligen QV-Ergebnissen (SDBB 2020b, 2020a). Aus technologischer Perspektive respektive auf der Basis des *Technological Knowledge* (vgl. Abb. 1) wurden die aus fachdidaktischer Perspektive fokussierten Situationen auf deren technologische Eignung zur VR-Simulation beurteilt. Es eignen sich dabei primär Handlungssituationen, welche die vielfältigen Interaktionsmöglichkeiten von Virtual Reality ausnutzen und dabei aber auch die Grenzen der technischen Möglichkeiten beachten. Konkret heißt das, dass Lernende mit 3D-Modellen interagieren müssen, indem sie im einfachsten Fall eine Schaltfläche berühren, oder in einem komplexeren Fall Komponenten eines Messgerätes miteinander verbinden. Die technischen Grenzen sind dabei durch die Merkmale der verwendeten VR-Hardware wie beispielsweise die Auflösung oder die Genauigkeit des Trackings durch das VR-Headset gegeben.

Durch die Verschränkung der fachdidaktischen und der technologischen Perspektiven wurde das erforderliche *Technological Paedagogical Content Knowledge* (TPACK) generiert, auf dessen Grundlage die sogenannten *Erstprüfung einer elektrischen Anlage* als relevante berufliche Handlungssituation gewählt wurde. Als zentrale Situation des beruflichen Alltags von Elektrofachpersonen ist die Erstprüfung ein gewichtiger Bestandteil des praktischen Teils des Qualifikationsverfahrens (QV) von Elektro-Installateur:innen und seit 2018 auch von Montage-Elektriker:innen. Lernende erhalten jedoch erfahrungsgemäß in der betrieblichen Ausbildung zu wenig Gelegenheit, die Erstprüfung durchzuführen (Bertinelli 2020). Dieses Erfahrungsdefizit kann auch durch die Simulationen in obligatorischen überbetrieblichen Kursen, die in der Schweiz von den Organisationen der Arbeitswelt auf kantonaler Ebene organisiert werden,

nicht genügend kompensiert werden, was mit ein Grund für die schlechten Resultate der praktischen Prüfungsbereiche «Störungssuche & Messung» (Elektro-Installateur:innen) beziehungsweise «Messen & Prüfen» (Montage:Elektriker:innen) im QV sein kann (Bertinelli 2020).

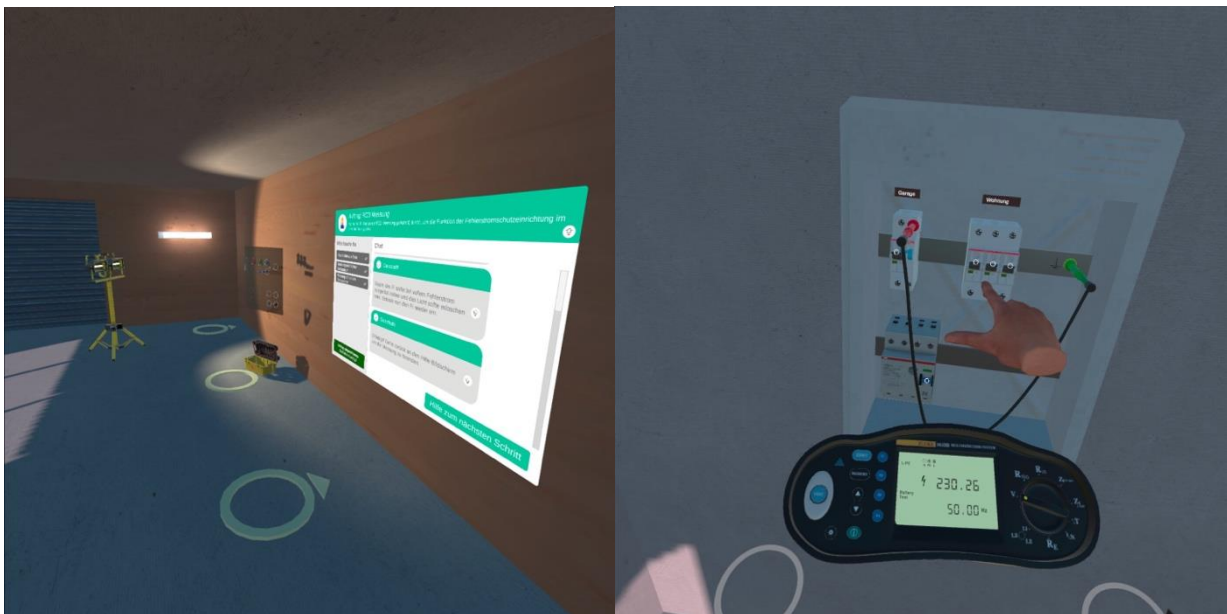
Die *Erstprüfung* beschreibt einen komplexen Handlungsvorgang von insgesamt sechs Teilmessungen, mit dem jede elektrische Anlagen hinsichtlich ihrer Funktion und sicherheitstechnischen Anforderungen überprüft wird. Gemäß Artikel 24 der schweizerischen Verordnung über elektrische Niederspannungsinstallationen (NIV) ist «Vor der Inbetriebnahme einer elektrischen Installation oder von Teilen davon [...] eine baubegleitende Erstprüfung durchzuführen» (§24 Abs. 1 NIV). Die dazu erforderliche Handlungskompetenz basiert auf diversen Wissens- und Fähigkeits-elementen, die über die ganze Ausbildungszeit an den drei Lernorten der beruflichen Grundbildung (Betrieb, Berufsfachschule und überbetrieblicher Kurse) aufgebaut und im Bildungsplan in Form von Leistungszielen aufgeführt werden.

Die Simulation der Erstprüfung ist aus technologischer Sicht für VR geeignet, weil die darin zentrale Handlungskompetenz die Einhaltung von wohl definierten Abläufen mit genau spezifizierten Interaktionen an elektrischen Installationen und am Messgerät beinhaltet. Die Stärken eines immersiven Virtual Reality Systems gelangen zur Anwendung, da verschiedenste Interaktionen mit 3D-Modellen nötig sind, um die Aufgaben erfolgreich zu lösen. Darüber hinaus lassen sich die Interaktionen des Probanden in VR mit einem regelbasierten System überwachen. Darauf aufbauend kann das Hilfesystem den Probanden direkt Hinweise zu fehlenden oder falschen Handlungen kommunizieren sowie korrekte Handlungen entsprechend honorieren. Die Erstprüfung ist zusätzlich aus einem Sicherheitsaspekt passend, weil bei unsachgemäßer Durchführung an der realen Installation für den Probanden durchaus die Gefahr eines lebensgefährlichen Stromschlags vorhanden ist.

4.2 Entwicklung der VR-Simulation

Im iterativen human-zentrischen Entwicklungsprozess, welcher insbesondere Ausbilder:innen und Lernende von Anfang an involvierte, wurden in einem Zeitraum von acht Monaten vier Iterationen des Prototyps kontinuierlich erstellt und getestet. Die Rückmeldungen der Testnutzer:innen zu jeder Iteration wurden dann in der nachfolgenden Iteration berücksichtigt. Die Tests wurden in einem überbetrieblichen Kurs durchgeführt, um ein möglichst breites Spektrum an Lernenden aus unterschiedlichen Betrieben abzudecken. So entstand ausgehend von einem frühen Prototypen mit einer initialen Funktionalität schrittweise ein finaler Prototyp, welcher sowohl die aus dem didaktischen Konzept abgeleiteten funktionalen und nicht-funktionalen Anforderungen als auch die Anforderungen der Ausbilder:innen und Endnutzer:innen erfüllte.

In der konzipierten Simulation der Erstprüfung werden Lernende in eine möglichst realitätsnahe aber dennoch reduzierte Umgebung versetzt, in welcher die Ausführung der Erstprüfung stattfindet (siehe Abb. 2 & 3). Konkret ist dies eine Garage mit einem Gang, in welchem die elektrischen Installationen (Steckdose, Verteilerkasten, Lampe) als realitätsgetreue 3D-Modelle sichtbar sind. Nebst der Visualisierung ist die Möglichkeit der Interaktion mit diesen Modellen von Bedeutung. Ein einfacher elektrischer Schalter kann über eine entsprechende Bewegung des Fingers des Players am Controller des VR-Headsets ein- beziehungsweise ausgeschaltet werden. Komplexere Gegenstände wie das erforderliche Messgerät oder die erforderlichen Werkzeuge wurden so konzipiert, dass die virtuelle Interaktion der Realität möglichst nahekommt. Die Erstprüfung umfasst verschiedene Messungen und Tests, welche die Übereinstimmung der Installation mit den Sicherheitsanforderungen sicherstellt und damit auch für den Personenschutz relevant sind. Um diese verschiedenen Messungen und Tests durchführen zu können, muss der Proband am Messgerät die jeweils richtigen Einstellungen vornehmen, was verschiedene Interaktionen nötig macht. Zusätzlich müssen die passenden Messspitzen oder -klemmen am Messgerät wie auch am elektrischen Gerät angeschlossen werden.



Abbildungen 2 & 3: Lernende befinden sich einer realitätsnahen Arbeitsumgebung in einer Garage, in der sie sich zu verschiedenen Punkten teleportieren können (als Kreise auf dem Boden dargestellt). Als zusätzliches Element können sie an der Wand in Form eines Helpscreens visuell und auditiv Hilfestellungen erhalten, welche sie durch die Messung führen (links). In einem Nebenraum findet sich der Verteilerkasten, an dem ein Teil der erforderlichen Messungen durchgeführt werden. Dabei arbeiten die Lernenden mit dem gleichen Messgerät wie im Betrieb (rechts). Die Hilfestellungen sind von diesem Nebenraum nicht sichtbar.

4.3 Integration der VR-Simulation mit pädagogischen Elementen

Basierend auf der in der Analysephase erstellten Konzeption wurde die VR-Simulation mit einer pädagogischen Rahmung angereichert. Auf der Grundlage des *Scaffolding-Ansatzes*

wurden Unterstützungselemente, auf der Basis der *Kompetenzorientierung* Frage- und Reflexions-Elemente und im Rahmen des *Gamification-Ansatzes* Spiel-Design-Elemente eingebaut. Dies mit dem Ziel, aus der VR-Simulation eine VR-Lernumgebung zu machen, in der die Lernenden im Rahmen der betrieblichen Ausbildung selbstständig an ihrer Handlungskompetenz arbeiten können.

Unterstützungselemente (Scaffolding-Ansatz): Unterstützungselemente sollen garantieren, dass die Lernenden die gesamte Handlung ausführen können, auch wenn diese ihre momentanen Fähigkeiten übersteigt. Die situative Hilfe ist so organisiert, dass diese aktiv angefragt werden musste und sich diese jeweils auf den nächsten Teilschritt beschränkte. Expert:innen konnten so die zahlreichen Handlungen durchführen, ohne die Unterstützungselemente zu benutzen, während Laien durch diese befähigt wurden, die Erstprüfung auch ohne Vorwissen durchzuführen. In der VR-Lernumgebung wurde hierzu der virtuelle Raum mit einem Helpscreen in der Aufmachung eines Chatsystems erstellt. Die Lernenden konnten einen „Hilfe zum nächsten Schritt“-Button anwählen, wenn sie im Handlungsablauf nicht mehr weiterwussten, und erhielten daraufhin Hinweise in schriftlicher (und bei Bedarf auch gesprochener) Form (siehe Abbildung 4). Zusätzlich zu dieser Chatfunktion wurde ebenfalls mit der grafischen Darstellung der sechs Teilmessungen der Erstprüfung ein Hilfsgerüst gewährleistet.

Frage- und Reflexions-Elemente (Kompetenzorientierung): Die Frage-Elemente haben zum Ziel, das begrifflich-systematische Wissen aus der schulischen Ausbildung in das Handeln im virtuellen Raum zu integrieren. Zudem bieten sie den Lernenden die Möglichkeit, ihr Handeln zu reflektieren und ihr Wissen zu erweitern. Den Lernenden werden im virtuellen Raum Multiple Choice-Fragen zu ihren ausgeführten Handlungen *gestellt* (siehe Abbildung 5). Sie erhalten die Rückmeldung, ob ihre Antwort richtig oder falsch war und eine Begründung dazu.

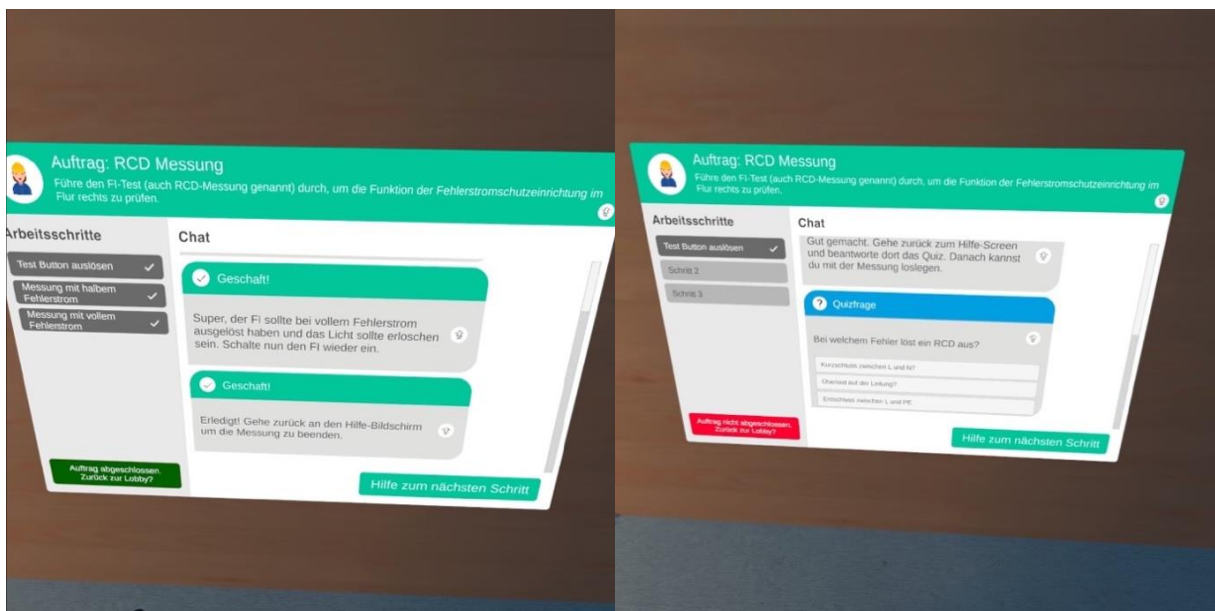


Abbildung 4 & 5: Auf dem Helpscreen können die Lernenden Hilfe für den nächsten Schritt der Messung erhalten (links) sowie Quizfragen beantworten (rechts).

Spiel-Design-Elemente (Gamification): Über ein Punktesystem und mit einem Scoreboard wurde der VR-Lernumgebung Spiel-Design-Elemente hinzugefügt. Auf der Basis dieses Gamification-Ansatzes können die Lernenden Punkte sammeln und virtuelle Pokale und reale Preise gewinnen. Je näher die Handlungen der Lernenden der gewünschten Handlung der Erstprüfung entspricht und je weniger von den Unterstützungselementen (siehe oben) gebraucht gemacht wird, desto mehr Punkte werden vergeben. Punkte können weiter durch die korrekte Beantwortung der Fragen gesammelt werden. Da eine Messung beliebig oft durchlaufen werden kann, ist es den Lernenden möglich, ihre Handlungen über verschiedene Durchläufe zu vergleichen. Eine Steigerung dieses Ansatzes ist der Vergleich innerhalb einer Benutzergruppe, indem die erreichten individuellen Punktzahlen allen Lernenden in einem Scoreboard in anonymisierter Form angezeigt werden. Eine weitere Steigerung der Attraktivität besteht darin, dass den Erstplatzierten einmalig kleine Sachpreise verteilt wurden.

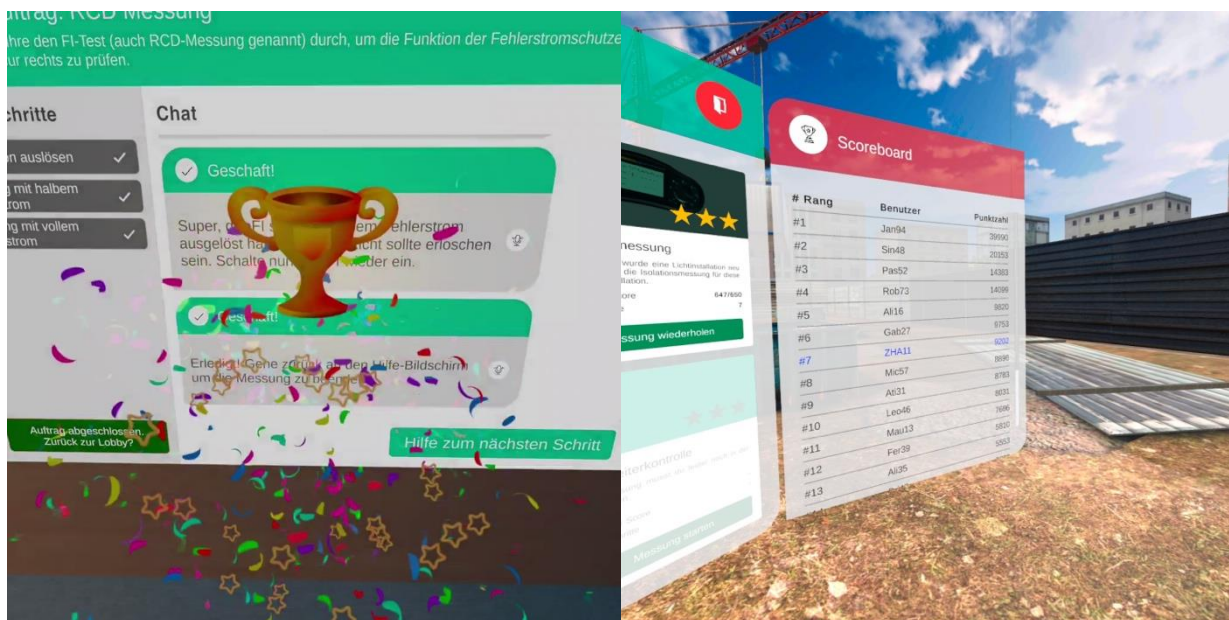


Abbildung 6 & 7: Lernende erhalten nach jeder erfolgreich durchgeführten Messung Punkte und einen virtuellen Pokal (links). Die Summe der Punkte wird für alle Lernenden in anonymisierter Form auf dem "Scoreboard" dargestellt. Dies ermöglicht den Lernenden einen Vergleich mit ihren Peers (rechts).

5 Summative Evaluation

5.1 Evaluationsdesign

Der Effekt der VR-Lernumgebung auf das Erlernen der beruflichen Handlungskompetenz der Durchführung einer Erstprüfung wurde im Frühlingsemester 2022 mittels einer Feldstudie mit 78 Lernenden untersucht, davon 35 Elektroinstallateur:innen und 43 Montage-Elektriker:innen im letzten Ausbildungssemester. Die Lernenden stammten aus insgesamt elf eigenständigen Ausbildungsbetrieben aus den Kantonen Zürich, Bern und Solothurn, die demselben

Unternehmenskonglomerat zugehören. Die Zuteilung zur *Interventionsgruppe* ($n=37$) und *Kontrollgruppe* ($n=41$) konnte nicht vollständig randomisiert erfolgen, da es aus betrieblichen Gründen nicht allen Lernenden möglich war, an einer notwendigen Einführung in die Nutzung der VR-Lernumgebung teilzunehmen. Die Tabelle 1 zeigt die Verteilung der Lernenden der Interventions- und Kontrollgruppe (abzüglich der zehn Dropouts) auf die elf Ausbildungsbetriebe und drei Kantone.

Tabelle 1: Verteilung der Lernenden der Interventions- und Kontrollgruppe. In der Tabelle sind 2 Dropouts in der Interventions- und 8 Dropouts in der Kontrollgruppe der Elektroinstallateur:innen abgezogen.

| Betrieb | | A | B | C | D | E | H | I | J | K | L | M |
|---------------------------|---------------------|-----------|---|---|--------|---|----|------|---|---|---|---|
| Kanton | | Solothurn | | | Zürich | | | Bern | | | | |
| Montage-Elektriker:innen | Interventionsgruppe | - | - | 4 | 1 | 8 | 10 | - | - | - | 1 | - |
| | Kontrollgruppe | 2 | 2 | | 2 | 4 | 5 | 1 | 2 | 1 | - | - |
| Elektroinstallateur:innen | Interventionsgruppe | - | - | 1 | - | 4 | 6 | - | - | - | - | - |
| | Kontrollgruppe | 4 | 3 | 1 | 1 | - | 4 | - | - | - | - | 1 |

Mittels Pre-Post-Design wurden die Lernenden im Rahmen von QV-Vorbereitungskursen im Januar 2022 in Bezug auf deren Handlungskompetenz im Rahmen der Erstprüfung getestet (*pre-test*). Danach wurden die Lernenden in Absprache mit den Ausbilder:innen angewiesen, sich über einen Zeitraum von ca. zwei Monaten (März/April - Mai/Juni 2022) während ihrer betrieblichen Ausbildungszeit (bezahlte Arbeitszeit) an ihrer Handlungskompetenz der Durchführung der Erstprüfung zu arbeiten. Als zeitliche Richtgröße wurde insgesamt 120 Minuten, verteilt auf mehrere Zeitfenster, vorgegeben.

Die Lernenden der Interventionsgruppe wurden instruiert, hierbei die VR-Lernumgebung zu nutzen, in die sie zuvor zusammen mit ihren Ausbilder:innen eingeführt wurden. Die erforderlichen VR-Headsets des Typs Oculus Quest 2 wurden den Betrieben von der ZHAW zur Verfügung gestellt. Nutzungshäufigkeit und -länge des VR-Prototypen konnte über die Anbindung an ein WLAN, ein benutzerspezifisches Login und eine Datenbank im Hintergrund erfasst werden. Die Lernenden der Kontrollgruppe wurden gebeten, für die Vorbereitung die herkömmlichen Lern- und Lehrmittel (Bumillier, Burgmaier, Duhr, et al. 2020; Boxler 2020; Bryner, Hofmann, Marfurt, et al. 2015) im Rahmen desselben Zeitrahmens zu benutzen. Die Betriebe wurden jeweils darauf hingewiesen, dass beiden Gruppen die entsprechende Lernzeit zur Verfügung stehen muss. Die Interventionsphase endete mit dem praktischen Teil des Qualifikationsverfahrens (QV), in dem unter anderem die Handlungskompetenz der Lernenden getestet wurde (*post-test*).

Die *pre-* und *post-tests* erfolgten mittels praktischer Einzeltest von rund 60 Minuten gemäß eidgenössischen Vorgaben (EIT.swiss 2020a, 2020b). Darin erteilten Expert:innen den Lernenden Handlungsaufgaben an Übungsinstallationen und beurteilten diese anhand einheitlicher Kriterien (Notenskala 1-6). Mit einem *pre-survey* kurz vor und einem *post-survey* kurz nach

der praktischen Prüfung wurden über kurze Online-Fragebogen (Dauer 5-15 Minuten) bei den Lernenden zusätzliche Informationen wie Personaldaten und Einstellungen aufgenommen. Als Anreiz wurde unter den Lernenden, die beide Fragebogen ausfüllten, eine VR-Brille verlost. Sämtliche in den Tests und Surveys erhobenen Informationen wurden mit Erlaubnis der beteiligten Lernenden, Ausbilder:innen, Chefexpert:innen und der Berufsbildungsämter der Kantone Bern, Solothurn erhoben und gemäß der geltenden Datenschutzrichtlinien behandelt.

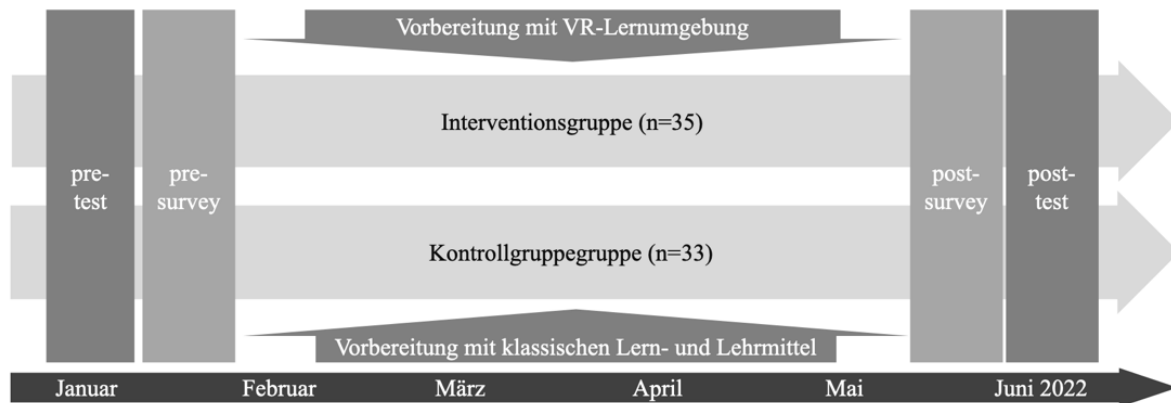


Abbildung 8: Visualisierung des Längsschnittstudien Designs mit Interventions- und Kontrollgruppe. Bei den darin angegebenen Gruppengrößen sind 2 Dropouts in der Interventions- und 8 Dropouts in der Kontrollgruppe abgezogen.

Die Vergleiche zwischen Interventions- und Kontrollgruppe erfolgten mittels T-Test mit Messwiederholung. Ob sich allfällige Unterschiede zwischen den beiden untersuchten Ausbildungsberufen Elektroinstallateur:innen und Montage-Elektriker:innen unterscheiden, wurde anhand einer einfaktoriellen, univariaten Varianzanalyse mit Messwiederholung analysiert.

5.2 Resultate der Evaluation

Von anfangs 78 ausgewählten im *pre-test* getesteten Lernenden konnten im *post-test* noch 68 getestet werden (2 Dropouts in der Interventionsgruppe, 8 in der Kontrollgruppe, sämtliche Dropouts sind Elektroinstallateur:innen). Die Rücklaufquote des *pre-survey* betrug 87%, die des *post-survey* 41%¹. Die Lerndauer der Interventionsgruppe (Anwendung der VR-Lernumgebung) betrug durchschnittlich $M=67.84$ Minuten, was unterhalb des vorgegebenen Zeitrahmens von 120 Minuten lag, allerdings streuen die Zeitwerte sehr stark ($SD= 42.26$). Die Lerndauer der Kontrollgruppe wurde nicht erhoben. Die untenstehende Tabelle 2 zeigt die Testresultate im *pre-test* und *post-test* und deren unterschiedliche Entwicklung. Beide Gruppen wiesen im *pre-test* einen ungenügenden und beim *post-test* einen genügenden Notenwert auf, wobei der dieser bei der Interventionsgruppe im *pre-test* um .62 tiefer und im *post-test* um .14 höher ausfiel. Bei beiden Gruppen manifestierte sich eine positive Entwicklung der Testresultate, die in der Abbildung 10 visualisiert ist.

¹ Die Ergebnisse der Surveys wurden vor allem für Fragestellungen hinsichtlich des Anwendung und des Anwendungsprozesses der VR-Lernumgebung verwendet. Die Resultate werden an anderer Stelle diskutiert.

Tabelle 2: Mittelwert (M) der Notenwerte sowie Standardabweichung (SD) der Lernenden (Anzahl N) der Interventions- und Kontrollgruppe im pre- und post-test respektive die Entwicklung der Notenwerte (post-pre). Unterschied in der Entwicklung der Notenwerte zwischen den Gruppen (Delta) und Cohen's-d ($p < .01$). Der Zuwachs von 1.35 im M der Interventionsgruppe (von 3.18 auf 4.54) liegt um .64 höher als der Zuwachs von 0.72 der Kontrollgruppe (von 3.70 auf 4.41).

| Gruppe | N | (pre)-test | | (post)-test | | Entwicklung (post-pre) | | |
|---------------------|----|------------|------|-------------|-----|------------------------|------|-----------------------|
| | | M | SD | M | SD | M | SD | Delta |
| Interventionsgruppe | 35 | 3.18 | 1.10 | 4.54 | .82 | 1.35 | 1.03 | .64 <i>d</i> = .60 |
| Kontrollgruppe | 33 | 3.70 | 1.05 | 4.41 | .71 | .72 | 1.10 | |

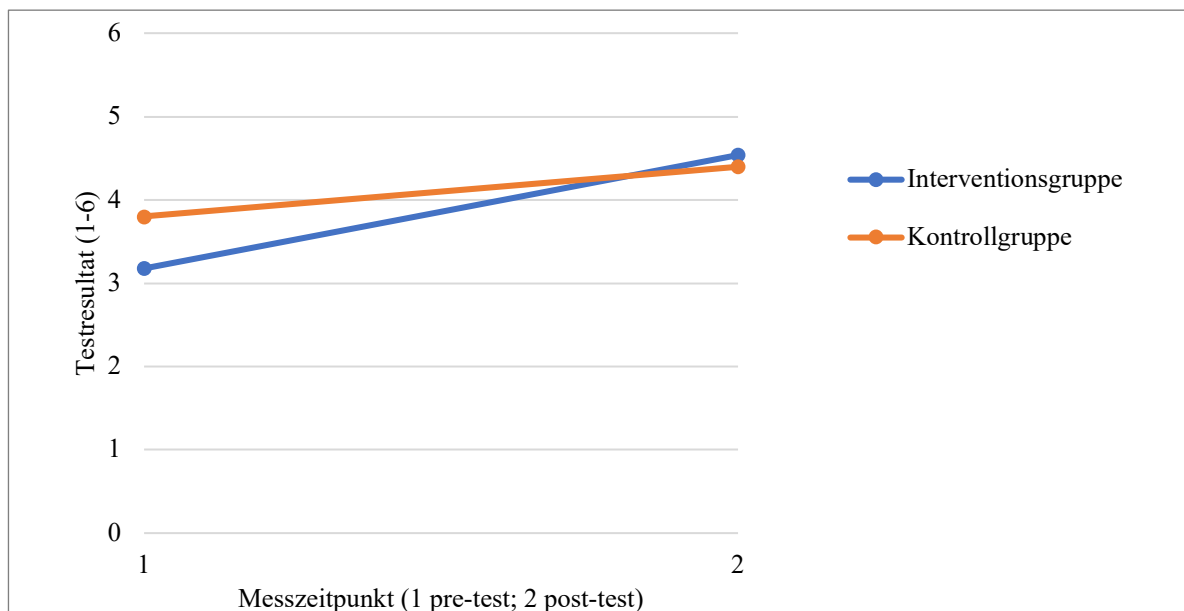


Abbildung 9: Darstellung der Entwicklung der Testresultate bei Interventions- und Kontrollgruppe

Das Delta der Testresultate lag bei den Lernenden der Interventionsgruppe durchschnittlich um 0.64 Notenpunkte höher als bei den Lernenden der Kontrollgruppe. Dieser Unterschied ist statistisch signifikant (95%-CI[0.12, 1.15]), $t(66) = 2.98, p = .008$). Es zeigte sich ein mittelgroßer Effekt der VR-Lernumgebung auf die Entwicklung der Testresultate (*Cohen's d* = 0.60).

In der Stichprobe befanden sich zwei verschiedene Ausbildungsberufe mit unterschiedlicher Ausbildungsdauer: 25 Elektroinstallateur:innen (vierjährige Ausbildung) und 43 Montage-Elektriker:innen (dreijährige Ausbildung). Eine einfaktorielle, univariate Varianzanalyse mit Messwiederholung zeigt, dass die Entwicklung der Testresultate mit dem Ausbildungsberuf zusammenhängt ($F(1,33) = 6.919, p = .013, \eta^2 = .173, n = 35$) und bei den Montage-Elektriker:innen stärker positiv ausfiel, wobei die Elektroinstallateur:innen im pre-test einen wesentlich höheren Wert erreichten (siehe Abbildung 11). Bei den Montage-Elektriker:innen

sind die unterschiedlichen Ergebnisse in den pre-tests auffallend, die nicht erklärt werden können, da bei der Einteilung der Lernenden in die Gruppen die Noten noch nicht bekannt waren.

| | N | (pre)-test | | (post)-test | | Entwicklung (post-pre) | | |
|----------------------------|----|------------|------|-------------|------|------------------------|------|------------------|
| | | M | SD | M | SD | M | SD | Delta |
| Elektro-installateur:innen | | | | | | | | |
| Interventionsgruppe | 11 | 4.05 | .97 | 4.77 | .68 | .73 | .93 | .12 |
| Kontrollgruppe | 14 | 3.93 | .92 | 4.54 | .63 | .61 | .94 | $d = .13^{n.s.}$ |
| Montage-Elektriker:innen | | | | | | | | |
| Interventionsgruppe | 24 | 2.80 | .97 | 4.43 | 0.89 | 1.64 | .96 | .84 |
| Kontrollgruppe | 19 | 3.54 | 1.22 | 4.32 | .77 | .79 | 1.21 | $d = .97$ |

Abbildung 11: Notenwerte der Elektro-installateur:innen und Montage-Elektriker:innen der Interventions- und Kontrollgruppe im pre- und post-test respektive die Entwicklung der Notenwerte (post-pre). Unterschied in der Entwicklung der Notenwerte zwischen den Gruppen (Delta) und Cohen's-d ($p < .01$).

Bei den Elektroinstallateur:innen ergab sich bei der Entwicklung der Testresultate ein kleiner Unterschied zwischen den 11 Lernenden der Interventionsgruppe und den 14 Lernenden der Kontrollgruppe von .12 Notenpunkten, dessen Signifikanz mittels T-Test jedoch nicht nachgewiesen werden kann (95%-CI[-.66, .09]), ($n=14$), $t(23) = 0.38$, $p = .377$). Bei den Montage-Elektriker:innen hingegen zeigt sich ein signifikanter Unterschied (95%-CI[.18, 1.52]), $t(41) = 2.55$, $p = .007$), der groß ausfällt. So lag hier die Entwicklung der Testresultate der Interventionsgruppe ($n=24$) gegenüber der Kontrollgruppe ($n=19$) um durchschnittlich .84 Notenpunkte höher. Es manifestierte sich dabei ein mittlerer bis starker Effekt (Cohen's $d=0.97$) der VR-Lernumgebung auf die Entwicklung der Testresultate.

5.3 Diskussion

Der signifikante, mittelgroße Effekt der VR-Lernumgebung auf die Entwicklung der Testergebnisse (Cohen's- $d = .60$) bei Ausgangsnoten im ungenügenden oder knapp genügenden Bereich weist darauf hin, dass die Ergänzung der betrieblichen Ausbildung mit VR-Lernumgebungen grundsätzlich lernwirksam ist. Differenziert nach den Berufen zeigt sich bei Montage-Elektriker:innen ein signifikanter großer Effekt (Cohen's- $d = .97$), während bei Elektroinstallateur:innen kein signifikanter Effekt nachgewiesen werden kann. Montage-Elektriker:innen haben im Vergleich zu den Elektroinstallateur:innen eine kürzere Ausbildungszeit und der Beruf ist vertikal tiefer positioniert (tieferes Kompetenzniveau). Dies führt dazu, dass sie tendenziell auf der Baustelle weniger bei den Erstprüfungen elektrischer Anlagen involviert werden (Bertinelli, 2020), was den hohen Effekt erklären könnte.

Bei der Interpretation der Studienresultate muss beachtet werden, dass kombinierte Analysen aufgrund der Stichprobengröße nicht möglich waren. So konnten in der quantitativen Analyse der Einfluss zentraler Variablen der Struktur- und Prozessdimension (Ausbildungsbetrieb,

Nutzungsdauer etc.), die aufgrund des gewählten Settings (Felsstudie statt Laborstudie) nicht aufgenommen werden. Um zu klären, ob die relativ großen Unterschiede der pre-test-Resultate zwischen der Interventions- und Kontrollgruppe aufgrund einer systematischen Verzerrung, oder zufällig entstanden sind, sind weiterführende Studien mit vollständig randomisierter Stichprobe notwendig.

6 Konklusion und Forschungsperspektiven

Die Erkenntnisse im Projekt und die empirischen Ergebnisse der summativen Evaluation weisen darauf hin, dass virtuelle Erfahrungs- und Lernräume betriebliches Lernen unterstützen und dabei für den Aufbau beruflicher Handlungskompetenzen wirksam sein können. Zudem ist es mit einem multidisziplinären Ansatz in einem gemeinsamen Entwicklungsprozess möglich, fachliche, technische und pädagogische Anforderungen an eine solche Lernumgebung zu verbinden.

Die im Projekt signifikant höhere Wirksamkeit der exemplarischen VR-Lernumgebung bei Montage-Elektriker:innen (dreijährige Ausbildung mit höherem Bezug zu praktischen Tätigkeiten) gegenüber Elektro-Installateur:innen (vierjährige Ausbildung mit höheren Anforderungen im Wissensbereich) weist auf mögliche differentielle Effekte in Einsatz und Konzeption von VR-Simulationen für die Berufsbildung hin. Weitere Forschung dazu könnte beispielsweise an die Befunde anknüpfen, dass lernschwächere Personen besonders stark von einem eng angeleiteten didaktisch Lernsetting profitieren können (Knöll 2007; Nickolaus, Knöll & Gschwendtner 2006), wie es auch bei der technologischen Unterstützung einzelner Tätigkeiten in einer VR-Simulation realisiert wird. Diese Interpretationsmöglichkeiten wären in Folgearbeiten empirisch zu prüfen. Als Forschungsperspektive lässt sich daher formulieren:

- Eine weitere Prüfung des im Projekt entwickelten Protoyps sollte differenzielle Effekte hinsichtlich der Lernenden untersuchen.

Die pädagogische Rahmung der VR-Simulation wurde im Projektzyklus unter Einbezug der drei Ansätze *Scaffolding*, *Kompetenzorientierung* und *Gamification* entwickelt. Für weitere Forschungszyklen ergeben sich daraus Anschlussmöglichkeiten

- Eine gezielte Variation des Einbezugs der drei Ansätze könnte noch differenzierte Ergebnisse zu ihrer Wirksamkeit hervorbringen und könnte in einem weiteren Schritt auch in Anlehnung an die weiteren im Fachdiskurs um andere Ansätze erweiterte werden.
- VR-Lernumgebungen mit der hier entwickelten pädagogischen Rahmung könnten für andere fachdidaktisch ausgewählte Situationen entwickelt und in ihrer Wirksamkeit getestet werden. Diese könnte sowohl innerhalb des Feldes der Elektroberufe erfolgen als auch darüber hinaus in anderen Berufsfeldern.
- Die entwickelte VR-Umgebung wurde im vorliegenden Projekt im Betrieb eingesetzt. Davon ausgehen könnte ihre Anschlussfähigkeit an die Ziele der anderen Lernorte in

der beruflichen Grundbildung, d.h. in den Berufsschulen und überbetrieblichen Kursen überprüft werden.

Last but not least wären in weiteren Zyklen die organisatorischen Herausforderungen, die sich im Projekt im Rahmen der multidisziplinären Zusammenarbeit zeigten, zu fokussieren. Dieses um nachhaltige interinstitutionelle Innovationsstrukturen zu schaffen, die sich im Projekt als wirksam erwiesen haben, um VR-Umgebungen für die Berufsbildung zu entwickeln.

Literatur

Babu, S./Krishna, S./R, U./Bhavani, R. (2018): Virtual Reality Learning Environments for Vocational Education: A Comparison Study with Conventional Instructional Media on Knowledge Retention. In: 2018 IEEE 18th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT). July 2018 Mumbai. 385-389. doi:10.1109/ICALT.2018.00094 (10.09.2022).

Bertinelli, E. (2020): Kann mit Hilfe von Videosequenzen, als unterstützende Maßnahme zum Messkurs, die Handlungsfähigkeit des Montagepersonals bei der Erstprüfung gesteigert werden? Fallbeispiel zur Entwicklung der Weiterbildung in einem Elektrogroßbetrieb in der Schweiz. Urdorf.

Boxler, H. (2020): Prüfen & Kontrolle. In: Niederspannungs-Installationsnorm NIN 2020. Ziegelbrücke. 191-195.

Brown, A.L. (1992): Design experiments: Theoretical and methodological challenges in creating complex interventions in classroom settings. In: The journal of the learning sciences. 2(2), 141-178.

Bryner, P./Hofmann, D./Marfurt, M./Nauer, P. et al. (2015): NIN COMPACT NIBT. Maximales Know-how – minimales Volumen. Fehraltdorf.

Bumillier, H./Burgmaier, M./Duhr, C./Eichler, W. et al. (2020): Prüfen der Schutzmaßnahmen. In: Fachkunde Elektrotechnik. Haan-Gruiten. 368-380.

Burda-Zoyke, A. (2017): Design-Based Research in der Berufs- und Wirtschaftspädagogik. Rezeption und Umsetzungsvarianten. In: *bwp@* Berufs- und Wirtschaftspädagogik online. (33), 1-27. Online: http://www.bwpat.de/ausgabe33/burda-zoyke_bwpat33.pdf (12.09.2022).

Cattaneo, A. (2022): Digitales Lernen: Nutzen wir wirklich alle Möglichkeiten? Überlegungen zur Integration von Technologien in die Berufsbildung. 51(2), 8-12.

Collins, A. (1992): Toward a design science of education. In: New directions in educational technology. Wiesbaden. 15-22.

Cowling, M./Birt, J. (2018): Pedagogy before technology: A design-based research approach to enhancing skills development in paramedic science using mixed reality. In: Information. 9 (2), 29.

Dehnbostel, P. (2006): Lernen im Prozess der Arbeit. Münster.

Deterding, S./Dixon, D./Khaled, R./Nacke, L. (2011): From game design elements to gamefulness: defining "gamification". In: Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference: Envisioning Future Media Environments. 9-15.

Dietzen, A. (2015): Die Rolle von Wissen in Kompetenzerklärungen und im Erwerb beruflicher Handlungskompetenz. In: Stock, M./Schlögl, P./Moser, D. (Hrsg.): Kompetent - wofür? Life skills – Beruflichkeit – Persönlichkeitsbildung: Beiträge zur Berufsbildungsforschung. Innsbruck. 39-53.

DIZH (2022): Virtual Reality als Lernort für die Berufliche Grundbildung. 3 January 2022. DIZH -Digitalisierungsinitiative des Kantons Zürich. Online: <https://dizh.ch/2022/01/03/virtual-reality-als-lernort-fuer-die-berufliche-grundbildung/> (12.09.2022).

Doo, M.Y./Bonk, C./Heo, H. (2020): A meta-analysis of scaffolding effects in online learning in higher education. In: International Review of Research in Open and Distributed Learning. 21(3), 60-80.

EIT.swiss (2015a): Bildungsplan Elektroinstallateurin EFZ/Elektroinstallateur EFZ. Online: https://www.eit.swiss/fileadmin/user_upload/documents/Berufsbildung/Grundbildung/Elektroinstallateurin_EFZ/_de/2015_EI_Bildungsplan.pdf (12.09.2022).

EIT.swiss (2015b): Bildungsplan Montage-Elektrikerin/Montage-Elektriker EFZ. Online: https://www.eit.swiss/fileadmin/user_upload/documents/Berufsbildung/Grundbildung/Montage-Elektrikerin_EFZ/_de/2015_ME_Bildungsplan.pdf (12.09.2022).

EIT.swiss (2020a): Wegleitung zum Qualifikationsverfahren Elektroinstallateurin/Elektroinstallateur EFZ. Online: https://www.eit.swiss/fileadmin/user_upload/documents/Berufsbildung/Grundbildung/Elektroinstallateurin_EFZ/_de/2015_EI_Wegleitung_QV.pdf (12.09.2022).

EIT.swiss (2020b): Wegleitung zum Qualifikationsverfahren Montage-Elektrikerin/Montage-Elektriker EFZ. Online: https://www.eit.swiss/fileadmin/user_upload/documents/Berufsbildung/Grundbildung/Montage-Elektrikerin_EFZ/_de/2015_ME_Wegleitung_QV.pdf (12.09.2022).

Euler, D./Sloane, P.F.E. (2014): Design-Based Research. 1. Edition. Stuttgart.

Euler, D./Wilbers, K. (2020): Berufsbildung in digitalen Lernumgebungen. In: Handbuch Berufsbildung. Wiesbaden. 427-438.

Goertz, L./Fehling, C.D./Hagenhofer, T. (2021): COPLAR-Leitfaden: Didaktische Konzepte identifizieren - Community of Practice zum Lernen mit AR und VR. Online: https://www.social-augmented-learning.de/wp-content/downloads/210225-Coplar-Leitfaden_final.pdf (10.09.2022).

Hamari, J./Koivisto, J./Sarsa, H. (2014): Does gamification work? – a literature review of empirical studies on gamification. In: 47th Hawaii Int. Conference on System Sciences. 2014 Hawaii USA. 3025-3034.

Heinlein, M./Huchler, N./Wittal, R./Weigel, A./et al. (2021): Erfahrungsgeleitete Gestaltung von VR-Umgebungen zur arbeitsintegrierten Kompetenzentwicklung: Ein Umsetzungsbeispiel bei Montage- und Wartungstätigkeiten. In: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft. 75(4), 388-404.

Huchler, N./Wittal, R./Heinlein, M. (2022): Erfahrungsbasiertes Lernen in der virtuellen Realität – Potenziale und Herausforderungen. 51(2), 28-32.

Kerres, M. (2003): Wirkungen und Wirksamkeit neuer Medien in der Bildung. In: Keill-Slawik, R.K. (Hrsg.): Education Quality Forum. Wirkungen und Wirksamkeit neuer Medien. Münster. 31-44.

Kim, K.G./Oertel, C./Dobricki, M./Olsen, J.K./et al. (2020): Using immersive virtual reality to support designing skills in vocational education. In: British Journal of Educational Technology. 51(6), 2199-2213. doi: <https://doi.org/10.1111/bjet.13026>.

Klafki, W. (1961): Studien zur Bildungstheorie und Didaktik. Unveränderter Nachdruck der Auflage von 1975. Weinheim u. a.

Knöll, B. (2007): Differenzielle Effekte von methodischen Entscheidungen und Organisationsformen beruflicher Grundbildung auf die Kompetenz- und Motivationsentwicklung in der gewerblich-technischen Erstausbildung. Eine empirische Untersuchung in der Grundausbildung von Elektroinstallateuren. Aachen.

Krommer, A. (2018): Warum der Grundsatz ‘Pädagogik vor Technik’ bestenfalls trivial ist. Bildung unter Bedingungen der Digitalität. Online: <https://axelkrommer.com/2018/04/16/warum-der-grundsatz-paedagogik-vor-technik-bestenfalls-trivial-ist/> (10.09.2022).

Lanier, J. (2017): Dawn of the New Everything: Encounters with Reality and Virtual Reality. New York. Online: <https://us.macmillan.com/dawnoftheneweverything/jaronlanier/9781627794091/> (08.04.2018).

Leemann, R.J. (2019): Educational Governance von Ausbildungsverbänden in der Berufsbildung – die Macht der Konventionen. In: Handbuch Educational Governance Theorien. Wiesbaden. 265-287.

Loke, S.-K. (2015): How do virtual world experiences bring about learning? A critical review of theories. In: Australasian Journal of Educational Technology. 31(1).

Meyer, H. (2007): Was ist guter Unterricht. Berlin.

Nickolaus, R./Knöll, B./Gschwendtner, T. (2006): Methodische Präferenzen und ihre Effekte auf die Kompetenz- und Motivationsentwicklung – Ergebnisse aus Studien in anforderungsdifferierten elektrotechnischen Ausbildungsberufen in der Grundbildung. In: ZBW. 102552-577.

Palmas, F./Labode, D./Plecher, D.A./Klinker, G. (2019): Comparison of a gamified and non-gamified virtual reality training assembly task. In: IEEE 11th International Conference on Virtual Worlds and Games for Serious Applications (VS-Games). 1-8.

Pletz, C./Zinn, B. (2018): Technologieakzeptanz von virtuellen Lern- und Arbeitsumgebungen in technischen Domänen. In: Journal of Technical Education (JOTED). 6(4), 86-105.

Pratticò, F.G./Lamberti, F. (2021): Towards the adoption of virtual reality training systems for the self-tuition of industrial robot operators: A case study at KUKA. In: Computers in Industry. 129103446.

Reinmann, G. (2005): Innovation ohne Forschung? Ein Plädoyer für den Design-Based Research-Ansatz in der Lehr-Lernforschung. In: Unterrichtswissenschaft. 33(1), 52-69.

SBFI (2017): Handbuch Prozess der Berufsentwicklung in der beruflichen Grundbildung. Online: <https://www.sbfi.admin.ch/sbfi/de/home/bildung/berufliche-grundbildung/berufsentwicklung.html> (20.09.2022).

Schwendimann, B.A./Cattaneo, A.A.P./Zufferey, J.D./Gurtner, J.-L./et al. (2015): The 'Erfahrraum': a pedagogical model for designing educational technologies in dual vocational systems. In: Journal of Vocational Education & Training. 67(3), 367-396. doi:10.1080/13636820.2015.1061041.

SDBB (2020a): Evaluation Qualifikationsverfahren 2021; Praktische Arbeit Elektro-Installateurin/Elektro-Installateur EFZ. Online: https://www.eit.swiss/fileadmin/user_upload/documents/Berufsbildung/Grundbildung/Elektroinstallateurin_EFZ/_de/2015_EI_Wegleitung_QV.pdf (20.10.2022).

SDBB (2020b): Evaluation Qualifikationsverfahren 2021; Praktische Arbeit Montage-Elektrikerin/Montage-Elektriker EFZ. Online: https://www.eit.swiss/fileadmin/user_upload/documents/Berufsbildung/Grundbildung/Montag-e-Elektrikerin_EFZ/_de/2015_ME_Wegleitung_QV.pdf (10.09.2022).

Seidel, T./Shavelson, R.J. (2007): Teaching effectiveness research in the past decade: The role of theory and research design in disentangling meta-analysis results. In: Review of educational research. 77(4), 454-499.

Shepard, L.A. (2005): Linking formative assessment to scaffolding. In: Educational leadership. 63(3), 66-70.

Slater, M./Sanchez-Vives, M.V. (2014): Transcending the Self in Immersive Virtual Reality. In: Computer. 47(7), 24-30. doi:10.1109/MC.2014.198.

Stalder, B./Carigiet, T. (2013): Ausbildungsqualität aus Sicht von Lernenden und Betrieben. In: Qualität in der Berufsbildung. Anspruch und Wirklichkeit. Berichte zur beruflichen Bildung. Bielefeld.

Wang, F./Hannafin, M.J. (2005): Design-based research and technology-enhanced learning environments. In: Educational technology research and development. 53(4), 5-23.

Wang, S./Cheng, Y. (2011): Designing a situational 3D virtual learning environment to bridge business theory and practice. In: Proceedings of the 13th International Conference on Enterprise Information Systems - Volume 3: ICEIS. 2011 Beijing. 313-315.

Winther, F./Ravindran, L./Svendsen, K.P./Feuchtner, T. (2020): Design and evaluation of a vr training simulation for pump maintenance based on a use case at grundfos. In: 2020 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR), 738-746.

Wolfartsberger, J./Riedl, R./Jodlbauer, H./Haslinger, N./et al. (2022): Virtual Reality als Trainingsmethode: Eine Laborstudie aus dem Industriebereich. In: HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik. 59(1), 295-308.

Wood, D./Bruner, J.S./Ross, G. (1976): The role of tutoring in problem solving. In: Journal of child psychology and psychiatry. 17(2), 89-100.

Zender, R./Buchner, J./Schäfer, C./Wiesche, D./et al. (2022): Virtual Reality für Schüler: innen: Ein «Beipackzettel» für die Durchführung immersiver Lernszenarien im schulischen Kontext. In: MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung. 4726-52.

Zender, R./Weise, M./von der Heyde, M./Söbke, H. (2018): Lehren und Lernen mit VR und AR–Was wird erwartet? Was funktioniert. In: Proceedings der Pre-Conference-Workshops der 16. E-Learning Fachtagung Informatik (DeLFI 2018), CEUR-WS.org, 2018.

Zenisek, J./Wild, N./Wolfartsberger, J. (2021): Investigating the potential of smart manufacturing technologies. In: Procedia computer science. 180507-516.

Zierer, K. (2017): Lernen 4.0. Pädagogik vor Technik. Möglichkeiten und Grenzen einer Digitalisierung im Bildungsbereich. Hohengehren.

Zinn, B. (2019): Editorial: Lehren und Lernen zwischen Virtualität und Realität. In: Journal of Technical Education. 7(1), 16-31.

Zinn, B./Ariali, S. (2020): Technologiebasierte Erfahrungswelten-Lehren und Lernen zwischen Virtualität und Realität. In: Zinn, B. (Hrsg.): Virtual, Augmented und Cross Reality in Praxis und Forschung - Technologiebasierte Erfahrungswelten in der beruflichen Aus- und Weiterbildung–Theorie und Anwendung. Stuttgart. 13-30.

Bernd Zinn (Hrsg.) (2020): Virtual, Augmented und Cross Reality in Praxis und Forschung: technologiebasierte Erfahrungswelten in der beruflichen Aus- und Weiterbildung: Theorie und Anwendung. Stuttgart.

Zinn, B./Peltz, C./Guo, Q./Ariali, S. (2020): Konzeptionalisierung virtueller Lehr- und Lernarrangements im Kontext des industriellen Dienstleistungsbereichs des Maschinen- und Anlagebaus. In: Zinn, B. (Hrsg.): Virtual, Augmented und Cross Reality in Praxis und Forschung – Technologiebasierte Erfahrungswelten in der beruflichen Aus- und Weiterbildung–Theorie und Anwendung. Stuttgart. 141-168.

Zitieren des Beitrags

Berger, M./Kraus, K./Keller, T./Brucker-Kley, E./Knaack, R. (2022): Virtuelle Lernumgebungen in der betrieblichen Ausbildung – eine Analyse am Beispiel der Elektrobranche in der Schweiz. In: *bwp@* Berufs- und Wirtschaftspädagogik – online, Ausgabe 43, 1-23. Online: https://www.bwpat.de/ausgabe43/berger_etal_bwpat43.pdf (18.12.2022).

Die Autor*innen



Dr. MARTIN BERGER

Pädagogische Hochschule Zürich, Abteilung Sekundarstufe II/Berufsbildung

Lagerstrasse 5, 8090 Zürich

martin.berger@phzh.ch

<https://phzh.ch/personen/martin.berger>



Prof. Dr. KATRIN KRAUS

Universität Zürich, Institut für Erziehungswissenschaft, Lehrstuhl für Berufs- und Weiterbildung

Kantonsschulstrasse 3, CH-8001 Zürich

katrin.kraus@ife.uzh.ch

<https://www.zhaw.ch/de/ueber-uns/person/knaa/>



Prof. Dr. THOMAS KELLER

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, School of Management and Law, Institut für Wirtschaftsinformatik

Theaterstrasse 17, 8400 Winterthur

th.keller@zhaw.ch

<https://www.zhaw.ch/de/ueber-uns/person/kell/>



Dipl. Inf. wiss. ELKE BRUCKER-KLEY

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, School of Management and Law, Institut für Wirtschaftsinformatik

Theaterstrasse 17, 8400 Winterthur

elke.brucker-kley@zhaw.ch

<https://www.zhaw.ch/de/ueber-uns/person/brck/>



Dr. RETO KNAACK

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, School of Engineering, Institut für Wirtschaftsinformatik

Technikumstrasse 9, 8400 Winterthur

reto.knaack@zhaw.ch

<https://www.zhaw.ch/de/ueber-uns/person/knaa/>