

Themenheft Nr. 51:

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

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

## Immersives Lernen in der Berufsschule

Fördert VR- und AR-Technologie das Lernen, die intrinsische Motivation und die Technologieakzeptanz von lernbeeinträchtigten Auszubildenden?

Elena Tangocci<sup>1</sup> , Christian Hartmann<sup>1</sup>  und Maria Bannert<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Technische Universität München

### Zusammenfassung

*In der beruflichen Bildung ist das Arbeiten mit Virtual Reality (VR) und Augmented Reality (AR) von Vorteil, um gefahrlos Arbeitsvorgänge zu erlernen. Ein ausschlaggebendes Potenzial von VR- und AR-Applikationen ist die Möglichkeit, komplexe Lerninhalte realistisch bzw. dreidimensional zu repräsentieren sowie Interaktionsmöglichkeiten mit virtuellen Objekten darzustellen. VR- und AR-Applikationen können insbesondere Menschen mit Lernbeeinträchtigungen unterstützen, da diese Lerninhalte schlecht imaginieren können. Jedoch wurde bisher kaum erforscht, ob VR- und AR-Applikationen die Lernleistung kognitiv Beeinträchtigter tatsächlich fördern. Deswegen wurde an Berufsschulen mit sonderpädagogischen Klassen eine quasi-experimentelle Feldstudie im Prä-Posttest-Design durchgeführt um zu untersuchen, ob Auszubildende mit immersiven VR- und AR-Applikationen effektiver lernten als mit einem nicht-immersiven Tablet-PC und wer die höhere Motivation und Technologieakzeptanz aufwies. Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Lernleistung der immersiven Lernbedingungen nur bei kognitiv anspruchsvolleren, prozeduralen und den Lernttransfer fördernden Lerninhalten signifikant von der Tablet-Bedingung unterschieden. Motivation und Technologieakzeptanz waren generell beim Lernen hoch. Insbesondere unterschieden sich die Lernbedingungen bei Interesse, der empfundenen Kompetenz und der Einstellung gegenüber dem Lernmedium. Diese Befunde zeigen, dass Menschen mit Lernbeeinträchtigung durch das Lernen mit VR- und AR-Technologie gefördert werden konnten. Basierend auf den Ergebnissen wird diskutiert, wie immersive Lernmedien effektiv für das Erlernen prozeduraler Inhalte im Unterricht eingesetzt werden können.*

## **Immersive Learning in Vocational Schools. Does VR and AR Technology Promote Learning, Intrinsic Motivation, and Technology Acceptance in Trainees with Learning Disabilities?**

### **Abstract**

*In vocational training, working with virtual reality (VR) and augmented reality (AR) is advantageous for learning work processes without danger. A decisive potential of VR and AR applications is the possibility to represent complex learning content realistically or three-dimensionally, as well as interaction possibilities with virtual objects. VR and AR applications can support people with learning disabilities in particular, as they have difficulties visualizing learning content. However, little research has been conducted to determine whether VR and AR applications actually enhance the learning performance of cognitively impaired individuals. Therefore, a quasi-experimental field study with a pre-posttest design was conducted at vocational schools with special education classes to investigate whether trainees learned more effectively with immersive VR and AR applications or with non-immersive tablet PCs and showed high motivation and technology acceptance. The results show that the learning performance of both immersive learning conditions differed significantly from the tablet condition only for more cognitively demanding, procedural, and learning transfer learning content. Motivation and technology acceptance were generally high in learning, and in particular, the learning conditions differed in interest, perceived competence, and attitude toward the learning medium. These findings indicate that students with learning disabilities could be supported by learning with VR and AR technology. Based on the results, we discuss how immersive learning media can be effectively used for learning procedural content in the classroom.*

### **1. Einleitung**

#### **1.1 Immersive Virtual und Augmented Reality**

Obwohl Virtual Reality (VR) und Augmented Reality (AR) schon in den 1960er-Jahren entwickelt (s. Sutherland 1968) und erste Ansätze für deren Einsatz in der Bildung in den 90ern erarbeitet wurden (Helsel 1992), konnte erst in den letzten Jahren durch erschwinglichere VR- und AR-Brillen eine grössere Zielgruppe erreicht werden (Freina und Ott 2015). Somit entstanden vielseitige Einsatzmöglichkeiten, auch hinsichtlich der Verwendung von VR und AR im Unterricht (Cheng und Tsai 2013; Kavanagh et al. 2017; Lucas 2018). Vor allem wurden immersive Medien

weiterentwickelt und einfacher zugänglich gemacht. Immersive Technologien visualisieren Umgebungen, in die Lernende mithilfe eines Head-Mounted-Displays (auch VR-/AR-Brillen) vollkommen eintauchen.

## **1.2 Vorteile von VR und AR beim Lernen**

Ob VR und AR tatsächlich lernwirksam sind, ist derzeit umstritten. Beispielsweise fanden Kaplan et al. (2021) in ihrer Meta-Analyse keine Unterschiede zwischen VR/AR-basierten und nicht-immersiven Trainings hinsichtlich der Lernwirksamkeit. Weitere Meta-Analysen zeigen jedoch höhere Lernerfolge bei VR-basierten Anwendungen im Vergleich zu weniger immersiven Medienpräsentationen, wie etwa spiel- und simulationsbasierten Anwendungen (Merchant et al. 2014; Wu et al. 2020).

Auch wenn bisherige Befunde nicht eindeutig sind, bringen VR und AR womöglich Vorteile beim Lernen im Vergleich zu alternativen Technologien. Studien zeigten bspw. positive Effekte auf die Aufmerksamkeit und Zufriedenheit von Lernenden (z. B. Kesim und Ozarslan 2012; Di Serio, Ibáñez und Kloos 2013; Radu 2014). Auch zeigten Studien einen positiven Einfluss von VR/AR auf den Lernzuwachs und -transfer (Garzotto et al. 2017) sowie auf das räumlich-visuelle Vorstellungsvermögen (Sorby und Baartmans 1996, 2000). Diese Effekte zeigten sich sowohl während des Lernprozesses der Schüler:innen als auch einige Zeit nach dem Lernen. Weitere Studien fanden eine höhere Motivation und auch höheres Engagement beim Lernen in virtuellen Umgebungen (z. B. Mantovani 2001; Limniou, Roberts, und Papadopoulos 2008). Diese erklären sich anhand der authentischen Lerninhalte in der virtuellen Welt, die selbstbestimmte Handlung, sowie Interaktion mit den Objekten ermöglichen. Diese Selbstbestimmtheit fördert den Spass beim Lernen, wodurch das situative Interesse der Lernenden im Vergleich zum traditionellen Unterricht eher gefördert wird (Kintsch 1980; Wade 1993). Das situative Interesse regt wiederum die Aufmerksamkeit und die aktive Teilnahme der Lernenden an und kann dadurch die gesamte Unterrichtsstunde anhalten und zu besseren Lernergebnissen führen (Parong und Mayer 2018). Auch Akzeptanz gegenüber der Lerntechnologie ist nach dem *Technology Acceptance Model* (Davis 1989) eine wichtige Gelingensbedingung für das Lernen mit VR/AR. Wird der Nutzen einer Technologie für das Lernen wahrgenommen und akzeptiert, sind Lernende eher bereit, Technologien effektiv für ihr Lernen nutzbar zu machen (vgl. Nagy 2018). Zudem wäre anzunehmen, dass Technologien Lernende demotivieren und ablenken, sofern sie diese nicht als geeignet empfinden. Derartige lernhinderliche Effekte werden womöglich durch die visuelle Prägnanz von VR/AR verstärkt.

Gerade im berufsbildenden Kontext bietet der Einsatz von VR und AR Vorteile. So fanden Bacca et al. (2014) heraus, dass immersive Technologien den Lernprozess von Berufsschüler:innen während ihrer Ausbildung fördern und ihnen den Zugang

zum Arbeitsmarkt erleichtern. Mit VR/AR-Applikationen haben sie die Möglichkeit, dreidimensionale Objekte mehrmals und in originaler Grösse zu erleben, was ihnen ermöglicht, räumlich-visuelle Beziehungen zu entwickeln, sich also Objekte dreidimensional vorzustellen und diese nach eigenem (Lern-)Bedarf zu rotieren (Martin-Gutierrez, Navarro, und Gonzalez 2011). Zudem können Auszubildende in authentischen Situationen risikofrei lernen und üben, etwa beim Arbeiten mit einer Ständerbohrmaschine oder beim Umgang mit gefährlichen Chemikalien (Freina und Ott 2015). Des Weiteren führten Leder et al. (2019) eine Studie über ein VR-Training zum Thema Arbeitssicherheit durch, in der sie langwirkende Effekte der Einschätzung von Risiken in bestimmten Szenarien fanden.

### **1.3 Einsatz von VR und AR bei Lernbeeinträchtigungen**

Authentische dreidimensionale Darstellungsformate und die Interaktion mit virtuellen Objekten sind womöglich die grössten Vorteile des Lernens mit VR und AR. Beim Lernen mit immersiven Technologien wird Lernenden die Möglichkeit gegeben, Lerngegenstände in Form und Grösse zu visualisieren, wie sie in der Realität vorkommen. Dies vereinfacht vor allem Menschen mit schlechtem oder geringem Vorstellungsvermögen das Lernen (Grünke 2004). Menschen mit Lernbeeinträchtigungen (folgend LB genannt) kennzeichnen sich u. a. durch kurze Aufmerksamkeits- und Konzentrationsspannen, Verständnis- sowie Lese- und Schreibprobleme. Sie können sich Dinge schwer bildlich oder räumlich vorstellen und haben eine geminderte Erinnerungsleistung. Generell haben sie Probleme bei der Informationsverarbeitung (ICD-10-CM: DIMI 2019). Schuchardt (2009) erklärt, dass die kognitiven Defizite durch die limitierte Kapazität des Arbeitsgedächtnisses charakterisiert werden. Lernbehinderte Menschen tun sich somit schwerer beim Lernen von abstrakten Begriffen, können Gelerntes oftmals nur schwer auf neue Situationen transferieren und sind aufgrund dieser Schwierigkeiten oftmals demotiviert (Grünke 2004).

Entscheidend ist, dass Menschen mit LB ein geringes Vorstellungsvermögen bei der Aufnahme und Verarbeitung von Informationen haben und somit nur sehr schwer ein mentales Modell beim Verstehen von gesprochenem bzw. gelesenen Text und beim Betrachten von Bildern aufbauen können (s. das Modell nach Schnotz und Bannert 1999). Dieses Defizit kann durch die Darstellungen innerhalb der VR/AR-Umgebung kompensiert werden, da Lernende dank dreidimensionaler und realistischer Visualisierungen dabei unterstützt werden, sich komplexe bzw. abstrakte Inhalte mental vorzustellen. Gabana et al. (2017) fanden zudem heraus, dass Lernende durch VR-Spiele die Leistung ihres Arbeitsgedächtnisses verbessern, insbesondere diejenigen mit niedrigerer Arbeitsspeicherleistung. Nach Gabana et al. (2017) aktivieren immersive Lernumgebungen kognitive Ressourcen und motivieren Lernende, Inhalte der virtuellen Umgebung engagierter zu verarbeiten.

Zusammengenommen lässt sich vermuten, dass Lerneffekte von VR/AR-basierten Anwendungen von kognitiven Voraussetzungen der Lernenden abhängen (vgl. Li et al. 2020) und diese Technologien somit besondere Potenziale zur Förderung von Lernenden mit kognitiven Einschränkungen haben können. Dieser Aspekt wurde in bisherigen Studien jedoch kaum berücksichtigt.

#### **1.4 Lernwirksamkeit von VR und AR für verschiedene Wissensarten**

Neben der Betrachtung kognitiver Voraussetzungen der Lernenden betonen Li et al. (2020) zudem Gestaltungsnotwendigkeiten virtueller Lernumgebungen. Hierbei ist insbesondere darauf zu achten, welche Wissensarten adressiert werden und wie kognitiv anspruchsvoll die Lerninhalte sind. Renkl (2009) beschreibt deklaratives Wissen als «Faktenwissen» und prozedurales Wissen als «Können». Beide Wissensarten werden in bisherigen Studien zu VR/AR jedoch nicht hinreichend hinsichtlich des gezielten Einflusses des Lernmediums differenziert (z. B. Webster 2016; Greenwald 2018; Parong und Mayer 2018; Makransky, Terkildsen, und Mayer 2019). Daher wäre es von Interesse zu ermitteln, ob VR/AR Technologien auf beide Wissensarten unterschiedlich wirken. Gerade bei Berufsschüler:innen ist prozedurales, anwendungsorientiertes Lernen, wie z. B. die Einschätzung von Risiken und die Anwendung im zukünftigen Arbeitsleben, von grosser Wichtigkeit (Kaiser 2005). Umso mehr können die Lerninhalte einer VR/AR-Umgebung bei dieser Art von Wissenserwerb gerade für Lernende mit kognitiven Beeinträchtigungen (s. Abschnitt 1.3) eine grosse Unterstützung sein.

Zu beachten ist zudem, dass das Transferwissen laut Dalgarno und Lee (2010) bei dreidimensionalen, virtuellen Lernumgebungen vordergründig ist. Durch die authentische Kontextualisierung bei der Bearbeitung der Lernaufgaben mittels VR/AR wird den Lernenden womöglich erleichtert, erlerntes Wissen und Fähigkeiten in reale Situationen zu transferieren. Eine Studie von Leder et al. (2019) zeigte bspw. keine Vorteile eines VR-Trainings über Arbeitssicherheit im Vergleich zu einer Power-Point-Präsentation beim Wissenserwerb, jedoch beim Transferwissen, das heisst bei der Einschätzung von Risiken. Somit können Lerneffekte durch VR/AR-Anwendungen entstehen, wenn diese anwendungsorientiert sind bzw. der anwendungsorientierte Transfer in andere bzw. neuartige Situationen gefordert ist.

#### **1.5 Unterschiede beim Lernen mit VR und Lernen mit AR**

Bisher wurde über Effekte immersiver Medien wie VR und AR im Vergleich zu nicht-immersiven Medien berichtet, jedoch stellt sich die Frage, inwiefern VR und AR unterschiedlich lernwirksam sind. Dazu existiert bislang nur wenig Forschung, und daher gilt dieses Thema als wichtige Forschungslücke. Moro et al. (2017) fanden in

einem Vergleich von Lerneffekten mittels einer VR-, AR- und einer Tablet-PC-Lernbedingung keine signifikanten Unterschiede zwischen den Lernbedingungen, wobei der Wissenstest hauptsächlich aus Fragen zu deklarativem und räumlichem Wissen bestand. Zu betonen ist jedoch, dass Moro et al. (2017) die AR-Bedingung mittels eines Tablet-PCs realisierten, was nur bedingt mit einer «reinen» AR-Anwendung vergleichbar ist. Des Weiteren berichten Liou et al. (2017) über höhere Lernleistungen durch die AR-Anwendung im Vergleich zu VR, wobei hier für beide Lernumgebungen nicht-immersive Tablets oder PCs eingesetzt wurden. Ob sich Lerneffekte zwischen AR und VR unterscheiden, liesse sich durch die mentale Anstrengung erklären, die womöglich eher erhöht ist, wenn Lernende dynamische Objekte der realen Welt sehen können (vgl. Luong et al. 2019). Parong und Mayer (2018) betonen die Notwendigkeit, Prinzipien zur Gestaltung multimedialer Lernumgebungen zu beachten (s. Cognitive Theory of Multimedia Learning (CTML) nach Mayer 2008). Hier besteht die Annahme, dass Schüler:innen, die in einer VR-Umgebung lernen, Objekte bzw. Lerninhalte konzentrierter verarbeiten können, wenn die virtuelle Umgebung schlicht gehalten ist und die Lerninhalte einzeln und nacheinander aufgezeigt werden (vgl. Mayer 2008). Ein Beispiel wäre hier eine leere Fabrikhalle. AR-Umgebungen sind womöglich ablenkend, wenn Lernende eine niedrige Konzentrationsspanne haben, da AR-Anwendungen das Umfeld im Klassenzimmer nicht ausblenden. Folglich scheinen VR-Anwendungen für Schüler:innen mit LB u. a. aufgrund ausgeblendeter Ablenkungen lernförderlicher zu sein als AR-Anwendungen.

### **1.6 Fragestellung und Hypothesen**

Kognitive Voraussetzungen der Lernenden sowie die Art des erworbenen Wissens in der virtuellen bzw. erweiterten Lernumgebung wurden in bisherigen Studien nicht hinreichend berücksichtigt. Zudem wurden Effekte von VR und AR kaum im Kontext der beruflichen Bildung sowie für Schüler:innen mit kognitiven Defiziten beforscht. Daher wird im Rahmen dieser Studie untersucht, ob immersive VR und AR bei dieser Zielgruppe lernwirksam sind. Es wurden folgende Forschungsfragen (F) mit daraus abgeleiteten Hypothesen (H) formuliert:

- (F1) Welche Effekte hat das Lernen mit den immersiven Medien VR und AR auf die Lernleistung der Berufsschüler:innen mit LB im Vergleich zu nicht-immersiven Medien, wie dem Tablet?
- (H1) Berufsschüler:innen mit LB, die mit den immersiven Medien VR und AR lernen, zeigen eine bessere Lernleistung als diejenigen, die mit einem nicht-immersiven Tablet lernen.
- (F2) Gibt es einen Unterschied in der Lernleistung beim Lernen mit VR und dem Lernen mit AR?

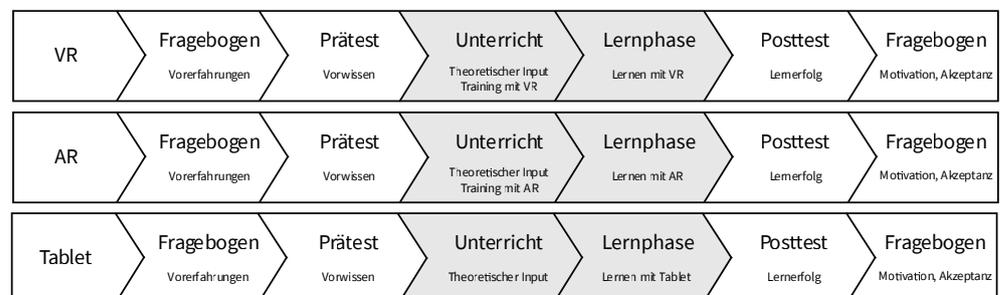
- (H2) Berufsschüler:innen mit LB lernen mit der VR-Brille besser als mit der AR-Brille.
- (F3) Hat das Lernen mit den immersiven Medien VR und AR einen anderen Einfluss auf die intrinsische Motivation und Technologieakzeptanz von Berufsschüler:innen mit LB im Vergleich zum Lernen mit dem Tablet?
- (H3) Die intrinsische Motivation und Technologieakzeptanz von Berufsschüler:innen mit LB unterscheidet sich beim Lernen mit VR und AR signifikant gegenüber dem Lernen mit dem Tablet.

## 2. Studie

### 2.1 Forschungsdesign

Die vorliegende Studie ist eine quasi-experimentelle Felduntersuchung im Prä- und Posttestdesign mit Kontrollgruppe. Hier wurden Effekte auf die Lernleistung, Motivation und Technologieakzeptanz anhand von drei Lernbedingungen (Experimentalgruppen: immersive VR und AR; Kontrollgruppe: nicht-immersives Tablet) untersucht. Die Schüler:innen wurden klassenweise den entsprechenden Lernbedingungen zugeordnet, um die Lernsituation im Vergleich zum herkömmlichen Unterricht möglichst authentisch zu halten.

Hierfür erarbeiteten die Teilnehmenden nacheinander anhand der zugeteilten Lernmedien drei Lerneinheiten zu dem fachübergreifenden Thema Arbeitssicherheit (näher dazu in Abschnitt 2.3). Zu jeder Lerneinheit wurde das Vorwissen der Schüler:innen vor der Lernphase sowie die Lernleistung direkt nach der Lernphase gemessen. Die Motivation und Technologieakzeptanz wurden mithilfe eines validierten Fragebogens erfasst (Park 2009; Wilde et al. 2009), dessen Formulierung für die Zielgruppe leicht angepasst wurde. Abbildung 1 illustriert das Forschungsdesign der vorliegenden Studie.



**Abb. 1:** Untersuchungsdesign für jede Lernbedingung. Anmerkung: bis auf das Training und die Lernphase waren alle Schritte identisch.

## 2.2 Stichprobe

An der Feldstudie nahmen insgesamt 149 Berufsschüler:innen von zwei Schuleinrichtungen mit sonderpädagogischem Schwerpunkt teil. Da die Untersuchung in einem Zeitraum von ca. 30 nicht aufeinanderfolgenden Wochen stattfand, konnten manche Schüler:innen nicht in die finale Stichprobe aufgenommen werden, da sie ihre Ausbildung während der Studiendurchführung beendeten. Zudem wurden weitere Teilnehmende ausgeschlossen, sofern die Testmaterialien nicht vollständig bzw. sorgfältig bearbeitet wurden. In Tabelle 1 sind die verbliebenen Teilnehmenden der finalen Stichprobe getrennt nach Lernbedingung und Lerneinheit aufgeführt.

Lerneinheit	VR	AR	Tablet	Gesamt
Schutzausrüstung	43	34	38	115
Bohrmaschine	34	31	39	104
Leitern	51	37	28	116

**Tab. 1:** Anzahl der Teilnehmenden pro Lernbedingung und Lerneinheit.

Die Altersspanne der Teilnehmenden lag zwischen 16 und 28 Jahren ( $M = 19.19$  Jahre;  $SD = 2.48$ ). Davon waren 22 (18,03%) weiblich. Die Angaben zur Art der LB der Schüler:innen erfolgte anhand der subjektiven Einschätzung der Lehrpersonen. Diese gaben vor allem sprachliche und schriftliche Barrieren sowie Lese-, Aufmerksamkeits- und Verständnisschwierigkeiten der Teilnehmenden an.

## 2.3 Lernmaterialien

In der VR-Lernbedingung wurden *Oculus Quest* VR-Brillen (*Meta*), in der AR-Lernbedingung *HoloLens 2* AR-Brillen (*Microsoft*) und in der Kontrollgruppe *iPads pro 2* (*Apple*) eingesetzt. Ausserdem wurden drei Lerneinheiten zu dem Thema Arbeitssicherheit konzipiert, wobei die grafischen Inhalte und die Software für die Brillen mithilfe der Entwicklungssoftware *Unity* sowohl für die VR- als auch für die AR-Brille durch die Firma *VISCOPIK* (jetzt *TeamViewer*) erstellt wurden. Für die beiden Lernmedien VR und AR wurden identische digitale Inhalte eingeblendet. Die Lerninhalte der VR-Umgebung waren in eine grosse virtuelle Fabrikhalle eingebunden (s. Abb. 2), während in der AR-Umgebung die gleichen Lerninhalte als Hologramme im realen Klassenzimmer eingeblendet wurden. Für die Tablet-Kontrollgruppe wurden die gleichen Lernaufgaben bzw. Inhalte anhand von *WordPress* und der Software *H5P* erstellt, deren Abbildungen aus der virtuellen Lernumgebung entnommen wurden. Im Folgenden werden die Inhalte der drei Lerneinheiten genauer beschrieben und in Abbildung 2 bildlich veranschaulicht.

Die Lerneinheit «Schutzausrüstung» bestand aus sieben Aufgaben, bei denen die Lernenden jeweils aus zwei vorgezeigten Gegenständen oder Kleidungsstücken geeignete Schutzausrüstung identifizieren sollten. Diese Aufgaben zielten auf den deklarativen Wissenserwerb ab. Bei der Lerneinheit «Bohrmaschine» sollten die Lernenden in sieben Schritten einen geeigneten Bohrer in der Bohrmaschine richtig einsetzen und die Ständerbohrmaschine richtig in Betrieb nehmen. Diese Aufgaben zielten auf den prozeduralen Wissenserwerb und waren kognitiv etwas anspruchsvoller. Die Lerneinheit «Leitern» bestand aus vier Teilaufgaben. In der ersten sollten die Schüler:innen für drei vorgegebene Szenarien jeweils die passende Leiterart auswählen. In der zweiten sollten defekte Stellen an einer Stehleiter identifiziert werden. In der dritten wurden Anlegeleitern mit einem unterschiedlichen Anstellwinkel vorgezeigt; hierbei sollte der richtige Winkel ausgewählt werden. In der vierten Aufgabe sollte die richtige Standunterlage für die Leiter ausgewählt werden. Diese Aufgaben zielten auf den Erwerb des Transferwissens und waren kognitiv am anspruchsvollsten.



**Abb. 2:** Veranschaulichung der Lernumgebungen in der VR-Bedingung: (links) Schutzausrüstung, (mitte) Bohrmaschine, (rechts) Leitern. Anmerkung: Screenshots wie diese wurden in der Tablet-Umgebung verwendet.

## 2.4 Untersuchungsinstrumente

*Demografische Angaben:* Zu Versuchsbeginn erfassten die Lehrpersonen demografische Daten der Proband:innen mithilfe eines Fragebogens. Neben Alter und Herkunft sollten sie zudem Informationen zur LB (z. B. Aufmerksamkeitsdefizite), zur Regelmässigkeit des Schulbesuchs und zu den Vorerfahrungen zum Thema Arbeitssicherheit sowie dem Umgang mit VR-, AR- und anderen Technologien geben.

*Wissenstests:* Für jede der drei Lerneinheiten wurde ein Wissenstest entwickelt und vorab mithilfe einer Expertenbefragung sowie einer Pilotstudie validiert. Zu jedem Messzeitpunkt (Prä- und Posttest) wurden die gleichen Tests durchgeführt, je einer pro Lerneinheit. Der Wissenstest der Lerneinheit «Schutzausrüstung» bestand aus sieben deklarativen Aufgaben mit jeweils offenem Antwortformat, in denen die

korrekte Schutzausrüstung zu benennen war und der passende Körperteil zugeordnet werden sollte. Insgesamt konnten bei diesem Test 21 Punkte erzielt werden (14 Items,  $\alpha = .80$ ). Der Wissenstest der Lerneinheit «Bohrmaschine» bestand aus zwei prozeduralen Aufgaben, bei denen sieben Arbeitsschritte in die richtige Reihenfolge gebracht und in einer Abbildung eingezeichnet werden sollten, um ein Metallstück korrekt mit einer Ständerbohrmaschine zu verarbeiten. Insgesamt konnten bei diesem Test 21 Punkte erzielt werden (14 Items,  $\alpha = .88$ ). Der Wissenstest der Lerneinheit «Leitern» mass das Transferwissen. Der Test bestand aus einer Abbildung mit 12 Szenarien, in denen Menschen mit einer Leiter arbeiten. Für jedes Szenario sollte angegeben werden, ob eine Unfallgefahr zu erkennen ist. Zudem sollte genauer beschrieben werden, welche mögliche Gefahr besteht und wie diese vermieden werden kann. Insgesamt konnten bei diesem Test 56 Punkte erzielt werden (36 Items,  $\alpha = .73$ ).

*Fragebogen zur Motivation und Technologieakzeptanz:* Um die intrinsische Motivation zu ermitteln, wurden die Skalen «Interesse/Vergnügen» (3 Items,  $\alpha = .86$ ), «Wahrgenommene Kompetenz» (3 Items,  $\alpha = .85$ ) und «Druck/Anspannung» (3 Items,  $\alpha = .74$ ) der Kurzskala Intrinsischer Motivation (KIM: Wilde et al. 2009) verwendet. Um die Technologieakzeptanz im Umgang mit Lerntechnologien zu ermitteln, wurden die Skalen «Perceived Usefulness» (wahrgenommene Nützlichkeit; 3 Items;  $\alpha = .83$ ) und «Attitude» (Einstellung; 3 Items,  $\alpha = .85$ ) aus dem *Technology Acceptance Model* (vgl. Park 2009) verwendet. Der Fragebogen wurde sprachlich für die Zielgruppe angepasst. Die Items wurden zuvor anhand eines Experteninterviews validiert und mithilfe einer Vorstudie pilotiert. Der Fragebogen wurde zusammen mit dem Posttest ausgefüllt. Die Items sind fünfstufig Likert-skaliert (von 1 «trifft gar nicht zu» bis 5 «trifft voll und ganz zu»). Zur Förderung der Verständlichkeit für die Proband:innen wurden die Items mit «unglücklichen» bis «glücklichen» Smileys entsprechend den Skalenstufen ergänzt.

Alle Fragebögen sowie Wissenstests wurden in Papierform erhoben. Die Daten wurden nachträglich elektronisch eingegeben und ausgewertet.

## 2.5 Untersuchungsablauf

Die Feldstudie fand im Zeitraum zwischen Herbst 2019 und Herbst 2021<sup>1</sup> statt, wobei die Klassen für die VR-Lernbedingung im Herbst und Winter 2019/2020, die Klassen für die Tablet-Lernbedingung im Frühjahr 2020 und die Klassen für die AR-Lernbedingung im Herbst 2021 teilnahmen. Für jeden Teilnehmenden füllten die Lehrpersonen anfangs einen demografischen Fragebogen aus. Um den Kenntnisstand der Lernenden zu ermitteln, wurden für jede Lerneinheit vor Beginn der jeweiligen

---

1 Aufgrund von Lieferengpässen der AR-Brillen und der Pandemie mit den darauffolgenden Schulschließungen erfolgte die Untersuchung unter Berücksichtigung von Hygienekonzepten in einem längeren Zeitraum als ursprünglich mit den Schulen geplant war.

Einheit Tests zur Erfassung des Vorwissens (Prätest) während einer Unterrichtsstunde eingesetzt. Vor Studienbeginn wurde anhand einer erstellten Trainingslerneinheit der Umgang mit den VR- bzw. den AR-Brillen geübt. Zudem erhielten die Schulklassen eine kurze Einführung zum Thema Arbeitssicherheit. Die Lerneinheiten mit den jeweiligen Medien (VR/AR/Tablet) fanden in mehreren Unterrichtsstunden statt. Direkt im Anschluss wurde der Wissenstest (Postest) sowie der Motivations- und Akzeptanzfragebogen erhoben.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Überprüfung der Hypothesen in Bezug auf das Lernen mit immersiven Medien

Um die Annahmen zu testen, dass Berufsschüler:innen mit LB mit immersiven Medien (VR/AR) besser als mit nicht-immersiven Medien (Tablet) lernen (H1) und um zu prüfen, dass das Lernen mit der VR-Brille bei der gleichen Zielgruppe höhere Lernleistung als das Lernen mit einer AR-Brille zeigt (H2), wurde im ersten Schritt für jede der drei Lerneinheiten eine einfaktorielle Varianzanalyse mit dem Faktor «Lernbedingung» (VR/AR/Tablet) und der abhängigen Variable «Lernzuwachs» berechnet. Die Variable «Lernzuwachs» wurde anhand der Differenz zwischen den erreichten Prozentpunkten im Post- und Prätest berechnet. Im zweiten Schritt wurden Bonferroni Post-Hoc Kontraste genutzt, um Unterschiede zwischen den einzelnen Lernbedingungen festzustellen.

In Tabelle 2 sind die deskriptiven Statistiken für den Wissenstest (Prä- und Posttest) getrennt nach Lernbedingung dargestellt. Die in den jeweiligen Wissenstests erreichte Punktzahl wurde in Prozentwerte überführt, d. h. die tatsächlich erreichten Punkte in Relation zur erreichbaren Gesamtpunktzahl. Deskriptiv zeigt sich beinahe ausnahmslos ein Lernzuwachs für alle Lernbedingungen und Lerneinheiten.

Lerneinheit	n	M <sub>VR</sub> (SD)	n	M <sub>AR</sub> (SD)	n	M <sub>Tablet</sub> (SD)	df	F	p	η <sup>2</sup> <sub>p</sub>
Schutzausrüstung	43	4.21 (28.46)	34	5.74 (27.24)	38	5.51 (25.28)	2/112	0.037	.963	.000
Bohrmaschine	34	18.91 (23.98)	31	10.60 (17.72)	39	-3.66 (19.22)	2/101	11.377	.001*	.184
Leitern	51	13.00 (15.50)	28	6.94 (18.90)	37	3.05 (11.29)	2/113	4.727	.011*	.077

**Tab. 2:** Anzahl, Mittelwert und Standardabweichung für den Lernzuwachs pro Lerneinheit und Lernbedingung und einfaktorielle Varianzanalyse mit der abhängigen Variable Lernzuwachs (Punkte im Posttest minus Punkte im Prätest) und dem Faktor Lernbedingung. Anmerkung: Das Signifikanzniveau wurde auf  $p \leq 0.05$  festgelegt und wird mit \* gekennzeichnet.

In der Lerneinheit «Schutzausrüstung» ergab das allgemeine Modell beim Lernzuwachs keinen signifikanten Unterschied zwischen den Lernbedingungen,  $F(2,112) = 0.037$ ,  $p = .963$ , was auch für die einzelnen Post-Hoc Vergleiche galt. Somit konnten die Annahmen H1 und H2 für diese Lerneinheit nicht bestätigt werden.

Bei der Lerneinheit «Bohrmaschine» ergab das allgemeine Modell beim Lernzuwachs einen signifikanten Unterschied mit grosser Effektstärke zwischen den Lernbedingungen,  $F(2,101) = 11.377$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2_p = .184$ . Die Post-Hoc Analyse zeigt, dass sich der durchschnittliche Lernzuwachs der VR-Lernbedingung ( $M = 18.91\%$ ;  $SD = 23.98$ ) signifikant gegenüber dem der Tablet-Lernbedingung ( $M = -3.66\%$ ;  $SD = 19.22$ ) unterschied ( $p < .001$ ). Ebenso unterschied sich der Lernzuwachs der AR-Lernbedingung ( $M = 10.60\%$ ;  $SD = 17.72$ ) signifikant von dem Lernzuwachs der Tablet-Lernbedingung ( $p = .014$ ). Somit konnte die Annahme H1 für diese Lerneinheit bestätigt werden, jedoch nicht die Annahme H2, da die Post-Hoc Analyse keinen signifikanten Unterschied zwischen der VR- und AR-Bedingung ergab ( $p = .317$ ).

Bei der Lerneinheit «Leitern» ergab das allgemeine Modell beim Lernzuwachs einen signifikanten Unterschied mit mittlerer Effektstärke zwischen den Lernbedingungen,  $F(2,113) = 4.727$ ,  $p = .011$ ,  $\eta^2_p = .077$ . Die Post-Hoc Analyse zeigte, dass sich der durchschnittliche Lernzuwachs der VR-Lernbedingung ( $M = 13.00\%$ ;  $SD = 15.50$ ) signifikant zu der Tablet-Lernbedingung ( $M = 3.05\%$ ;  $SD = 11.29$ ) unterschied ( $p = .009$ ), jedoch nicht derjenige der AR-Lernbedingung ( $M = 6.94\%$ ;  $SD = 18.90$ ) zur Tablet-Lernbedingung ( $p = .931$ ). Somit konnte die Annahme H1 für diese Lerneinheit nur zum Teil bestätigt werden, die Annahme H2 jedoch nicht, da es keinen signifikanten Unterschied im Post-Hoc Test zwischen der VR- und der AR-Lernbedingung gab ( $p = .282$ ). Insgesamt konnte die Annahme H1 nur für die Lerneinheit «Bohrmaschine» und nur teilweise für die Lerneinheit «Leitern», Annahme H2 für keine der Lerneinheiten bestätigt werden.

### **3.2 Überprüfung der Hypothese hinsichtlich des Einflusses von Motivation und Technologieakzeptanz**

Um die Annahme H3 zu testen, wonach sich die intrinsische Motivation und Technologieakzeptanz beim Lernen mit VR und AR signifikant gegenüber dem Lernen mit dem Tablet unterscheidet, wurden fünf einfaktorische Varianzanalysen mit dem Faktor «Lernbedingung» (VR/AR/Tablet) und als abhängige Variable die jeweiligen fünf Konstrukte der «intrinsischen Motivation» (KIM) und «Technologieakzeptanz» (TAM), sowie a-priori-Kontraste («VR» zusammen mit «AR» kontrastiert zu «Tablet»; «VR» kontrastiert zu «AR») durchgeführt.

In Tabelle 3 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen der oben skizzierten Konstrukte des KIM und TAM Fragebogens getrennt nach Bedingungen aufgeführt. Es ist auffällig, dass alle Lernbedingungen eine hohe Motivation und Technologieakzeptanz aufzeigen, wobei die Tablet-Gruppe deskriptiv etwas geringere Motivations- und Akzeptanzwerte aufweist.

		VR (n=48)		AR (n=33)		Tablet (n=39)	
Skala	Konstrukt	M	SD	M	SD	M	SD
KIM	Interesse	4.42	0.71	4.33	0.76	3.98	0.90
	Kompetenz	4.31	0.68	4.31	0.74	3.98	0.81
	Druck*	2.02	1.03	2.05	1.12	2.10	0.99
TAM	Nutzen	4.08	0.80	4.02	0.97	3.68	0.96
	Einstellung	4.20	0.90	4.21	0.94	3.89	0.88

**Tab. 3:** Deskriptive Statistiken der drei Konstrukte des Messinstruments KIM und der zwei Konstrukte des Messinstruments TAM für jede Lernbedingung. Anmerkung: 5 Punkte Likert-Skala 1 (trifft gar nicht zu) bis 5 (trifft voll und ganz zu). \*Druck ist anders gepolt 1 (wenig Druck) bis 5 (viel Druck); n unterscheidet sich bei jeder Lernbedingung zu den Wissenstests aufgrund von fehlenden Fragebögen bzw. aufgrund der Ausreisseranalyse innerhalb jeder Lerneinheit.

Für das Konstrukt «Interesse» ergab das allgemeine Modell einen signifikanten Unterschied zwischen den Lernbedingungen mit einer eher geringen Effektstärke,  $F(2,117) = 3.897$ ,  $p = .023$ ;  $\eta^2_p = .062$ . A-priori-Kontraste zeigten erwartungsgemäss eine statistisch signifikante Differenz bei den immersiven Medien VR und AR im Vergleich zum nicht-immersiven Lernmedium Tablet,  $T(117) = 2.637$ ,  $p = .010$ . Jedoch zeigte sich keine signifikante Differenz zwischen dem Lernen mit VR- und demjenigen mit AR-Brille,  $T(117) = 0.630$ ,  $p = .530$ .

Für das Konstrukt «Kompetenz» zeigte das allgemeine Modell einen signifikanten Unterschied mit kleinerem Effekt zwischen den Lernbedingungen,  $F(2,117) = 3.180$ ,  $p = .045$ ;  $\eta^2_p = .052$ . A-priori-Kontraste ergaben erwartungsgemäss eine statistisch signifikante Differenz der empfundenen Kompetenz beim Lernen mit immersiven Medien VR und AR im Vergleich zum Lernen mit dem nicht-immersiven Medium Tablet,  $T(117) = 2.514$ ,  $p = .013$ . Jedoch zeigte sich keine signifikante Differenz zwischen dem Lernen mit der VR- und dem Lernen mit der AR-Brille,  $T(117) = -0.065$ ,  $p = .949$ .

Für das Konstrukt «Druck» der KIM ergab das allgemeine Modell keinen signifikanten Unterschied zwischen den Lernbedingungen,  $F(2,117) = 0.025$ ,  $p = .975$ . A-priori Kontraste zeigten entgegen den Erwartungen keine signifikante Differenz zwischen dem Lernen mit den immersiven Medien VR und AR und dem Lernen mit dem nicht-immersiven Tablet,  $T(117) = -0.179$ ,  $p = .858$  sowie zwischen dem Lernen mit der VR-Brille und dem Lernen mit der AR-Brille,  $T(117) = -0.115$ ,  $p = .909$ .

Für das Konstrukt «Nutzen» der TAM ergab das allgemeine Modell keinen signifikanten Unterschied zwischen den Lernbedingungen,  $F(2,117) = 2.728$ ,  $p = .069$ . Jedoch zeigten die a-priori Kontraste erwartungsgemäss eine signifikante Differenz des empfundenen Nutzens zwischen den immersiven Medien VR und AR und dem nicht-immersiven Lernmedium Tablet,  $T(117) = 2.236$ ,  $p = .027$ . Entgegen den Erwartungen zeigte sich keine signifikante Differenz zwischen dem Lernen mit der VR- und dem Lernen mit der AR-Brille,  $T(117) = 0.433$ ,  $p = .666$ .

Für das Konstrukt «Einstellung» der TAM ergab das allgemeine Modell keinen signifikanten Unterschied zwischen den Lernbedingungen,  $F(2,117) = 1.731$ ,  $p = .182$ . A-priori-Kontraste zeigten entgegen der Erwartung weder eine statistisch signifikante Differenz zwischen den immersiven VR und AR und dem nicht-immersiven Lernmedium Tablet,  $T(117) = 1.860$ ,  $p = .065$ , noch zwischen dem Lernen mit der VR- und dem Lernen mit der AR-Brille,  $T(117) = -0.224$ ,  $p = .823$ .

Zusammenfassend konnte gezeigt werden, dass durch die immersiven Lernmedien VR und AR, signifikant höheres Interesse, Kompetenz und Nutzen empfunden wurden als durch das nicht immersive Tablet. Jedoch unterscheiden sie sich nicht signifikant nach dem Druckgefühl und der Einstellung zum Lernmedium. Somit konnte die Hypothese H3 nur für Interesse, empfundene Kompetenz und Nutzen bestätigt werden.

#### **4. Diskussion**

Im vorliegenden Beitrag wurde eine quasi-experimentelle Feldstudie in Berufsschulen mit sonderpädagogischem Schwerpunkt durchgeführt, die untersuchte, ob Berufsschüler:innen mit LB anhand von immersiven Lerntechnologien (VR/AR) beim Lernen gefördert werden können. Dabei wurden mehrere Klassen über zwei Schuljahre hinweg den Lernbedingungen VR, AR und Tablet zugeteilt. Für die Untersuchung wurde das Vorwissen der Teilnehmenden in Form von Wissenstests mit deklarativem, prozeduralem und Transferwissen über drei Lerninhalte zum Thema Arbeitssicherheit gemessen. Nach der Einführung im Umgang mit den Lernmedien sowie der Einleitung zum Thema Arbeitssicherheit im Rahmen eines Unterrichts lernten die Proband:innen mit dem zugewiesenen Lernmedium Inhalte über (1) «Schutzausrüstung», (2) «Bohrmaschine» und (3) «Leitern». Anschliessend wurde ihre Lernleistung mit den gleichen drei Wissenstests erneut gemessen. Zusätzlich wurden zusammen mit dem Wissensposttest die Intrinsische Motivation sowie die Technologieakzeptanz der Lernenden erhoben.

#### **4.1 Zusammenfassung und Interpretation der Ergebnisse**

Um zu beantworten, welche Effekte die Verwendung immersiver VR- und AR-Brillen auf die Lernleistung der Berufsschüler:innen mit LB im Vergleich zum nicht-immersiven Tablet hat (F1) und um zu untersuchen, ob es einen Unterschied in der Lernleistung der gleichen Zielgruppe beim Lernen mit der VR-Brille im Vergleich gegenüber der AR-Brille gibt (F2), wurden für jede der drei Lerneinheiten Varianzanalysen mit dem Faktor «Lernbedingung» und der abhängigen Variablen «Lernzuwachs» sowie den Hypothesen entsprechende Kontrastanalysen genutzt.

In der Lerneinheit «Schutzausrüstung» zeigte der Lernzuwachs keinen signifikanten Unterschied zwischen den Lernbedingungen. Demnach lernten die Schüler:innen mit VR, AR und Tablet gleich gut. Diese Erkenntnis steht im Einklang mit den Studien, die keine Vorteile beim Lernen mit VR und AR fanden (z. B. Kaplan et al. 2021), jedoch nicht mit der von Webster (2016), die Lerneffekte durch VR in Bezug auf das deklarative Wissen feststellte. Es ist zu vermuten, dass bei kognitiv weniger anspruchsvollen Lernaufgaben, bei denen richtige Lerninhalte abgerufen und benannt werden sollen, eine zweidimensionale Repräsentation ausreicht, da diese Informationen nicht sehr komplex bzw. abstrakt sind und beim Abrufen durch das Vorstellungsvermögen keine kognitiven Kapazitäten beansprucht werden (s. Grünke 2004) und keine stark fordernde mentale Anstrengung gegeben ist (vgl. Luong et al. 2019). Zudem gab es keine signifikanten Unterschiede des Lernzuwachses zwischen den VR- und AR-Anwendungen, was mit Befunden von Parmar et al. (2016) vergleichbar ist.

In der Lerneinheit «Bohrmaschine» lernten die Teilnehmenden deutlich besser mit den immersiven VR und AR als mit dem Tablet. In der Lerneinheit wurde prozedurales Wissen adressiert, da die Lernenden sieben Schritte befolgen sollten, wie man korrekt eine Ständerbohrmaschine in Betrieb nimmt. Demnach fiel es den Jugendlichen mit Lerndefiziten einfacher, sich die Schritte zu merken, nachdem sie eine Ständerbohrmaschine in realer Grösse vor sich sahen, mit ihr interagieren konnten und die Schritte eigenständig anwendeten, anstatt die Lerninhalte in abstrakterer, zweidimensionaler Form zu bearbeiten und abzuspeichern (s. Aufbau des Mentalen Modells nach Schnotz und Bannert 1999; Grünke 2004). Auch für diese Lerneinheit war der Unterschied der Lernsteigerung zwischen der VR- und der AR-Anwendung nicht signifikant, obwohl in der VR-Bedingung deskriptiv eine leicht höhere Lernsteigerung beobachtet werden konnte.

In der Lerneinheit «Leitern» lernten die Jugendlichen mit den immersiven Medien deutlich besser, wobei sich die Lernleistung der VR-Lernbedingung nur signifikant von der Tablet-Bedingung, jedoch nicht signifikant von der AR-Bedingung unterschied. In einer Lernumgebung, deren Inhalte risikoreiche Situationen darstellen, die die Lernenden erkennen und beheben sollten, war es am hilfreichsten, in einer vollständig virtuellen Umgebung zu stehen, in der die volle Aufmerksamkeit auf die

Inhalte gelenkt werden kann und keine Ablenkung vom Umfeld kommt (s. Prinzipien nach CTML Mayer 2008). Die Befunde sind zum Teil im Einklang mit denen von Leder et al. (2019). Sie fanden zwar bei VR-Trainings zum Thema Arbeitssicherheit im Vergleich zu einer PowerPoint-Präsentation keine Effekte bei der Lernleistung, jedoch zur Risikoeinschätzung. Wenn es beim Lernen um Transferwissen bzw. um die Einschätzung potenzieller Gefahren in bestimmten Szenarien geht, dann ist ein hochgradig immersives Medium durchaus eine Unterstützung, um Phänomene leichter imaginieren und auf andere Situationen transferieren zu können.

Um beantworten zu können, welchen Einfluss das Lernen mit immersiven Medien auf die Motivation und Technologieakzeptanz von Berufsschüler:innen mit LB im Vergleich zum Lernen mit dem Tablet hat (F3), wurden Varianzanalysen für jedes Konstrukt durchgeführt. Es konnte gezeigt werden, dass das Arbeiten mit den Lernmedien VR/AR das Interesse, die empfundene Kompetenz und den Nutzen der Auszubildenden beim Lernen signifikant beeinflusst, jedoch nicht ihr Druckgefühl und ihre Einstellung zu den Lernmedien. Wie mehrere Studien (z. B. Parong und Mayer 2018; Lin und Wang 2021) bereits feststellten, ist das Lernen mit VR und somit auch AR sehr motivationsförderlich, was sich auf das Lernverhalten auswirken kann. Diese Annahme wird zudem durch Auskünfte von Lehrpersonen gestützt, die an unserer Studie teilgenommen haben. Laut Aussagen der Lehrpersonen zeigten die Schüler:innen grosse Begeisterung und Motivation während des Lernens, was die Daten bestätigen. Auch wenn die dargestellte Studie längerfristig implementiert wurde, bleibt jedoch fraglich, ob es sich bei diesen Befunden um kurzfristige «Neuheitseffekte des Mediums» (vgl. Jenö et al. 2019) handelt oder ob derartige motivationsförderliche Effekte auch im Fall stetiger Mediennutzung im Unterricht geltend gemacht werden können.

#### **4.2 Limitationen und Implikationen**

Ein entscheidender Vorteil der vorgestellten Feldstudie liegt darin, dass die Untersuchung extern valide ist. Die Untersuchungsbedingungen wurden im Unterricht zu mehreren Themen und über einen längeren Zeitraum von den Lehrpersonen selbst durchgeführt. Unter diesen Voraussetzungen ist davon auszugehen, dass die identifizierten Effekte der Studie auch in kontextgebundenen Lernsituationen greifen. Damit geht jedoch das Problem einher, dass das quasi-experimentelle Untersuchungsdesign im Feld weniger intern valide ist. Das heisst, Befunde, die auf die quasi-experimentelle Variation zurückgeführt werden, könnten auch zum Teil durch nicht kontrollierte Störfaktoren erklärt werden. Dazu zählen z. B. die zeitlichen Abstände zwischen den Messzeitpunkten, die Reihenfolge der Lerneinheiten sowie die Konzentration der Teilnehmenden bei der Beantwortung der Tests. Auch die durchführenden Lehrpersonen könnten die Ergebnisse beeinflusst haben.

Zusammengenommen ist festzuhalten, dass die hier berichteten Ergebnisse in intern validieren Laborexperimenten zu replizieren sind, um so die hier formulierten theoretischen Annahmen abzusichern.

Generell zeigen die berichteten Befunde, dass VR- und AR-Technologien lernförderlich im beruflichen Unterricht eingesetzt werden können. Hervorzuheben ist, dass die positiven Lerneffekte (sowie motivationale Effekte) immersiver Medien auch (oder insbesondere) für Schüler:innen mit LB aufgezeigt werden konnten. Von besonderem Interesse ist, dass sich die Lernförderlichkeit immersiver Medien insbesondere für anwendungsbezogene bzw. prozedurale Lerninhalte (vgl. «Bohrmaschine» und «Leitern») zeigte, nicht jedoch für das Erlernen reinen Faktenwissens (vgl. «Schutzausrüstung»). Diese Befunde deuten an, dass die Beziehung zwischen Lerninhalten bzw. die Art des vermittelten Wissens und die Visualisierungsmöglichkeiten immersiver Medien deren Lernwirksamkeit moderieren. Ein Alleinstellungsmerkmal immersiver Medien besteht darin, Lerninhalte räumlich-situativ zu repräsentieren und so zu kontextualisieren (Hartmann und Bannert 2022). Während die Lerninhalte der Themen «Bohrmaschine» und «Leitern» räumlich-situative Merkmale aufweisen (z. B. Positionen dreidimensionaler Objekte), scheint dies für das Thema «Schutzausrüstung» nicht gegeben. Zudem zeigten sich beim Thema «Leitern» Lerneffekte ausschliesslich zugunsten der VR-Bedingung, nicht jedoch im Vergleich zwischen AR und der Tablet-Bedingung. Hier liesse sich vermuten, dass bei diesem Thema die – im Vergleich zu AR – stärkere räumlich-situative Einbettung durch VR einen Teil der Lernvorteile gegenüber der Tablet-Bedingung erklärt. Die «semantische Beziehung» zwischen Visualisierungsmöglichkeiten immersiver Medien (auch im Unterschied zwischen VR und AR) und Lerninhalten scheint folglich von grosser Bedeutung zu sein, um heterogene Befunde hinsichtlich der Lernwirksamkeit immersiver Medien einordnen zu können, und sollte daher in künftigen Studien gesondert berücksichtigt werden.

Zusammenfassend zeigt unsere Untersuchung, dass der Einsatz von VR und AR im Kontext der beruflichen Bildung und insbesondere bei Auszubildenden mit LB bedeutsame Lernerfolge erzielt. Das umfassende VR/AR-Lernmaterial liefert darüber hinaus beispielhafte Vorlagen für eine lernwirksame Umsetzung im Unterricht. Da jedoch Lerneffekte nicht für alle Lerneinheiten gefunden wurden, bleibt weitergehend zu untersuchen, wie Lernumgebungen mit VR und AR unter Berücksichtigung der kognitiven Voraussetzungen der Lernenden lernförderlich zu gestalten sind (s. Li et al. 2020). Immersive Lernmedien bringen nicht immer ausschliesslich Lernvorteile, jedoch sind sie durchaus effektive Lerntools, die im Klassenzimmer gut eingesetzt bzw. in Kombination mit dem traditionellen Unterricht gut integriert werden können.

## Literatur

- Bacca, Jorge, Silvia Baldiris, Ramon Fabregat, Sabine Graf, und Kinshuk. 2014. «Augmented Reality Trends in Education: A Systematic Review of Research and Applications». *Educational Technology & Society* 17 (4): 133–49. <http://www.jstor.org/stable/jeductechsoci.17.4.133>.
- Cheng, Kun-Hung, und Chin-Chung Tsai. 2013. «Affordances of Augmented Reality in Science Learning: Suggestions for Future Research». *Journal of Science Education and Technology* 22 (4): 449–62. <https://doi.org/10.1007/s10956-012-9405-9>.
- Dalgarno, Barney, und Mark J. W. Lee. 2010. «What are the learning affordances of 3-D virtual environments?» *Part of a special issue: Crossing boundaries: Learning and teaching in virtual worlds* 41 (1): 10–32. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2009.01038.x>.
- Davis, Fred D. 1989. «Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology». *MIS Quarterly* 13 (3): 319–40. <https://doi.org/10.2307/249008>.
- Di Serio, Ángela, María Blanca Ibáñez, und Carlos Delgado Kloos. 2013. «Impact of an Augmented Reality System on Students' Motivation for a Visual Art Course». *Computers & Education* 68: 586–96. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.03.002>.
- DIMI, Deutsches Institut für Medizinische Dokumentation und Information. 2019. ICD-10-GM Version 2019, Kapitel V Psychische und Verhaltensstörungen. 2019. <https://www.dimdi.de/static/de/klassifikationen/icd/icd-10-gm/kode-suche/htmlgm2019/block-f80-f89.htm>.
- Freina, Laura, und Michela Ott. 2015. «A Literature Review on Immersive Virtual Reality in Education: State of the Art and Perspectives». *eLearning & Software for Education* 1 (Januar): 133–41. <https://doi.org/10.12753/2066-026x-15-020>.
- Gabana, Daniel, Laurissa Tokarchuk, Emily Hannon, und Hatice Gunes. 2017. «Effects of Valence and Arousal on Working Memory Performance in Virtual Reality Gaming». In *2017 Seventh International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction (ACII)*, 36–41. San Antonio, TX: IEEE. <https://doi.org/10.1109/ACII.2017.8273576>.
- Garzotto, Franca, Mirko Gelsomini, Daniele Occhiuto, Vito Matarazzo, und Nicolò Messina. 2017. «Wearable Immersive Virtual Reality for Children with Disability: A Case Study». In *IDC '17: Proceedings of the 2017 Conference on Interaction Design and Children*, 478–83. IDC '17. New York, NY, USA: ACM. <https://doi.org/10.1145/3078072.3084312>.
- Greenwald, Scott W. 2018. «Comparing Learning in Virtual Reality with Learning on a 2D Screen Using Electrostatics Activities». *Journal of Universal Computer Science* 24 (2): 220–45. <https://doi.org/10.3217/jucs-024-02-0220>.
- Grünke, Matthias. 2004. «Lernbehinderung». In *Interventionen bei Lernstörungen. Förderung, Training und Therapie in der Praxis*, herausgegeben von Gerhard W. Lauth, Matthias Grünke, und Joachim C. Brunstein, 2. Aufl., 65–77. Göttingen: Hogrefe.
- Hartmann, Christian, und Maria Bannert. 2022. «Lernen in virtuellen Räumen: Konzeptuelle Grundlagen und Implikationen für künftige Forschung». *MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung* 47 (AR/VR - Part 1): 373–91. <https://doi.org/10.21240/mpaed/47/2022.04.18.X>.

- Helsel, Sandra. 1992. «Virtual Reality and Education». *Educational Technology* 32 (5): 38–42. <https://www.jstor.org/stable/44425644>.
- Jeno, Lucas M., Vigdis Vandvik, Sigrunn Eliassen, und John-Arvid Grytnes. 2019. «Testing the Novelty Effect of an M-Learning Tool on Internalization and Achievement: A Self-Determination Theory Approach». *Computers & Education* 128 (Januar): 398–413. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.10.008>.
- Kaiser, Hansruedi. 2005. *Wirksame Ausbildungen entwerfen. Das Modell der konkreten Kompetenzen*. Bern: hep. <https://lit.bibb.de/vufind/Record/DS-126565>.
- Kaplan, Alexandra D., Jessica Cruit, Mica R. Endsley, Suzanne M. Beers, Ben D. Sawyer, und Peter A. Hancock. 2021. «The Effects of Virtual Reality, Augmented Reality, and Mixed Reality as Training Enhancement Methods: A Meta-Analysis». *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society* 63 (4): 706–26. <https://doi.org/10.1177/0018720820904229>.
- Kavanagh, Sam, Andrew Luxton-Reilly, Burkhard Wuensche, und Beryl Plimmer. 2017. «A Systematic Review of Virtual Reality in Education». *Themes in Science and Technology Education* 10 (2): 85–119. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1165633.pdf>.
- Kesim, Mehmet, und Yasin Ozarlan. 2012. «Augmented Reality in Education: Current Technologies and the Potential for Education». *Procedia – Social and Behavioral Sciences* 47: 297–302. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.06.654>.
- Kintsch, Walter. 1980. «Learning from text, levels of comprehension, or: Why anyone would read a story anyway». *Poetics, Special Issue Story Comprehension* 9 (1): 87–98. [https://doi.org/10.1016/0304-422X\(80\)90013-3](https://doi.org/10.1016/0304-422X(80)90013-3).
- Leder, Johannes, Tina Horlitz, Patrick Puschmann, Volker Wittstock, und Astrid Schütz. 2019. «Comparing Immersive Virtual Reality and Powerpoint as Methods for Delivering Safety Training: Impacts on Risk Perception, Learning, and Decision Making». *Safety Science* 111 (Januar): 271–86. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.07.021>.
- Li, Jingyi, Ceenu George, Andrea Ngao, Kai Holländer, Stefan Mayer, und Andreas Butz. 2020. «An Exploration of Users' Thoughts on Rear-Seat Productivity in Virtual Reality». In *12<sup>th</sup> International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications*, 92–5. Virtual Event DC USA: ACM. <https://doi.org/10.1145/3409251.3411732>.
- Limniou, Maria, David Roberts, und Nikos Papadopoulos. 2008. «Full Immersive Virtual Environment CAVETM in Chemistry Education». *Computers & Education* 51 (2): 584–93. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2007.06.014>.
- Lin, Yu-Ju, und Hung-chun Wang. 2021. «Using Virtual Reality to Facilitate Learners' Creative Self-Efficacy and Intrinsic Motivation in an EFL Classroom». *Education and Information Technologies* 26 (4): 4487–505. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10472-9>.
- Liou, Hsin-Hun, Stephen J. H. Yang, Sherry Y. Chen, und Wernhuar Tarnng. 2017. «The Influences of the 2D Image-Based Augmented Reality and Virtual Reality on Student Learning». *Journal of Educational Technology & Society* 20 (3): 110–21. <http://www.jstor.org/stable/26196123>.

- Lucas, Jason. 2018. «Student Perceptions and Initial Response to Using Virtual Reality for Construction Education». In *54<sup>th</sup> Associated Schools of Construction Annual International Conference Proceedings.*, 8. Minneapolis, MN. <http://ascpro0.ascweb.org/archives/cd/2018/paper/CERT101002018.pdf>.
- Luong, Tiffany, Nicolas Martin, Ferran Argelaguet, und Anatole Lecuyer. 2019. «Studying the Mental Effort in Virtual Versus Real Environments». In *2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, 809–16. Osaka, Japan: IEEE. <https://doi.org/10.1109/VR.2019.8798029>.
- Makransky, Guido, Thomas S. Terkildsen, und Richard E. Mayer. 2019. «Adding Immersive Virtual Reality to a Science Lab Simulation Causes More Presence but Less Learning». *Learning and Instruction* 60: 225–36. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2017.12.007>.
- Mantovani, F. 2001. «VR Learning: Potential and Challenges for the Use of 3 D Environments in Education and Training». 2001. <https://www.semanticscholar.org/paper/VR-Learning-%3A-Potential-and-Challenges-for-the-Use-Mantovani/c7f8d19850f4a88655fe81cae-a89912dcad66241>.
- Martin-Gutierrez, Jorge, Rosa E. Navarro, und Montserrat Acosta Gonzalez. 2011. «Mixed Reality for Development of Spatial Skills of First-Year Engineering Students». In *2011 Frontiers in Education Conference (FIE)*, T2D-1-T2D-6. Rapid City, SD, USA: IEEE. <https://doi.org/10.1109/FIE.2011.6142707>.
- Mayer, Richard E. 2008. «Applying the Science of Learning: Evidence-Based Principles for the Design of Multimedia Instruction». *The American Psychologist* 63 (8): 760–69. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.63.8.760>.
- Merchant, Zahira, Ernest T. Goetz, Lauren Cifuentes, Wendy Keeney-Kennicutt, und Trina J. Davis. 2014. «Effectiveness of Virtual Reality-Based Instruction on Students' Learning Outcomes in K-12 and Higher Education: A Meta-Analysis». *Computers & Education* 70 (Januar): 29–40. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.07.033>.
- Moro, Christian, Zane Štromberga, Athanasios Raikos, und Allan Stirling. 2017. «The Effectiveness of Virtual and Augmented Reality in Health Sciences and Medical Anatomy». *Anatomical Sciences Education* 10 (6): 549–59. <https://doi.org/10.1002/ase.1696>.
- Nagy, Judit T. 2018. «Evaluation of Online Video Usage and Learning Satisfaction: An Extension of the Technology Acceptance Model». *The International Review of Research in Open and Distributed Learning* 19 (1). <https://doi.org/10.19173/irrodl.v19i1.2886>.
- Park, Sung Youl. 2009. «An Analysis of the Technology Acceptance Model in Understanding University Students' Behavioral Intention to Use e-Learning». *Educational Technology & Society* 12 (3): 150–62. <https://www.jstor.org/stable/jeductechsoci.12.3.150>.
- Parmar, Dhaval, Jeffrey W. Bertrand, Sabarish V. Babu, Kapil Chalil Madathil, Melissa Zelaya, Tianwei Thomas Wang, John R. Wagner, Anand K. Gramopadhye, und Kristin K. Frady. 2016. «A Comparative Evaluation of Viewing Metaphors on Psychophysical Skills Education in an Interactive Virtual Environment». *Virtual Reality* 20 (3): 141–57. <https://doi.org/10.1037/edu000024110.1007/s10055-016-0287-7>.
- Parong, Jocelyn, und Richard E Mayer. 2018. «Learning Science in Immersive Virtual Reality». *Journal of Educational Psychology* 110 (6): 785–97. <https://doi.org/10.1037/edu0000241>.

- Radu, Iulian. 2014. «Augmented Reality in Education: A Meta-Review and Cross-Media Analysis». *Personal and Ubiquitous Computing* 18 (6): 1533–43. <https://10.1007/s00779-013-0747-y>.
- Renkl, Alexander. 2009. «Lehren und Lernen». In *Handbuch Bildungsforschung*, herausgegeben von Rudolf Tippelt, und Bernhard Schmidt, 737–51. Wiesbaden: VS. [https://doi.org/10.1007/978-3-531-91831-0\\_39](https://doi.org/10.1007/978-3-531-91831-0_39).
- Schnotz, Wolfgang, und Maria Bannert. 1999. «Einflüsse der Visualisierungsform auf die Konstruktion mentaler Modelle beim Text und Bildverstehen». *Zeitschrift für Experimentelle Psychologie* 46 (3): 217–36. <https://doi.org/10.1026/0949-3964.46.3.217>.
- Schuchardt, Kirsten. 2009. «Arbeitsgedächtnis und Lernstörungen: Differenzielle Analysen der Funktionstüchtigkeit des Arbeitsgedächtnisses bei Kindern mit Lernstörungen». Georg-August-Universität Göttingen. <https://doi.org/10.53846/goediss-1353>.
- Sorby, Sheryl A., und Beverly J. Baartmans. 1996. «A Course for the Development of 3-D Spatial Visualization Skills». *Engineering Design Graphics Journal* 60 (2): 13–20. <https://diggingdeeper.pbworks.com/f/Developing+Spatial+Skills.pdf>.
- Sorby, Sheryl A., und Beverly J. Baartmans. 2000. «The Development and Assessment of a Course for Enhancing the 3-D Spatial Visualization Skills of First Year Engineering Students». *Journal of Engineering Education* 89 (3): 301–7. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2000.tb00529.x>.
- Sutherland, Ivan E. 1968. «A Head-Mounted Three Dimensional Display». In *AFIPS '68 (Fall, Part I): Proceedings of the December 9–11, 1968, Fall Joint Computer Conference, Part I*, 757–64. San Francisco, California: ACM Press. <https://doi.org/10.1145/1476589.1476686>.
- Wade, Suzanne E. 1993. «How Interest Affects Learning from Text». In *The Role of Interest in Learning and Development*, herausgegeben von K. Ann Renninger, Suzanne Hidi, und Andreas Krapp, 27–41. New York: Psychology Press. <https://doi.org/10.4324/9781315807430>.
- Webster, Rustin. 2016. «Declarative Knowledge Acquisition in Immersive Virtual Learning Environments». *Interactive Learning Environments* 24 (6): 1–15. <https://doi.org/10.1080/10494820.2014.994533>.
- Wilde, Matthias, Katrin Bätz, Anastassiya Kovaleva, und Detlef Urhahne. 2009. «Überprüfung einer Kurzsкала intrinsischer Motivation (KIM)». *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 15: 31–45. [https://archiv.ipn.uni-kiel.de/zfdn/pdf/15\\_Wilde.pdf](https://archiv.ipn.uni-kiel.de/zfdn/pdf/15_Wilde.pdf).
- Wu, Bian, Xiaoxue Yu, und Xiaoqing Gu. 2020. «Effectiveness of immersive virtual reality using head-mounted displays on learning performance: A meta-analysis». *British Journal of Educational Technology* 51 (6): 1991–2005. <https://doi.org/10.1111/bjet.13023>.

## Danksagung

Diese Untersuchung wurde im Rahmen des BMBF-geförderten Projektes «Be-IT-Ink – Berufliches Immersives Training für Inklusion» (BMBF: 01PE18009C) durchgeführt. Wir danken den Verbundpartnern Zeitbildverlag, VISCOPIK, den Lehrpersonen der Kolping-Einrichtungen Gütersloh und Brakel sowie allen teilnehmenden Berufsschüler:innen.