



Offen im Denken

Jenseits von Medienvergleichen:
Komplexe Zusammenhänge des Lernens in Virtual Reality am Beispiel des
Anne Frank VR House

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades Dr. phil.

vorgelegt von

Miriam Mulders

Lehrstuhl für Mediendidaktik und Wissensmanagement

Fakultät für Bildungswissenschaften

Universität Duisburg-Essen

Erstgutachter: Prof. Dr. Michael Kerres (Universität Duisburg-Essen)

Zweitgutachter: Prof. Dr. Raphael Zender (Humboldt-Universität Berlin)

Tag der Disputation: 20. September 2022

Danksagung

Als ich im Dezember 2018 als frisch gebackene Masterabsolventin meine Stelle als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Learning Lab der Universität Duisburg-Essen antrat, war ich neugierig und offen für neue Inhalte, aber auch unsicher, was auf mich zukommen würde. Umso dankbarer schaue ich von meinem jetzigen Blickpunkt auf die Chance zurück, im Forschungsprojekt *HandLeVR* mitwirken zu dürfen. An diesem Projekt bin ich sowohl beruflich als auch persönlich gewachsen. Vielmehr noch wurde mein Interesse für die Bildungstechnologie Virtual Reality (VR) und dessen Möglichkeiten für die Gestaltung von Lehr- und Lernumgebungen geweckt. Andere Projekte, wie eine wissenschaftliche Konferenz oder eine Lehrveranstaltung in VR, bestärkten mich, auch meine Dissertation dementsprechend auszurichten. So entstand nach und nach eine Idee, wie ich meine Dissertation an der Fakultät für Bildungswissenschaften gestalten und gleichzeitig meinen Wunsch als Psychologin, experimentelle Forschung zu betreiben, gerecht werden kann.

Einen wesentlichen Anteil an meiner Weiterentwicklung hat mein Doktorvater Prof. Dr. Michael Kerres, der mich auf meinem Weg nicht nur stets begleitet, mir lehrreiche Ratschläge gegeben und kritische Fragen gestellt, sondern mich auch zu den richtigen Zeitpunkten gefordert und ermutigt hat, diesen Weg auch wirklich zu gehen. Vielen Dank!

Auch bei meinem Zweitgutachter Prof. Dr. Raphael Zender möchte ich mich herzlich bedanken. Ich bin dankbar, dass wir uns über *HandLeVR* kennenlernen durften und seitdem zusammen viele spannende Projekte gemeistert haben. Ich hoffe, dass es in Zukunft einige Möglichkeiten der Zusammenarbeit geben wird.

Bedanken möchte ich mich auch bei meinen geschätzten Kolleginnen und Kollegen am Learning Lab, die mir in den verschiedensten Situationen mit Rat und Tat fachlich wie persönlich zur Seite gestanden haben. Wertvolle Tipps und Zuspruch fand ich unter anderem in Gesprächen mit Pia, Josef und Anna. Ein herzliches Dankeschön an euch alle!

Ein ganz besonderer Dank geht an meine Familie: meine Eltern Johannes und Susanne, meine Schwestern Monika und Kristina und meinen Bruder Niklas. Ohne das Wissen, dass sie immer mein fester Rückhalt sein würden, hätte ich diesen Weg nicht gehen können.

Meine Arbeit wäre nicht ohne die zahlreichen motivierten Schülerinnen und Schüler möglich gewesen, die an meiner Studie teilgenommen haben. Vielen Dank an euch sowie eure Lehrkräfte und Schulleitungen, die mir den Zugang zur Praxis oft erst ermöglichten. Auch bei

der Anne Frank Stiftung möchte ich mich bedanken, deren VR-Anwendung *Anne Frank VR House* ich für meine Studie nutzen durfte.

Hätte mich jemand im Dezember 2018 gefragt, ob ich knapp vier Jahre später tatsächlich mit einem Dokortitel hier stehe, wäre ich wahrscheinlich skeptisch gewesen und hätte mir diese Leistung wohl doch noch nicht zugetraut. Aber ich habe es dank der tatkräftigen Unterstützung meiner Betreuer, meiner Kolleginnen und Kollegen und meiner Familie geschafft und kann, zumindest für einen kurzen Moment, stolz innehalten. Bis mir wieder bewusst wird, dass schon neue Herausforderungen auf mich warten.

Zusammenfassung

Hintergrund: Lernen in virtuellen Realitäten (VR) gewinnt zunehmend an Bedeutung. Dabei erscheint VR besonders für affektive Lehr- und Lernziele, wie die Perspektivenübernahme in Akteure der VR, förderlich zu sein. Bisherige Forschung legte oftmals den Fokus auf die Untersuchung von Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen, welche die direkten Effekte von unterschiedlichen VR-Visualisierungstechnologien auf Lernresultate behandeln. Wenig Forschung erfolgte bislang zu komplexeren Konstellationen von lernrelevanten Variablen. Daher hat die vorliegende Arbeit zum Ziel, ein Forschungsdesign herauszuarbeiten, mit dem sowohl direkte Effekte von VR-Visualisierungstechnologien und didaktischen Methoden als auch mediierende Effekte durch latente in VR stattfindende Lernprozessvariablen und moderierende Effekte durch Kontextvariablen untersucht werden können. Dazu wird das Forschungsdesign im Rahmen der vorliegenden Untersuchung experimentell erprobt, indem hinsichtlich der intendierten Lehr- und Lernziele Head-Mounted-Display (HMD)-basierte VR Laptop-basierter VR gegenübergestellt wird, gleichzeitig die didaktischen Methoden der Exposition und der Exploration verglichen sowie die Einflüsse durch zugrundeliegende Lernprozesse (z.B. Erleben von Präsenz und Flow, kognitive Belastung) und Kontextfaktoren (z.B. fachliches Vorwissen) kontrolliert werden. Dabei soll auch die Förderlichkeit von VR hinsichtlich kognitiver (z.B. deklaratives Wissen), affektiver (d.h. Perspektivenübernahme) und evaluativer (z.B. Tendenz zur Weiterempfehlung) Indikatoren geprüft werden.

Methode: 132 Schülerinnen und Schüler der achten und neunten Klasse wurden rekrutiert. Die Probanden wurden den Experimentalbedingungen (HMD vs. Laptop und Exposition vs. Exploration) zugeordnet. Der VR-Inhalt behandelt die Erkundung des Verstecks von Anne Frank und sieben weiteren Untergetauchten zur Zeit des zweiten Weltkriegs in Amsterdam. Vor der VR-Erfahrung wurden die Probanden gebeten, ihren Wissensschatz sowie das Ausmaß an Perspektivenübernahme in Anne Frank einzuschätzen. Nach der VR-Erfahrung wurden in einem zweiten Fragebogen weitere Maße des Lernens auf affektiver und kognitiver Ebene, die subjektive Bewertung der VR, soziodemographische Daten, Lernprozessvariablen sowie relevante Kontextfaktoren erhoben. Die gesammelten Daten sind anhand ausgewählter inferenzstatistischer Verfahren (z.B. Mediationsanalysen) ausgewertet worden.

Ergebnisse: Ein signifikanter Haupteffekt für die Variable VR-Visualisierungstechnologie konnte gemittelt über alle Lernindikatoren aufgedeckt werden. Eine Überlegenheit HMD-basierter VR fand sich jedoch lediglich für zwei evaluative Indikatoren, einen kognitiven Lernindikator und wenn auch nicht statistisch signifikant für einen affektiven Lernindikator.

Auch der Haupteffekt für die Variable didaktische Methode war gemittelt über alle Lernindikatoren signifikant. Hinsichtlich zwei kognitiver Lernindikatoren waren die Leistungen in den Expositions-Bedingungen signifikant besser als in den Explorations-Bedingungen. Die Wechselwirkung der Variablen didaktische Methode und VR-Visualisierungstechnologie war nicht signifikant. Bedeutender als die unidirektionalen Zusammenhänge sind die Mediations- und Moderationseffekte. Moderationseffekte (z.B. durch fachliches Vorwissen) konnten nicht gefunden werden bzw. waren uneindeutig. Mediationseffekte durch Lernprozessvariablen hingegen wurden vielfach entdeckt. So kann das Erleben von Flow und Präsenz sowie kognitiver Belastung innerhalb der VR-Umgebung bedeutsam die Wirkzusammenhänge zwischen VR-Visualisierungstechnologie und Parametern des Lernens erklären, auch wenn auch hier größtenteils nur Effekte für evaluative Indikatoren ermittelt werden konnten.

Schlussfolgerungen: Die vorliegende Arbeit konnte exemplarisch aufzeigen, dass die Untersuchung komplexer Interaktionsgefüge von VR-Visualisierungstechnologien, didaktischen Methoden, Lernprozessvariablen und Kontextfaktoren einen bedeutsamen Beitrag zum Verständnis von Lernen in VR-Umgebungen leisten kann. Vorteile HMD-basierter VR gegenüber Laptop-basierter VR hinsichtlich einiger Lernindikatoren wurden aufgedeckt. Es konnten jedoch nicht wie erwartet eindeutige Vorteile HMD-basierter VR für affektive Ziele ermittelt werden. Die signifikanten Befunde der Mediationsanalysen verweisen darauf, dass direkte Effekte von VR-Visualisierungstechnologien auf Parameter des Lernens bedeutsam durch diverse Lernprozessvariablen erklärt werden können und systematisch überschätzt werden, wenn solche Lernprozesse nicht berücksichtigt werden. Über die Ergebnisse der vorliegenden Einzelstudie hinaus, kann die Arbeit zur Erforschung der Bildungstechnologie VR beitragen, indem methodische und statistische Herangehensweisen zur empirischen Untersuchung von Lernen in VR vorgeschlagen werden. Zukünftige Studien können das erarbeitete Forschungsdesigns adaptieren, so weitere Technologien, Didaktisierungen, Lernprozesse und Kontrollvariablen untersuchen und damit der Tradition klassischer Medienvergleichsstudien entgegenwirken.

Abstract

Theoretical background: Learning in virtual realities (VR) has become increasingly important. In this context, VR appears to be particularly conducive to affective teaching and learning goals, such as perspective-taking in VR actors. Previous research has often focused on investigating cause-effect relationships that focus on the direct effects of different VR visualization technologies on learning outcomes. Little research has been conducted on more complex constellations of learning-related variables. Therefore, the present study aims at elaborating a research design that can be used to investigate both the direct effects of VR visualization technologies and didactic methods as well as the mediating effects of learning process variables latent in VR and the moderating effects of contextual variables. For this purpose, the research design will be experimentally tested in the present research project by comparing head-mounted display (HMD)-based VR with laptop-based VR with respect to the intended teaching and learning goals, simultaneously comparing the didactic methods of exposure and exploration, and controlling for influences by underlying learning processes (e.g., presence, cognitive load) and contextual factors (e.g., prior knowledge). Moreover, VR's suitability to promote learning in terms of cognitive (e.g., declarative knowledge), affective (i.e., perspective-taking), and evaluative (e.g., tendency to recommend) indicators will be examined.

Methods: 132 students of grades eight and nine were recruited. The subjects were assigned to experimental conditions (HMD vs. laptop and exposure vs. exploration). The VR content dealt with the exploration of the hiding place of Anne Frank and seven other people at the time of World War II in Amsterdam. Before the VR experience, a questionnaire asked subjects to assess their knowledge as well as the extent of perspective-taking in Anne Frank. After the VR experience, a second questionnaire collected further measures of learning on affective and cognitive levels, subjective evaluation of VR, sociodemographic data, learning process variables, and relevant contextual factors. The collected data were analyzed using selected inferential statistical methods (e.g., mediation analyses).

Results: A significant main effect for the variable VR visualization technology was uncovered averaged across all learning indicators. However, a superiority of HMD-based VR was found only for two evaluative indicators, one cognitive learning indicator, and also for one affective learning indicator, even if not statistically significant. The main effect for the variable didactic method was also significant averaged across all learning indicators. With respect to two cognitive learning indicators, performance was significantly better in the exposure conditions

than in the exploration conditions. The interaction of the variables didactic method and VR visualization technology was not significant. More relevant than unidirectional relationships are the mediating and moderating effects. Moderating effects (e.g., prior knowledge) could not be found or were ambiguous. Mediating effects through learning process variables were discovered many times. Thus, the experience of flow and presence as well as cognitive load within the VR environment can significantly explain the cause-effect relationships between VR visualization technology and parameters of learning, even if again, for the most part, only effects for evaluative indicators could be determined.

Conclusion: The present study was able to exemplify that the investigation of complex interaction structures of VR visualization technologies, didactic methods, learning process variables, and contextual factors can make a large contribution to the understanding of learning in VR environments. Advantages of HMD-based VR over laptop-based VR with respect to some learning indicators were uncovered. However, contrary to what had been expected, clear advantages of HMD-based VR for affective goals were not identified. The significant findings of the mediation analyses point to the fact that direct effects of VR visualization technologies on parameters of learning can be significantly explained by diverse learning process variables and are systematically overestimated if such learning processes are not taken into account. Beyond the results of this single study, the work can contribute to the exploration of VR as an educational technology by suggesting methodological and statistical approaches to empirically investigate learning in VR. Future studies can use the research design to investigate further technologies, didactic methods, learning processes, and contextual variables, thus counteracting the tradition of common media comparison studies.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	2
Zusammenfassung	4
Abstract	6
Inhaltsverzeichnis	8
Tabellenverzeichnis	11
Abbildungsverzeichnis	13
1. Einleitung	17
2. Theoretische Hintergründe	19
2.1 Einordnung der Technologie	19
2.2 VR als Bildungstechnologie	24
2.2.1 Potenziale von VR als Bildungstechnologie	25
2.2.1.1 VR-Lernumgebungen	25
2.2.1.2 Lehr- und Lernziele in VR	26
2.2.1.3 Präsenzerleben in VR	30
2.2.1.4 Erleben von Flow in VR	33
2.2.2 Herausforderungen von VR als Bildungstechnologie	34
2.2.2.1 Kognitive Belastung in VR	35
2.2.2.2 Strukturierung des Lernprozesses	37
2.2.2.3 Unterschiede zwischen VR-Visualisierungstechnologien	39
2.2.2.4 Symptome des Unwohlseins in VR	44
2.2.2.5 Fachliches Vorwissen und technologische Vorkenntnisse in VR	45
2.2.3 Effizienz von VR als Bildungstechnologie	46
2.2.4 Theorien und Modelle zum Lernen in VR	50
2.2.4.1 Cognitive Affective Model of Immersive Learning (CAMIL)	51
2.2.4.2 Educational Framework for immersive Learning (EFiL)	54
2.2.4.3 Meaningful iVR Learning (M-iVR-L) Modell	57
2.3 Ziele und Ableitung des Forschungsdesigns	60

2.4 Hypothesen	65
3. Methodik	68
3.1 Stichprobe	69
3.2 VR-Umgebung.....	70
3.3 Prozedur	75
3.4 Messinstrumente	78
3.5 Datenauswertung.....	84
4. Ergebnisse	85
4.1 Deskriptive Kennwerte der Stichprobe	85
4.2 Deskriptive Kennwerte der Skalen	85
4.2.1 Exkurs: Qualitative Daten der Transferaufgaben.....	87
4.3 Testung der Hypothesen I bis III: Haupteffekte.....	88
4.3.1 Hypothese I: VR-Visualisierungstechnologie.....	90
4.3.2 Hypothese II: didaktische Methode	93
4.3.3 Hypothese III: Diskriminierungserfahrungen	95
4.4 Testung der Hypothesen IV und V: Moderationseffekte	96
4.5 Testung der Hypothesen VI und VII: Mediationseffekte.....	101
4.5.1 Zweite Annahme von Baron und Kenny (1986): Zusammenhänge zwischen Visualisierungstechnologie, didaktischer Methode und Lernprozessvariablen.....	103
4.5.2 Dritte Annahme von Baron und Kenny (1986): Zusammenhänge zwischen Lernprozessvariablen und Lernindikatoren	106
4.5.3 Vierte Annahme von Baron und Kenny (1986): Überprüfung des indirekten Effekts	107
5. Diskussion	119
5.1 Zusammenfassung und Beurteilung der Befunde	119
5.1.1 Deskriptive Statistiken der Stichprobe.....	119
5.1.2 Deskriptive Statistiken der Skalen	119
5.1.3 Hypothese I: VR-Visualisierungstechnologie.....	122

5.1.4 Hypothese II: didaktische Methode	124
5.1.5 Hypothese III: Diskriminierungserfahrungen	125
5.1.6 Hypothesen IV und V: Moderationseffekte	126
5.1.7 Hypothesen VI und VII: Mediationseffekte.....	127
5.2 Theoretische und methodische Implikationen.....	131
5.3 Didaktische Implikationen	134
5.4 Limitationen der vorliegenden Arbeit	139
5.5 Zusammenfassung und Fazit	142
Literaturverzeichnis	145
Anhang	172
Eidesstaatliche Erklärung	200

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1. Zusammenfassung gesichteter Studien zum Vergleich unterschiedlicher Visualisierungstechnologien (HMD vs. Laptop) in VR-Lernumgebungen	40
Tabelle 2. Effekte von Bildungsmaßnahmen unter Verwendung von VR-Visualisierungstechnologien (basierend auf Kerres (2018) sowie Windham und Chapman (1990))	47
Tabelle 3. Übersicht der Konstrukte, deren Indikatoren, Messzeitpunkte, Variablenart und der zugehörigen Hypothesen	68
Tabelle 4. Lehr- und Lernziele für das <i>Anne Frank VR House</i>	74
Tabelle 5. Deskriptive Kennwerte aller verwendeten Skalen.....	86
Tabelle 6. Verteilungen der Experimentalbedingungen	87
Tabelle 7. Ergebnisse der ANOVAs für die unabhängige Variable VR-Visualisierungstechnologie	90
Tabelle 8. Ergebnisse der ANOVAs für die unabhängige Variable didaktische Methode	93
Tabelle 9. Ergebnisse der ANOVAs für die unabhängige Variable Diskriminierungserfahrungen.....	94
Tabelle 10. Ergebnisse der Moderationsanalysen	98
Tabelle 11. Ergebnisse der multiplen t-Tests für unabhängige Stichproben für die Lernprozessvariablen auf den Stufen der Visualisierungstechnologie	104
Tabelle 12. Ergebnisse der multiplen t-Tests für unabhängige Stichproben für die Lernprozessvariablen auf den Stufen der didaktischen Methode	105
Tabelle 13. Spearman-Rangkorrelationen zwischen den Lernprozessvariablen und den Lernindikatoren.....	107
Tabelle 14. Standardisierungsmaßnahmen für Versuchsleitung	172
Tabelle 15. Instruktionen in Expositionsbedingungen unter dem HMD.....	174
Tabelle 16. Wissenstest (inklusive Erwartungshorizont)	179
Tabelle 17. Historische Perspektivenübernahme (adaptiert nach Hartmann, 2008)	181
Tabelle 18. Arbeitsbelastung (eigene deutsche Übersetzung der MCLSVE von Andersen & Makransky, 2021).....	183
Tabelle 19. Symptome des Unwohlseins.....	186

Tabelle 20. Flowerleben (FKS; Rheinberg et al., 2003).....	186
Tabelle 21. Präsenzerleben (MPS; Makransky et al., 2017; deutsche Übersetzung von Volkmann et al., 2018).....	187
Tabelle 22. Zufriedenheit und Tendenz zur Weiterempfehlung.....	188
Tabelle 23. Korrelationen zwischen den abhängigen Variablen der MANOVA	189
Tabelle 24. Überprüfung der Normalverteilung mit dem Kolgomorov-Smirnov-Test	190

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. Eigene Darstellung des Realitäts-Virtualitäts-Kontinuums nach Milgram und Kishino (1994).....	23
Abbildung 2. Cognitive Affective Model of Immersive Learning (CAMIL; Makransky & Petersen, 2021; eigene Übersetzung)	54
Abbildung 3. Educational Framework for immersive Learning (EFiL; eigene Darstellung und Übersetzung basierend auf dem Original (Dengel & Mägdefrau, 2018) und der überarbeiteten Fassung (Dengel & Mägdefrau, 2020)).....	56
Abbildung 4. Meaningful iVR Learning (M-iVR-L) Modell (Mulders et al., 2020; eigene Übersetzung)	60
Abbildung 5. Forschungsdesign der vorliegenden Arbeit basierend auf den Modellen von Makransky und Petersen (2021), Dengel und Mägdefrau (2020) sowie Mulders et al. (2020)	63
Abbildung 6. Integration der einzelnen Hypothesen.....	67
Abbildung 7. Das Bücherregal, welches den Eingang zum Hinterhaus tarnte	71
Abbildung 8. Das Zimmer von Anne Frank und Fritz Pfeffer	71
Abbildung 9. Das Hinterhaus	72
Abbildung 10. Untersuchungsszenario in einer Experimentalbedingung unter einem HMD..	76
Abbildung 11. Untersuchungsszenario in einer Experimentalbedingung an einem Laptop ...	77
Abbildung 12. Studienablauf (Darstellung in Anlehnung an Spangenberg, Geiger & Freytag (2022))	78
Abbildung 13. Darstellung der Hypothesen I bis III.....	89
Abbildung 14. Signifikante Unterschiede bezüglich der Visualisierungstechnologie auf der abhängigen Variable Weiterempfehlung.....	91
Abbildung 15. Signifikante Unterschiede bezüglich der Visualisierungstechnologie auf der abhängigen Variable Zufriedenheit	91
Abbildung 16. Signifikante Unterschiede bezüglich der Visualisierungstechnologie auf der abhängigen Variable Wissenstest.....	92

Abbildung 17. Signifikante Unterschiede bezüglich der Visualisierungstechnologie auf der abhängigen Variable Transferaufgabe Verhaltensregeln	92
Abbildung 18. Signifikante Unterschiede bezüglich der didaktischen Methode auf der abhängigen Variable Wissen Prä-Post-Vergleich	94
Abbildung 19. Signifikante Unterschiede bezüglich der didaktischen Methode auf der abhängigen Variable Wissenstest	94
Abbildung 20. Signifikante Unterschiede bezüglich der Diskriminierungserfahrungen auf der abhängigen Variable Zufriedenheit	96
Abbildung 21. Signifikante Unterschiede bezüglich der Diskriminierungserfahrungen auf der abhängigen Variable Weiterempfehlung.....	96
Abbildung 22. Signifikante Moderation der Variablen didaktische Methode und Vorwissen auf den Zuwachs an Fachwissen	100
Abbildung 23. Signifikante Moderation der Variablen didaktische Methode und Vorwissen auf die Leistung bei der Transferaufgabe Verhaltensregeln	100
Abbildung 24. Darstellung der Hypothese IV	101
Abbildung 25. Darstellung einer Mediationstestung (eigene Darstellung in Anlehnung an Baron & Kenny (1986))	102
Abbildung 26. Überarbeitete Darstellung der Hypothese VI.....	108
Abbildung 27. Darstellung einer signifikanten vollständigen Mediation – Flowerleben _{total} – Zufriedenheit	110
Abbildung 28. Darstellung einer signifikanten vollständigen Mediation – Flowerleben _{Verlauf} – Zufriedenheit	111
Abbildung 29. Darstellung einer signifikanten vollständigen Mediation – Physikalische Präsenz – Zufriedenheit.....	111
Abbildung 30. Darstellung einer signifikanten partiellen Mediation – Extrinsische Arbeitsbelastung durch Instruktionen – Zufriedenheit.....	112
Abbildung 31. Darstellung einer signifikanten partiellen Mediation – Extrinsische Arbeitsbelastung durch Interaktionen – Zufriedenheit.....	113
Abbildung 32. Darstellung einer signifikanten partiellen Mediation – Extrinsische Arbeitsbelastung durch die Umgebung – Zufriedenheit	113

Abbildung 33. Darstellung einer signifikanten vollständigen Mediation – Flowerleben _{Verlauf} – Weiterempfehlung	114
Abbildung 34. Darstellung einer signifikanten vollständigen Mediation – Physikalische Präsenz – Weiterempfehlung	114
Abbildung 35. Darstellung einer signifikanten partiellen Mediation – Extrinsische Belastung durch Interaktionen – Weiterempfehlung.....	115
Abbildung 36. Darstellung einer signifikanten partiellen Mediation – Extrinsische Belastung durch die Umgebung – Weiterempfehlung	115
Abbildung 37. Darstellung einer signifikanten partiellen Mediation – Extrinsische Belastung durch Instruktionen – Wissenstest.....	116
Abbildung 38. Darstellung einer signifikanten partiellen Mediation – Extrinsische Belastung durch Interaktionen – Wissenstest.....	116
Abbildung 39. Darstellung einer signifikanten partiellen Mediation – Extrinsische Belastung durch Interaktionen – Transferaufgabe Verhaltensregeln	117
Abbildung 40. Darstellung einer signifikanten partiellen Mediation – Extrinsische Belastung durch die Umgebung – Transferaufgabe Verhaltensregeln.....	117
Abbildung 41. Forschungsdesign basierend auf Abbildung 5 mit empirischen Befunden der vorliegenden Arbeit.....	131
Abbildung 42. Arbeitsblatt mit Instruktionen für Schülerinnen und Schüler am Laptop (Exposition).....	176
Abbildung 43. Box-Plot für die unabhängige Variable Visualisierungstechnologie	193
Abbildung 44. Box-Plot für die unabhängige Variable didaktische Methode	193
Abbildung 45. Box-Plot für die unabhängige Variable Diskriminierungserfahrungen	194
Abbildung 46. Diagramme zur Überprüfung der Linearität für die Moderationsanalysen – Teil 1	196
Abbildung 47. Diagramme zur Überprüfung der Linearität für die Moderationsanalysen – Teil 2	196
Abbildung 48. Diagramme zur Überprüfung der Linearität für die Mediationsanalysen – Teil 1	199

Abbildung 49. Diagramme zur Überprüfung der Linearität für die Mediationsanalysen – Teil 2.....	199
---	-----

1. Einleitung

Anwendungen aus dem Bereich der virtuellen Realität (VR) finden in unserer modernen westlichen Gesellschaft aktuell immer mehr Zuspruch. Auch VR-Anwendungen, die zu Lehr- und Lernzwecken genutzt werden, gewinnen zunehmend an Bedeutung. VR wird dabei nachgesagt, im Besonderen den Erwerb prozeduraler Fertigkeiten, beispielsweise in Handwerksberufen, aber auch affektiver Fähigkeiten, wie Perspektivenübernahme oder prosoziales Verhalten, zu fördern. Insgesamt ist VR als ein Sammelbegriff zu verstehen, der sich im stetigen Wandel befindet. Eine Reihe unterschiedlichster Visualisierungstechnologien und Inhalte werden unter diesem Konzept zusammengefasst. Gemeint sein können 360°-Fotos, die auf Tablets betrachtet werden, oder auch 360°-Filme, die über Brillen aus Pappkarton, in die Smartphones geschoben werden, angesehen werden. Darüber hinaus umschließt der Begriff Umgebungen, bei denen sogenannte Head-Mounted-Displays (HMDs), die Ohren und Augen umschließen, gepaart mit Datenanzügen und Controllern das Interagieren in gänzlich computergenerierten Räumen ermöglichen. Durch rasant fortschreitende technologische Entwicklungen entstehen fortlaufend neue VR-Visualisierungstechnologien. Die Grenzen verschwimmen. Eine trennscharfe Unterteilung der VR-Visualisierungstechnologien ist oftmals herausfordernd. Viele Studien rund um die Bildungstechnologie VR fokussieren daher den Vergleich solcher Visualisierungstechnologien im Hinblick auf die intendierten Lernergebnisse. Ihr Ziel ist es meist, herauszufinden, mit welcher Technologie besser oder schlechter gelernt wird. Dabei wird der Technologie die Fähigkeit zugeschrieben, sie könne das Lernen direkt beeinflussen. In solchen in der Wissenschaft oft kritisch betrachteten Medienvergleichsstudien wird jedoch das didaktische Konzept, das hinter der Bildungstechnologie steht, übersehen. Es ist nicht die Technologie, die dazu führt, dass besser oder schlechter gelernt wird, vielmehr ist es das Zusammenspiel aus vielen Faktoren, von denen die VR-Visualisierungstechnologie einer ist. In der medien-didaktischen Forschung wird in diesem Zusammenhang vielfach dazu aufgefordert, von reinen Medienvergleichsstudien abzusehen und vielmehr Wechselwirkungen zwischen didaktischen Herangehensweisen und Bildungstechnologien zu untersuchen. Neben der Technologieform scheint es auch von den intendierten Lehr- und Lernzielen abhängig zu sein, ob der Einsatz einer bestimmten Bildungstechnologie indiziert ist oder nicht. Während VR-Technologien sich für den deklarativen Wissenserwerb vielfach als gleichwertig oder sogar unterlegen zu anderen Lehr- und Lernmethoden erwiesen haben, scheinen sie den Erwerb von prozeduralen Fertigkeiten sowie affektiven Fähigkeiten eher zu unterstützen.

Darüber hinaus wurden in bisherigen Studien zu Lernen in VR-Umgebungen besonders Lernresultate in den Blick genommen. Latente innerhalb der VR-Erfahrung ablaufende Verarbeitungsprozesse wurden dagegen bislang selten betrachtet. Dazu zählen, um nur einige Beispiele zu nennen, das Erleben von Präsenz oder von kognitiver Belastung innerhalb der VR-Umgebung. Es ist davon auszugehen, dass solche Lernprozessvariablen bedeutsam die Effekte von didaktischen Methoden und Visualisierungstechnologien auf Maße des Lernens erklären können. Auch Kontextfaktoren, wie beispielsweise die individuellen Vorkenntnisse im praktischen Umgang mit einer Bildungstechnologie, wurden selten berücksichtigt. Um die komplexen Kausalzusammenhänge untersuchen zu können, wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit ein angemessenes Forschungsdesign ausgearbeitet. Aus dem Design wird ein experimenteller Versuchsaufbau abgeleitet. So können die direkten Effekte auf das Lernen durch einerseits Didaktisierungen und andererseits VR-Visualisierungstechnologien sowie deren Wechselwirkungen untersucht werden. Zudem berücksichtigt das Forschungsdesign latente Lernprozessvariablen und weitere Kontextfaktoren sowie deren Beitrag zum Verständnis der direkten Effekte. Das Forschungsdesign beinhaltet des Weiteren, wie die komplexen Wirkzusammenhänge statistisch ausgewertet werden können. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird das Forschungsdesign anhand einer ausgewählten VR-Umgebung, welche über zwei verschiedene VR-Visualisierungstechnologien zugänglich ist, erprobt, indem diese beiden Visualisierungstechnologien und zwei didaktische Methoden experimentell untersucht sowie gleichzeitig latente Lernprozessvariablen und relevante Kontextfaktoren kontrolliert werden. Bei der VR-Umgebung handelt es sich um eine virtuelle Nachbildung des Anne-Frank-Hauses in Amsterdam, welche aufgrund ihrer Inhalte darauf abzielt, das individuelle emotionale Erleben zu tangieren.

Die vorliegende Arbeit ist gegliedert in die Kapitel theoretische Hintergründe, Methodik, Ergebnisse und Diskussion. Im ersten Kapitel wird VR als Technologie beschrieben, Potenziale wie Herausforderungen der Technologie für Bildungszwecke thematisiert, relevante Theorien und Modelle zum Lernen in VR vorgestellt sowie Forschungsziele und Hypothesen der Arbeit erörtert. Im zweiten Kapitel wird die methodische Herangehensweise der Arbeit inklusive Beschreibung der Stichprobe, Prozedur, Messinstrumente und Datenauswertung erläutert. Im dritten Kapitel werden sämtliche Ergebnisse der Arbeit entlang der aufgestellten Hypothesen präsentiert. Kapitel vier dient der Interpretation und Beurteilung der Ergebnisse im Forschungskontext. Abschließend werden Implikationen der Arbeit erörtert, Limitationen diskutiert und ein Fazit gezogen.

2. Theoretische Hintergründe

Im Folgenden wird VR als Technologie und als Bildungstechnologie im Speziellen näher beschrieben. Ferner wird auf eine Reihe von für das Lernen in VR relevante Kontextfaktoren und innerpsychische Verarbeitungsprozesse eingegangen. Anschließend sollen die für diese Arbeit relevanten Ziele und Hypothesen im Forschungskontext eingehend erläutert werden.

2.1 Einordnung der Technologie

Die Begrifflichkeit VR wird im alltäglichen Sprachgebrauch oftmals als Sammelbegriff für heterogene Visualisierungstechnologien und nicht trennscharf benutzt. Allen gemein ist das Verständnis einer computergenerierten und realitätsnahen Echtzeitdarstellung, in die Individuen virtuell eintreten, die sie multisensorisch erfahren und in der sie über künstliche und natürliche Nutzerschnittstellen interagieren (Radianti et al., 2020; Zinn, 2019). Häufig wird außerdem die blickpunktabhängige Bildgenerierung bzw. Egozentrismus als notwendige Voraussetzung für VR erachtet. Wird durch den Nutzenden eine Bewegung verursacht, so wird die dreidimensionale Umgebung automatisch und sofort aus der neuen Perspektive dargestellt (Dörner et al., 2013). Der nachfolgende Abschnitt beginnt mit Definitionsversuchen und Abgrenzungen von verwandten Technologieformen.

Es ist kaum verwunderlich, dass in frühen Entwicklungsstadien der VR zunächst technische Merkmale im wissenschaftlichen Fokus standen und die Technologie anhand dieser eher oberflächlichen Charakteristika definiert wurde. So schreibt Greenbaum (1992) „*Virtual Reality is an alternate world filled with computer-generated images that respond to human movements. These simulated environments are usually visited with the aid of an expensive data suit which features stereophonic video goggles and fiber-optic data gloves.*” (S. 58). Ebenso beginnt für Alsdorf und Bannwart (1995) VR dort, wo „... *ein virtuelles Modell durch die unmittelbare Reaktionszeit des Rechners auf die Manipulation des Benutzers hin interaktiv verändert wird.*“ (S. 438). Während auch heutzutage, abhängig von der Fachdisziplin, Bildungstechnologien vielfach anhand ihrer Hardwarebedingungen (d.h. anhand der Ein- und Ausgabegeräte) charakterisiert und beurteilt werden, versucht wahrnehmungs- und lernpsychologische Forschung die Technologie eher auf Grundlage zugrundeliegender kognitiver Verarbeitungsprozesse zu definieren (Bente, Krämer & Petersen, 2002). In einer Definition von Biocca und Delaney (1995) wird auf beides eingegangen. „*VR is the sum of the hardware and software systems that seek to perfect an all-inclusive, sensory illusion of being present in another environment.*” (S.63).

Mit einer enormen Geschwindigkeit werden die Visualisierungstechnologien, die unter dem Begriff VR zusammengefasst werden, weiterentwickelt. Global Player wie *Meta*¹ treiben die Entwicklungen in einem rasanten Tempo voran. Möglicherweise ist die folgende Einteilung in wenigen Jahren bereits überholt. Nichtsdestotrotz ist die Charakterisierung von VR anhand ihrer technischen Eigenschaften verbreitet und auch für die vorliegende Arbeit von Relevanz. Derzeit existieren dreidimensionale Umgebungen, die über zweidimensionale Bildschirme präsentiert werden und auf Gerätschaften wie Monitoren, Mäusen, Joysticks, Tastaturen, Mikrofonen und Lautsprechern basieren (Burdea & Coiffet, 2003). Solche VR-Umgebungen werden häufig als nicht immersiv klassifiziert (Cummings & Bailenson, 2016; Dörner & Steinicke, 2013; Schroeder, 2010). Stereoskopische Darstellungen übermitteln visuell Tiefeninformationen, sodass ein räumlicher Eindruck entsteht. Es werden jedoch weiterhin viele Reize aus der realen Umgebung, wie andere Personen im Raum oder die Tastatur wahrgenommen. Auditive Inhalte der VR werden über Kopfhörer oder Lautsprecher dargeboten. Navigation und auch Interaktion mit virtuellen Artefakten erfolgen über Maus, Joystick oder Tastatur (Lee, Wong & Fung, 2010). Wenn im nachfolgenden Teil dieser Arbeit von Laptop-Visualisierungstechnologie gesprochen wird, ist stets letztere Beschreibung gemeint. Immersive VR-Umgebungen dagegen werden oftmals mit der Verwendung so genannter HMDs assoziiert. Daher wird diese Visualisierungstechnologie im Folgenden mit dem Kürzel HMD verknüpft. HMDs umschließen Augen und Ohren. Sie erfüllen das gesamte Sichtfeld und blenden Umweltreize aus der Realität weitgehend aus. Auditive Inhalte der VR werden über integrierte Kopfhörer vermittelt. Die Displays präsentieren jedem Auge ein Bild aus einem leicht unterschiedlichen Blickwinkel. Dies ahmt die natürliche menschliche visuelle Wahrnehmung nach, sodass der stereoskopische Eindruck einer computergenerierten virtuellen Welt entsteht. Die Sensoren der HMDs berücksichtigen Kopfbewegungen und ermöglichen Perspektivwechsel und Bewegungen im Raum. Kombiniert wird dies oft mit Datenhandschuhen, Körperanzügen und Controllern, über deren Funktionalitäten navigiert, selektiert und interagiert wird (Allmendinger, 2010; Andreas et al., 2010; Dörner et al., 2013). Schlussendlich gibt es noch so genannte Cave Automatic Virtual Environments (CAVEs). Ein CAVE ist ein physikalischer Raum, dessen sämtliche Flächen, also Wände, Böden und Decken, aus Projektionsleinwänden bestehen können. In einem CAVE können sich mehrere Nutzende simultan bewegen. HMDs, Controller, Körperanzüge und Datenhandschuhe ermöglichen Interaktion und Bewegung im Raum (Buttussi & Chittaro, 2017).

¹ <https://about.facebook.com/meta/> (abgerufen am 21.04.2022)

Da bereits mehrfach der Begriff der *Immersion* genannt wurde, soll dieser nachfolgend erklärt werden. Immersion wird oftmals als technische und objektiv messbare Eigenschaft eines Mediums verstanden. Nach Cummings und Bailenson (2016) ist Immersion die Lebendigkeit, die ein System bietet, und das Ausmaß, in dem das System in der Lage ist, die Außenwelt auszuschließen. Laut Slater und Wilbur (1997) gründet Immersion auf vier technischen Merkmalen von Ausgabegeräten. Erstens, Sinneseindrücke werden möglichst ausschließlich durch die Technologie generiert. Zweitens, mehrere Sinne werden angesprochen. Drittens, Ausgabegeräte sollten den Nutzenden komplett umgeben. Viertens, die Darstellung sollte möglichst lebendig und hochauflösend sein. Gemäß diesen Definitionen wären VR-Inhalte, die in einem CAVE präsentiert werden, immersiver als dieselben VR-Inhalte unter einem HMD, die wiederum immersiver als dieselben VR-Inhalte an einem zweidimensionalen Bildschirm wären. Manche Autorinnen und Autoren (z.B. Dörner et al., 2013; Makrasky & Petersen, 2021) bezeichnen Erfahrungen in VR, welche unter HMDs oder in CAVEs erlebt werden, per se als immersiv und VR-Erfahrungen, welche an zweidimensionalen Bildschirmen erlebt werden, per se als nicht immersiv. In der Wissenschaft gibt es noch weitere Definitionen von Immersion, die davon ausgehen, Immersion sei ein psychologisches Konstrukt (Regenbrecht & Schubert, 2002; Slater, 2018). Davon wird in dieser Arbeit Abstand genommen und auf das wahrnehmungspsychologische Konzept des Präsenzerlebens verwiesen, das in Abschnitt 2.2.1.3 noch ausführlich beschrieben wird.

Eine weitere ebenfalls eher technisch verstandene Eigenschaft, die VR oftmals zugeschrieben wird, ist die der *Interaktivität*. Interaktivität wird assoziiert mit der Handlungsfreiheit in VR-Umgebungen und dem Ausmaß an Kontrolle, das Nutzende selbst in VR besitzen (Steuer, 1992). Häufig wird daher auch von Handlungskontrolle oder Kontrollfaktoren gesprochen (Johnson-Glenberg, 2019; Makrasky & Petersen, 2021). Interaktivität impliziert, dass das zugrundeliegende System eine Eingabe (z.B. eine Geste) über multiple sensorische Kanäle (z.B. taktil) erfassen und in Echtzeit reagieren kann, was wiederum für die Nutzenden erkennbar wird (Dörner et al., 2013). Versagt das System, wenn also eine Handlung in VR (z.B. das Greifen nach einem Gegenstand) nicht die antizipierte Konsequenz nach sich zieht, kann dies seitens der Nutzenden zur Wahrnehmung eingeschränkter Handlungskontrolle (Kilteni, Groten & Slater, 2012; Makrasky & Petersen, 2021) und Symptomen des Unwohlseins (Chattha et al., 2020) führen. Neben Interaktionen mit Objekten kann Interaktion in VR auch mit anderen realen und virtuellen Akteuren stattfinden (Huang, Rauch & Liaw, 2010). Gemäß Steuer (1992) wird die Interaktivität bestimmt von der Anzahl

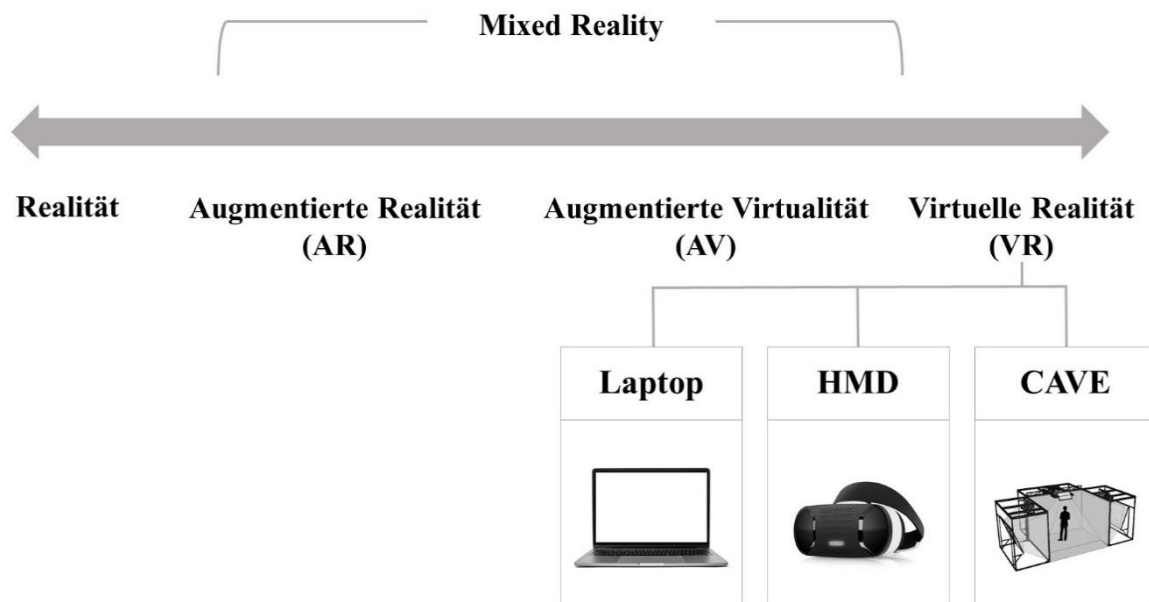
der Interaktionsmöglichkeiten, von der Geschwindigkeit, mit der das Computersystem auf Eingaben von Nutzenden reagiert, sowie von der Natürlichkeit der Interaktionen, also der Übereinstimmung zwischen in der Realität natürlich stattfindenden Handlungsmustern und in VR getätigten Interaktionen. Demnach variiert, ebenso wie der Immersionsgrad, auch das Ausmaß an Interaktivität zwischen den verschiedenen VR-Visualisierungstechnologien. Tastatur, Joystick und Maus, die meist im Zuge von VR-Anwendungen, die über zweidimensionale Bildschirme dargestellt werden, zum Einsatz kommen, bieten oftmals wenig und simple Interaktionsmöglichkeiten, wie die Selektion von Objekten oder die Veränderung des Sichtfelds. Die Kontrollmöglichkeiten sind eingeschränkt. Controller, welche meist in Verbindung mit HMDs eingesetzt werden, versuchen Greif-, Rotations- und weitere spezifische Handbewegungen realistisch zu simulieren und erlauben so eine Bandbreite an Interaktionen. Verkabelte Datenhandschuhe und Datenanzüge gehen noch einen Schritt weiter und ermöglichen vielfältige Interaktionen, die natürlichen Interaktionsformen nahekommen. Das Greifen oder Verschieben von virtuellen Gegenständen bedarf derjenigen motorischen Prozesse, die auch in der Realität nötig wären. Neben der Hardware, bestimmen auch die Inhalte einer VR das Ausmaß an Interaktivität. 360° Bilder oder Filme, die einem festen Narrativ folgen, lassen den Nutzenden zum passiven Beobachtenden werden. Komplexere VR-Anwendungen sind weitaus interaktiver und erlauben ein selbstbestimmtes Vorgehen mit mehr Freiheitsgraden und Kontrolle (Dörner et al., 2013; Makransky & Petersen, 2021).

Mit diesen Eigenschaften unterscheidet sich VR von anderen die Realität erweiternden Technologien wie etwa Augmented Reality (AR) (Loomis, Blascovich & Beall, 1999; Milgram & Kishino, 1994). Eine Einordnung der verschiedenen Technologien bietet Abbildung 1. Die Darstellung wurde in Anlehnung an das Realitäts-Virtualitäts-Kontinuum von Milgram und Kishino (1994) erstellt. Die Realität, abgebildet auf der linken Seite des Kontinuums, besteht ausschließlich aus realen Komponenten. Die Wahrnehmung dieser kann erfolgen durch die tatsächliche physische Anwesenheit eines Beobachtenden in der realen Umgebung, ist aber auch über einen Bildschirm (z.B. beim Ansehen eines Films) möglich. Auf der rechten Seite des Kontinuums befinden sich Umgebungen, die vollständig virtuell sind. Eine solche Umgebung besteht nur aus virtuellen Komponenten. Ihre Wahrnehmung durch den Beobachtenden erfolgt ausschließlich durch virtuelle Repräsentationen (z.B. über ein HMD). Der Begriff Mixed Reality betrifft den Bereich zwischen Realität und VR. Es sind nicht nur Objekte aus der realen Welt, sondern auch solche aus der virtuellen Welt enthalten. Je nach Umfang der realen oder virtuellen Inhalte wird von AR oder Augmented Virtuality

(AV) gesprochen. Bei AR wird die reale Umgebung mit virtuellen Inhalten angereichert bzw. erweitert. Bei AV ist es umgekehrt.

Abbildung 1

Eigene Darstellung des Realitäts-Virtualitäts-Kontinuums nach Milgram und Kishino (1994)



Die dargestellten VR-Visualisierungstechnologien unterscheiden sich offensichtlich im Hinblick auf die verwendeten Ein- und Ausgabegeräte. Allen gemein ist das Ziel, dem Nutzenden die Illusion der Anwesenheit in einer virtuellen Umgebung zu suggerieren. Ob und wie adäquat dies gelingt, hängt nicht nur von der eingesetzten VR-Visualisierungstechnologie ab, sondern beruht auch auf innerpsychischen und meist latent ablaufenden Informationsverarbeitungsprozessen zur Interpretation der dargebotenen Sinnesreize (Bente et al., 2002; Dörner et al., 2013).

An dieser Stelle soll kurz auf die Funktionsweise der menschlichen Informationsverarbeitung, genauer auf den visuellen Wahrnehmungsapparat, eingegangen werden. Die Netzhaut des menschlichen Auges ist eine Fläche, auf der visuelle Reize aus der Umwelt abgebildet werden. Diese Abbildung auf der Netzhaut ist stets zweidimensional. Das projizierte noch zweidimensionale Bild wird bereits in der Netzhaut analysiert (z.B. hinsichtlich Farbe und Helligkeit) und bearbeitet (z.B. Kontrastverstärkung). Die beiden Augen liefern dabei zwei minimal unterschiedliche Bilder. Das menschliche Wahrnehmungssystem ist darauf ausgerichtet, aus den auf die zweidimensionale Netzhaut der Augen auftreffenden Reizen einen dreidimensionalen Gesamteindruck der visuellen Umgebung zu

generieren. Unbewusst, automatisch und ohne Beanspruchung kognitiver Ressourcen werden Tiefeninformationen errechnet und die Reize in ein dreidimensionales Perzept überführt (Dörner et al., 2013; Hibbard, Haines & Hornsey, 2017). Tiefeninformationen werden folglich zwangsläufig generiert, unabhängig davon, ob die ursprüngliche Darstellung zwei- oder dreidimensional gewesen ist. Dazu werden automatisch sogenannte Tiefenhinweise dekodiert (Eysenck & Keane, 2015). Ein Objekt verdeckt ein anderes Objekt, Texturelemente werden mit größerem Abstand kleiner, Schatten werden geworfen. Solche Hinweise lassen einen Tiefeindruck entstehen. Folglich lassen sich auch auf jedem zweidimensionalen Bildschirm Tiefeninformationen einbringen, welche einen räumlichen Eindruck erzeugen. Auch dreidimensionale Artefakte können auf der zweidimensionalen Fläche eines Bildschirms dargestellt und von Nutzenden als solche dekodiert werden. Damit wird deutlich, dass die Erzeugung von dreidimensionalen Wahrnehmungseindrücken nur wenig von der Darstellungsform bzw. der Visualisierungstechnologie abhängig ist. Auch wird verständlich, dass die beschriebene Konstruktionsleistung des kognitiven Systems das Arbeitsgedächtnis nicht belastet, da diese automatisch abläuft (Dörner et al., 2013).

Für die visuelle Informationsverarbeitung ist es gemäß den letzten Ausführungen irrelevant, welche Visualisierungstechnologie zur Darstellung von dreidimensionalen Inhalten gewählt wird. Dennoch ist davon auszugehen, dass sich darauffolgende innerpsychische Verarbeitungsprozesse in Abhängigkeit von der VR-Visualisierungstechnologie voneinander unterscheiden. Solche Verarbeitungsprozesse passieren innerhalb eines Individuums, sind oftmals nicht direkt erkennbar und daher latent. Die Erforschung dieser ist umso wichtiger, wenn verstanden werden will, wie sich die technischen Charakteristika einer Visualisierungstechnologie auf innerpsychische Vorgänge auswirken. Pauschalaussagen zur Über- bzw. Unterlegenheit einer Visualisierungstechnologie sind wenig gewinnbringend und übersehen die zugrundeliegenden Mechanismen. Latente Prozessvariablen können möglicherweise die Wirkweise einer Technologie näher erklären und darüber hinaus differenzierte Aussagen hinsichtlich der Wirkzusammenhänge zu für Wirtschaft, Praxis wie Wissenschaft interessanten abhängigen Konstrukten wie Genuss, Kaufverhalten aber auch Lernen liefern.

2.2 VR als Bildungstechnologie

Nachdem in Abschnitt 2.1 VR als Technologie hinreichend eingeführt wurde, soll im Folgenden VR als Bildungstechnologie im Speziellen näher betrachtet werden. Die Unterkapitel 2.2.1 und 2.2.2 beleuchten Potenziale und Herausforderungen von VR in Bildungskontexten. In diesen beiden Abschnitten sollen auch zentrale Einflussgrößen, die das Lernen

in VR determinieren, vorgestellt werden. In Abschnitt 2.2.3 wird die Effizienz von VR als Bildungstechnologie diskutiert. Abschnitt 2.2.4 beschäftigt sich mit ausgewählten Theorien und Modellen zum Lernen in VR und bildet schließlich die Überleitung zu dem Forschungsdesign, das dieser Arbeit zugrunde liegt.

2.2.1 Potenziale von VR als Bildungstechnologie

VR-Technologien wird ein großes Potenzial zur Gestaltung von Lehr- und Lernszenarien zugesprochen. Sie eröffnen Schulen, Hochschulen und anderen Bildungsinstitutionen eine Reihe vielseitiger Anwendungsmöglichkeiten (Dickey; 2005; Fowler, 2015; Huang et al., 2010). Seit den 90er Jahren wird zunehmend versucht, die vielfältigen Möglichkeiten von VR zur Verbesserung und Diversifizierung von Lernprozessen in Bildungskontexten zu nutzen (Bredl & Groß, 2012; De Freitas, 2008). Häufige Einsatzfelder von VR-Lernanwendungen sind in der Industrie (z.B. Berg & Vance, 2017; Van Wyk & De Villiers, 2019), im Rettungswesen (z.B. Lerner, Wichmann & Wegner, 2019; Sankaranarayanan et al. 2018), in der Medizin (z.B. Mantovani et al., 2003; Xin et al., 2019), in der Ausbildung von Lehrkräften (z.B. Billingsley et al., 2019; Huang et al., 2021) und auch in schulischen Kontexten (z.B. Dubach et al., 2022; Shim et al., 2003; Yildirim, Elban & Yildirim, 2018) zu verorten. Hier gilt es jedoch zu betonen, dass der Einsatz von VR wie auch anderer digitaler Medien nie technologiegetrieben geschehen sollte. VR sollte nur dann implementiert werden, wenn eine Passung zwischen den gesetzten Lehr- und Lernzielen und den Möglichkeiten von VR-Anwendungen gegeben ist sowie ein bestehendes Bildungsanliegen adressiert wird (Kerres, 2018).

In den nachfolgenden Abschnitten sollen die Potenziale von VR für Bildungszwecke unter verschiedenen Gesichtspunkten analysiert werden.

2.2.1.1 VR-Lernumgebungen

In Abhängigkeit von der Gestaltung der VR können sehr unterschiedliche Lerngelegenheiten und lernbezogene Handlungsmöglichkeiten konstruiert werden. Dazu differenzieren Schwan und Buder (2006) in die nachfolgenden Welten. Die Differenzierung wurde anhand der Interaktionsmöglichkeiten, die in den Welten möglich sind, vorgenommen. Erstens, *Trainingswelten*, in denen prozedurales Wissen erworben werden kann und psychomotorische Fertigkeiten wiederholt trainiert werden können, deren Üben in der Realität nicht oder nur selten möglich, zu gefährlich oder zu teuer ist (z.B. Piromchai et al., 2015; Zender et al., 2019). Zweitens, *Konstruktionswelten*, die das Gestalten eigener VR-Umgebungen und

Artefakte ermöglichen. Hier wird das Medium VR selbst zum Lerngegenstand und der Konstruktions- und Gestaltungsprozess steht im Fokus. Solche Welten sind anspruchsvoll in der Erstellung, bisher wenig eingesetzt und kaum erforscht (z.B. Wössner, 2019). Drittens, *Explorationswelten*, in denen authentische und realistische Lernerfahrungen selbstgesteuert, aktiv und häufig spielerisch gesammelt werden können. Objekte und Räume, welche für Lernende bislang nicht oder kaum zugänglich waren, werden durch VR-Technologien erkundbar. Geografische und zeitliche Barrieren können überwunden werden. Historische Gebäude, Sehenswürdigkeiten, Planeten, Museen oder auch Teile des menschlichen Körpers können exploriert werden (z.B. Black, 2017; Parong & Mayer, 2018). Viertens, *Experimentierwelten*, in denen physikalische Grenzen überwunden und Lernszenarien geschaffen werden, welche in der Realität unmöglich sind. Lernenden wird so ein multi-perspektivischer Blick auf naturwissenschaftliche Gesetzmäßigkeiten ermöglicht. Experimente können gefahrenlos durchgeführt werden. Fehler dürfen geschehen und sind lernförderlich. Aus einer entdeckenden Rolle heraus können vorher aufgestellte Hypothesen überprüft und so Kausalzusammenhänge erkannt werden (z.B. Bogusevski, Muntean & Muntean, 2020; Georgiou, Dimitropoulos & Manitsaris, 2007).

2.2.1.2 Lehr- und Lernziele in VR

Die Potenziale von VR als Bildungsmedium lassen sich, wie oberhalb geschehen, anhand der möglichen Lernräume erörtern. Eine andere Möglichkeit besteht darin, die Potenziale hinsichtlich der Erreichung bestimmter Lehr- und Lernziele zu begutachten. Oftmals, so zeigte eine Überblicksstudie von Kavanagh et al. (2017) zu VR in Bildungskontexten, werden jedoch in empirischen Untersuchungen statt Indikatoren des Lernens lediglich Akzeptanz- und Motivationsvariablen erhoben. Eine weitere Herausforderung liegt in der Operationalisierung von Lernerfolgen. Während Dengel und Mägdefrau (2020) sowie Jensen und Konradsen (2018) beispielsweise VR-Lernergebnisse auf den Ebenen kognitiv, psychomotorisch und affektiv betrachten, schlagen Makransky und Petersen (2021) eine Unterteilung der Lernresultate in Faktenwissen, konzeptuelles Wissen, prozedurales Wissen sowie Lerntransfer vor.

Experimentelle Studien, die VR mit traditionellen Lehr- und Lernmethoden verglichen haben, zeigen häufig ein heterogenes Bild bezüglich der Lernresultate durch den Einsatz von VR. In einer Metaanalyse von Merchant et al. (2014) wurden 69 Studien hinsichtlich der Lernergebnisse untersucht. Inkludiert wurden Studien zu desktopbasierten VR-Simulationen, VR-Games und virtuellen Welten bis ins Jahr 2011. In 18 der 29 Studien zu VR-Simulationen

konnte im Vergleich zu Kontrollgruppen ein signifikant positiver Effekt auf Lernergebnisse durch den Einsatz von VR festgestellt werden. Sieben Studien zeigten einen negativen Effekt und vier Studien keinen Effekt. Merchant et al. (2014) fanden außerdem in einer Moderationsanalyse heraus, dass es einen Einfluss hat, wie Lernergebnisse erhoben werden. Daher soll nachfolgend der Erfolg von VR-Lernanwendungen differenzierter betrachtet werden, indem für die unterschiedlichen Lehr- und Lernziele, die eine VR-Lernanwendung haben kann, exemplarisch empirische Studien vorgestellt werden.

Für den Erwerb von *deklarativem Wissen* sehen Schwan und Buder (2006) in VR den Vorteil, Lerninhalte angemessen veranschaulichen zu können. Schwan und Buder (2006) differenzieren Veranschaulichungen in VR in abbildungstreu, schematisierend, konkretisierend und metaphorisch. Abhängig von den Lehr- und Lernzielen und auch den Inhalten erscheinen unterschiedliche Veranschaulichungsformen indiziert. Abbildungstreue Veranschaulichungen sind notwendig, wenn das VR-Lernszenario möglichst realistisch sein sollte, um einen Transfer in reale praktische Settings zu ermöglichen. Ein Hebel in einem VR-Flugsimulator beispielsweise sollte in Optik und Haptik möglichst dem in der Realität entsprechen. Abbildungstreue Veranschaulichungen kommen besonders der Forderung konstruktivistischer Lerntheorien nach authentisch gestalteten Lernumgebungen nach. Sie bieten unmittelbare Verknüpfungen zu Alltagserfahrungen und sind stärker situiert als die nachfolgenden von Schwan und Buder (2006) aufgeführten Veranschaulichungsformen. In schematisierenden Veranschaulichungen wird bewusst auf die fotorealistische Darstellung verzichtet. Lernirrelevante Details werden meist gar nicht dargestellt. Stattdessen wird häufig die Technik der Größenskalierung herangezogen, indem Lerngegenstände, welche für die menschliche Wahrnehmung zu groß oder zu klein sind, in ihrer Größe angepasst und schematisch visualisiert werden. Eine schematische Darstellung des Sonnensystems kann beispielsweise deklaratives Wissen hinsichtlich der Anordnung und der Größenverhältnisse von Planeten vermitteln. Konkretisierende Veranschaulichungen helfen, abstrakte und für den Menschen schwierig zu visualisierende Sachverhalte zu verbildlichen. Die Darstellung von physikalischen Kräften (z.B. Beschleunigung, Schwerkraft) in VR kann Lernende darin unterstützen, sich die Konzepte räumlich vorzustellen und diese zu verinnerlichen. Metaphorische Veranschaulichungen nutzen Analogien, um abstrakte Sachverhalte verständlich zu machen. Häufig werden Abläufe in VR personifiziert, beispielsweise wenn die Funktionsweise eines Motherboards eines Computers als handelnde Person dargestellt wird, die Datenpakete zwischen verschiedenen Häusern bzw. Zwischenspeichern hin- und herträgt. Die Ausführungen von Schwan und Buder (2006) weisen darauf hin, dass VR die Möglichkeit

bietet, einen Lerngegenstand anders und möglicherweise eher den Bedarfen der Lernenden entsprechend darzustellen, um so die Vermittlung deklarativen Wissens bedeutsam zu unterstützen. Empirisch überprüfte unter anderem Webster (2016) den Erwerb deklarativen Wissens in VR. Er verglich VR-basierten Unterricht mit vorlesungsbasiertem Unterricht und stellte hinsichtlich des deklarativen Wissenserwerbs Vorteile für die VR-Gruppe fest. Auch eine Metaanalyse von Woon et al. (2021), in der Studien zu VR-Lernanwendungen im Bereich Krankenpflege inkludiert wurden, deckte über die Studien hinweg einen mittelgroßen Effekt im Hinblick auf Wissenserwerb zu Gunsten der VR auf. Makransky, Borre-Gude und Mayer (2019a) jedoch fanden in einer Studie, in der sie ein Laborsicherheitstraining in drei unterschiedlichen Versuchsbedingungen (VR-Simulation, Desktop-Simulation, Sicherheitsmanual in Papierform) durchführten, keine bedeutsamen Unterschiede hinsichtlich des Erwerbs deklarativen Wissens zwischen den drei inhaltlich äquivalenten Bedingungen. Die empirische Befundlage erscheint im Hinblick auf den deklarativen Wissenserwerb in VR insgesamt uneindeutig.

Neben Zielen zum deklarativen Wissenserwerb kann auch der Erwerb *prozeduralen Wissens* in VR adressiert werden. Eine Überblicksstudie von Radianti et al. (2020) ergab, dass VR bislang am häufigsten eingesetzt wurde, um prozedurales Wissen zu vermitteln. Ein Grund hierfür ist, dass VR optimale Bedingungen für das Einüben von Routinen bietet, indem Handlungsabläufe verlangsamt und beliebig oft geübt werden können. Zusätzlich können unterstützende Maßnahmen zur Handlungskontrolle und Rückmeldungen zur Handlungsausführung und Ergebnissen integriert werden. VR-Lernanwendungen zum Erwerb von prozeduralen Fertigkeiten wurden insbesondere dort eingesetzt, wo Training selten oder nicht möglich ist. Beispielsweise das Lackieren von Autokarosserieteilen (Zender et al., 2019) oder das Verhalten im Brandfall (Sankaranarayanan et al., 2018) wird im Bildungsalltag zu selten trainiert.

Hinsichtlich *affektiver Lehr- und Lernziele* eröffnen VR-Erfahrungen Lernenden die Möglichkeit, die sonst weit entfernte und abstrakt erscheinende Lebenswirklichkeit anderer Personen nachzuempfinden, deren Perspektive einzunehmen und so empathisch die Situation dieser Personen mitzufühlen (Martingano, Hererra & Konrath, 2021; Troeger & Tümler, 2020). In diesem Zusammenhang wird von VR auch als Empathie-Maschine gesprochen (Milk, 2015). In einer Studie von Schutte und Stilinovic (2017) wurde den Probanden die Lebenswirklichkeit eines jungen Mädchens, das in einem Flüchtlingslager lebt, entweder in VR oder über einen Dokumentarfilm vermittelt. Die Ergebnisse legten dar, dass die VR-

Erfahrung im Vergleich zur Kontrollbedingung zu einem höheren Maß an Empathie für das Flüchtlingsmädchen und zu einer höheren Bereitschaft, prosoziales Verhalten zu zeigen, führte. In einer weiteren Studie von Dyer, Swartzlander und Gugliucci (2018) sollte medizinisches Personal im empathischen Umgang mit älteren Personen geschult werden. Die Ergebnisse zeigten, allerdings ohne den Einsatz einer Vergleichsgruppe, dass VR das Verständnis für altersbedingte Gesundheitsprobleme verbessern und das Einfühlungsvermögen für ältere Erwachsene erhöhen kann. Mehrere Studien setzten VR außerdem dafür ein, Rassismus entgegenzuwirken, indem durch VR die Empathie für diskriminierte Personen gesteigert wird (Christofi & Michael-Grigoriou, 2017; Roswell et al., 2020). Wenn VR suggeriert, der Lernende wäre selbst die diskriminierte Person, sind besonders große Effekte auf die Empathie zu beobachten (z.B. Bertrand et al., 2018). Eine Metaanalyse von Ventura et al. (2020), welche allerdings nur sieben Artikel umfasst, untersuchte den Zusammenhang von VR und Empathie. Die Ergebnisse lieferten statistisch signifikante positive Veränderungen in der Perspektivenübernahme nach der VR-Exposition, aber keine in der Empathie. In einer Übersichtsarbeit von Martingano et al. (2021), die 43 Primärstudien beinhaltet, konnte nachgewiesen werden, dass VR die emotionale Empathie verbessert, nicht aber die kognitive Empathie. VR kann folglich mitfühlende Gefühle wecken, scheint aber nicht zu ermutigen, sich die Perspektive anderer Menschen vorzustellen. Weitere Analysen der Studie ergaben, dass VR die Empathie nicht wirksamer förderte als weniger technisch fortgeschrittene Interventionen (z.B. das Lesen eines Artikels).

Oftmals ist auch der *Transfer von Wissen* auf neue Situationen als Lehr- und Lernziel angedacht. In einer Studie von Kozak et al. (1993) wurden hinsichtlich des Erwerbs einer simplen motorischen Fertigkeit drei Versuchsbedingungen miteinander verglichen: VR-Training, Training in der Realität, kein Training. Die erlernte Fertigkeit sollte auf eine leicht veränderte Situation übertragen werden. Es konnte kein Unterschied zwischen denjenigen Probanden, die am VR-Training teilnahmen, und denjenigen, die kein Training erhielten, gefunden werden. Die Transferleistungen derjenigen Probanden, die in der Realität trainierten, waren signifikant besser als die der beiden anderen Gruppen. Auch Velaz et al. (2014) fanden hinsichtlich einer Fertigkeit in der industriellen Montage keinen Unterschied zwischen Testpersonen, die die Fertigkeit in VR übten und solchen, die ein Video-Tutorial dazu ansahen. Nach einer Studie von Rose et al. (2000) hingegen fördert VR den Transfer von psychomotorischen Fertigkeiten in andere reale Kontexte. Gemäß Champney et al. (2017) erhöht ein hohes Maß an Realitätsnähe in VR die Wahrscheinlichkeit, dass Lernerfahrungen auf die reale Umgebung transferiert werden. Außerdem scheint es förderlich, wenn

Handlungen in VR mit solchen in der Realität exakt übereinstimmen (Rose et al., 2000; Wickens & Baker, 1995). Die Studienlage erscheint insgesamt eher ernüchternd. Folglich ist es eine zentrale Forschungsaufgabe, diejenigen Faktoren zu identifizieren, die den Transfer von VR zur Realität hemmen bzw. fördern.

2.2.1.3 Präsenzerleben in VR

Aus einer lernpsychologischen Sichtweise heraus genügt es nicht, Lernaktivitäten anhand der gesetzten Lehr- und Lernziele oder anhand der Lernresultate zu begutachten. Vielmehr interessieren die latenten Prozesse, die während einer VR-Erfahrung passieren. Diese sind zentral für ein tiefergehendes Verständnis von Lernen in VR. So ermöglicht die wissenschaftliche Untersuchung solcher Verarbeitungsprozesse es, die Erfahrungsqualität von VR-Lernerfahrungen näher zu beschreiben. Daher sollten, wenn die Potenziale von VR für Bildungsszenarien beurteilt werden sollen, auch die zugrundeliegenden Lernprozesse berücksichtigt werden. Als für das Lernen in VR vielversprechend haben sich die Wirkgrößen des Präsenzerlebens (z.B. Mikropoulos, 2006) sowie des Erlebens von Flow (z.B. Rutrecht et al., 2021) erwiesen. Diese in der Literatur häufig im Kontext von VR und Lernen diskutierten Konstrukte sollen daher nachfolgend detailliert beschrieben werden.

Ein zentrales Phänomen, das mit VR immer wieder in Verbindung gebracht wird, ist das Gefühl, in einer VR-Umgebung präsent zu sein (z.B. Mikropoulos, 2006). Das *Erleben von Präsenz* ist subjektiv. Im Englischen wird oftmals der Ausdruck *being there* genutzt (Ahn & Bailenson, 2011; Slater, 2018). Dabei wird die Illusion des Präsentseins, also das Eingetaucht- und Verschmolzensein mit der virtuellen Welt (Sherman & Craig, 2002), oftmals verstanden als psychologischer Wahrnehmungsprozess, der interindividuell variieren kann (Slater, 2018). Slater (2003) beschreibt darüber hinaus, dass Präsenzerleben dann entsteht, wenn „*perceptual, vestibular, proprioceptive, and autonomic nervous systems are activated in a way similar to that of real life in similar situations*“ (S. 2). Dieses Verständnis steht im Kontrast zum eher technisch verstandenen Konstrukt der Immersion. Immersion ist objektiv und messbar. Manchmal werden diese beiden Konzepte jedoch nicht trennscharf betrachtet (Slater, 2018). So verstehen manche Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler unter mentaler Immersion das Gefühl, in die virtuelle Welt eingetaucht und mit ihr verschmolzen zu sein (z.B. Szabó & Gilányi, 2020). In der vorliegenden Arbeit jedoch wird Immersion als Merkmal der Technologie und Präsenzerleben als psychologisches Merkmal behandelt. Eine Beschreibung des Immersionsbegriffs ist in Kapitel 2.1 zu finden.

Hinsichtlich der Beziehung zwischen Immersion und Präsenz geht Steuer (1992) davon aus, dass Immersion als Merkmal der Technologie das Präsenzerleben als Teil der menschlichen Erfahrungswelt determiniert. Andere Autorinnen und Autoren (z.B. Mania & Chalmers, 2001; Mikropoulos, 2006) bestätigen diesen Wirkzusammenhang. In einer Metaanalyse von Cummings und Bailenson (2016) wurde die Beziehung zwischen Immersion als technische Qualität und Präsenz als psychologischer Prozess eingehend untersucht. Die Analyse von 115 Effektgrößen aus 83 Studien zeigte, dass Immersion und Präsenzerleben mit einer Korrelation von $r = .32$ lediglich mittelstark zusammenhängen. Technische Charakteristika scheinen demnach zwar bedeutsam positiv mit Präsenzerleben zusammenzuhängen, jedoch gibt es einen großen Anteil unaufgeklärter Varianz. Hofer (2019) sowie Dengel und Mägdefrau (2018) gehen in diesem Zusammenhang davon aus, dass das Erleben von Präsenz keineswegs durch eine Technologieform an sich entsteht, sondern vielmehr durch zugrundeliegende motivationale, kognitive und affektive Prozesse während der Rezeption.

Sheridan (2000) beschäftigte sich ebenfalls mit Faktoren, die Einfluss auf das Präsenzerleben in VR nehmen und schlug drei Arten von Determinanten der Präsenz vor. Erstens, das Ausmaß der dargebotenen sensorischen Informationen, was in der vorliegenden Arbeit unter dem Konzept der Immersion verstanden wird. Zweitens, das Ausmaß an Kontrolle, die man über die Sensoren in der Umgebung hat. Drittens, das Ausmaß, in dem die Umgebung und ihre Objekte verändert werden können. Dalgarno und Lee (2010) benennen eine weitere Determinante von Präsenz, nämlich die Repräsentationsgenauigkeit. Damit gemeint ist, wie realistisch und authentisch die VR-Umgebung dargestellt ist und wie glatt die Übergänge von Sichtfeldveränderungen verlaufen.

Häufig wird zwischen physikalischer Präsenz, also dem Gefühl an einem anderen Ort lokalisiert zu sein, sozialer Präsenz, dem Gefühl mit anderen virtuellen oder realen Akteuren dort zu sein, und Selbst-Präsenz, dem Gefühl, tatsächlich als Individuum dort vertreten zu sein, unterschieden (z.B. Bailey et al., 2012; Lee, 2004; Makransky, Lilleholt & Aaby, 2017).

Der Zusammenhang zwischen Präsenzerleben in VR und Lernen wurde bereits in einigen Studien untersucht. Aufgrund der angenommenen Zusammenhänge zwischen Immersion und Präsenz, gehen viele Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler davon aus, dass der Einsatz von Technologien, denen eine hohe Immersion zugeschrieben wird (z.B. HMDs) zu mehr Präsenzerleben führt als der Einsatz von als wenig immersiv beschriebenen Technologien (z.B. Laptop-basierte VR) (z.B. Shou et al., 2019). In einer Studie von Leder et al. (2019) absolvierten Studierende ein Sicherheitstraining zur Verwendung einer Bohr-

maschine, entweder in einem CAVE oder anhand einer Powerpoint-Präsentation. Die Probanden im CAVE erlebten bedeutsam mehr Präsenz als Probanden in der Kontrollgruppe. Hinsichtlich des Wissens zum Sicherheitsverhalten zeigten sich jedoch keine Gruppenunterschiede. Auch Schroeder et al. (2017) fanden in einer Studie, in der die Fertigkeit zur Installation eines Stromgenerators im Fokus stand, keinen Einfluss des Präsenzerlebens auf die Resultate in einem post hoc durchgeführten Wissenstest. Ein anderes Ergebnis zeigte sich in einer Untersuchung von Stevens und Kincaid (2015). Sie verglichen im Rahmen eines militärischen Sicherheitstrainings HMD-basierte VR mit einer Desktopanwendung und wiesen nach, dass unter dem HMD bedeutsam mehr Präsenz erlebt wurde und auch die Performanz in einer nachfolgenden Schießübung besser war als am Desktop. Auch Krokos, Plaisant und Varshney (2018) zeigten in einer Studie, in der es um räumliches Erinnerungsvermögen ging, dass Probanden unter einem HMD signifikant mehr erinnerten als Probanden, die eine vergleichbare Desktopanwendung nutzten. Weitere Untersuchungsergebnisse deuten ebenfalls darauf hin, dass das Erleben von Präsenz sich positiv auf Lernprozesse auswirkt (Dengel & Mägdefrau, 2020; Roy & Schlemminger, 2014; Steed et al., 2016) und zwar insofern, dass ein höheres Präsenzerleben eine stärkere Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf lernrelevante Reize bedingt. In der Literatur finden sich jedoch auch entgegengesetzte Befunde. Makranksy, Terkildsen und Mayer (2019b) beispielsweise konnten einen negativen Zusammenhang zwischen Lernen und Präsenzerleben nachweisen. Biochemische Prozesse wurden entweder über desktopbasierte- oder über HMD-basierte VR vermittelt. Unter HMDs wurde zwar bedeutsam mehr Präsenz erlebt. Die Lernresultate waren jedoch teilweise schlechter als am Desktop. Vermutungen gehen in die Richtung, dass ein hohes Präsenzerleben negative Auswirkungen auf Aufmerksamkeits- und Verarbeitungsvorgänge unter anderem durch Distraction durch viele lernirrelevante Details oder hohes Arousal hat.

Zusammenfassend betrachtet ist die Befundlage nicht eindeutig, wenn auch ein Großteil der Studienergebnisse dafürspricht, dass mehr Präsenzerleben das Lernen in VR unterstützen kann. Die vorliegende Arbeit widmet sich daher der Erforschung der mediierenden Wirkung von Präsenzerleben auf Lernerfolgsmaße.

Präsenzerleben als latentes Konstrukt ist nicht direkt erfassbar. Daher beruhen gängige Erfassungsmethoden auf subjektiven und retrospektiven Berichten, meist in Form von Fragebögen (Makranksy et al., 2017; Volkmann et al., 2018; Witmer & Singer, 1998). Die Güte solcher Messungen wird jedoch in Frage gestellt und physiologische Maße (z.B. EKG)

oder Verhaltensbeobachtungen gefordert (Freeman et al., 1999; Sanchez-Vives & Slater, 2005).

2.2.1.4 Erleben von Flow in VR

Das Präsenzerleben in VR korreliert mit dem *Erleben von Flow* in VR (Weibel & Wissmath, 2011; Zinn, Guo & Sari, 2016). Unter Flowerleben wird verstanden, dass eine Person eine Tätigkeit als beglückend erlebt. Die Person nimmt dabei keine oder kaum eine Trennung zwischen sich und der Tätigkeit wahr (Csikszentmihalyi, 1997). Des Weiteren automatisiert sich der Ablauf der Handlung und die Handlung wird meist schneller und effektiver ausgeführt. Ein weiteres Merkmal des Flowerlebens ist der Verlust des Zeitgefühls (Rutrecht et al., 2021). In der pädagogischen Psychologie wird Flowerleben auch als leistungsrelevante Komponente der Lernmotivation klassifiziert und als motivationssteigernd beschrieben (Engeser et al., 2005). Demzufolge ist Flow eine positive Emotion in Form intrinsischen Belohnungsempfindens (Sherry, 2004; Voiskounsky, Mitina & Avetisova, 2004).

Flowerleben ist außerdem abhängig von der Passung zwischen dem Individuum und der Aufgabe. Demnach kann sich Flow nur dann einstellen, wenn die handelnde Person weder unterfordert noch überfordert ist (Csikszentmihalyi, 1997). Eine VR-Lernanwendung sollte dementsprechend ein ausgewogenes Verhältnis zwischen den Fähigkeiten des Lernenden und den konkreten Lernanforderungen anstreben.

Rheinberg, Vollmeyer und Engeser (2003) betrachten Flowerleben als multidimensionales Konstrukt, das hauptsächlich aus den Facetten glatter automatisierter Verlauf und Absorbiertheit besteht. Gemeint sind das Fließen von Handlungsketten und das völlige Aufgehen in einer Tätigkeit. Basierend auf diesen Facetten entwickelten Rheinberg et al. (2003) einen Fragebogen zur Erfassung des Konstrukts.

Auch das Erleben von Flow wird mit dem Erfolg einer VR-Lernmaßnahme in Verbindung gebracht. In einer Studie von Bodzin et al. (2021) erkundeten Schülerinnen und Schüler in VR die Wassereinzugsgebiete des Flusses ihrer Stadt. Sie berichteten bedeutsam mehr Flow erlebt und mehr gelernt zu haben. Eine Vergleichsgruppe wurde nicht implementiert. In einer weiteren Studie von Tai et al. (2022) wurde erneut keine Kontrollgruppe eingesetzt. 143 Technikstudierende wurden in VR hinsichtlich der Pflege von Autokarosserieteilen geschult. Die in einem post hoc Test erfassten prozeduralen Fertigkeiten konnten signifikant durch das Erleben von Flow in der VR-Umgebung erklärt werden. Eine

weitere Studie von Rutrecht et al. (2021) untersuchte 100 Testpersonen, die ein leistungsorientiertes Rhythmus-Spiel unter einem HMD oder am Desktop spielten. Die Testpersonen unter einem HMD gaben im Vergleich zu denen am Desktop an, ein stärkeres Gefühl von Präsenz erlebt zu haben. Das Spielergebnis konnte zudem bedeutsam durch das Erleben von Flow erklärt werden. Hinsichtlich Flow unterschieden sich die Gruppen jedoch nicht.

Insgesamt liegen noch wenig empirische Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen Flowerleben in VR und Lernparametern vor. Daran knüpft die vorliegende Arbeit an.

2.2.2 Herausforderungen von VR als Bildungstechnologie

Mit VR als Bildungstechnologie gehen einige Herausforderungen einher, die den Einsatz in der Praxis hemmen. Im Bereich der Grund- und weiterführenden Schule finden sich bislang nur wenige Studien zu VR (Maas & Hughes, 2020). Dies mag an ethischen, pädagogischen, medizinischen, didaktischen sowie technischen Bedenken, besonders bei jüngeren Schülerinnen und Schülern, liegen (Zender et al., 2022). In Schulen der beruflichen Bildung kommen VR-Lernanwendungen eher zum Einsatz (Merchant et al., 2014), beispielsweise mit dem Ziel, den Aufbau großer technischer Systeme wie Züge, Flugzeuge oder weitere industrielle Anlagen zu vermitteln (Köhler, Münster & Schlenker, 2013) oder mit dem Ziel, prozedurale Fertigkeiten, für die es im Berufsalltag zu wenig Trainingsmöglichkeiten gibt, zu festigen (Zender et al., 2019).

Hellriegel und Cubela (2018) betonen, dass VR-Lernanwendungen nur dann effizient in Bildungskontexten implementiert werden können, wenn der Einsatz in pädagogisch-didaktische Konzepte, technologische Konzepte sowie in Prozesse der Organisations- und Personalentwicklung eingebettet ist. Für die Bildungspraxis relevante pädagogisch-didaktische Konzepte, die einen Einsatz von VR handlungsweisend unterstützen, fehlten lange (Martin-Gutierrez et al., 2017). Seit einiger Zeit werden jedoch praxisnahe, handlungsleitende und evidenzbasierte Einsatz- sowie Gestaltungskriterien für VR-Lernumgebungen entwickelt (z.B. Chen & Teh, 2013; Dengel et al., 2021; Mulders, Buchner & Kerres, 2020). Diese müssen zukünftig in verschiedenen Bildungskontexten auf ihre Praktikabilität hin überprüft und in mehreren Iterationen weiterentwickelt werden, um handlungsweisend für die Praxis sein zu können. Neben pädagogisch-didaktischen Konzepten fehlt es an technologischen Konzepten (z.B. im Hinblick auf die Anschaffung und Wartung von

Hardware) und an Konzepten für die Organisations- und Personalentwicklung (z.B. Mitarbeiterschulungen) (Hellriegel & Cubela, 2018).

In den nachfolgenden Kapiteln sollen verschiedene für die vorliegende Arbeit relevante Herausforderungen, die mit dem Bildungsmedium VR assoziiert werden, im Forschungskontext näher erläutert werden.

2.2.2.1 Kognitive Belastung in VR

In den Abschnitten 2.2.1.3 und 2.2.1.4 wurden bereits die Lernprozessvariablen Präsenz- und Flowerleben als Determinanten des Erfolgs von VR-Lernanwendungen diskutiert. Hinsichtlich der Herausforderungen, die mit Lernen in VR einhergehen, sollten aus einer lernpsychologischen Perspektive heraus auch diejenigen latenten Prozesse, die während einer VR-Erfahrung passieren, thematisiert werden, die für das Lernen in VR möglicherweise hinderlich sind.

Das Konstrukt der *kognitiven Belastung* wurde bereits mehrmals im Rahmen dieser Arbeit genannt und soll an dieser Stelle explizit eingeführt werden. Die Cognitive Load Theory (CLT; z.B. Sweller, 2020) und die Cognitive Theory of Multimedia Learning (CTML; z.B. Mayer, 2005) beschreiben, wie kognitive Überlastung entsteht, wenn die beim Lernen zu verarbeitenden Informationen die begrenzte menschliche Arbeitsgedächtniskapazität übersteigen. Kognitive Belastung wird durch die kognitiven Anforderungen einer Lernaufgabe verursacht. Dabei ist kognitive Belastung ein vielschichtiges Konstrukt, welches sich aus intrinsischer, extrinsischer und lernrelevanter Belastung zusammensetzt (Andersen & Makransky, 2021; Kalyuga 2011; Sweller, 2020). Die intrinsische Belastung wird durch die Anzahl der Elemente, die gleichzeitig im Arbeitsgedächtnis verarbeitet werden müssen und durch das vorhandene Fachwissen des Lernenden bestimmt (Van Merriënboer & Sweller, 2005). Extrinsische Belastung hängt von der Gestaltung der Lernaufgabe ab und davon, wie Informationen dem Lernenden präsentiert werden. Ist das Lernmaterial inadäquat gestaltet, sind zur Verarbeitung zusätzliche Arbeitsgedächtniskapazitäten nötig. Dann ist die extrinsische Belastung hoch, was den Kompetenzerwerb beeinträchtigen kann. Andersen und Makransky (2021) unterteilen extrinsische Belastung nach den Ursachen, die eine solche lernirrelevante Belastung hervorrufen können, in Umgebung, Instruktionen und Interaktionen. Die lernrelevante Belastung entsteht durch tiefergehende kognitive Verarbeitungsprozesse, die während des Lernens stattfinden. Im Rahmen der CLT (z.B. Sweller, 2020) und CTML (z.B. Mayer, 2005) wird gefordert, Lernmaterialien so zu gestalten und so zu begleiten, dass

die extrinsische Belastung minimal ist, damit so frei verfügbare Arbeitsgedächtniskapazitäten für konstruierende Lernaktivitäten genutzt werden können.

Eine Reihe von Studien haben nachgewiesen, dass die kognitive Belastung eine wichtige Komponente für das Verständnis von Lernprozessen in VR darstellt (z.B. Huang et al., 2020; Moreno & Mayer 2002; Parong & Mayer, 2021). Der aktuelle Forschungsstand legt nahe, dass das Lernen in VR zu einer höheren extrinsischen Belastung führt als das Lernen mit anderen Bildungstechnologien. Letzterer Befund unterstreicht die Bedeutung der Berücksichtigung der kognitiven Belastung bei der Entwicklung und der didaktischen Gestaltung von VR-Lernanwendungen.

Einige Studien haben sich bereits mit der kognitiven Belastung in VR-Lernumgebungen beschäftigt. In einer Studie von Makransky et al. (2019b) wurden VR-Lerninhalte des Faches Biologie entweder unter einem HMD oder auf einem Bildschirm präsentiert. Für die HMD-Bedingungen war eine geringere Lernleistung bei gleichzeitig höherer kognitiver Belastung, welche objektiv über Hirnstromaktivität gemessen wurde, zu beobachten. Makransky et al. (2019b) schlussfolgerten, dass das Lernen unter HMDs die Lernenden möglicherweise zu sehr kognitiv beansprucht und ablenkt. Ein ähnliches Ergebnis lieferte eine Studie von Parong und Mayer (2018). VR-Inhalte über den menschlichen Körper wurden entweder über HMDs oder über Laptops dargeboten. Die Lernresultate in der Laptop-Versuchsbedingung waren signifikant besser als die der HMD-Versuchsbedingung. Auch Parong und Mayer (2018) führten dieses Studienergebnis auf erhöhte kognitive Belastung durch die Technologieform zurück.

Hinsichtlich der kognitiven Belastung sollte bei VR-Anwendungen darauf geachtet werden, welche Form der Veranschaulichung (Schwan & Buder, 2006) angesichts der gesetzten Lehr- und Lernziele indiziert ist. So erscheint es plausibel, manche Artefakte in VR abbildungstreu darzustellen, um einen Transfer in die Praxis zu erleichtern. Knöpfe und Hebel in einem VR-Flugsimulator sollten möglichst so aussehen und so zu bedienen sein, wie es auch in der Realität der Fall ist. Andernfalls kann dies Transferleistungen erschweren. Andere Artefakte (z.B. das Inventar des Cockpits) sind weniger lernrelevant. Hier kann zu Gunsten der kognitiven Belastung auf eine möglichst fotorealistische Darstellung verzichtet, stattdessen schematische Darstellungen gewählt und somit dem Prinzip der didaktischen Reduktion in VR nachgekommen werden (Jenewein & Hundt, 2009; Schwan & Buder, 2006).

Um die kognitive Belastung in VR zu reduzieren, wurden mehrere der im Rahmen der CTML postulierten Gestaltungsrichtlinien für Multimedia angewendet. Ziel ist es, das Lernen zu optimieren, indem das Ausmaß der extrinsischen Belastung, die durch eine Lernaufgabe erzeugt wird, reduziert und gleichzeitig die lernrelevante Belastung erhöht wird, so dass die begrenzten kognitiven Ressourcen des Lernenden für die Art von Verarbeitung genutzt werden können, die für das Lernen notwendig ist (Moreno & Mayer, 2007). Die CTML-Prinzipien der Signalisierung (Albus, Vogt & Seufert, 2021), der Modalität (Moreno & Mayer, 2002) und des vorgeschalteten Trainings (Meyer, Omdahl & Makransky, 2019) haben sich in VR als wirksam hinsichtlich der Reduktion der extrinsischen kognitiven Belastung erwiesen. Parong und Mayer (2018) untersuchten darüber hinaus das Prinzip der Segmentierung in VR. Dazu unterteilten sie eine virtuelle Simulation über den menschlichen Körper in sechs kleinere Einheiten. Im Vergleich zu einer Kontrollgruppe ohne Segmentierung war die kognitive Belastung geringer und die Lernerfolge waren größer. Diese Untersuchung weist folglich darauf hin, dass VR-Umgebungen, welche einem festen Lernpfad folgen und in sinnvolle Segmente gegliedert sind, rein explorativ angelegten VR-Szenarien hinsichtlich der intendierten Lernprozesse und Lernerfolge überlegen sein könnten. Auf die Strukturierung von VR-Lernanwendungen soll daher im nachfolgenden Abschnitt genauer eingegangen werden.

2.2.2.2 Strukturierung des Lernprozesses

Eine weitere Hausforderung liegt laut Schwan und Buder (2006) in der *Strukturierung des Lernprozesses* in VR. Gemäß Schwan und Buder (2006) profitieren Lernende von VR-Lernumgebungen vor allem dann, wenn sie dabei ein spezifisches Ziel verfolgen. Ziele können entweder explizit durch Instruktionen einer Lehrkraft oder implizit durch strukturierende Maßnahmen innerhalb der VR vermittelt werden. Als günstig erwiesen hat sich die Strukturierung einer VR-Lernerfahrung in einzelne überschaubare Segmente (Parong & Mayer, 2018), die sich in ihrer Komplexität und Schwierigkeit steigern und die durch Rückmeldungen einer Person, welche das Lernen begleitet, gesteuert werden (Lester, Stone & Stelling, 1999). In diesem Zusammenhang soll auf das Konzept der direkten Instruktion (z.B. Rosenshine, 2008) hingewiesen werden. Unter direkter Instruktion wird eine hochstrukturierte, durch die Lehrkraft gesteuerte, auf den Lernenden zentrierte, schrittweise und feedbackreiche Steuerung verstanden. Gemäß dem Konzept werden Inhalte in kleine Einheiten gegliedert, die systematisch aufeinander aufgebaut und explizit vermittelt werden. Zu den Hauptelementen der direkten Instruktion zählen die Benennung klarer Lehr- und Lern-

ziele, das Anknüpfen an vorhandenes Wissen, regelmäßige Verständnisprüfungen und Rückmeldungen (Kerres, 2018). Hattie (2009) fand in einer Metaanalyse mit über 300 Studien eine Effektstärke von $d = .59$ für die Methode der direkten Instruktion, was als mindestens mittelgroß einzustufen ist.

Im Rahmen der CTML (z.B. Mayer, 2005) wurde das mit dem Konzept der direkten Instruktion verwandte und in Kapitel 2.2.2.1 bereits erwähnte Prinzip der Segmentierung entwickelt, welches besagt, dass Individuen besser lernen, wenn eine umfassende Lerneinheit in Segmenten anstatt eines kontinuierlichen Ganzen präsentiert wird. Dieses Prinzip soll verhindern, dass eine Überforderung der Lernenden durch zu komplexes Material entsteht (Mayer, 2005; Mayer & Pilegard, 2005). Jeder Part wird vollständig dargestellt, bevor zum nächsten Part fortgeschritten wird. Die mittlere Effektstärke dieses Prinzips beträgt $d = .98$, was als großer Effekt einzuordnen ist.

Hinsichtlich der Steuerung von Lernenden sei neben dem Konzept der direkten Instruktion und dem Segmentierungsprinzip auf die Unterscheidung der didaktischen Methoden Exposition und Exploration (z.B. Kerres, 2018) hingewiesen. Bei expositorischen Methoden steht eine starke Fremdsteuerung der Lernenden im Fokus. Die Lerninhalte werden systematisch eingeführt. Die Lernenden bewegen sich entlang eines vorab definierten Lernpfades. Bei explorativen Lernszenarien werden die Lernaktivitäten von den Lernenden selbst gesteuert. Der Lernpfad wird durch die Lernenden gewählt. In einer Metaanalyse verglichen Karich, Burns und Maki (2014) explorative mit programmgesteuerten Anlagen einer Lernumgebung im Hinblick auf den Lernerfolg. Der Gesamteffekt der Steuerung durch den Lernenden gemittelt über 18 empirische Studien ist als sehr klein einzustufen und nicht signifikant. Gemäß Kerres (2018) ist keine der beiden didaktischen Methoden immer im Vorteil, sondern die Wahl ist von didaktischen Bedingungen abhängig zu machen.

Manche VR-Umgebungen sind zudem an ein Narrativ gebunden und lassen den Lernenden wenig Handlungsspielraum. Andere VR-Umgebungen sind hingegen explorativ angelegt, folgen keinem festgelegten Pfad und sind nicht in Segmente unterteilt (Schwan & Buder, 2006). Das Fehlen einer Struktur kann jedoch die Arbeitsgedächtnisbelastung erhöhen und lernrelevante Verarbeitungsprozesse einschränken (Rey et al., 2019). Um auf die von Schwan und Buder (2006) geforderte Strukturierung der Lernprozesse in VR zurückzukommen, erscheint die Steuerung von Lernenden auch für das Bildungsmedium VR von zentraler Bedeutung, jedoch noch nicht hinreichend erforscht zu sein.

2.2.2.3 Unterschiede zwischen VR-Visualisierungstechnologien

Viele Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler vermuten, dass die kognitive Belastung allein durch die Verwendung von VR-Visualisierungstechnologien erhöht ist. Aus diesem Grund liegen bereits mehrere systematische Übersichten vor, die den didaktischen Nutzen von VR-Lernanwendungen im Vergleich zu anderen traditionellen Lehr- und Lernmethoden betrachtet haben (Hew & Cheung, 2010; Jensen & Konradsen, 2018; Merchant et al., 2014). In diesen Metaanalysen wurden Studien integriert, die oftmals nur deskriptiv waren, teils rudimentäre VR-Technologien inkludierten und diese hinsichtlich des Lernerfolgs mit herkömmlichen und nicht virtuellen Methoden verglichen. Die untersuchten VR-Lernumgebungen waren bezüglich der Lernförderlichkeit gleichwertig oder traditionellen Methoden leicht überlegen. Ein klassischer Medienvergleich von grundlegend verschiedenen medialen Darstellungsformen, wie er im Rahmen der genannten Metaanalysen geschehen ist, ist jedoch nicht Ziel dieser Arbeit. Sogenannte Medienvergleichsstudien werden in der Wissenschaft zudem oft kritisiert (Clark & Mayer, 2016; Reeves, 2006). Parong und Mayer (2018) bezeichnen den Vergleich zweier medialer Methoden als „*apples-to-oranges type of comparison*“ (S. 789), da zugrundeliegende didaktische Gestaltungsaspekte ignoriert werden.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit sollen Lernprozesse und -erfolge von zwei didaktischen Methoden unter Verwendung zweier VR-Visualisierungstechnologien untersucht werden. Daher interessiert der bisherige Forschungsstand zu Lernen in VR-Umgebungen in Abhängigkeit von den verwendeten Ein- und Ausgabegeräten. Folglich werden im Zuge dieser Arbeit nicht zwei grundlegend verschiedene mediale Darstellungsformen miteinander verglichen. Vielmehr wird zwischen verschiedenen Visualisierungsformen einer einzigen Technologie differenziert.

Eine Übersicht bisheriger Forschungsarbeiten, welche untersuchten, inwiefern sich Lernerfolgsmaße hinsichtlich unterschiedlicher VR-Visualisierungstechnologien voneinander unterscheiden, ist Tabelle 1 zu entnehmen. Die Tabelle enthält sämtliche Studien einer systematischen Recherche nach Arbeiten, die VR-Visualisierungstechnologien seit 2012 im Hinblick auf Lernergebnisse experimentell untersucht haben. Es wurden nur Studien inkludiert, die HMD-VR-Visualisierungstechnologie mit Laptop-VR-Visualisierungstechnologie verglichen haben. Eine genaue Beschreibung der beiden VR-Technologien, wie sie in dieser Arbeit verstanden werden, ist in Abschnitt 2.1 zu finden.

Tabelle 1

Zusammenfassung gesichteter Studien zum Vergleich unterschiedlicher Visualisierungstechnologien (HMD vs. Laptop) in VR-Lernumgebungen

Studie	Inhalt	Vergleich	Ergebnisse
Abadia, Calvert & Dasika (2019)	Kokoda VR ²	360° Video	Wissen, Empathie: VG < HMD
Alrehaili & Al Osman (2019)	Verhalten von Honigbienen	360° Desktop-Anwendung	Wissen: VG = HMD
Barnett & Taylor (2012)	Militär: Befreiung von Geiseln	360° Desktop-Anwendung	Prozedurale Fertigkeiten: VG = HMD
Bharathi & Tucker (2015)	Zusammenbau eines Haushaltgerätes	360° Desktop-Anwendung	Lösungsdauer: VG > HMD
Buttussi & Chittaro (2018)	Flugsicherheit	360° Desktop-Anwendung	Wissenszuwachs nach zwei Wochen: VG = HMD
Freina et al. (2016)	In Your Eyes ³	360° Desktop-Anwendung	Performanz im Spiel: VG = HMD
Gutierrez et al. (2016)	Durchführen klinischer Interviews	360° Desktop-Anwendung	Wissen: VG = HMD
Klingenberg et al. (2020)	Labster ⁴ Elektronen Transport	360° Desktop-Anwendung	Erinnern, Transfer: VG = HMD
Kozhevnikov & Gurlitt (2013)	Räumliches Vorstellungsvermögen: Relation und Bewegung von Objekten	360° Desktop-Anwendung	Problemlösefähigkeit: VG < HMD
Madden et al. (2018)	Mondphasen/ Astronomie	360° Desktop-Anwendung	Wissen: VG = HMD
Makransky & Lilleholt (2018)	Labster DNA-Analyse	360° Desktop-Anwendung	Lernerfolg (subjektive Einschätzung): VG < HMD

² Krieg zwischen Japan und Australien um Papua-Neuguinea während des zweiten Weltkriegs

³ Spiel mit Aufgaben zur räumlichen Perspektivenübernahme bzw. zum räumlichen Vorstellungsvermögen

⁴ Laborsimulation

Fortführung Tabelle 1

Zusammenfassung gesichteter Studien zum Vergleich unterschiedlicher Visualisierungstechnologien (HMD vs. Laptop) in VR-Lernumgebungen

Studie	Inhalt	Vergleich	Ergebnisse
Makransky et al. (2019a)	Labster Sicherheitstraining	360° Desktop- Anwendung	Erinnern: VG = HMD Transfer: VG < HMD
Makransky et al. (2019b)	Labster Proteinexpression	360° Desktop- Anwendung	Erinnern: VG > HMD Transfer: VG = HMD
Makransky et al. (2021)	Labster DNA-Analyse	360° Desktop- Anwendung	Prozedurales Wissen, Transfer: VG = HMD Deklaratives Wissen: VG > HMD
Molina-Carmona et al. (2018)	Geometrische Figuren	360° Desktop- Anwendung	Räumliche Visualisierung: VG < HMD
Moro et al. (2017)	Anatomie/Sezieren	360° Tablet- Anwendung	Wissen: VG = HMD
Murcia-Lopez & Steed (2016)	Räumliches Vorstellungs- vermögen: Relation von Objekten	360° Desktop- Anwendung	Transfer: VG < HMD
Olmos-Raya et al. (2018)	Modulare Reise durch Menschheits- geschichte (z.B. industrielle Revolution)	360° Tablet- Anwendung	Wissen: VG < HMD
Ou, Liu & Tarng (2021)	Habitat und Verhalten eines Laubfroschs	360° Desktop- Anwendung	Vergleich Wissenstest Prä-Post: VG < HMD
Parmar et al. (2016)	Elektronische Schaltkreise	360° Desktop- Anwendung	Kognitiv: VG ≤ HMD Psychomotorisch: VG > HMD
Parong & Mayer (2018) ⁵	The Body VR ⁶	Präsentationsfolien mit Screenshots von The Body VR	Kognitiv: VG > HMD

⁵ Nur Studie 1 berücksichtigt

⁶ Interaktive Reise durch den Blutfluss des Körpers

Fortführung Tabelle 1

Zusammenfassung gesichteter Studien zum Vergleich unterschiedlicher Visualisierungstechnologien (HMD vs. Laptop) in VR-Lernumgebungen

Studie	Inhalt	Vergleich	Ergebnisse
Parong & Mayer (2021)	Kokoda VR	360° Video	Transfer: VG > HMD Erinnern: VG = HMD
Roettl & Terlutter (2018)	Jump & Run Spiel: Merkfähigkeit	360° Anwendung auf TV-Bildschirm	Erinnern: VG > HMD
Smith et al. (2018)	Dekontamination	360° Desktop- Anwendung	Erinnern, Fertigkeiten: VG = HMD
Srivastava et al. (2019)	Straßennetzwerk/Stadt	360° Desktop- Anwendung	Räumliches Vorstellungs- vermögen: VG ≥ HMD
Zhao et al. (2020)	Feldausflug in Geologie	360° Desktop- Anwendung	Erinnern: VG = HMD

Anmerkungen. VG = Vergleichsgruppe; Darstellung in alphabetischer Reihenfolge

Die in Tabelle 1 aufgeführten Studienergebnisse weisen darauf hin, dass der Einsatz von HMDs hinsichtlich der intendierten Lernprozesse und Lernerfolge wenig additionalen Nutzen gegenüber auf zweidimensionalen Bildschirmen präsentierten VR-Inhalten zu bieten scheint. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass ein Großteil der Studien die Untersuchung unidirektionaler Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge von Technologieformen auf Lernindikatoren fokussiert hat. Variablen, die die gefunden Zusammenhänge, ob signifikant oder nicht signifikant, erklären können, wurden oftmals nicht betrachtet. Nur wenige Studien beschäftigten sich demnach empirisch mit den zugrundeliegenden Faktoren, die für unterschiedliche Wirkweisen von VR-Visualisierungstechnologien verantwortlich sein können. Häufig wurden nur in den Diskussionsteilen der Studien mögliche Ursachen für gefundene oder nicht gefundene Unterschiede zwischen den VR-Visualisierungstechnologien genannt. Als Gründe für schlechtere Lernleistungen unter Verwendung von HMDs wurden fehlende Vertrautheit mit der Hardware, VR induzierte Symptome des Unwohlseins, ein höheres emotionales Arousal und eine erhöhte Arbeitsgedächtnisbelastung durch lernirrelevante Details angeführt, welche den Lernenden ablenken (z.B. Makransky et al., 2019a; Parong & Mayer, 2021; Srivastava et al., 2019). Lernerfolge durch den Einsatz von HMDs wurden mit der Eignung für bestimmte Lehr- und Lernziele begründet. Demnach seien VR-Lern-

anwendungen besonders für prozedurale Fertigkeiten, räumliches Vorstellungsvermögen und Empathie prädestiniert (z.B. Abadia et al., 2019; Srivastava et al., 2019; Zender et al., 2019).

Dem Vergleich unterschiedlicher VR-Visualisierungstechnologien widmeten sich darüber hinaus bereits einige Überblicksarbeiten. Teils sind dort die in Tabelle 1 aufgeführten Studien wiederzufinden. In einer aktuellen systematischen Literaturanalyse von Hamilton et al. (2021), welche 29 Studien umfasst, wurden unter anderem Arbeiten integriert, die HMD-basierte mit desktopbasierten VR-Lernumgebungen in Vergleich gesetzt haben. Der Großteil der in dieser Metastudie inkludierten Untersuchungen weist auf einen lernförderlichen Effekt von HMD-basierter VR hin. An den Primärstudien wird jedoch die unangemessene Erfassung von Lernerfolgen sowie eine zu starke Fokussierung auf Themen der Biologie und Physik kritisiert. Auch Wu, Yu und Gu (2020) führten eine Metaanalyse durch, in welcher sie 35 Studien integrierten, die HMD-basierte VR-Lernumgebungen mit als wenig immersiv klassifizierten (z.B. desktopbasierte VR-Umgebungen) oder traditionellen Methoden verglichen. Dabei wurde über die Studien gemittelt ein positiver, aber kleiner Effekt von $g = .24$ durch den Einsatz von HMDs eruiert. In beiden Übersichtsarbeiten wurden HMDs jedoch mit mehreren unterschiedlichen Visualisierungstechnologien verglichen und nicht ausschließlich mit desktopbasierter VR, wie es in der vorliegenden Arbeit anhand von Tabelle 1 getan wurde.

Es sollte ergänzt werden, dass auch aus einer ökonomischen Perspektive der Vergleich zwischen VR-Anwendungen, die sich entweder HMDs oder Laptops bedienen, legitim erscheint. In diversen Bildungskontexten, beispielsweise in Schulen, sind HMDs nur selten und wenn in geringer Stückzahl vorhanden (Bitkom, 2017). Stellte sich heraus, dass über Laptops zugängliche VR-Lernszenarien zu vergleichbaren oder gar optimierten Lernprozessen und -ergebnissen führen, wäre dies unter ökonomischen Gesichtspunkten eine wichtige Erkenntnis. Laptops, Computer oder Tablets sind oft an Bildungsorten wie Schulen vorhanden, sodass zumindest frei verfügbare VR-Lernanwendungen unmittelbar ins Unterrichtsgeschehen integriert werden könnten. Sollte sich jedoch herausstellen, dass der Einsatz von HMDs in VR-Lernszenarien signifikant bessere Lernprozesse und -ergebnisse zur Folge hat, wäre dies ebenfalls handlungsweisend für den zukünftigen Einsatz von VR.

In diesem Zusammenhang stellt sich die zentrale Frage, hinsichtlich welcher Konstrukte sich HMD-basierte von auf Laptops basierenden VR-Lernumgebungen unterscheiden. Die sichtbaren Unterschiede der VR-Visualisierungstechnologien sind hinreichend in Abschnitt 2.1 beschrieben worden. Neben den erkennbaren Unterschieden gibt es latente Faktoren, die

als Korrelate der menschlichen Informationsverarbeitung gelten und somit das Erleben in VR modifizieren. Die bereits beschriebenen Konstrukte Präsenzerleben, Flowerleben sowie kognitive Belastung stellen mögliche Determinanten des Lernerfolgs dar. Wie oberhalb erwähnt, tauchen aber auch durch VR induzierte Symptome des Unwohlseins unter HMDs bedeutsam öfter auf als am Laptop. Dieses Phänomen soll nachfolgend beschrieben werden.

2.2.2.4 Symptome des Unwohlseins in VR

Einige Studien weisen darauf hin, dass in Zusammenhang mit der Nutzung von VR während oder als direkte Folge einer VR-Erfahrung Symptome des Unwohlseins (z.B. Schwindel, Übelkeit) auftreten können (Curry et al., 2020; Kim et al., 2018; Munafo, Diedrick & Stoffregen, 2017). Häufig wird in diesem Zusammenhang auch von Motion Sickness, Cyber Sickness oder von VR Sickness gesprochen. Die Begriffe werden jedoch nicht trennscharf benutzt (Hellriegel & Cubela, 2018). Eine Vielzahl von Symptomen, die mit visuellen und vestibulären Störungen assoziiert sind, werden zusammengefasst. Jenewein und Hundt (2009) ordnen die Symptome den Kategorien Übelkeit, okulomotorische Beschwerden und Desorientierung zu. Die Symptome manifestieren sich auch physiologisch und sind anhand diverser Parameter (z.B. Zuckerspiegel, Herzrate, Blutdruck) messbar (Chattha et al., 2020).

Unter HMDs sind die Symptome dabei häufiger zu beobachten als an Endgeräten mit zweidimensionalen Bildschirmen (z.B. Roettl & Terlutter, 2018). Derartige Symptome des Unwohlseins können sich sowohl auf das Erleben von Präsenz (Kennedy, Drechsler & Kennedy, 2010) als auch auf Lernerfolge (Kolasinski, 1995; Srivastava et al., 2019) vermindern und sollten daher beim Einsatz von VR als Bildungsmedium berücksichtigt werden.

Die Anfälligkeit, derartige Symptome in VR zu erleben, ist für Kinder und Jugendliche höher als für Erwachsene, soll aber mit steigendem Alter sinken (Davis, Nesbitt & Nalivaiko, 2015). Ebenso ist die Wahrscheinlichkeit bei Frauen höher als bei Männern. Auch die bisherigen Erfahrungen mit VR scheinen insofern eine Rolle zu spielen, als dass die Auftretenshäufigkeit mit steigender Nutzung abnimmt (Effekt der Gewöhnung (Chattha et al., 2020)).

Zurückgeführt werden die Symptome auf Unterschiede zwischen visuell vermittelten und real vom Körper erlebten Bewegungen (Hettinger & Riccio, 1992). In VR-Umgebungen, in welchen die virtuellen Interaktionsformen den realen entsprechen und diese in Echtzeit generiert werden, sollten bedeutsam weniger Symptome erlebt werden als in VR-Umgebungen, in denen die Reaktionen zeitverzögert sind oder noch gravierender eine Person

sich nicht bewegt, die VR-Umgebung es aber tut, wie es in VR-Simulatoren der Fall ist, die beispielsweise eine Autofahrt nachahmen, in welcher der Lernende passiv bleibt. Diese Diskrepanz stört den menschlichen Gleichgewichtssinn und führt zu als aversiv erlebten Symptomen. An zweidimensionalen Bildschirmen treten diese Symptome logischerweise seltener auf, da das Sichtfeld nicht durch die VR erfüllt ist und somit eine visuelle Verankerung zur Realität bestehen bleibt (Chattha et al, 2020).

Da Symptome des Unwohlseins in VR prävalent zu sein scheinen, sollten diese beim Einsatz von VR als Bildungsmedium fortlaufend berücksichtigt werden.

2.2.2.5 Fachliches Vorwissen und technologische Vorkenntnisse in VR

Lernergebnisse sind stets abhängig von individuellen Merkmalen der Lernenden. In Bezug auf VR scheinen besonders fachliches Vorwissen und technologische Vorkenntnisse als Determinanten des Lernerfolgs kontrolliert werden zu müssen. Wenn diese unberücksichtigt bleiben, kann sich das negativ auf Lernresultate auswirken (Meyer et al., 2019; Tacgin, 2020). Dabei wird unter Vorwissen die Wissensbasis von Lernenden und unter technologischen Vorkenntnissen die bisher gesammelten Erfahrungen mit der Technologieform verstanden.

VR-Lernanwendungen bergen generell das Risiko, sich in der Vielfalt der Möglichkeiten zu verlieren (Heiß, Eckhardt & Schnotz, 2003; Schwan & Buder, 2006). Der Lernprozess in VR an sich bindet bereits Verarbeitungskapazitäten. Fehlen technische Vorkenntnisse oder das fachliche Vorwissen, werden zusätzliche Kapazitäten beansprucht, um das Lernmaterial angemessen verarbeiten zu können. Gerade bei mit VR-Visualisierungstechnologien wenig vertrauten Lernenden sowie bei gänzlich neu zu erlernenden Fachinhalten ist eine kognitive Überlastung wahrscheinlich und es empfiehlt sich der Einsatz gezielter instruktionaler Strategien, um Kapazitäten für die relevanten Lernaktivitäten zu schaffen (Jenewein & Hundt, 2009). So testeten Meyer et al. (2019) das in der CTML postulierte Prinzip des vorgeschalteten Trainings in VR, indem sie den Teilnehmenden das Bild des Aufbaus einer biologischen Zelle darboten, bevor diese in VR die Zelle und deren Bestandteile erkundeten. Es zeigten sich lernförderliche Effekte auf Erinnerungs- und Transferleistungen. Auch eine gezielte Steuerung der Lernenden scheint für Personen mit wenig Fachwissen und wenig technologischen Vorkenntnissen indiziert. Eine sequenzielle Organisation anhand eines festgelegten Lernwegs bietet sich an.

Zu ergänzen ist, dass der Einsatz bestimmter instruktionaler Hilfen für Personen mit geringem Vorwissen, sogenannte Novizen, lernförderlich sein kann, während dieselben Methoden das Lernen von Personen mit hohem Vorwissen, sogenannte Experten, nicht unterstützen oder sogar behindern. Man nennt diese Wechselwirkung Umkehreffekt der Expertise. Kalyuga und Renkl (2010) erklären diesen Effekt auf der Basis der CLT (z.B. Sweller, 2020) und der CTML (z.B. Mayer, 2005). Das Arbeitsgedächtnis von Experten wird durch den Einsatz instruktionaler Unterstützung zusätzlich belastet statt entlastet. Die Verarbeitung von redundanten Informationen kann Lernprozesse stören. Ein hoher Grad an Expertise schränkt somit den Einsatzbereich instruktionaler Methoden ein. Viele der im Rahmen der CTML (z.B. Mayer, 2005) formulierten Gestaltungsempfehlungen wirken lernförderlich bei Novizen, während sie auf Experten einen niedrigen, keinen oder sogar negativen Effekt aufweisen (Kalyuga & Renkl, 2010).

Daher sollen in dieser Untersuchung sowohl das fachliche Vorwissen als auch die technologischen Vorkenntnisse hinsichtlich des Bildungsmediums VR als Kontrollvariablen erfasst werden, um Wechselwirkungen mit den eingesetzten didaktischen Methoden zu ermitteln. Hinsichtlich der Strukturierung des Lernprozesses profitieren erfahrene Lernende mit Vorwissen wahrscheinlich eher von Lernszenarien, welche die Exploration fördern, während expositionsbasierte Lernszenarien für unerfahrene Lernende ohne Vorwissen eher geeignet sind. Letztere Annahmen sollen im Rahmen der vorliegenden Arbeit empirisch überprüft werden.

2.2.3 Effizienz von VR als Bildungstechnologie

Nachdem in den letzten beiden Kapitel 2.2.1 und 2.2.2 Potenziale und Herausforderungen von VR als Bildungstechnologie herausgearbeitet wurden, erweitert das Kapitel 2.2.3 den bisher gelegten Fokus, indem VR und seine Charakteristika nicht länger nur für sich betrachtet werden. Vielmehr wird der Einsatz von VR in Bildungssettings anhand der nötigen Aufwendungen kritisch reflektiert und mit anderen Bildungstechnologien in Vergleich gesetzt.

In der Bildungspraxis interessiert vor allem die Effizienz von Lehr- und Lernangeboten, welche mit Bildungstechnologien angereichert werden. Dabei wird die Effektivität bzw. die Wirksamkeit eines Angebots, also inwieweit Lehr- und Lernziele durch das Angebot erreicht werden können, im Hinblick auf den erforderlichen Einsatz von Ressourcen bewertet. Demnach setzen Bildungsinstitutionen Bildungstechnologien nicht per se ein, weil dieser

Technologie ein bestimmter Effekt zugeschrieben wird. Stattdessen wird abgewogen, wie sich der Effekt zu dem Aufwand, der mit Konzeption und Durchführung verbunden ist, verhält (Kerres, 2018). Für die Bildungstechnologie VR gilt daher, alle Effekte, ob lernförderlich oder lernhinderlich (siehe Abschnitte 2.2.1 und 2.2.2), müssen mit allen Aufwendungen, die mit dem Einsatz von VR-Lernumgebungen assoziiert sind, in Beziehung gesetzt werden.

Die Effektivität verschiedener Bildungstechnologien ist, wie Tabelle 1 (siehe Abschnitt 2.2.2.3) exemplarisch für VR darstellen konnte, gut untersucht. Das Konstrukt der Effizienz wird hingegen seltener betrachtet. Um allerdings die Effizienz von technologiebasierten Lehr- und Lernangeboten besser verstehen und erfassen zu können, ist weitere Forschung notwendig (z.B. Massy, 2016).

Windham und Chapman (1990) unterscheiden zwecks der Effizienzbestimmung von Bildungsmaßnahmen zwischen monetären, quantitativen und qualitativen Faktoren. Des Weiteren wird differenziert zwischen unmittelbaren und langfristigen Folgen einer Bildungsmaßnahme. Die Unterteilung, wie Windham und Chapman (1990) sie vorgenommen haben, wurde in Tabelle 2 auf die Bildungstechnologie VR übertragen.

Tabelle 2

Effekte von Bildungsmaßnahmen unter Verwendung von VR-Visualisierungstechnologien (basierend auf Kerres (2018) sowie Windham und Chapman (1990))

	Ergebnis	Folgen
monetär	▪ Anschaffung von Hardware ▪ Anschaffung von Software bzw. Entwicklung von VR-Lernanwendungen ▪ Schulung von Lehrkräften ▪ Netzanbindung	▪ Wartung ▪ Instandhaltung ▪ Lizenzen ▪ eingesparte Material- und anderweitige Kosten
quantitativ	▪ Testergebnisse ▪ Zeitersparnisse	▪ Abschlussnoten ▪ Erfolg in weiterer Schul- und beruflicher Laufbahn
qualitativ	▪ inhaltliche Qualität der Bildungsmaßnahme und der Lernergebnisse	▪ Zufriedenheit ▪ Image der Bildungsinstitution

Hinsichtlich des monetären Aufwands können mit dem Einsatz von VR-Anwendungen erhebliche finanziellen Kosten einhergehen. Einerseits kann die Beschaffung der Software Gelder beanspruchen, auch wenn es teilweise kostenfreie Lernanwendungen (z.B. *Kokoda VR*, siehe Tabelle 1) gibt. Andererseits fallen durch die Anschaffung der Hardware Kosten an.

Dies ist maßgeblich davon abhängig, welche VR-Visualisierungstechnologie zur Darstellung der Inhalte gewählt wird. Für manche VR-Lernumgebungen kann auf an Bildungsinstitutionen bereits vorhandene Endgeräte (z.B. Tablets, Laptops) zurückgegriffen werden. Für andere VR-Lernumgebungen braucht es HMDs, deren Kosten sich abhängig vom Hersteller auf mehrere hundert Euro pro Stück belaufen können. Insgesamt sind die Anschaffungskosten für Hardware als sehr unterschiedlich einzuschätzen (Hellriegel & Cubela, 2018). Im Vergleich zu VR-Visualisierungstechnologien fallen für andere Bildungstechnologien (z.B. Videos) bedeutsam weniger Kosten an. Auch AR-Technologien beanspruchen wenig Gelder, wenn die Lernenden auf eigene Endgeräte zurückgreifen und frei verfügbare Bildungsmaterialien (z.B. das AR Spiel *Escape Fake*, Paraschivoiu et al., 2021) nutzen. Neben den unmittelbaren Kosten, die durch den Einsatz einer Technologie entstehen, sollten langfristige Ausgaben für die Wartung und Instandhaltung der Hardware sowie für Lizenzen für Software eingeplant werden. Letztendlich bietet VR jedoch auch die Möglichkeit Gelder einzusparen, nämlich dort, wo Lernen in der Realität mit hohem Materialverbrauch und damit Kosten verbunden ist, beispielsweise im Bereich des Fahrzeuglackierens, wo bei jedem Übungsgang Lacke und Werkstücke beansprucht werden (Zender et al., 2019) oder bei Experimenten zu chemischen Reaktionen (Schwan & Buder, 2006). Auch Ausflüge an entfernte Orte, die sich eine Bildungsinstitution unter normalen Umständen nicht leisten könnte, werden möglich (Hellriegel & Cubela, 2018).

Der Nutzen von Bildungsmaßnahmen lässt sich jedoch nicht nur durch monetäre Größen abbilden. Auch quantitative Maße sollten bei der Effizienzbestimmung berücksichtigt werden. Hierzu zählen Windham und Chapman (1990) die unmittelbaren Zeitersparnisse und Testergebnisse, die durch den Einsatz einer bestimmten Bildungstechnologie hervorgerufen werden. Zeitersparnisse ermöglichen VR-Lernanwendungen insofern, dass entfernte Orte zeitlich und örtlich flexibel erkundet werden können und es keiner zeitintensiven Exkursion der Lerngruppe bedarf (Schwan & Buder, 2006). Unmittelbare förderliche Effekte auf Testergebnisse finden sich nur dann, wenn die Wahl der Bildungstechnologie auf den zugrundeliegenden Lehr- und Lernzielen fußt. VR-Lernanwendungen, besonders solche, die HMDs nutzen, scheinen für den Erwerb prozeduraler Fertigkeiten, räumlichen Vorstellungsvermögens und Empathie geeignet zu sein (z.B. Abadia et al., 2019; Srivastava et al., 2019; Zender et al., 2019). Für den deklarativen Wissenserwerb zeigen sich oftmals keine Vorteile von VR gegenüber traditionelleren Lehr- und Lernmethoden (z.B. Jensen & Konradsen, 2018; Merchant et al., 2014). Hier würde VR keinen lernförderlichen Effekt generieren, sondern wahrscheinlich vielmehr zu messbarer kognitiver Belastung führen, die das Lernen behindert

(z.B. Makransky et al., 2019a). Hinsichtlich der unmittelbaren Lernresultate sollte VR folglich nur dann implementiert werden, wenn es die Lehr- und Lernziele erfordern. Andernfalls sollte dem Prinzip der didaktischen Reduktion nachgekommen werden und auf andere Methoden gesetzt werden (Jenewein & Hundt, 2009). Die langfristigen Folgen von Bildungsmaßnahmen sind gemäß Windham und Chapman (1990) Abschlussnoten und Erfolge in der weiteren schulischen und beruflichen Laufbahn. Bislang ist der Einsatz von VR in Bildungsinstitutionen wie Schulen noch als unsystematisch zu beschreiben. Querschnittstudien sind die Regel. Es finden sich kaum bis keine Untersuchungen zu den Langzeitwirkungen von VR als Bildungstechnologie (z.B. Maas & Hughes, 2020). Aufgrund der fortschreitenden Entwicklungen im Bereich VR lässt sich lediglich vermuten, dass vorhandene Fertigkeiten im Umgang mit VR-Technologien das Bewältigen von zukünftigen beruflichen Tätigkeitsfeldern erleichtern, weil diese zunehmend Kenntnisse im Bereich VR erfordern werden.

Die inhaltliche Qualität gilt nach Windham und Chapman (1990) als die dritte Determinante der Effizienz von Bildungsmaßnahmen. Bildungstechnologien, wie VR, wird nachgesagt, dass sie qualitativ andere Formen des Lehrens und Lernens unterstützen. Sie fördern Lernszenarien, die den Forderungen nach stärker selbstgesteuertem, flexiblem, anwendungsnahem und kooperativem Lernen entgegenkommen (Kerres, 2018). Oftmals werden in VR problemorientierte Ansätze adressiert, beispielsweise wenn das Verhalten in Notfallsituationen geprobt wird (Sankaranarayanan et al., 2018) oder als Lehrkraft angemessen auf Störungen im Schulunterricht reagiert werden soll (Huang et al., 2021). Neben den unmittelbaren Folgen gehen Windham und Chapman (1990) davon aus, dass sich als langfristige Resultate des Einsatzes von modernen Bildungstechnologien ein verbessertes Image der Bildungsinstitution und eine erhöhte Zufriedenheit bei der Zielgruppe einstellen. Laut Aichele und Schönberger (2017) setzen viele Bildungsinstitutionen VR-Lernanwendungen mit dem langfristigen Ziel ein, das Image der Institution fortschrittlicher und innovativer zu gestalten. Dass VR-Bildungstechnologien sich positiv auf Variablen der Zufriedenheit, Motivation und Akzeptanz seitens der Nutzenden auswirken, konnte ein Großteil der im Rahmen dieser Arbeit berichteten Studien zeigen (z.B. Kavanagh et al., 2017). Fraglich ist jedoch, von was für einer Dauer letztere Effekte sind.

Insgesamt scheint eine Reihe von Faktoren die Effizienz von VR als Bildungstechnologie zu determinieren. Es ist stets eine umfassende Begutachtung monetärer, quantitativer und qualitativer Faktoren mit Blick auf kurzfristige und langfristige Folgen im

Einzelfall notwendig. Dabei gilt es den Einsatz von VR im Hinblick auf die einhergehenden Potenziale und Herausforderungen (siehe Abschnitte 2.2.1 und 2.2.2) zu bewerten, aber auch andere Bildungstechnologien (z.B. Videos, AR) als angemessene Alternativen zu überdenken.

2.2.4 Theorien und Modelle zum Lernen in VR

Auch wenn sich eine zunehmende Anzahl von Studien, so ist es in den letzten Jahren zu beobachten, mit VR in Bildungskontexten beschäftigt (z.B. Liu et al., 2017; Makransky & Petersen, 2021), werden häufig weder Lernprozesse erwähnt, noch bilden Modelle oder Theorien die Grundlage für VR-Lernszenarien (Allcoat & von Mühlenen, 2018; Fowler 2015; Mikropoulos & Natsis, 2011; Savin-Baden et al., 2010). Vielmehr ist die Forschung technologiegetrieben und konzentriert sich oftmals auf Anekdoten, Fallstudien und Demonstrationen von technischen Prototypen. Es ist zu konstatieren, dass für VR kaum spezifische Modelle und Theorien zur mediendidaktischen Aufbereitung von VR-Lernanwendungen vorliegen. Das konnten auch zwei aktuelle Studien zeigen. Sowohl in einer Überblicksstudie von Radianti et al. (2020) als auch in einer Metaanalyse von Wu et al. (2020) wurde auf den Mangel an didaktischen Theorien und Modellen, die Forschung wie auch Praxis rund um die Bildungstechnologie VR handlungsweisend begleiten, hingewiesen. Die Untersuchung von Radianti et al. (2020) konnte zudem zeigen, dass bisherige Studien eher technische Konstrukte und weniger Lernprozesse und Lernergebnisse forcierten. Bei 70% der 38 inkludierten Studien wurde keine Lerntheorie als Basis benannt. Es bedarf folglich empirischer Forschung zur Entwicklung von Designprinzipien, da sich der didaktische Nutzen nicht durch die Technologie selbst, sondern durch ein angemessenes didaktisches Design ergibt (Kerres, 2018). Loke (2015) moniert, dass empirische Forschung in den kommenden Jahren aufzeigen muss, wie Kompetenzerwerb sinnvoll durch VR unterstützt werden kann, sodass messbare Lerneffekte erzeugt werden.

In jüngster Zeit entstehen jedoch theoretische Modelle zum Lernen in VR (Dengel & Mägdefrau, 2020; Makransky & Petersen, 2021; Mulders et al., 2020). Diese drei Theorien fokussieren weniger technische Aspekte des Mediums, sondern eher die zugrundeliegenden Lernprozesse. Andere Modelle, die sich mit VR und Lernen beschäftigen, sind in den nachfolgend beschriebenen Modellen bereits inkludiert (z.B. Dalgarno & Lee, 2010; Fowler, 2015) oder forcieren andere relevante Faktoren wie institutionelle Rahmenbedingungen, die Rolle von Lehrkräften, die Zuordnung zu übergeordneten Lerntheorien oder Sicherheits- und ethische Bedenken (Emihovich, Xu & Arrington, 2020; De Freitas et al., 2010; Quintana & Fernández, 2015; Southgate et al., 2019). Da der Fokus der vorliegenden Arbeit auf latenten

lernpsychologischen Prozessvariablen liegt, sollen im Folgenden das Cognitive Affective Model of Immersive Learning (CAMIL) von Makransky und Petersen (2021), das Educational Framework for immersive Learning (EFiL) von Dengel und Mägdefrau (2020) sowie das Meaningful immersive VR Learning (M-iVR-L) Modell von Mulders et al. (2020) im Detail beschrieben werden. Die drei Modelle, besonders das CAMIL, dienen als Basis für das Forschungsdesign und die darauf aufbauende experimentelle Studie der vorliegenden Arbeit.

2.2.4.1 Cognitive Affective Model of Immersive Learning (CAMIL)

Das CAMIL von Makransky und Petersen (2021) ist grundlegend für die vorliegende Arbeit und soll daher nachfolgend besonders detailliert beschrieben werden. Abbildung 2 visualisiert die Modellkomponenten und deren Wirkzusammenhänge.

Makransky und Petersen (2021) haben den Anspruch, die für das Lernen in VR wichtigsten Einflussfaktoren zu identifizieren. Dafür nehmen sie Bezug auf das Modell von Lee et al. (2010), das VR als Technologie auf zweidimensionalen Bildschirmen betrachtet, und auf weitere Modelle (z.B. Salzman et al., 1999). Makransky und Petersen (2021) räumen ein, dass ihr Modell der Fülle an möglichen Wirkgrößen nicht gerecht werden kann. Das Rahmenmodell bezieht sich zudem ausschließlich auf immersive VR, worunter mindestens der Einsatz von HMDs verstanden wird.

Makransky und Petersen (2021) betonen, dass sie im Sinne von Clark (1994) und Kozma (1994) davon ausgehen, dass ein Medium per se keinen lernförderlichen Effekt generieren kann. Reine Medienvergleichsstudien seien demnach konfundiert bzw. verzerrt, weil sie die zugrundeliegenden didaktischen Methoden nicht berücksichtigen. Im CAMIL werden folglich keine direkten Effekte von Visualisierungstechnologien auf das Lernen untersucht, sondern vielmehr die von didaktischen Methoden, die bei VR-Lernanwendungen implementiert wurden. Demnach werden im Modell Wechselwirkungen zwischen Medien und Methoden angenommen.

Es wird zudem postuliert, dass VR dann von Vorteil sein kann, wenn die Lehr- oder Lernziele erfordern, dass das Präsenzerleben und bzw. oder die Handlungsfähigkeit, also das Gefühl, die eigenen Handlungen generieren und kontrollieren zu können (Moore & Fletcher, 2012), groß sein sollen. Das Konstrukt Präsenz und dessen Zusammenhänge mit Lernen sind in Abschnitt 2.2.1.3 im Detail beschrieben. Die beiden Faktoren Präsenz und Handlungsfähigkeit werden als Affordanzen bezeichnet. Sie resultieren zu unterschiedlichen Anteilen

aus den technischen Merkmalen eines Mediums, nämlich Immersion (siehe Abschnitt 2.1), Kontrollfaktoren und Repräsentationsgenauigkeit. Für die Kontrollfaktoren sind das Ausmaß an Kontrolle bzw. an Freiheitsgraden, die Promptheit der Reaktionen in VR und die Art der Kontrolle relevant (Witmer & Singer, 1998). Repräsentationsgenauigkeit meint den Grad an Realismus, Konsistenz von Objektverhalten und die glatten Übergänge zwischen Blickfeldveränderungen (Dalgarno & Lee, 2010). Makransky und Petersen (2021) gehen in ihrem Modell davon aus, dass hohe Immersion, hohe Kontrolle und hohe Repräsentationsgenauigkeit die Wahrnehmung von Präsenz und Handlungsfähigkeit in VR verstärken.

Im nächsten Modellschritt beeinflussen die Affordanzen sechs kognitive und affektive Faktoren, nämlich Interesse, Motivation, Selbstwirksamkeit, Embodiment, kognitive Belastung und Selbstregulation. Interesse meint hier situationales Interesse und ist eine kurzfristige und affektive Reaktion, die durch die VR-Erfahrung ausgelöst wird (Hidi & Renninger, 2006). Motivation, genauer intrinsische Motivation, bezieht sich auf das Ausüben einer Tätigkeit und die damit verbundene Befriedigung (Deci & Ryan, 1985). Selbstwirksamkeit beinhaltet die Fähigkeiten, die eine Person sich selbst zuschreibt, um Lern- oder anderweitige Ziele zu erreichen (Schunk & DiBenedetto, 2016). Embodiment impliziert die Wahrnehmung, einen Körper zu besitzen, mit dem mit der Umwelt interagiert werden kann (Kilteni et al., 2012). Kognitive Belastung wird im Sinne der CLT (z.B. Sweller, Ayres & Kalyuga, 2011; Sweller, 2020) und der CTML (z.B. Mayer, 2005) verstanden als Ergebnis von Informationsverarbeitungsprozessen angesichts limitierter Arbeitsgedächtniskapazität. Eine genaue Beschreibung des Konstrukts ist Kapitel 2.2.2.1 zu entnehmen. Selbstregulation schlussendlich meint die Fähigkeit zur Verhaltenssteuerung und Impulsunterdrückung (Boyd et al., 2005). Makransky und Petersen (2021) nehmen an, dass die Wahrnehmung von Präsenz und Handlungsfähigkeit in VR einhergeht mit hohen Werten auf den sechs kognitiven und affektiven Faktoren.

Die affektiven und kognitiven Faktoren nehmen im letzten Modellschritt Einfluss auf diverse Parameter des Lernens in VR, nämlich Faktenwissen, konzeptuelles Wissen, prozedurales Wissen sowie Lerntransfer. Diese Lernerfolgsmaße sind prävalent, wie die Überblicksstudie von Radianti et al. (2020) zeigen konnte. Faktenwissen ist definiert als das Erinnern einzelner Elemente (z.B. Begriffsdefinitionen), während konzeptuelles Wissen komplexere Wissensstrukturen (z.B. Theorien) adressiert (Andersen et al., 2001). Beide Parameter werden oftmals als deklaratives Wissen zusammengefasst (Makransky & Petersen, 2021). Prozedurales Wissen beinhaltet Wissen über Vorgänge, das heißt, wie eine bestimmte

Handlung auszuführen ist. Prozedurales Wissen manifestiert sich dementsprechend eher im Verhalten (Andersen et al., 2001). Transferleistungen zeigen sich in neuen Situationen, in denen das erworbene Wissen angewendet werden soll (Perkins & Salomon, 1992). Makransky und Petersen (2021) postulieren, dass sich mit Ausnahme der kognitiven Belastung sämtliche kognitive und affektive Faktoren positiv auf die Lernparameter auswirken. Erhöhtes situationales Interesse unterstützt gemäß Harackiewicz, Smith und Priniski (2016) die fokussierte Aufmerksamkeit auf Lerninhalte und macht das Lernen mühelos. Ist ein Individuum motiviert, verstärkt dies ebenfalls den Fokus auf Lernprozesse und erhöht die Ausdauer des Lernenden (Dev, 1997). Erhöhte Selbstwirksamkeit führt dazu, dass der Lernende daran glaubt, über die zur Zielerreichung nötigen Fähigkeiten zu verfügen, was zu erhöhter Persistenz und vermehrter Anstrengung, gesetzte Ziele zu erreichen, führt (Eccles & Wigfield, 2002). Hinsichtlich Embodiment wird davon ausgegangen, dass durch die Integration motorischer Lernaktivitäten andere neuronale Pfade aktiviert werden und durch diese Multimodalität das Lernen verstärkt wird (Broaders et al., 2007). Embodiment scheint besonders für den Erwerb prozeduralen Wissens relevant (Kilteni, Bergstrom & Slater, 2013). Der Wirkzusammenhang zwischen kognitiver Belastung und Lernresultaten scheint komplexer. Abhängig von der Art der kognitiven Belastung kann eine Arbeitsgedächtnisüberlastung eintreten, was sich hinderlich auf das Lernen auswirken kann (siehe Abschnitt 2.2.2.1). Ausgeprägte selbstregulative Fähigkeiten können den Einsatz generativer Lernstrategien erleichtern, was sich in VR in mehreren Studien als lernförderlich erwiesen hat (z.B. Klingenberg et al., 2020; Parong & Mayer, 2018).

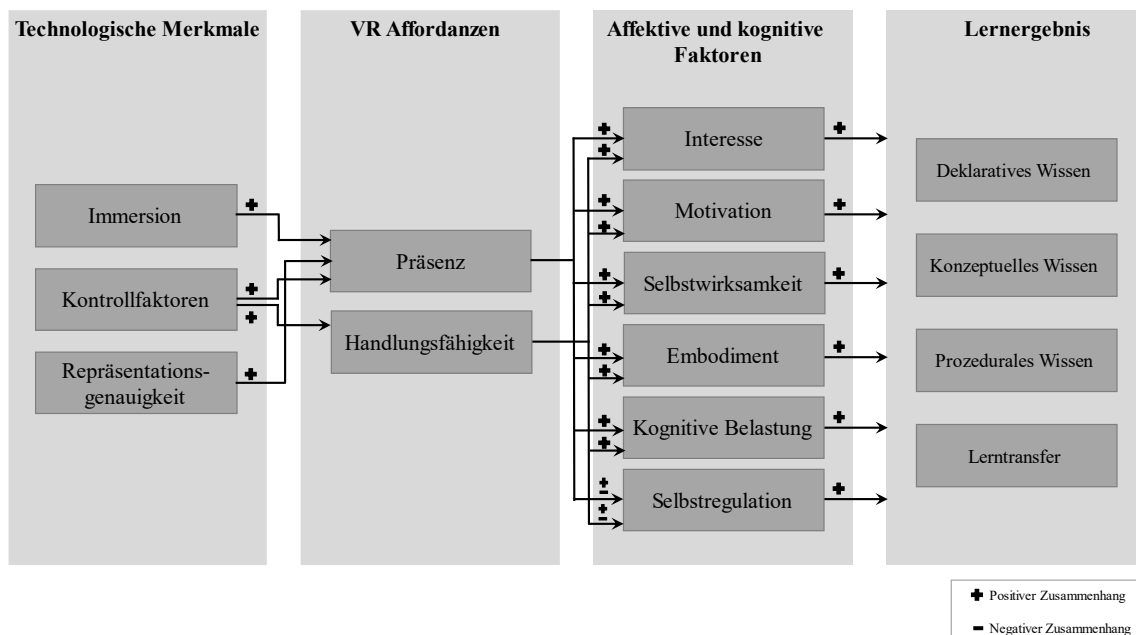
Makransky und Petersen (2021) fordern dazu auf, die in ihrem Modell postulierten aber empirisch noch wenig erforschten Wirkzusammenhänge unter Verwendung verschiedener didaktischer Methoden zu untersuchen. Dieser Forderung versucht die vorliegende Arbeit unter Verwendung zweier didaktischer Methoden bei gleichzeitiger Untersuchung diverser affektiver wie kognitiver Faktoren, auch solcher, die im CAMIL nicht berücksichtigt wurden, nachzukommen.

Kritisch reflektierend ergänzen Makransky und Petersen (2021), dass sie im CAMIL keine externen Einflussfaktoren berücksichtigt haben. Darunter fassen sie individuelle Dispositionen (z.B. Alter, Geschlecht) und weitere Charakteristika der Lernenden (z.B. Offenheit für neue Erfahrungen, Vorwissen, Familiarität mit der Technologie), die den Einfluss von VR auf das Lernen moderieren. Diese Kritik wird durch das von Dengel und

Mägdefrau (2020) entwickelte theoretische Rahmenmodell namens EFIL aufgegriffen, das im nachfolgenden Kapitel näher beschrieben wird.

Abbildung 2

Cognitive Affective Model of Immersive Learning (CAMIL; Makransky & Petersen, 2021; eigene Übersetzung)



2.2.4.2 Educational Framework for immersive Learning (EFiL)

Das 2018 von Dengel und Mägdefrau entwickelte EFiL baut auf dem Angebots-Nutzungs-Rahmenmodell von Helmke (2014) auf, das Lernen auf verschiedenen Ebenen betrachtet. Solche Rahmenmodelle sind komplex und decken zahlreiche Faktoren ab, welche Einfluss auf den Lernprozess nehmen können, von institutionellen Rahmenbedingungen über die Lehrkraft hin zu individuellen Wahrnehmungs- und Kognitionsprozessen. Dengel und Mägdefrau (2018) bedienen sich dieser Darstellungsform, um das Zusammenspiel technologischer und subjektiver Faktoren im Lernprozess innerhalb von VR-Umgebungen näher beschreiben zu können. Im Folgenden wird eine überarbeitete Modellversion aus dem Jahr 2020 vorgestellt. Eine Visualisierung des Modells ist Abbildung 3 zu entnehmen.

Der Fokus bei Dengel und Mägdefrau (2020) liegt auf den Wirkgrößen Immersion und Präsenz als zentrale Determinanten des Lernens in VR-Umgebungen. Das Verständnis von Immersion als technisch-objektive Variable und Präsenz als subjektive Variable entspricht dem Verständnis, das auch der vorliegenden Arbeit zugrunde liegt. Dengel und Mägdefrau

(2020) gehen darüber hinaus davon aus, dass zwischen Immersion und Präsenz eine Kausalbeziehung besteht. Sie verordnen Immersion in der Kategorie Lehr-/Lernmedium als Teil des Angebots an den Lernenden. Sie nehmen des Weiteren an, dass der Inhalt, das Setting aber eben auch die Immersion das Lehr-/Lernmedium charakterisieren. Das Medium wird von einer Lehrkraft unter Berücksichtigung von Lehr- sowie Lernzielen angeboten.

Im nächsten Modellschritt löst ein Lehr-/Lernmedium Wahrnehmungs- und Interpretationsvorgänge aus. Dazu zählt gemäß Dengel und Mägdefrau (2020) auch das Erleben von Präsenz. Insofern, wenn auch nicht explizit im Modell so visualisiert, beeinflusst das Ausmaß an Immersion das Ausmaß an Präsenzerleben. Die innerpsychischen Interpretations- und Wahrnehmungsvorgänge, also auch das Präsenzerleben, wiederum stehen unter dem Einfluss von interindividuell variierenden motivationalen (z.B. das Vorhandensein von Amotivation oder intrinsischer Motivation), kognitiven (z.B. das Ausmaß an fachlichem Vorwissen, das Vorhandensein von Lernstrategien) und emotionalen Faktoren (z.B. Angst oder Neugier hinsichtlich einer unbekannten Technologieform) sowie der bisherigen Erfahrungen, die Dengel und Mägdefrau (2020) unter dem Begriff Lernpotenzial zusammenfassen. Ebenso wird postuliert, dass sich die motivationalen, kognitiven und emotionalen Faktoren sowie Erfahrungen untereinander beeinflussen. Auch die Lehrkraft und das Lehr-/Lernmedium an sich determinieren das individuelle Lernpotenzial.

Im nächsten Modellschritt wirken sich die innerpsychischen Vorgänge auf die sich im Verhalten der Lernenden manifestierenden Lernaktivitäten aus, welche innerhalb und außerhalb der VR geschehen können. In Anlehnung an Helmke (2014) gehen Dengel und Mägdefrau (2020) von einer medierenden, d.h. vermittelnden, Wirkung der Wahrnehmungs- und Interpretationsvorgänge auf die Lernaktivitäten aus, wodurch bestimmt wird, ob und welche Lernaktivitäten ausgelöst werden. Die Darstellung einer Mediation gelingt im Modell von Dengel und Mägdefrau (2020) und auch in dem Modell von Helmke (2014) nicht. Anhand der üblichen Visualisierung von links nach rechts lässt sich lediglich von direkten, nacheinander geschalteten Wirkzusammenhängen und nicht von medierenden Zusammenhängen ausgehen. Es fehlt die Darstellung indirekter Effekte. Eine Verbindung zwischen Medium und Lernaktivitäten existiert im Übrigen gar nicht. Für die vorliegende Arbeit wurde Dengels und Mägdefraus (2020) Verständnis einer indirekten Beziehung von Lehr-/Lernmaterialien über innerpsychische Lernprozesse auf Lernresultate übernommen.

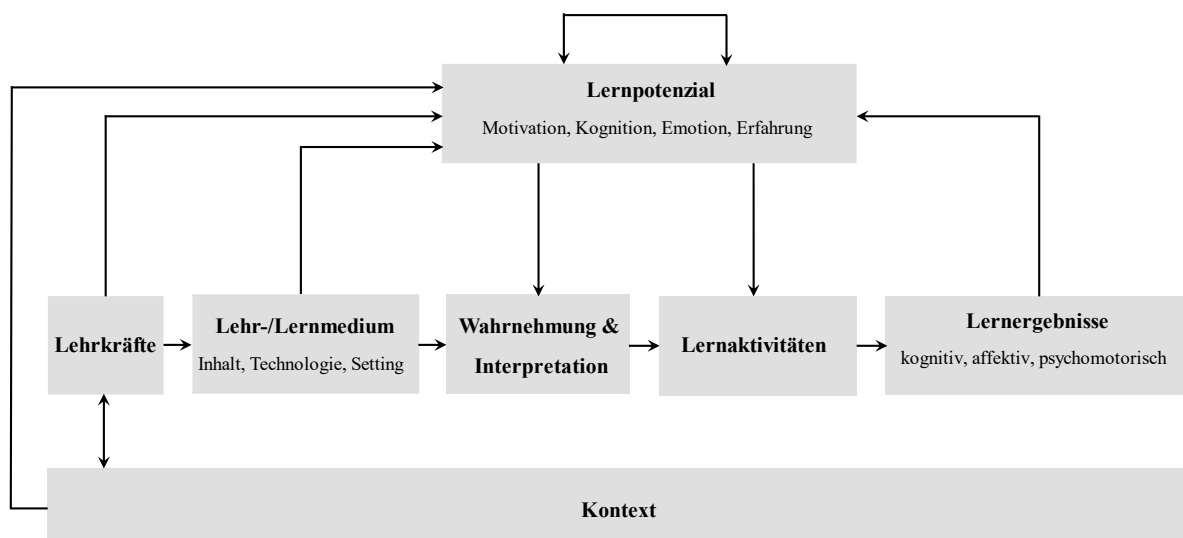
In Dengels und Mägdefraus (2020) Modell werden die Lernaktivitäten zudem durch die Faktoren des Lernpotenzials determiniert. Die Lernaktivitäten wiederum nehmen im nächsten Schritt direkt Einfluss auf die Lernergebnisse auf drei verschiedenen Ebenen.

In Anlehnung an Helmke (2014) spielen auch diverse Kontextvariablen eine Rolle für das Lernen in VR. Hier nehmen Kontextvariablen (z.B. kulturelle Herkunft, Familie) Einfluss auf die Lehrkraft sowie auf das Lernpotenzial.

Des Weiteren weisen Dengel und Mägdefrau (2018) auf Schwierigkeiten bei der Erfassung von Lernergebnissen als Resultat von VR-Lernaktivitäten hin. In der überarbeiteten Modellversion schlagen sie eine Klassifizierung in kognitive, affektive und psychomotorische Ergebnisse vor (Dengel & Mägdefrau, 2020). Für die kognitive Domäne und damit assoziierte Lehr- wie Lernziele verweisen sie auf die Taxonomie von Bloom (1956) und dessen Unterteilung in Wissen, Verstehen, Anwendung, Analyse, Synthese und Bewertung. Die Taxonomie von Bloom wurde später von Krathwohl et al. (1975) und Anderson et al. (2001) unter anderem um affektive Ziele erweitert. Auch für die psychomotorische Domäne existieren Taxonomien (Göldi, 2011). Generell gibt es für die Erfassung von Lernresultaten keine für VR spezifischen Messinstrumente, vielmehr hängt die Erfassung von Lernergebnissen von den didaktischen Zielen, den Inhalten und der Fachdisziplin ab.

Abbildung 3

Educational Framework for immersive Learning (EFiL; eigene Darstellung und Übersetzung basierend auf dem Original (Dengel & Mägdefrau, 2018) und der überarbeiteten Fassung (Dengel & Mägdefrau, 2020))



2.2.4.3 Meaningful iVR Learning (M-iVR-L) Modell

Das M-iVR-L Modell von Mulders et al. (2020) offeriert basierend auf der CTML (z.B. Mayer, 2005) und damit verbundenen Ansätzen, den aus den Theorien resultierenden Zielen für das Instruktionsdesign und den spezifischen Attributen, die das Medium VR vereint, sechs handlungsweisende Richtlinien für die Konzeptionalisierung von VR-Lernumgebungen. Das Modell ist in Abbildung 4 dargestellt. Wie Makransky und Petersen (2021) beziehen sich auch Mulders et al. (2020) auf die Gestaltung immersiver VR, was den Einsatz von HMDs impliziert.

Ausgehend von der Prämisse, dass eine hohe Immersion in VR zu einer Belastung oder gar Überlastung des limitierten menschlichen Arbeitsgedächtnisses führen kann, wird gefordert, dass VR nur dann zum Einsatz kommen sollte, wenn tatsächlich ein Bildungsproblem und gesetzte Lehr- und Lernziele adressiert sowie gleichzeitig relevante Rahmenbedingungen (z.B. Charakteristika der Zielgruppe oder der Bildungsinstitution) berücksichtigt werden (Kerres, 2018; Moreno & Mayer, 2002). Kosten und Nutzen der Implementation von VR sollten abgewogen werden. Wenn die Entscheidung zu Gunsten des Mediums VR gefallen ist, sollten jedoch bestimmte Gestaltungsprinzipien, welche Mulders et al. (2020) in ihrem Modell aufführen, bedacht werden.

Weil das Lernen in VR auch multimediales Lernen darstellt, ziehen Mulders et al. (2020) als theoretische Basis ihres Modells die CTML (z.B. Mayer, 2005; Mayer & Moreno, 1998) sowie die assoziierten Theorien der dualen Kodierung (z.B. Paivio, 1991), der kognitiven Belastung (CLT; z.B. Sweller, 2011; Sweller, Van Merriënboer & Paas, 2019) und der generativen Lernstrategien (z.B. Wittrock, 1992) heran. Im Rahmen der CTML wird gefordert, sich bei der Gestaltung von multimedialen Lernumgebungen an bestimmte Designprinzipien zu halten. Die Theorie der dualen Kodierung geht davon aus, dass menschliche Verarbeitungsprozesse über zwei Kanäle ablaufen, einen für visuelle Informationen und einen für verbale Informationen. Die CLT schließt daran an und postuliert, dass die Verarbeitungskapazität dieser Kanäle begrenzt ist. Mehr Informationen zur CLT sind in Abschnitt 2.2.2.1 zu finden. Die Theorie generativen Lernens geht davon aus, dass Lernen nur dann adäquat gelingen kann, wenn die Verarbeitung des Lernmaterials aktiv und konstruktiv ist. Aufbauend auf diesen theoretischen Modellen, werden drei Ziele des Instruktionsdesigns benannt (Mayer, 2019), die bei der Gestaltung von multimedialen Lernumgebungen beachtet werden sollten und die auch den nächsten Schritt im Modell von Mulders et al. (2020) darstellen. Das erste Ziel ist die Reduktion unnötiger kognitiver Belastung. Darunter fallen Designprinzipien der

CTML, die fordern, Distraktoren zu vermeiden, relevante Informationen räumlich sowie zeitlich zusammen zu präsentieren und wichtige Inhalte hervorzuheben. Das zweite Ziel beinhaltet, wesentliche kognitive Prozesse zu organisieren, um eine kognitive Überlastung zu vermeiden. Designprinzipien der CTML, die zur angemessenen Segmentierung von Lernmaterialien und zur Berücksichtigung des Vorwissens auffordern, fallen unter dieses Ziel. Das dritte Ziel impliziert, generative kognitive Verarbeitung zu fördern, indem beispielsweise generative Lernstrategien wie Selbstverbalisation oder Zusammenfassen integriert werden.

Werden die Postulate der CTML (z.B. Mayer, 2005) und verwandter Theorien berücksichtigt, kann Lernen im Sinne der gesetzten Ziele förderlich sein. Im Englischen wird von *meaningful learning* gesprochen und dies von *rote learning* abgegrenzt (Mayer, 2002). Rote learning beinhaltet Erinnerungsprozesse, wohingegen *meaningful learning* ein tieferes Verständnis von Wissen adressiert, das benötigt wird, um das Wissen auf neue Situationen anzuwenden. Um *meaningful learning* zu erreichen, muss Lernen aktiv, konstruktiv, intentional und authentisch sein. *Meaningful learning* beinhaltet die Kompetenzen verstehen, anwenden, analysieren, bewerten und kreieren. Um eben *meaningful learning* in VR zu ermöglichen, passen Mulders et al. (2020) einige der in der CTML (z.B. Mayer, 2005) enthaltenen Designprinzipien auf das Lernmedium VR an. Um das jedoch im Kontext VR tun zu können, müssen die Spezifika des Mediums VR bedacht werden. Daher folgen Mulders et al. (2020) bei der Charakterisierung der Technologie dem Vorschlag von Burdea und Coiffet (2003), welche VR anhand der drei Schlüsselmerkmale Immersion, Interaktivität und Imagination beschreiben. Die Konzepte Immersion und Interaktivität wurden bereits hinreichend in Kapitel 2.1 dargelegt. Imagination bezieht sich auf die menschliche Fähigkeit, sich nicht-existente Dinge vorzustellen zu können und die Simulation derer in VR anzunehmen. Burdea und Coiffet (2003) beschreiben den Imaginationsprozess auch als kreative Leistung.

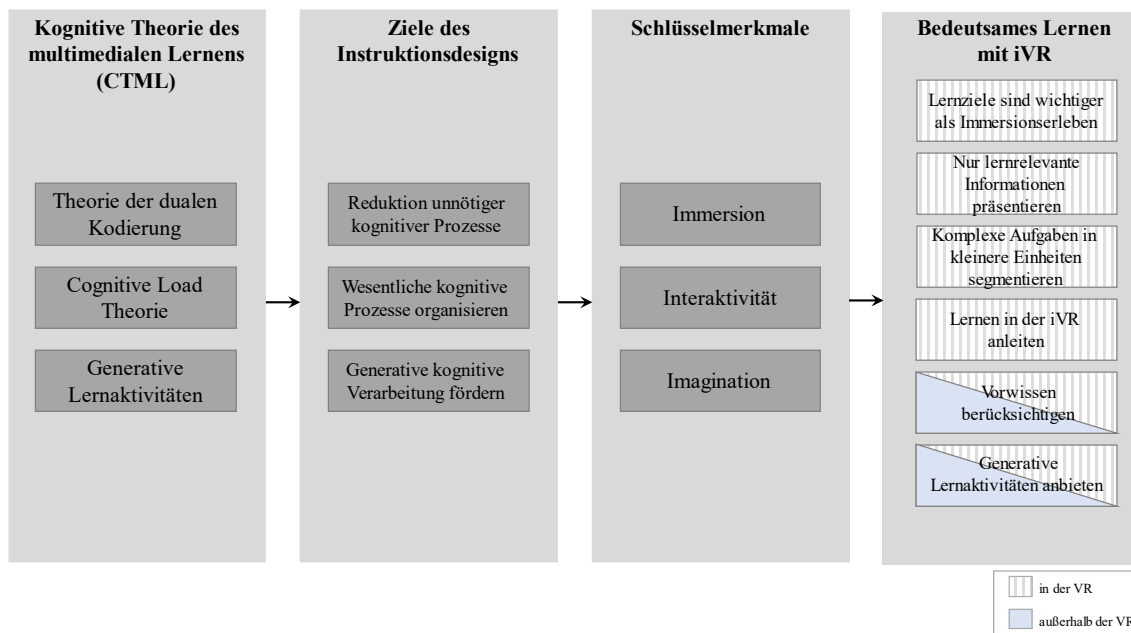
Basierend auf der CTML (z.B. Mayer, 2005) und assoziierten theoretischen Ansätzen, den Zielen des Instruktionsdesigns und den VR spezifischen Charakteristika postulieren Mulders et al. (2020) sechs forschungsbasierte Empfehlungen zur Gestaltung von VR-Lernumgebungen. Erstens, der Immersionsgrad der VR sollte an die Lehr- und Lernziele angepasst werden. So verlangen bestimmte Inhalte nach einer hohen Authentizität. Beispielsweise Glanz und Spiegelung des applizierten Lacks auf Autokarosserieteilen erscheinen für Fahrzeuglackiererinnen und Fahrzeuglackierer relevant, um ihre Leistung einschätzen zu können, und sollten daher möglichst realistisch dargestellt werden. Andere Inhalte der VR wie die Lackierkabine sind für das Lernen weniger relevant. Auf eine

fotorealistische Darstellung kann hier verzichtet werden, da unnötige Immersion das begrenzte Arbeitsgedächtnis zusätzlich belastet. Zweitens, in VR sollten relevante Interaktionen Lernprozesse unterstützen. Solche Interaktionsformen in VR, die motorischen Handlungsabläufen der Realität entsprechen, erscheinen hilfreich und erleichtern den Transfer. Rein spielerische und damit für das Lernen unnötige Interaktionen sollten vermieden werden. Generell kann das vorgeschaltete Erproben noch unbekannter Interaktionsformen in VR hilfreich sein. Drittens, komplexe Inhalte sollten in VR in kleineren Segmenten dargeboten werden, um kognitive Überlastung zu vermeiden. Viertens, das Lernen in VR sollte angemessen angeleitet werden, sei es durch eine virtuelle Lernbegleitung oder durch andere Hilfestellungen, beispielsweise das Hervorheben lernrelevanter Informationen. Fünftens, das individuelle Vorwissen von Lernenden sollte fortlaufend berücksichtigt und das Ausmaß an Unterstützung sowie die Komplexität des Materials daran angepasst werden. Sechstens, konstruktive Lernaktivitäten sollten initiiert werden, um die Wissenskonstruktion und Transferleistungen zu unterstützen. Die Empfehlungen fünf und sechs können sowohl innerhalb als auch außerhalb der VR-Umgebung realisiert werden.

Das Modell von Mulders et al. (2020) betrifft vor allem die Konzeption von VR-Lernanwendungen, was zwar für Forschung und Praxis grundlegend ist, aber nicht im Fokus der vorliegenden Arbeit liegt. Gleichzeitig berichtet das Modell aber auch über relevante innerpsychische Lernprozesse (z.B. kognitive Belastung beim Lernen in VR) und Kontextfaktoren (z.B. fachliches Vorwissen der Lernenden). Die Integration dieser Variablen in das Forschungsdesign der vorliegenden Arbeit wurde durch das Modell und die zugrundeliegende Forschung bekräftigt.

Abbildung 4

Meaningful iVR Learning (M-iVR-L) Modell (Mulders et al., 2020; eigene Übersetzung)



2.3 Ziele und Ableitung des Forschungsdesigns

Die vorliegende Arbeit intendiert vor dem Hintergrund der im zweiten Teil dieser Arbeit skizzierten theoretischen Hintergründe zu untersuchen, inwiefern VR-Visualisierungstechnologien unter Berücksichtigung zweier didaktischer Herangehensweisen geeignet sind, um das Lernen von Schülerinnen und Schülern der Mittelstufe bedeutsam zu unterstützen. Am Beispiel einer historisch relevanten VR-Umgebung, nämlich des in VR nachgebildeten Verstecks von Anne Frank in Amsterdam, werden kognitive und affektive Parameter des Lernens sowie die subjektive Bewertung der VR-Anwendung näher beleuchtet. Ein besonderer Fokus der Arbeit soll auf lernrelevanten Informationsverarbeitungsprozessen liegen, die die in VR stattfindenden Lernaktivitäten hinreichend erklären können.

Die Arbeit knüpft an das theoretische Rahmenmodell CAMIL von Makransky und Petersen (2021) an und will einige der darin postulierten Wirkzusammenhänge empirisch untersuchen. Die nachfolgende Abbildung 5 stellt das Forschungsdesign, das der vorliegenden Arbeit zugrunde liegt, dar und basiert zu großen Teilen auf der Abbildung 2, welche das Modell von Makransky und Petersen (2021) visualisiert. Inkludiert wurden darüber hinaus einzelne Aspekte der Modelle von Dengel und Mägdefrau (2020) sowie Mulders et al. (2020) (siehe Abbildungen 3 und 4).

Wie von Makransky und Petersen (2021) vorgeschlagen, wird in dieser Untersuchung Lernen in VR unter Verwendung verschiedener Technologien wie auch verschiedener didaktischer Methoden erforscht. Dabei sollen die Haupteffekte der unabhängigen Variablen, also didaktische Methode und VR-Visualisierungstechnologie, im Hinblick auf die abhängigen Variablen, also die Indikatoren des Lernens auf affektiver und kognitiver Ebene und die Bewertung der VR, untersucht werden. Als didaktische Methoden werden Exposition und Exploration einander gegenübergestellt (Kerres, 2018). A priori kann basierend auf der Studienlage nicht angenommen werden, dass eine der beiden didaktischen Methoden per se im Vorteil ist. Die Umsetzung der didaktischen Methoden orientiert sich auch an den Prinzipien der direkten Instruktion (z.B. Hattie, 2009; Rosenshine, 2008) und dem im Rahmen der CTML postulierten Gestaltungsprinzip der Segmentierung (z.B. Mayer, 2005), welches als Richtlinie auch im Modell von Mulders et al. (2020) zu finden ist. Auf die Umsetzung der didaktischen Methoden wird in Abschnitt 3.3 im Detail eingegangen. Als VR-Visualisierungstechnologie werden HMD-basierte VR und Laptop-basierte VR miteinander verglichen. Basierend auf der bestehenden Forschung (siehe Tabelle 1, Abschnitt 2.2.2.3) wird angenommen, dass HMD-basierte VR-Szenarien im Besonderen dafür geeignet sind, affektive Lehr- und Lernziele zu adressieren. Auch für die Bewertung seitens der Lernenden wird mit einer Überlegenheit HMD-basierter VR gerechnet. Für kognitive Ziele werden keine Unterschiede zwischen den Visualisierungstechnologien erwartet.

Die von Makransky und Petersen (2021) aufgeführten Modellkomponenten Präsenz und kognitive Belastung werden als Lernprozessvariablen in das Forschungsdesign inkludiert. Über die drei vorgestellten Modelle CAMIL (Makransky & Petersen, 2021), EFIL (Dengel & Mägdefrau, 2020) und M-iVR-L (Mulders et al., 2020) hinweg, haben sich das Erleben von Präsenz sowie die kognitive Belastung als relevante Wirkfaktoren für das Lernen in VR erwiesen. Basierend auf Erkenntnissen anderer Forschung (z.B. Bente et al., 2002; Bodzin et al., 2021; Kim et al., 2018; Tai et al., 2022) werden darüber hinaus das Erleben von Flow und Symptome des Unwohlseins als Lernprozessvariablen ergänzt. Zudem werden Ansätze des Modells von Dengel und Mägdefrau (2020) sowie des Modells von Mulders et al. (2020) integriert, indem sowohl technologische Vorkenntnisse als auch das fachliche Vorwissen als relevante Kontextfaktoren implementiert und auf deren moderierende Wirkungen hin kontrolliert werden. Zur Operationalisierung der Lernergebnisse wird sich an Mayers (2002) Vorstellung von meaningful learning orientiert, indem in VR erworbene Wissensstrukturen abgerufen sowie transferiert werden sollen. Neben kognitiven Maßen werden in Anlehnung an Dengel und Mägdefrau (2020) affektive Indikatoren zur Erfassung von Lernergebnissen

herangezogen. Zusätzlich wird die subjektive Bewertung der VR-Lernanwendung berücksichtigt. Basierend auf den vorliegenden Forschungsergebnissen (siehe Abschnitt 2.2.1.2 sowie Tabelle 1 in Abschnitt 2.2.2.3) werden besonders für die affektiven Lehr- und Lernziele lernförderliche Effekte durch den Einsatz von VR-Visualisierungstechnologien, im Speziellen durch HMD-basierte VR, erwartet.

Bislang liegen kaum empirische Studien zu den Annahmen der drei noch recht jungen Modelle vor. Daher soll eine empirische Überprüfung des in Abbildung 5 dargestellten Forschungsdesigns, auf welchem die vorliegende Arbeit zugrunde basiert, bedeutsam Erkenntnisse in diesem Forschungssektor generieren. Allen drei Modellen gemein ist die Darstellung von Lernen in VR als stringenten linearen Prozess. Ein Faktor beeinflusst den nächsten, der wiederum den nächsten und so weiter. Diese Darstellungsform ist zwar üblich, unterschätzt jedoch die multikausalen Beziehungen zwischen den Wirkgrößen. Das Forschungsdesign der vorliegenden Arbeit hat daher den Anspruch, die komplexen Interaktionsgefüge lernrelevanter Variablen und damit auch mediierende sowie moderierende Zusammenhänge angemessener abbilden zu können. Dazu symbolisieren unterschiedlich gestaltete Pfeile in Abbildung 5 die unterschiedlichen Wirkzusammenhänge.

Durch die Integration von Mediatorvariablen und Moderatorvariablen in das Forschungsdesign wird neben der Betrachtung von unabhängigen und abhängigen Variablen die simultane Betrachtung einer Reihe von Drittvariablen möglich. Durch die Kontrolle solcher Drittvariablen können Konfundierungen vermieden werden. Werden Einflussgrößen, die mit den unabhängigen Variablen, hier also die didaktische Methode und die VR-Visualisierungstechnologie, und abhängigen Variablen, hier also die Maße des Lernens, korrelieren, nicht kontrolliert, können nämlich sogenannte Scheineffekte entstehen. Die Schätzung der Zusammenhänge zwischen den unabhängigen und abhängigen Variablen ist bei fehlender Kontrolle relevanter Drittfaktoren verzerrt. So werden Zusammenhänge systematisch über- oder unterschätzt. Die Interpretation von Kausalität zwischen unabhängigen Variablen und abhängigen Variablen ist gefährdet. Studien, welche sich ausschließlich dem Vergleich zweier medialer Darstellungsformen widmeten, versäumten es bislang oftmals, persongebundene Variablen (z.B. fachliches Vorwissen, Erleben von Flow und Präsenz) und somit Unterschiede innerhalb der gezogenen Stichprobe hinsichtlich dieser Variablen zu kontrollieren. Dies ist besonders schwerwiegend, wenn es sich bei der Studie um kein randomisiertes Experiment handelt, bei welchem davon ausgegangen wird, dass sich persongebundene Variablen durch die zufällige Zuteilung zu den Experimentalbedingungen

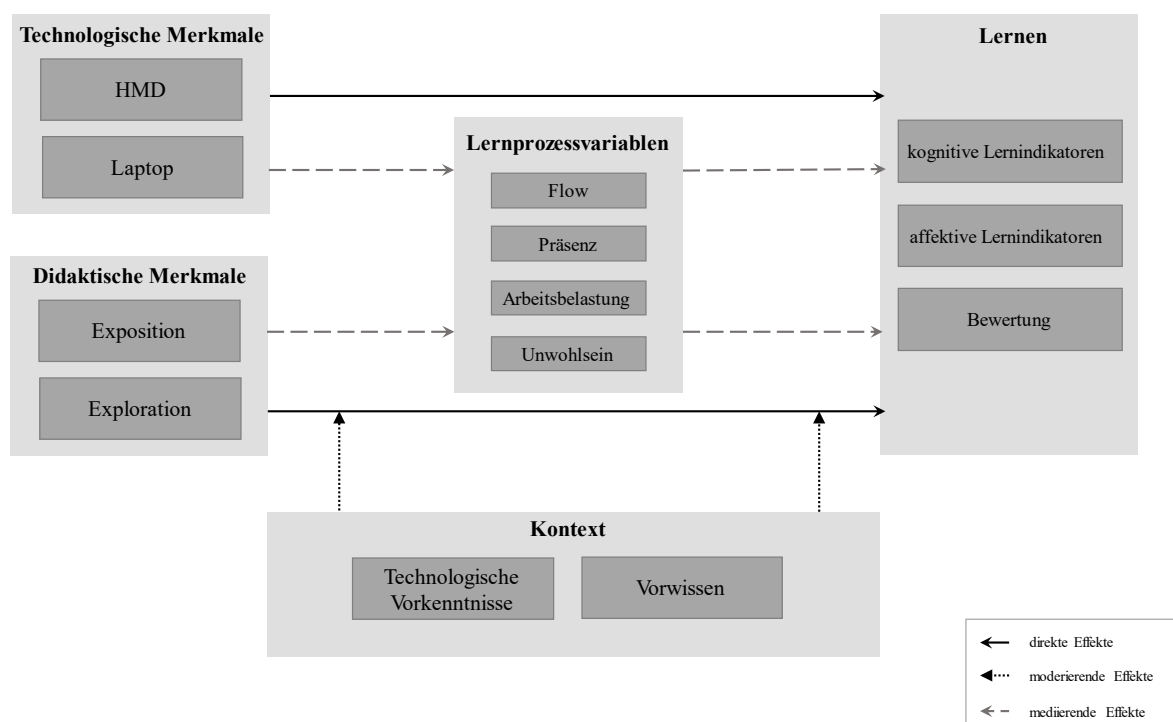
ausbalancieren (Eid, Gollwitzer & Schmitz, 2010). Werden, wie das dieser Arbeit zugrundeliegende Forschungsdesign vorschlägt, zusätzliche Variablen integriert, die basierend auf bisherigen Forschungsergebnissen mit den unabhängigen und abhängigen Variablen zusammenzuhängen scheinen, können einerseits Konfundierungen und damit verzerrte Ergebnisse vermieden und gleichzeitig systematisch zusätzliche Varianz der abhängigen Variablen aufgeklärt werden.

Zusätzliche Varianz kann darüber hinaus aufgeklärt werden, wenn nicht nur Haupteffekte der unabhängigen Variablen auf die abhängigen Variablen betrachtet, sondern auch die Wechselwirkungen zwischen den unabhängigen Variablen analysiert werden. Die Notwendigkeit der Betrachtung von Wechselwirkungen zwischen Medien und Methoden betonten bereits Makransky und Petersen (2021).

Um die im Forschungsdesign enthaltenen komplexen Wirkzusammenhänge quantitativ untersuchen zu dürfen, braucht es große Stichproben. Mindestens 25 Probanden pro Versuchsbedingung (Eid et al., 2010) sind nötig, um höhere inferenzstatistische Verfahren rechnen zu dürfen.

Abbildung 5

Forschungsdesign der vorliegenden Arbeit basierend auf den Modellen von Makransky und Petersen (2021), Dengel und Mägdefrau (2020) sowie Mulders et al. (2020)



Ziel dieser Arbeit ist es folglich, einen Beitrag zur Bildungsforschung im Sektor VR zu leisten. Die Erkenntnisse zur Wirksamkeit verschiedener VR-Visualisierungstechnologien in Bezug auf evaluative, affektive und kognitive Indikatoren können Forschung wie Praxis dienlich sein. Unter anderem bietet die Untersuchung die Möglichkeit, zu überprüfen, inwieweit VR und im Besonderen HMD-basierte VR zur Adressierung affektiver und anderer Lehr- und Lernziele geeignet ist. Des Weiteren kann untersucht werden, inwiefern die Implementation der didaktischen Methoden Exposition und Exploration in VR lernförderlich ist. Darüber hinaus will die Arbeit zukünftige Forschung dazu motivieren, die Ergebnisse unter Verwendung weiterer VR-Umgebungen, VR-Visualisierungstechnologien und didaktischer Prinzipien zu überprüfen. Aus einer lernpsychologischen Perspektive werden besonders die Erkenntnisse hinsichtlich latenter Lernprozessvariablen (z.B. das Erleben von Flow, Präsenz, kognitive Belastung in VR) interessant sein. Fundiertes Wissen über die dem Lernen in VR zugrundeliegenden Prozesse ist für den nachhaltigen und lernförderlichen Einsatz der Technologie als Bildungsmedium entscheidend.

Über die Ergebnisse der vorliegenden Einzelstudie hinaus, möchte diese Arbeit vermitteln, wie mediendidaktische Untersuchungen im behandelten Forschungssektor gelingen können. Die methodische Vorgehensweise der vorliegenden Arbeit geht dabei über die Testung von Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen, wie es in klassischen Medienvergleichsstudien üblich ist, hinaus. Medienvergleichsstudien sind, wie es Tabelle 1 (siehe Abschnitt 2.2.2.3) zeigt, jedoch prävalent. Mittels eines Forschungsdesigns, wie es in der vorliegenden Arbeit erprobt wird, lassen sich tiefergehende Erkenntnisse zu Lernen in VR generieren. Demnach will die vorliegende Arbeit auch dazu ermutigen, nicht nur direkte Implikationen des Einsatzes von VR in Bildungssettings zu untersuchen, sondern vielmehr komplexe Interaktionsgefüge mehrerer Faktoren anhand von dem in dieser Arbeit vorgeschlagenen Forschungsdesign.

Außerdem sollen die Erkenntnisse der Arbeit für die Lehr- und Lernpraxis in Bildungsinstitutionen (z.B. Schulen, Museen, Jugendzentren) von Nutzen sein, insofern, dass es sich bei der in dieser Arbeit untersuchten VR-Umgebung um ein frei zugängliches Bildungsmaterial handelt und sämtliche im Rahmen dieser Arbeit konzipierten Begleitmaterialien (z.B. Instruktionen, Aufgaben, Erwartungshorizonte) über bekannte Plattformen (z.B. *MUNDO*⁷) zur Verfügung gestellt werden.

⁷ <https://mundo.schule> (abgerufen am 21.04.2022)

2.4 Hypothesen

Im Rahmen der Untersuchung werden die unterhalb aufgeführten zentralen Hypothesen überprüft, wobei als besonders bedeutend die mediierenden und moderierenden Effekte anzusehen sind. Die Phrase Lernergebnisse meint dabei stets affektive und kognitive Lernindikatoren sowie die Bewertung der VR-Umgebung, also Zufriedenheit und Weiterempfehlung. Die Hypothesen eins bis drei überprüfen Haupteffekte, die Hypothesen vier und fünf Moderationseffekte und die Hypothesen sechs und sieben schließlich Mediationseffekte. Zur Veranschaulichung der angenommenen Wirkzusammenhänge wurde Abbildung 6 angefertigt.

- I. Die Lernergebnisse unterscheiden sich in Abhängigkeit von der Visualisierungstechnologie.
 - a. hinsichtlich affektiver Lernindikatoren: HMD > Laptop
 - b. hinsichtlich kognitiver Lernindikatoren: HMD = Laptop
 - c. hinsichtlich der Bewertung: HMD > Laptop
- II. Die Lernergebnisse unterscheiden sich in Abhängigkeit von der didaktischen Methode (Exploration $\neq$ Exposition).
- III. Wenn selbst Erfahrungen mit Diskriminierung gesammelt wurden, wirkt sich dies auf die Lernergebnisse aus.⁸
- IV. Das fachliche Vorwissen⁹ beeinflusst die Lernergebnisse in Abhängigkeit von der didaktischen Methode.
 - a. Je größer das Vorwissen, desto förderlicher für die Lernergebnisse in der Explorations-Versuchsbedingung.
 - b. Je geringer das Vorwissen, desto förderlicher für die Lernergebnisse in der Expositions-Versuchsbedingung.
- V. Die technologischen Vorkenntnisse hinsichtlich VR beeinflussen die Lernergebnisse in Abhängigkeit von der didaktischen Methode.
 - a. Je größer die technologischen Vorkenntnisse hinsichtlich VR, desto förderlicher für die Lernergebnisse in der Explorations-Versuchsbedingung.
 - b. Je geringer die technologischen Vorkenntnisse hinsichtlich VR, desto förderlicher für die Lernergebnisse in der Expositions-Versuchsbedingung.

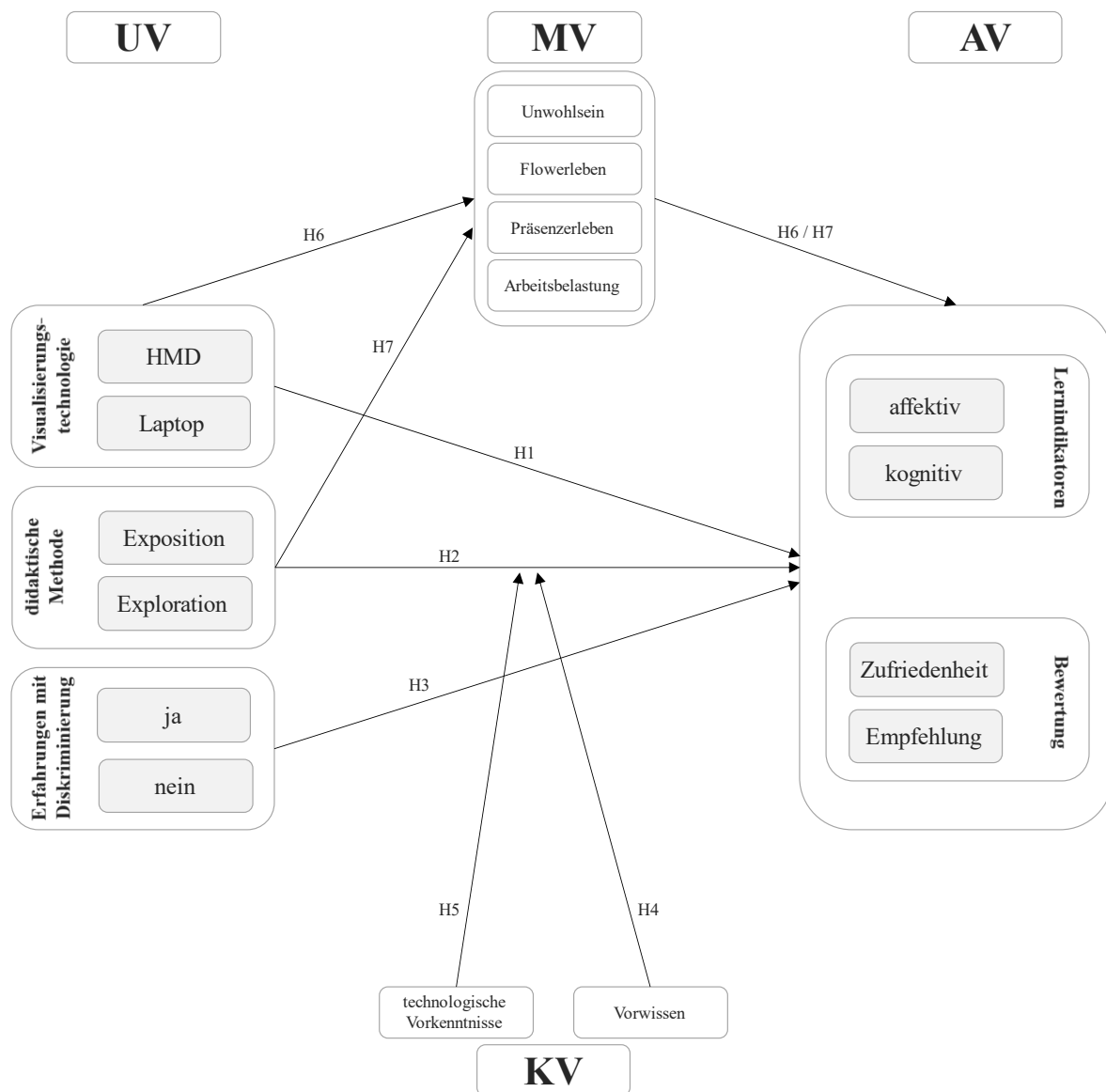
⁸ Da die in der vorliegenden Arbeit untersuchte VR-Umgebung am Beispiel der Anne Frank die systematische Diskriminierung von Jüdinnen und Juden während der NS-Zeit behandelt, wurde als zusätzliche Kontrollvariable das Vorhandensein von Diskriminierungserfahrungen in der bisherigen Lebensgeschichte der Probanden erhoben.

⁹ Die VR-Umgebung beinhaltet das Versteck von Anne Frank in Amsterdam. Vorwissen meint in dieser Untersuchung folglich die bestehende individuelle Wissensbasis zum Leben der Anne Frank im Versteck.

- VI. Lernprozessvariablen vermitteln die Zusammenhänge zwischen Visualisierungstechnologie und den Lernergebnissen.
- a. Das Präsenzerleben ist in den HMD-Bedingungen größer als in den Laptop-Bedingungen. Je höher das Präsenzerleben, desto förderlicher für die Lernergebnisse.
 - b. Das Flowerleben ist in den HMD-Bedingungen größer als in den Laptop-Bedingungen. Je höher das Flowerleben, desto förderlicher für die Lernergebnisse.
 - c. Die extrinsische Arbeitsbelastung ist in den HMD-Bedingungen größer als in den Laptop-Bedingungen. Je niedriger die extrinsische Arbeitsbelastung, desto förderlicher für die Lernergebnisse. Für lernrelevante Arbeitsbelastung ist letzterer Wirkzusammenhang umgekehrt.
 - d. Das Unwohlsein ist in den HMD-Bedingungen größer als in den Laptop-Bedingungen. Wenn Symptome des Unwohlseins erlebt werden, desto hinderlicher für die Lernergebnisse.
- VII. Lernprozessvariablen vermitteln die Zusammenhänge zwischen didaktischer Methode und den Lernergebnissen.
- a. Das Präsenzerleben ist in den Explorations-Bedingungen größer als in den Expositions-Bedingungen. Je höher das Präsenzerleben, desto förderlicher für die Lernergebnisse.
 - b. Das Flowerleben ist in den Explorations-Bedingungen größer als in den Expositions-Bedingungen. Je höher das Flowerleben, desto förderlicher für die Lernergebnisse.
 - c. Die extrinsische Arbeitsbelastung ist in den Explorations-Bedingungen größer als in den Expositions-Bedingungen. Je niedriger die extrinsische Arbeitsbelastung, desto förderlicher für die Lernergebnisse. Für lernrelevante Arbeitsbelastung ist letzterer Wirkzusammenhang umgekehrt.

Abbildung 6

Integration der einzelnen Hypothesen



Anmerkungen. KV = Kontrollvariable; MV = Mediatorvariable; AV = abhängige Variable; UV = unabhängige Variable; H = Hypothese

3. Methodik

Zur Überprüfung der aufgestellten Hypothesen wurde ein experimentelles Design gewählt. In einem 2x2-faktoriellen Versuchsplan sind die Einflüsse der unabhängigen Variablen (1. didaktische Methode: Exposition vs. Exploration, 2. Visualisierungstechnologie: HMD vs. Laptop) auf mehrere abhängige Variablen (1. kognitive Indikatoren des Lernens, 2. affektive Indikatoren des Lernens, 3. Bewertung: Zufriedenheit und Weiterempfehlung) untersucht worden. Daneben wurden diverse Lernprozessvariablen als mögliche Mediatoren der Wirkzusammenhänge näher betrachtet. Ergänzend wurden verschiedene soziodemographische Variablen und das fachliche Vorwissen sowie technologische Vorkenntnisse kontrolliert. Eine Übersicht sämtlicher Konstrukte, deren Messmethoden, Messzeitpunkte, Art der Variable sowie eine Zuordnung zu den korrespondierenden Hypothesen dieser Arbeit ist Tabelle 3 zu entnehmen.

Tabelle 3

Übersicht der Konstrukte, deren Indikatoren, Messzeitpunkte, Variablenart und der zugehörigen Hypothesen

Konstrukt	Messinstrument(e)	MZP	Art der Variable	Hypothese(n)
Soziodemographische Daten	Soziodemographischer Fragebogen (Alter, Geschlecht, Schulform, Klasse, Muttersprache)	2	KV	-
Erfahrungen mit Diskriminierung	Single Item*	2	UV	3
Technologische Vorkenntnisse	2x Single Item*	2	KV	5
(Vor)-Wissen	Single Item*	1 & 2	KV & AV	1-7
	Wissenstest*	2	AV	1-7
	Transferaufgaben*	2	AV	1-7
Perspektivenübernahme	Single Item*	1 & 2	AV	1-7
	Historische	2	AV	1-7
	Perspektivenübernahme (adaptiert nach Hartmann, 2008)			

Fortführung Tabelle 3

Übersicht der Konstrukte, deren Indikatoren, Messzeitpunkte, Variablenart und der zugehörigen Hypothesen

Konstrukt	Messinstrument(e)	MZP	Art der Variable	Hypothese(n)
Arbeitsbelastung	MCLSVE (Andersen & Makransky, 2021; eigene deutsche Übersetzung)	2	MV	6 & 7
Unwohlsein	2x Single Item*	2	MV	6
Flowerleben	FKS (Rheinberg et al., 2003)	2	MV	6 & 7
Präsenzerleben	MPS (Volkman et al., 2018)	2	MV	6 & 7
Zufriedenheit	Single Item*	2	AV	1-7
Weiterempfehlung	Single Item*	2	AV	1-7

Anmerkungen. * = selbst entwickelte Messinstrumente; MZP = Messzeitpunkt; MCLSVE = Multidimensional Cognitive Load Scale for Virtual Environments; FKS = Flow Kurzsкала; MPS = Multimodal Presence Scale; KV = Kontrollvariable; MV = Mediatorvariable; AV = abhängige Variable; UV = unabhängige Variable

Zum Verständnis der Methodik der vorliegenden Arbeit gliedert sich das folgende Kapitel in die Abschnitte Stichprobe, VR-Umgebung, Prozedur, Messinstrumente und Datenauswertung.

3.1 Stichprobe

Um die Hypothesen der vorliegenden Untersuchung zu testen, wurden Daten von insgesamt 132 Personen (65 weiblich, 63 männlich, 4 divers) erhoben. Die Stichprobe dieser Untersuchung setzt sich aus Versuchspersonen im Alter von 12 bis 17 Jahren zusammen ($M = 13.84$, $SD = .92$). Teilnahmevoraussetzung war, dass die Versuchspersonen zum Erhebungszeitpunkt die achte oder neunte Klasse einer weiterführenden Schule in Deutschland besuchten. Die Rekrutierung der Versuchspersonen fand vielschichtig über Radiobeiträge, Flyer und über soziale Netzwerke statt. Darüber hinaus wurden gezielt Lehrkräfte von verschiedenen weiterführenden Schulen in Nordrhein-Westfalen angesprochen. Für eine Teilnahme an der Studie konnten sich die Probanden selbst oder deren Eltern per Mail

oder telefonisch anmelden. Die Teilnahme an der Untersuchung war freiwillig. Eine finanzielle oder anderweitige Vergütung für die Teilnahme war nicht vorgesehen.

3.2 VR-Umgebung

Bei der VR handelt es sich um das frei verfügbare und kostenlose *Anne Frank VR House*, das gemeinsam von der *Anne Frank Stiftung*¹⁰ und *Force Field VR*¹¹ entwickelt wurde. Die Anwendung erlaubt Einblicke in das Versteck der 13 Jahre alten Anne Frank, ihrer Schwester, ihrer Eltern und vier weiteren Untergetauchten. Das Versteck befand sich in einem Hinterhaus eines Firmengebäudes auf der Prinsengracht 263 in Amsterdam. Die VR-Umgebung zeigt die Lebenswirklichkeit der acht Personen jüdischer Herkunft im Zeitraum von 1942 bis 1944. Es sind alle acht Räume des Verstecks mitsamt Inventar detailgetreu nachgebildet. Dabei werden keine Personen dargestellt. Ansonsten erscheint die Lebenswirklichkeit der Untergetauchten zu Zeiten des Nationalsozialismus für den Moment konserviert. Ein Brettspiel wartet darauf, weitergespielt zu werden, das Geschirr steht noch zum Abtropfen auf der Spüle, ein Fahrrad hängt an der Wand, Annes Tagebuch und ihre Stifte liegen auf dem Schreibtisch. Einen Überblick über die Räumlichkeiten bieten die Abbildungen 7 bis 9.

¹⁰ <https://www.annefrank.org/nl/> (abgerufen am 21.04.2022)

¹¹ [vertigo-studios.nl](https://www.vertigo-studios.nl/) (abgerufen am 21.04.2022)

Abbildung 7

Das Bücherregal, welches den Eingang zum Hinterhaus tarnte¹²



Abbildung 8

Das Zimmer von Anne Frank und Fritz Pfeffer¹³

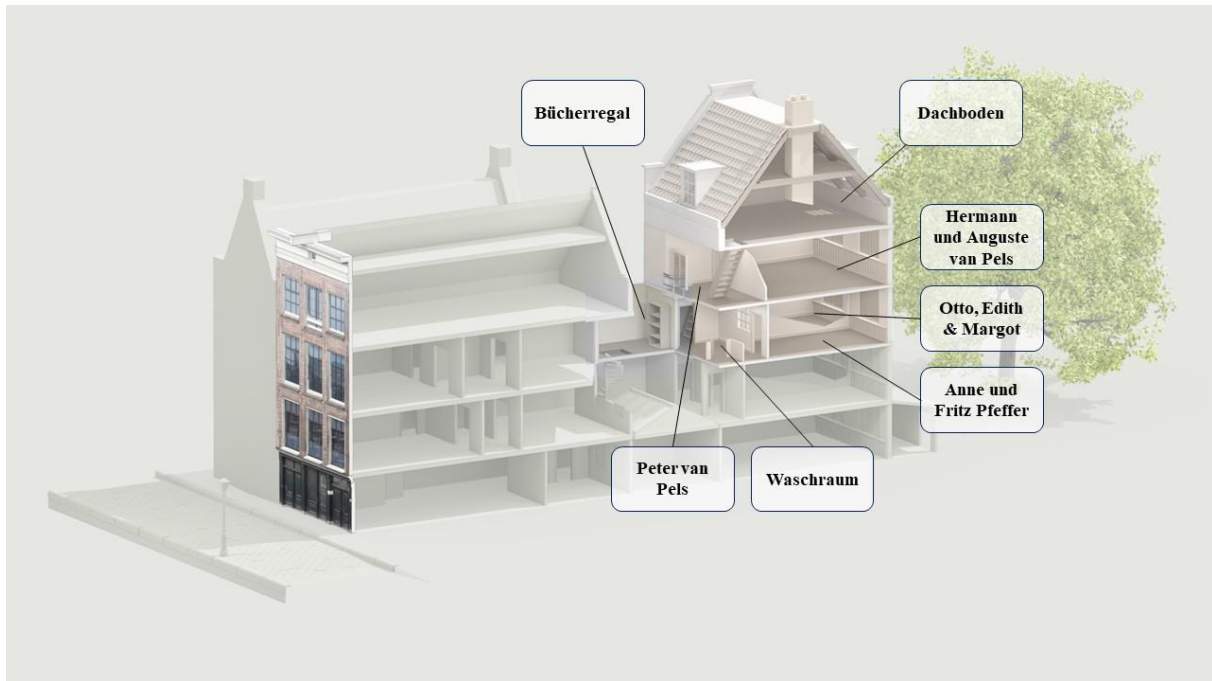


¹² <http://edu.annefrank.org/dashinterhaus/> (abgerufen am 21.04.2022)

¹³ <https://mixed.de/virtual-reality-wenn-raeume-sprechen-koennten-anne-frank-vr-ausprobiert/> (abgerufen am 21.04.2022)

Abbildung 9

*Das Hinterhaus*¹⁴



Die Anwendung kann über zwei VR-Visualisierungstechnologien erkundet werden. Zum einen können HMDs und zwei dazugehörige Controller verwendet werden. Dafür muss im Vorfeld die entsprechende Applikation¹⁵ aus dem App Store des jeweiligen Anbieters geladen werden. Durch Teleportation sowie Körper- und Kopfbewegungen kann das Versteck Raum für Raum exploriert werden. Zum anderen besteht die Möglichkeit, das virtuelle Versteck über diverse Endgeräte mit zweidimensionalen Bildschirmen (z.B. Tablets, Smartphones, Laptops) zu erforschen, indem auf die inhaltlich äquivalente 360°-Webanwendung¹⁶ zurückgegriffen wird. Hier wird das Sichtfeld entweder durch die Touchfunktion des entsprechenden Endgerätes oder durch den Maus Cursor verändert.

Innerhalb des Verstecks sind zusätzliche Informationen zur Lebenswirklichkeit im Hinterhaus und zur Geschichte der Untergetauchten eingebunden. Dazu befinden sich auf bestimmten Gegenständen (z.B. Radio, Brettspiel) bzw. an bestimmten Orten Symbole mit Aufforderungscharakter, die ergänzende Auskünfte ermöglichen. In der 360°-Webanwendung sind diese Gegenstände gekennzeichnet durch Play- oder anderweitig gestaltete Buttons. Wird ein solcher ausgewählt, ploppt ein Fenster mit informativen Textbausteinen zum jeweiligen

¹⁴ eigene Darstellung basierend auf <https://www.annefrank.org/de/anne-frank/das-hinterhaus/> (abgerufen am 21.04.2022)

¹⁵ <https://www.oculus.com/experiences/quest/1958100334295482/> (abgerufen am 21.04.2022)

¹⁶ <https://www.annefrank.org/de/anne-frank/das-hinterhaus/> (abgerufen am 21.04.2022)

Gegenstand bzw. Raum auf. Manchmal werden auch Zitate aus dem Tagebuch der Anne Frank präsentiert. Zusätzlich sind Videos zur Plattform *Youtube*¹⁷ verlinkt. Für die vorliegende Untersuchung wurden diese Links blockiert. Um zwischen den Räumen im Versteck zu wechseln, sind auf den entsprechenden Türen Icons mit Türen oder Türklinken integriert. Unter dem HMD sind auf den Gegenständen mit Aufforderungscharakter weiße Handsymbole abgebildet, in welche die eigenen Hände bzw. Controller hineingelegt werden sollen. Werden Objekte gegriffen, lassen sie sich wenden, aus nächster Nähe betrachten usw. Zusätzlich finden sich verteilt im Versteck weiße Kreise mit Führungszeichen, die ausgewählt werden können. In jeglichen Fällen werden nach der Selektion von Objekten zur Webanwendung inhaltlich äquivalente Informationen von einer weiblichen Voice over Stimme aus der Perspektive von Anne Frank vorgetragen. Die App bietet die Möglichkeit, die Voice over Stimme zusätzlich durch Textbausteine identischen Inhalts zu ergänzen oder die Stimme durch den Text zu ersetzen. Auf diese Möglichkeiten wurde, auch basierend auf der CTML (u.a. Mayer, 2005) und dem in dieser Theorie aufgeführten Gestaltungsprinzip der Modalität, verzichtet. Darüber hinaus besteht unter dem HMD additiv die Möglichkeit, sich vor und nach der Erkundung des Hinterhauses Filmsequenzen anzuschauen, welche anhand von Bildern und Videoclips die geschichtlichen Hintergründe von der Machtergreifung Adolf Hitlers bis zum Tod von Anne Frank erläutern. Diese lassen sich jedoch deaktivieren, was in der vorliegenden Untersuchung zwecks Gleichhaltung der Versuchsbedingung auch getan wurde. Um unter dem HMD zwischen Räumen zu wechseln, sind auf den Türklinken weiße Handsymbole dargestellt.

Insgesamt entsprechen beide Anwendungen am ehesten der von Schwan und Buder (2006) vorgeschlagenen Kategorie der Explorationswelten. Die Räume des Verstecks und seine hinterlegten Zusatzinformationen können in frei gewählter Reihenfolge und beliebig oft erkundet werden. Es gibt keine zeitlichen oder weiteren determinierenden Vorgaben.

Die Hersteller empfehlen den Einsatz der Anwendung ab 13 Jahren. Basierend auf dieser Empfehlung und den Inhaltsfeldern des Kernlehrplans für Geschichte für die Sekundarstufe I an Gymnasien in Nordrhein-Westfalen (MSB, 2019) wurden für die vorliegende Untersuchung Schülerinnen und Schüler der achten und neunten Klasse rekrutiert. Da die Hersteller für die Anwendung keine expliziten didaktischen Ziele formuliert haben, wurden im Zuge der vorliegenden Arbeit Lehr- und Lernziele auf kognitiver und affektiver Ebene ausgearbeitet. Die Erreichung eben dieser soll im Rahmen der durchgeführten Studie überprüft werden. Zur

¹⁷ <https://www.youtube.com> (abgerufen am 21.04.2022)

Formulierung der Lehr- und Lernziele wurde erneut der entsprechende Kernlehrplan (Inhaltsfeld: Nationalsozialismus und zweiter Weltkrieg) genutzt. Zudem wurde die Expertise einer Geschichtslehrerin sowie die von Fachdidaktikerinnen und -didaktikern im Rahmen eines Kolloquiums der Universität Duisburg-Essen herangezogen. Die Ziele sind in Tabelle 4 dargestellt. Sie wurden denen im Bildungsplan angeführten Kompetenzerwartungen zugeordnet. Darüber hinaus fand eine Zuordnung basierend auf der kognitiven Lernziel-taxonomie nach Bloom (1956) statt, welche später von Krathwohl et al. (1975) um affektive Fähigkeiten ergänzt wurde.

Tabelle 4

Lehr- und Lernziele für das Anne Frank VR House

	Kompetenzerwartung laut Bildungsplan	Taxonomien
Kognitive Lehr-/Lernziele		
Die SuS kennen die Lebenswirklichkeit von Anne Frank im Hinterhaus. Sie wissen ...	Sachkompetenzen 4 und 5	Wissen (Kompetenzstufe 1)
was den Eingang zum Hinterhaus tarnte. wer im Hinterhaus lebte. welche Räume das Versteck enthielt. wann das Bad bedenkenlos genutzt werden konnte. welches Otto Franks Lieblingsbuch war. womit Anne die Nachbarn beobachtete. was an die Wohnzimmerwand geschrieben wurde. was in Peters Zimmer an der Wand hing. was auf dem Esstisch lag. wie Annes Tagebuch aussah.		
Die SuS können jemandem, der das Wort Isolation nicht kennt, es erklären und in Zusammenhang zu Anne Franks Leben stellen.	Sachkompetenz 7	Verständnis (Kompetenzstufe 2)
Die SuS können Verhaltensregeln für die acht Menschen im Hinterhaus aufstellen, die unbedingt eingehalten werden mussten, um nicht entdeckt werden zu werden.	Sachkompetenzen 4 und 5	Anwendung (Kompetenzstufe 3)

Fortführung Tabelle 4

Lehr- und Lernziele für das Anne Frank VR House

	Kompetenzerwartung laut Bildungsplan	Taxonomien
Affektive Lehr-/Lernziele	Handlungskompetenz 1	Wertung
Die SuS sind in der Lage, sich in Anne Frank und ihr Leben im Versteck (z.B. räumliche Enge, eingeschränkter Handlungsspielraum) hineinzuversetzen.		(Kompetenzstufe 3)

Anmerkungen. SuS = Schülerinnen und Schüler. Die Ziele wurden von der Autorin basierend auf dem Kernlehrplan für die Sekundarstufe I an Gymnasien in Nordrhein-Westfalen (MSB, 2019) und in Abstimmung mit Expertinnen und Experten aus dem Feld entwickelt.

3.3 Prozedur

Die Durchführung der Studie fand im Zeitraum von Mai bis Dezember 2021 statt. Für die Studie wurden entweder die Räumlichkeiten der entsprechenden Schulen oder ein Veranstaltungsraum der Universität Duisburg-Essen genutzt. Die Untersuchung beinhaltete eine anfängliche Prä-Messung, das eigentliche VR-Erlebnis und eine abschließende Post-Messung. Im Folgenden wird der gesamte Ablauf der Studie im Detail beschrieben.

Zunächst erfolgte eine Aufklärung der Probanden über den Verlauf der Untersuchung. Den Teilnehmenden wurde die Anonymität ihrer Daten zugesichert. Die Online-Fragebögen füllten die Probanden an Laptops aus. Für die Erstellung der Online-Fragebögen wurde das Tool *Limesurvey*¹⁸ verwendet. Um die beiden Fragebögen unter Gewährleistung der Anonymität zu verknüpfen, wurden von den Probanden selbst generierte Versuchspersonencodes (siehe Anhang D) verwendet. Die gesamte Untersuchung dauerte jeweils zwischen einer und anderthalb Stunden. Der erste Fragebogen beinhaltete zwei kurze Fragen, in denen die Teilnehmenden einschätzen sollten, wie viel sie bereits zur Person Anne Frank wissen und wie gut sie in der Lage sind, sich in ihre Lebenswirklichkeit hineinzuversetzen.

Unmittelbar nachdem der erste Fragebogen ausgefüllt wurde, erkundeten die Probanden die VR-Umgebung, was an sich durchschnittlich 30 Minuten dauerte. Das VR-Erlebnis unterschied sich zwischen den Probanden hinsichtlich der verwendeten VR-Visualisierungstechnologie sowie hinsichtlich der eingesetzten didaktischen Methode.

¹⁸ <https://www.limesurvey.org/de/> (abgerufen am 21.04.2022)

Für die Versuchsbedingungen, bei denen ein HMD (hier: *Oculus Quest 2*) und Controller genutzt wurden, wurde im Vorfeld die entsprechende App aus dem *Oculus Store* geladen. Untersuchungen unter Verwendung von HMDs wurden stets im Einzelszenario durchgeführt (siehe Abbildung 10). Dies erlaubte es, die Probanden im Vorfeld hinsichtlich der besonderen Funktionalitäten (z.B. Teleportation, Selektion von Gegenständen) der Hardware zu instruieren (siehe Anhang A). Für die Versuchsbedingungen, bei denen die Teilnehmenden Laptop und Maus nutzten, wurde die inhaltlich äquivalente 360°-Webanwendung verwendet (siehe Abbildung 11). Aus forschungspraktischen Gründen nahmen mehrere Probanden in diesen beiden Versuchsbedingungen simultan an der Studie teil. Dazu durften die Räumlichkeiten der Schulen genutzt werden. Endgeräte wurden größtenteils von der Versuchsleitung gestellt (hier: Laptops, Dell Latitude 3510, 15,4 Zoll, Intel Core i5, nVidia MX230 Grafikkarte; 16GB RAM mit dazugehöriger USB-Maus). Über Kurzlinks, die an der Tafel bzw. Whiteboard niedergeschrieben wurden, gelangten die Probanden schnell zu den Online-Fragebögen und der Webanwendung. Während des VR-Erlebnisses am Laptop wurden die Teilnehmenden stets angehalten, selbstständig zu arbeiten, keine anderen Webseiten zu besuchen und sich nicht währenddessen untereinander auszutauschen. Die Untersuchungsbedingungen sollten möglichst gleichgehalten werden. Dazu folgte die Versuchsleitung einem handlungsweisenden Leitfaden. Der Leitfaden ist im Anhang A zu finden.

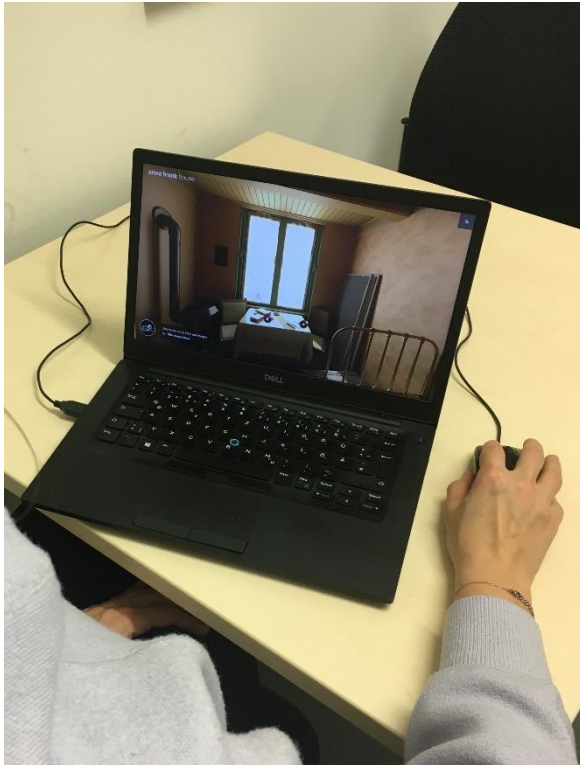
Abbildung 10

Untersuchungsszenario in einer Experimentalbedingung unter einem HMD



Abbildung 11

Untersuchungsszenario in einer Experimentalbedingung an einem Laptop



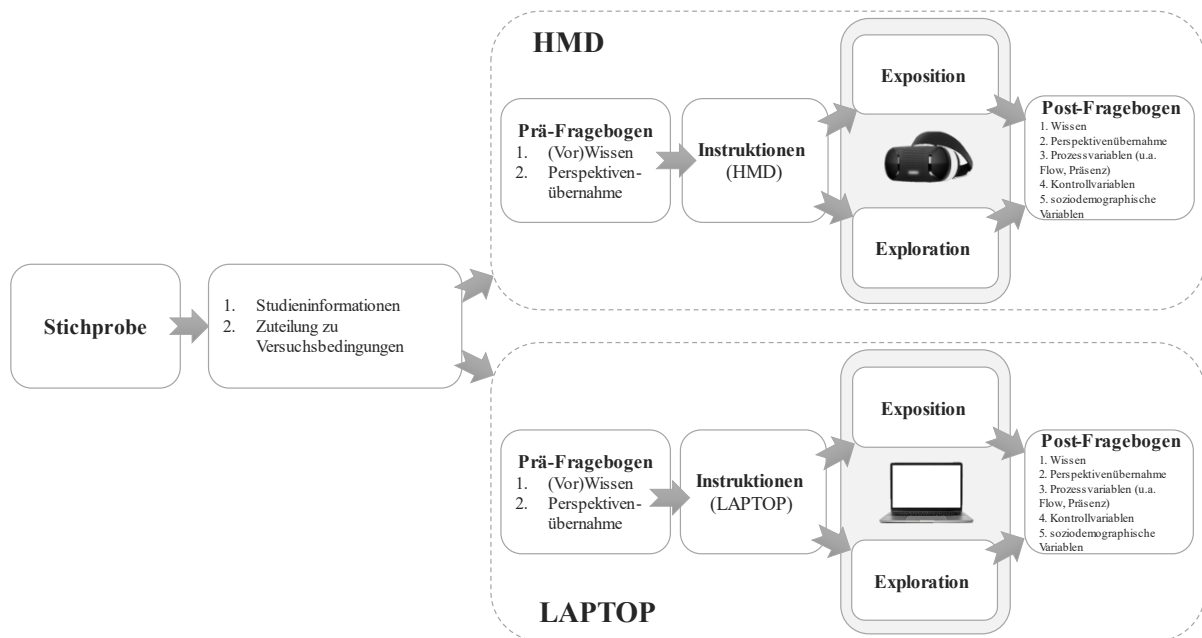
Diejenigen Versuchspersonen, welche das VR-Szenario unter Verwendung der didaktischen Methode der Exposition testeten, erhielten konkrete Instruktionen, die sie durch das VR-Erlebnis leiteten. Die Gestaltung der expositionsbasierten Lernumgebung orientierte sich dabei an den Prinzipien der direkten Instruktion (Hattie, 2009; Kerres, 2018; Rosenshine, 2008) und dem von Mayer et al. im Rahmen der CTML postulierten Gestaltungsprinzip der Segmentierung (Mayer, 2005; Mayer & Pilegard, 2005). So war in den expositionsbasierten Versuchsbedingungen das VR-Erlebnis fremdgesteuert. Dazu wurde an das Vorwissen der Probanden angeknüpft (z.B. *„Erinnere dich daran, was du alles bereits über Anne Frank und ihr Versteck in Amsterdam weißt.“*). Die Lernziele wurden zu Beginn benannt (z.B. *„Du weißt, wer in welchem Raum im Hinterhaus gelebt hat.“*). Die Probanden folgten einem a priori festgelegtem Lernpfad. Demnach erfolgte das Lernen in VR sequenziell, d.h. Raum für Raum, und in lerngerechten Segmenten. In kleinen Schritten wurden die Probanden durch die Räumlichkeiten des Verstecks geleitet (z.B. *„Schau dich zuerst einmal um. Danach dreh dich nach links zum Schreibtisch um.“*). Ein neuer Raum wird erst betreten, nachdem der Raum zuvor vollständig erkundet wurde. Über regelmäßige Fragen wurde geprüft, ob die Probanden den Inhalten folgen konnten (z.B. *„Hast du gesehen, wer alles auf den Postern in Annes Zimmer abgebildet war?“*). Rückmeldungen zum Lernfortschritt wurden gegeben (z.B. *„Jetzt*

hast du schon die Hälfte der Räume im Versteck erkundet.“). Die Instruktionen wurden entweder über ausgedruckte Arbeitsblätter (Laptop-Bedingungen; d.h. ein Arbeitsblatt pro Schülerin bzw. Schüler) oder mündlich durch die Versuchsleitung (HMD-Bedingungen) dargeboten. Die Instruktionen sind im Anhang B und C zu finden. Den Probanden, welche das VR-Szenario explorativ erlebten, wurde zu Beginn die Arbeitsanweisung gegeben, die Unterkunft von Anne Frank und den anderen Untergetauchten frei und selbstgesteuert zu erkunden. Währenddessen wurden keine weiteren Instruktionen gegeben.

Nach der Durchführung des Experiments wurden die Probanden gebeten, einen abschließenden Fragebogen am Laptop auszufüllen. Die Bearbeitungsdauer betrug durchschnittlich 35 Minuten. Die Fragebogenbatterie beinhaltete Instrumente zu demographischen Variablen, zur Vorerfahrung mit der verwendeten Technologie, zur Bewertung, zu kognitiven und affektiven Lernresultaten sowie zu Lernprozessvariablen. Abschließend wurde den Probanden für ihre Teilnahme gedankt und sie wurden über die Ziele und den weiteren Verlauf der Studie aufgeklärt. Eine Darstellung des Ablaufs ist in Abbildung 12 zu finden.

Abbildung 12

Studienablauf (Darstellung in Anlehnung an Spangenberg, Geiger & Freytag (2022))



3.4 Messinstrumente

Für die Beantwortung der Fragestellungen wurden zu zwei Messzeitpunkten Daten erhoben. Im Folgenden werden die untersuchten Konstrukte und die dazu verwendeten Mess-

instrumente und Items detailliert und in der Reihenfolge, in welcher sie zum Messzeitpunkt zwei erhoben wurden, beschrieben. Sämtliche Messinstrumente sind im Anhang D bis O zu finden.

Soziodemographische Daten. Neben Geschlecht, Alter, Schulform, Klassenstufe und Muttersprache wurde mit einer dichotomen geschlossenen Frage erfasst, ob die Probanden in ihrer bisherigen Lebensgeschichte selbst Diskriminierung erfahren haben („*Wurdest du selbst schon aufgrund deiner Religion, deiner Hautfarbe oder anderer Merkmale diskriminiert?*“).

Vorerfahrungen mit der verwendeten Technologie wurden mit zwei geschlossenen und in sich verzweigten Items erfasst (1. „*Hast du bereits Erfahrungen mit Virtual Reality gemacht?*“, 2. „*Wie häufig nutzt du Virtual Reality-Anwendungen?*“).

Lernindikatoren wurden in der vorliegenden Untersuchung zu beiden Messzeitpunkten und hinsichtlich kognitiver wie affektiver Ziele gemessen. Dabei wurde zu einem Großteil auf selbst entwickelte Tests zurückgegriffen. Um das vorhandene *Vorwissen* hinsichtlich der Lebenswirklichkeit von Anne Frank, während diese sich im Hinterhaus versteckt hielt, also die Wissensbasis vor dem VR-Erlebnis, zu erheben, wurden die Probanden zu Messzeitpunkt eins gebeten, ihr Wissen basierend auf einer Skala von 1 („*nicht vorhanden*“) bis 10 („*sehr großer Wissensschatz*“) einzustufen. Die Frage wurde zu Messzeitpunkt zwei erneut gestellt.

Zur Überprüfung der *kognitiven Lehr- und Lernziele* (siehe Tabelle 4 in Abschnitt 3.2) wurden den Probanden zum einen zehn kurze Wissensfragen (z.B. „*Wie sah Annes Tagebuch aus?*“) gestellt. In freie Textfelder sollte die korrekte Antwort stichpunktartig eingetragen werden. Für die Fragen wurden Teilpunkte vergeben, jedoch maximal zwei Punkte pro Frage, sodass sich ein Maximalpunktwert von 20 ergibt. Die interne Konsistenz für die zehn Items des Wissenstests beträgt $\alpha = .71$. Der Test und ein Erwartungshorizont sind dem Anhang G zu entnehmen. Zum anderen waren die Probanden zur Überprüfung von Lehr- und Lernzielen höherer Kompetenzstufen dazu aufgefordert, ihr zuvor in der VR-Umgebung erworbenes Wissen zu abstrahieren bzw. zu transferieren, indem sie erstens Verhaltensregeln (Dos and Don'ts) für das Leben im Hinterhaus formulieren und zweitens den Begriff der Isolation am Beispiel der Anne Frank definieren sollten. Die Lösungen sollten auch hier in Freitextfelder eingetragen werden. Zur Bewertung der Lösungsvorschläge der ersten Aufgabe wurde ein Erwartungshorizont (siehe Anhang H) mit insgesamt zehn Verhaltensregeln aufgestellt. Pro Regel erhielten die Probanden einen Punkt, sodass ein Maximalscore von zehn möglich war. Für die zweite Aufgabe liegt ebenfalls ein Erwartungshorizont (siehe Anhang H) vor, wobei

je ein Punkt für die Beschreibung des allgemeinen Konstrukts (Teilpunkte möglich) und ein Punkt für den Bezug zu Anne Frank vergeben wurde. Auch bei dieser Aufgabe konnten maximal zwei Punkte erreicht werden. Die beiden Transferaufgaben wurden gemeinsam mit einer Lehramtsstudentin für Sozialwissenschaften ausgewertet.

Neben kognitiven wurden auch *affektive Lehr- und Lernziele* (siehe Tabelle 4 in Abschnitt 3.2) betrachtet. Als affektives Ziel wurde die *Perspektivenübernahme* in Anne Frank festgesetzt. Unter Perspektivenübernahme wird die Fähigkeit verstanden, die Gefühle einer anderen Person nachempfinden zu können, was als wesentliche Voraussetzung für die Entstehung von Mitgefühl bzw. Empathie angesehen wird (Dimitrova & Lüdmann, 2014). Zur Überprüfung des Ausmaßes an Perspektivenübernahme in die Figur Anne Frank waren die Probanden zu beiden Messzeitpunkten dazu aufgefordert, anzugeben, wie gut sie sich in die Lebenssituation von Anne im Hinterhaus hineinversetzen können. Auch hier wurde als Antwortformat eine zehnstufige Skala von 1 („überhaupt nicht“) bis 10 („sehr gut“) herangezogen. Um darüber hinaus das Maß an Perspektivenübernahme in Anne Frank zu messen, wurde der Fragebogen von Hartmann (2008), der *historische Perspektivenübernahme* erfasst, adaptiert und auf das Beispiel der Anne Frank angepasst. Der ursprüngliche Fragebogen untersucht das Ausmaß der historischen Perspektivenübernahme in eine junge unverheiratete Frau im Mittelalter, die nach gescheiterten Heiratsplänen ihrer Eltern gezwungen wird, in ein Kloster zu gehen. Der Fragebogen differenziert zwischen drei Aspekten historischer Perspektivenübernahme: Erstens, gegenwartsfixierte Betrachtung der historischen Situation. Zweitens, Rolle des historischen Akteurs. Und drittens, historische Kontextualisierung. Hartmann (2008) geht dabei von einer hierarchischen Ordnung dieser Facetten aus, indem sich historische Perspektivenübernahme von einer gegenwartsfixierten Betrachtung einer bestimmten Situation hin zu deren Betrachtung unter historischen Gesichtspunkten entwickelt. Die Instruktion zu diesem Instrument beinhaltet, sich in Anne Frank hineinzuversetzen und eine Zustimmung oder Ablehnung zu Aussagen von 1 („passt gar nicht zu ihrer Situation“) zu 4 („passt voll und ganz zu ihrer Situation“) abzugeben. Insgesamt besteht der Fragebogen aus zwölf Items, von denen drei eine gegenwartsfixierte Betrachtung der historischen Situation, drei weitere die Rolle des historischen Akteurs und drei letzte den historischen Kontext und Unterschiede zwischen Gegenwart und Vergangenheit berücksichtigen. Hartmann (2008) berichtet in ihrer Studie eine noch ausreichende interne Konsistenz von $\alpha = .51$. Die interne Konsistenz in dieser Untersuchung betrug $\alpha = .63$. In ihrer Studie, an der mehr als zweihundert Schülerinnen und Schüler der siebten Klasse im

Geschichtsunterricht partizipierten, erhielt Hartmann (2008) einen Mittelwert von $M = 2.15$ ($SD = .44$).

Beispielitems:

Gegenwartsfixierte Betrachtung der historischen Situation: *„Für Anne muss es furchtbar gewesen sein, nicht mehr in die Schule gehen zu können, weil sie dann keine Chance mehr hatte, Freundschaften zu pflegen und neue Freunde kennen zu lernen.“*

Rolle des historischen Akteurs: *„Anne konnte als Tochter nichts gegen die Entscheidung ihrer Eltern, sich im Hinterhaus zu verstecken, sagen und musste sich so verhalten, wie sie es wollten.“*

Historische Kontextualisierung: *„Auf die Schule und ihre Freunde zu verzichten, konnte Anne ertragen, weil für sie vor allem wichtig war, dass sie und ihre Familie in Sicherheit waren.“*

Neben der Erfassung von Lernresultaten liegt ein Fokus der vorliegenden Arbeit auf der Untersuchung von Faktoren, welche den Zusammenhang zwischen den Merkmalen eines Lernangebots und den Lernresultaten mediiieren. Deswegen betrachtet diese Arbeit neben Kriterien des Lernerfolges auch Merkmale des Lernprozesses selbst. Diese sollen im Folgenden näher beschrieben werden.

Multidimensional Cognitive Load Scale for Virtual Environments (MCLSVE; Andersen & Makransky, 2021). In der MCLSVE wird die subjektiv erlebte Arbeitsbelastung während einer VR-Erfahrung retrospektiv erfasst und in verschiedene Dimensionen unterteilt: intrinsische kognitive Belastung, extrinsische (lernirrelevante) kognitive Belastung und lernrelevante kognitive Belastung. Dabei gliedern Andersen und Makransky (2021) die extrinsische Belastung nach den Quellen, die eine Belastung herbeirufen, in drei Subskalen auf: Instruktionen, Interaktionen und Umgebung. Der Skala mit insgesamt 18 Items liegt ein fünfstufiges Antwortformat von 1 (*„stimme überhaupt nicht zu“*) bis 5 (*„stimme völlig zu“*) zugrunde. Die internen Konsistenzen in der Studie von Andersen und Makransky (2021) reichten von $\alpha_{\text{extrinsisch_Umgebung}} = .68$ bis $\alpha_{\text{lernrelevant}} = .89$. In der vorliegenden Arbeit lagen die Werte für Cronbachs Alpha zwischen $\alpha_{\text{extrinsisch_Instruktionen}} = .61$ bis $\alpha_{\text{intrinsisch}} = .85$. Darüber hinaus verglichen Andersen und Makransky (2021) zwei unterschiedlich komplexe VR-Lernszenarien miteinander und erhielten für die intrinsische Belastung die Mittelwerte $M_{\text{simple}} = 2.10$ ($SD = .90$) und $M_{\text{komplex}} = 3.76$ ($SD = .70$), für die extrinsische Belastung durch Instruktionen $M_{\text{simple}} = 1.61$ ($SD = .61$) und $M_{\text{komplex}} = 2.39$ ($SD = .75$), für die extrinsische Belastung durch Interaktionen $M_{\text{simple}} = 1.71$ ($SD = .70$) und $M_{\text{komplex}} = 2.26$ ($SD = .78$), für die

extrinsische Belastung durch die Umgebung $M_{\text{simplel}} = 1.65$ ($SD = .64$) und $M_{\text{komplex}} = 3.17$ ($SD = .89$) und für die lernrelevante Belastung $M_{\text{simplel}} = 3.87$ ($SD = .69$) und $M_{\text{komplex}} = 3.17$ ($SD = .89$). Eine validierte deutsche Übersetzung lag zum Zeitpunkt der Untersuchung nicht vor. Daher wurde eine eigene Übersetzung der Skala verwendet.

Beispielitems:

Intrinsische Belastung: *„Die in der virtuellen Welt behandelten Themen waren sehr komplex.“*

Extrinsische Belastung durch Instruktionen: *„Die Anweisungen und/oder Erklärungen währenddessen waren sehr unklar.“*

Extrinsische Belastung durch Interaktionen: *„Die Interaktionsmöglichkeiten in der virtuellen Welt waren sehr unklar.“*

Extrinsische Belastung durch die Umgebung: *„Die virtuelle Umgebung war voll von irrelevantem Inhalt.“*

Lernrelevante Belastung: *„Die virtuelle Umgebung hat mein Wissen und mein Verständnis zur Lebenswirklichkeit von Anne Frank wirklich verbessert.“*

Im Zusammenhang mit der Nutzung von VR-Anwendungen werden immer wieder Gefühle des *Unwohlseins* berichtet (z.B. Kim et al., 2018), wobei dies von der Art der VR-Visualisierungstechnologie abhängig zu sein scheint (Roettl & Terlutter, 2018). Um dies zu berücksichtigen, wurden in der vorliegenden Untersuchung zwei Kontrollitems integriert, welche die prävalenten Symptome Schwindel und Übelkeit abfragen (z.B. *„Während ich in der virtuellen Welt war, wurde mir schwindelig.“*). Die beiden Items sollten von den Probanden auf einer vierstufigen Skala von 1 (*„trifft überhaupt nicht zu“*) bis 4 (*„trifft völlig zu“*) beantwortet werden.

Flow Kurzskala (FKS; Rheinberg et al., 2003). Das Instrument besteht unter anderem aus den zwei Dimensionen glatter automatisierter Verlauf und Absorbiertheit und insgesamt zehn Items. Es erfasst das sogenannte Flowerleben, unter dem Rheinberg et al. (2003) das reflexionsfreie, gänzliche Aufgehen in einer glatt laufenden Tätigkeit verstehen. Der Fragebogen hat eine siebenstufige Skala als Antwortformat von 1 (*„trifft nicht zu“*) über 4 (*„teils teils“*) bis 7 (*„trifft zu“*). Rheinberg et al. (2003) führen Kennwerte aus verschiedenen Stichproben auf. Beim Graffiti-Sprayen wurde ein Mittelwert von $M = 5.16$ ($SD = .93$) und beim Lösen einer Statistikaufgabe ein Mittelwert von $M = 4.57$ ($SD = 1.13$) gefunden. Rheinberg et

al. (2003) berichten für die FKS ein Cronbachs Alpha von $\alpha = .90$. Die interne Konsistenz in dieser Untersuchung betrug $\alpha = .81$.

Beispielitems:

Glatter automatisierter Verlauf: „*Ich war ganz vertieft in das, was ich tat.*“

Absorbiertheit: „*Ich hatte keine Mühe, mich zu konzentrieren.*“

Multimodal Presence Scale (MPS; Makransky, Lilleholt & Aaby, 2017; deutsche Übersetzung von Volkmann et al., 2018). Die Selbstbeurteilungsskala zur Erfassung und Quantifizierung des Präsenzerlebens umfasst ursprünglich 15 Items. Die Dimensionen physikalische Präsenz, Selbst-Präsenz und soziale Präsenz werden mit je fünf Items abgefragt. In dieser Untersuchung wurde auf die Dimension der sozialen Präsenz verzichtet, da es sich um keine soziale virtuelle Umgebung handelt, in der die Probanden auf andere virtuelle oder reale Akteure treffen. Die zugrundeliegende fünfstufige Skala reicht von 1 („*stimmt gar nicht*“) bis 5 („*stimmt völlig*“). Cronbachs Alpha liegt in den Studien von Volkmann et al. (2018) für physikalische Präsenz zwischen $\alpha = .69$ und $\alpha = .82$ und für Selbst-Präsenz zwischen $\alpha = .84$ und $\alpha = .89$. Die internen Konsistenzen in dieser Untersuchung betragen $\alpha_{\text{physikalisch}} = .88$ und $\alpha_{\text{Selbst}} = .93$. Volkmann et al. (2018) berichten darüber hinaus Normwerte aus Studien, in denen sie das Ausmaß an Interaktivität mit einem virtuellen Agenten manipulierten. Die Mittelwerte liegen zwischen $M = 2.93$ ($SD = .96$) und $M = 3.01$ ($SD = .85$) für Selbst-Präsenz und zwischen $M = 3.15$ ($SD = .88$) und $M = 3.54$ ($SD = .71$) für physikalische Präsenz.

Beispielitems:

Physikalische Präsenz: „*Die virtuelle Umgebung erschien mir real.*“

Selbst-Präsenz: „*Es hat sich angefühlt, als wäre meine echte Hand in der virtuellen Umgebung gewesen.*“

Zum Abschluss der zweiten Fragebogenbatterie wurden die Probanden gebeten, die VR-Erfahrung zu bewerten. Dazu sollten sie ihr Ausmaß an Zufriedenheit („*Ich bin mit dem virtuellen Lernangebot zufrieden.*“) sowie ihre Tendenz zur Weiterempfehlung („*Ich würde das virtuelle Hinterhaus anderen Schülerinnen und Schülern weiterempfehlen.*“) auf einer Skala von 1 („*stimme überhaupt nicht zu*“) bis 5 („*stimme voll und ganz zu*“) angeben.

3.5 Datenauswertung

Die Auswertung der Daten erfolgte mit Hilfe des Statistikprogramms SPSS für Macintosh (IBM SPSS Statistics 27.0). Von den 132 Versuchspersonen haben keine Probanden die Studie abgebrochen. Die Fragebögen der beiden Messzeitpunkte konnten durch die verwendeten Versuchspersonencodes alle einander zugeordnet werden. Dennoch entstanden durch nicht vollständig ausgefüllte Fragebögen fehlende Werte. Eine Analyse fehlender Werte (missing data analysis; MVA) ergab, dass der Anteil fehlender Werte bei maximal 6% pro Skala (z.B. Präsenzerleben) und damit im tolerierbaren Bereich liegt (Graham, Cumsille & Elek-Fisk, 2003). Aufgrund von einzelnen fehlenden, nicht ersetzten Werten variiert die Stichprobengröße zwischen den Berechnungen leicht.

Neben einfachen deskriptivstatistischen Analysen wurde eine multivariate Varianzanalyse (MANOVA) mit didaktischer Methode, Visualisierungstechnologie und Diskriminierungserfahrungen als unabhängige Variablen und den verschiedenen Lernindikatoren als abhängige Variablen durchgeführt. Interaktionseffekte durch die Kontrollvariablen technologische Vorkenntnisse und fachliches Vorwissen wurden in Moderationsanalysen untersucht. Um darüber hinaus die vermittelnden Einflüsse der erhobenen Lernprozessvariablen zu erforschen, wurden multiple t-Tests für unabhängige Stichproben, Korrelations- und darauf aufbauend Mediationsanalysen angestellt. Für die Moderations- und Mediationsanalysen wurde das kostenlose SPSS Makro PROCESS von Hayes (2013) installiert. Zur Visualisierung der Ergebnisse wurden diverse Darstellungen angefertigt. Auf das genaue Vorgehen der statistischen Analysen sowie deren notwendige Voraussetzungen wird in dem jeweiligen Abschnitt bzw. im Anhang genauer eingegangen.

4. Ergebnisse

Die Darstellung der statistischen Analysen unterteilt sich in fünf wesentliche Abschnitte. Es folgt zunächst die deskriptive Statistik, in der ergänzend zu Kapitel 3.1 die soziodemographischen Daten der Stichprobe beschrieben werden. Im Anschluss werden die deskriptiven Statistiken der erhobenen Variablen berichtet. Im nächsten Schritt wird die Überprüfung der Hypothesen eins bis drei im Rahmen einer MANOVA hinreichend dargestellt. Die Hypothese vier und fünf betreffenden Moderationsanalysen finden sich im darauffolgenden Abschnitt. Abschließend werden zur Beantwortung der Hypothesen sechs und sieben die Ergebnisse mehrerer t-Tests für unabhängige Stichproben, Korrelations- sowie Mediationsanalysen präsentiert.

4.1 Deskriptive Kennwerte der Stichprobe

Als derzeitige Schulform gaben 55% der Probanden Gymnasium, 1% Hauptschule, 2% Realschule, 42% Gesamtschule und 1% sonstige Schulformen an. 55% berichteten, die achte Klasse und weitere 45% die neunte Klasse zu besuchen. Die Muttersprache war bei 70% der Versuchspersonen deutsch. Als weitere Sprachen wurden russisch (7%) und türkisch (8%) aufgeführt. Die restlichen 15% verteilten sich auf weitere 15 Sprachen.

Die Teilnehmenden wurden gefragt, ob sie in ihrer eigenen Lebensgeschichte bereits Diskriminierung (z.B. aufgrund ihrer Hautfarbe oder anderer Merkmale) erfahren haben. 24% bejahten Diskriminierungserfahrungen, 76% negierten solche. Darüber hinaus wurde die Vorerfahrung der Probanden mit der entsprechend verwendeten Technologie erfragt. In den HMD-Versuchsbedingungen berichteten 70% zuvor Erfahrungen mit VR gesammelt zu haben. Von den 70% gaben 3% an, VR häufig (d.h. täglich bis mehrfach pro Woche), 7% ab und an (d.h. wöchentlich bis einmal im Monat) und 16% selten (d.h. weniger als einmal im Monat) genutzt zu haben. Weitere 45% probierten es bisher nur aus. In den Laptop-Versuchsbedingungen gaben 59% der Probanden an, bereits Erfahrungen mit VR gesammelt zu haben. Die Häufigkeit betrug dabei bei 3% regelmäßig, bei 9% ab und an, bei 12% selten und 59% haben es bislang nur ausprobiert.

4.2 Deskriptive Kennwerte der Skalen

In Tabelle 5 sind für jede Skala bzw. für jedes Item die Erfassungszeitpunkte, Range, Stichprobengrößen, Mittelwerte, Standardabweichungen sowie Cronbachs Alpha als Maß der internen Konsistenz angegeben. Für derartige statistische Analysen wurden die Items der ein-

gesetzten Messinstrumente wie von den Autorinnen und Autoren (Andersen & Makransky, 2021; Hartmann, 2008; Makransky et al., 2017; Rheinberg et al., 2003) vorgeschlagen zu Skalen bzw. Subskalen zusammengefasst.

Tabelle 5

Deskriptive Kennwerte aller verwendeten Skalen

Variable	MZP	Range	N	M	SD	α
(Vor)-Wissen	Prä	1-10	132	4.16	2.17	-
	Post	1-10	132	6.79	1.68	-
Wissenstest	Post	0-20	132	10.89	4.36	.71
Aufgabe Verhaltensregeln	Post	0-5	131	1.82	1.01	-
Aufgabe Isolation	Post	0-2	132	.94	.54	-
Perspektivenübernahme	Prä	1-10	132	4.77	2.40	-
	Post	1-10	132	6.67	2.13	-
Historische Perspektivenübernahme	Post	1-4	131	2.89	.41	.63
Gegenwartsfixierte Betrachtung der Situation	Post	1-4	131	2.68	.61	.43
Rolle des historischen Akteurs	Post	1-4	131	2.97	.52	.29
Historische Kontextualisierung	Post	1-4	131	3.04	.53	.42
Arbeitsbelastung						
Intrinsische Belastung	Post	1-5	130	2.88	.96	.85
Extrinsische Belastung durch Instruktionen	Post	1-4	130	1.96	.78	.61
Extrinsische Belastung durch Interaktionen	Post	1-4	130	1.89	.73	.74
Extrinsische Belastung durch die Umgebung	Post	1-4	130	1.90	.73	.76
Lernrelevante Belastung	Post	3-5	131	3.97	.62	.70
Unwohlsein						
Schwindel	Post	1-4	129	1.34	.62	-
Übelkeit	Post	1-4	129	1.26	.52	-
Flowerleben	Post	1-6	128	4.71	1.02	.81
Glatte automatisierter Verlauf	Post	1-7	128	5.18	1.36	.68
Absorbiertheit	Post	2-7	128	5.37	1.38	.85
Präsenzerleben						
Physikalische Präsenz	Post	1-5	124	3.35	.99	.88
Selbst-Präsenz	Post	1-5	124	2.82	1.14	.93
Zufriedenheit	Post	1-5	124	4.31	.91	-
Weiterempfehlung	Post	1-5	124	4.33	.93	-

Anmerkungen. MZP = Messzeitpunkt, N = Stichprobengröße, M = Mittelwert, SD = Standardabweichung, α = Cronbachs Alpha

Tabelle 6 enthält die Verteilung der Stichprobe auf die vier Experimentalbedingungen der Studie.

Tabelle 6

Verteilung der Experimentalbedingungen

	HMD	Laptop
Exposition	<i>N</i> = 37	<i>N</i> = 31
Exploration	<i>N</i> = 37	<i>N</i> = 27

4.2.1 Exkurs: Qualitative Daten der Transferaufgaben

Neben einer Vielzahl quantitativer Daten wurden im Rahmen dieser Arbeit in den Transferaufgaben qualitative Daten gesammelt, die gemäß der erarbeiteten Erwartungshorizonte (siehe Anhang H) ausgewertet und numerisch beurteilt wurden. In diesem Absatz werden vereinzelt Antworten der Probanden exponiert. Diese Darstellung beansprucht keine Vollständigkeit oder erfolgte gar nach wissenschaftlichen Auswahlkriterien, sondern will lediglich Eindrücke aus Sicht der Testpersonen vermitteln. Eine weitere Interpretation erfolgt nicht.

Transferaufgabe zum Begriff der Isolation:

Versuchsperson AH08: *Isolation ist, wenn man abgeschieden von dem Rest der Welt ist. Bei Anne Frank mussten sie und ihre Mitbewohner in kompletter Stille leben und keine Aufmerksamkeit auf sich ziehen. Sie hatten Angst, entdeckt zu werden, weswegen sie sich von den Menschen um sich herum abgeschottet haben.*

Versuchsperson HR16: *Isolation ist eine Sache, bei der man aus einem bestimmten Grund nicht in die Außenwelt gehen kann. Man ist allein in seinem Haus/Zimmer. Anne war auch in Isolation, sogar für eine relativ lange Zeit, ca. 2 Jahre. Sie musste auf vieles verzichten. Eine Isolation kann aber auch relativ kurz, ca. 2 Wochen sein, wie jetzt zum Beispiel bei Corona.*

Transferaufgabe zum Aufstellen von Verhaltensregeln:

Versuchsperson JD10: *leise sein, ab einem bestimmten Zeitraum nicht die Toilettenspülung an machen, auf keinen Fall nach draußen gehen, die Vorhänge geschlossen halten*

Versuchsperson PE15: *laut sein, nach 8:30 Uhr irgendetwas von sich hören lassen, eine Essensauswahl haben, aus dem Fenster schauen, raus gehen, Gardinen bei Tag verschieben*

4.3 Testung der Hypothesen I bis III: Haupteffekte

Um die Hypothesen eins bis drei zu überprüfen, wurde eine MANOVA durchgeführt. Die Anwendung dieses parametrischen Verfahrens ist an bestimmte Voraussetzungen geknüpft. Diese wurden hinreichend überprüft. Die Prüfung der Voraussetzungen ist im Anhang P zu finden.

Als unabhängige Variablen wurden in das Verfahren die drei jeweils zweistufigen Variablen Visualisierungstechnologie, didaktische Methode und Diskriminierungserfahrungen integriert. Als abhängige Variablen wurden der Wissenstest, die beiden Transferaufgaben, die beiden Items zur Gesamtbewertung und die historische Perspektivenübernahme eingebunden. Darüber hinaus sind zur Operationalisierung der Lernresultate zwei neue Variablen berechnet worden. Sowohl Perspektivenübernahme als auch fachliches Wissen wurden zu beiden Messzeitpunkten durch zwei einzelne Items abgefragt. Zwecks Erfassung der Zunahme an Perspektivenübernahme bzw. Fachwissen vom ersten zum zweiten Messzeitpunkt wurden zwei neue Variablen berechnet, die einen Prä-Post-Vergleich erlauben. Wie bereits Tabelle 5 zeigt, liegen die Werte zum zweiten Messzeitpunkt numerisch höher als beim ersten Messzeitpunkt. Daher wurde bei der Variablenberechnung der Prä- vom Post-Wert subtrahiert. Positive Werte auf diesen beiden neuen Items bedeuten einen Zuwachs an Perspektivenübernahme bzw. fachlichem Wissen, negative Werte eine Abnahme. Durchschnittlich verbesserte sich das fachliche Wissen über alle Versuchsbedingungen hinweg um 2.63 Einheiten ($SD = 2.25$) und die Perspektivenübernahme um 1.90 Einheiten ($SD = 2.37$). Die beiden neu gebildeten Items wurden ebenfalls als abhängige Variablen in die MANOVA inkludiert.

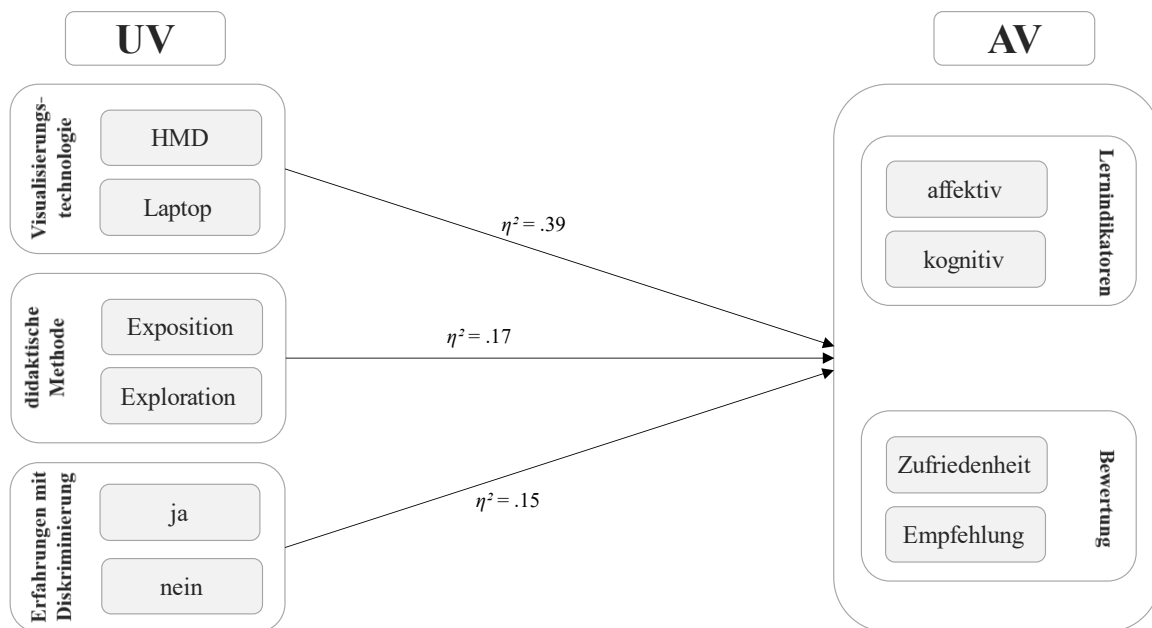
Die MANOVA prüft im vorliegenden Fall, ob der Mittelwertsvektor der abhängigen Variablen vom Nullvektor verschieden ist. Als Signifikanzniveau wurde für die MANOVA und alle folgenden Analyseverfahren 5% festgesetzt. Neben einer Gesamtstatistik, welche aussagt, ob sich der Mittelwertsvektor einer Stufe einer unabhängigen Variable von der anderen Stufe unterscheidet, liefern in der MANOVA enthaltene univariate Tests bzw. ANOVAs, für welche abhängigen Variablen signifikante Effekte der unabhängigen Variablen zu finden sind. Aufgrund der Alphafehler-Kumulierung und der höheren Teststärke wurde sich gegen mehrere ANOVAs und für eine MANOVA entschieden. Außerdem berücksichtigt eine MANOVA im Gegensatz zu einer ANOVA Zusammenhänge zwischen den abhängigen Variablen (Eid et al., 2010; Wentura & Pospeschill, 2015). Als Signifikanzstatistik wurde Wilks Lambda ausgewählt, da sich diese Statistik aufgrund seiner robusten Eigenschaften in der anwendungsorientierten Literatur durchgesetzt hat (Eschweiler, Evanschitzky &

Woisetschläger, 2009). Als Effektstärkemaß wurde das partielle Eta-Quadrat (η^2) herangezogen. Letzteres Maß gibt in Werten zwischen 0 und 1 den Anteil derjenigen Varianz an der Gesamtvarianz der abhängigen Variablen an, der durch eine bestimmte unabhängige Variable erklärt werden kann. In Anlehnung an Cohen (1988) ist $\eta^2 = 0.01$ ein kleiner Effekt, $\eta^2 = 0.06$ ein mittlerer Effekt und $\eta^2 = 0.14$ ein großer Effekt.

Die in dieser Untersuchung durchgeführte dreifaktorielle MANOVA zeigte statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Stufen der Variable Visualisierungstechnologie ($F(8,108) = 8.67, p > .00$, partielles $\eta^2 = .39$, Wilk's $\Lambda = .61$), zwischen den Stufen der Variable didaktische Methode ($F(8,108) = 2.68, p > .00$, partielles $\eta^2 = .17$, Wilk's $\Lambda = .83$) und auch zwischen den Stufen der Variable Diskriminierungserfahrungen ($F(8,108) = 2.47, p = .02$, partielles $\eta^2 = .15$, Wilk's $\Lambda = .85$) für die kombinierten abhängigen Variablen. Die Wechselwirkung zwischen Visualisierungstechnologie und didaktischer Methode wurde nicht signifikant ($F(8,108) = .82, p = .59$, partielles $\eta^2 = .06$, Wilk's $\Lambda = .94$). Abbildung 13 fasst die Befunde zu den Haupteffekten der MANOVA in Anlehnung an die Darstellung in Abbildung 6 zusammen. An dieser Stelle ist jedoch noch nicht die inhaltliche Richtung der gefundenen Effekte ersichtlich. Daher folgen diverse post hoc Analysen.

Abbildung 13

Darstellung der Hypothesen I bis III



Anmerkungen. AV = abhängige Variable; UV = unabhängige Variable; η^2 = partielles Eta-Quadrat

Da für alle drei Faktoren der Analyse signifikante Befunde ermittelt wurden, schloss sich post hoc für jede abhängige Variable die Durchführung einer mehrfaktoriellen ANOVA an. Tabelle 7 enthält die Ergebnisse zur unabhängigen Variable Visualisierungstechnologie, Tabelle 8 die Ergebnisse zur unabhängigen Variable didaktische Methode und Tabelle 9 schließlich die Ergebnisse zur unabhängigen Variable Diskriminierungserfahrungen. Unterhalb jeder Tabelle wird auf die statistisch bedeutsamen Befunde der ANOVAs im Detail eingegangen.

4.3.1 Hypothese I: VR-Visualisierungstechnologie

Tabelle 7

Ergebnisse der ANOVAs für die unabhängige Variable VR-Visualisierungstechnologie

Abhängige Variable	F-Wert	df _{Zähler}	df _{Nenner}	p	partielles η^2
Wissen Prä-Post Vergleich	.07	1	115	.80	.00
Perspektive Prä-Post-Vergleich	3.23	1	115	.08	.03
Zufriedenheit	4.85	1	115	.03*	.04
Weiterempfehlung	6.79	1	115	.01**	.06
Historische Perspektivenübernahme	.54	1	115	.47	.01
Wissenstest	21.90	1	115	.00***	.16
Transferaufgabe Isolation	.33	1	115	.57	.00
Transferaufgabe Verhaltensregeln	8.38	1	115	.01**	.07

Anmerkungen. df = Freiheitsgrade; p = Signifikanzniveau; η^2 = Eta-Quadrat; Signifikanzniveau * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

Signifikante Unterschiede zwischen den beiden Stufen der Visualisierungstechnologie (1. HMD, 2. Laptop) finden sich hinsichtlich der abhängigen Variablen der Zufriedenheit, der Weiterempfehlung, der Transferaufgabe zu den Verhaltensregeln sowie hinsichtlich des Wissenstests. In den HMD-Bedingungen sind die Versuchspersonen bedeutsam zufriedener, würden die VR-Anwendung eher weiterempfehlen und sie erzielen auch signifikant bessere Leistungen in der Transferaufgabe zu den Verhaltensregeln als die Versuchspersonen in den Laptop-Bedingungen. Beim Wissenstest hingegen sind die Ergebnisse der Laptop-Gruppen signifikant besser als die der HMD-Gruppen. Balkendiagramme (siehe Abbildungen 14 bis

17) visualisieren die numerischen Unterschiede zwischen den Stufen auf diesen vier abhängigen Variablen. Die Fehlerbalken repräsentieren nach oben und unten die einfache Standardabweichung.

Abbildung 14

Signifikante Unterschiede bezüglich der Visualisierungstechnologie auf der abhängigen Variable Weiterempfehlung

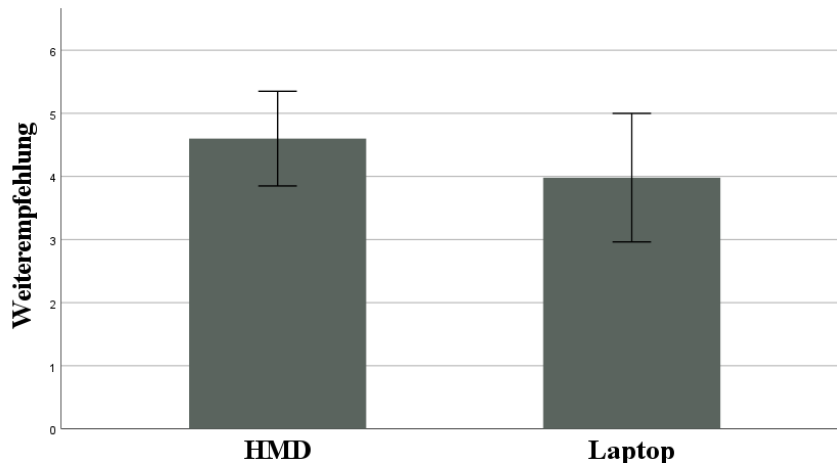


Abbildung 15

Signifikante Unterschiede bezüglich der Visualisierungstechnologie auf der abhängigen Variable Zufriedenheit

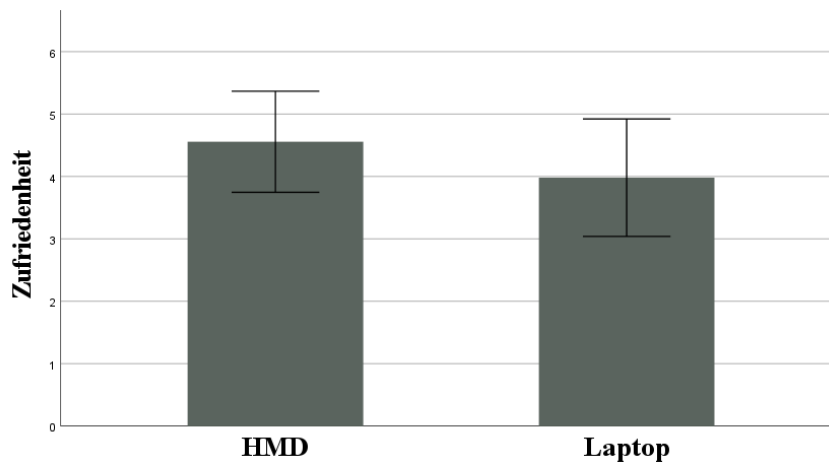
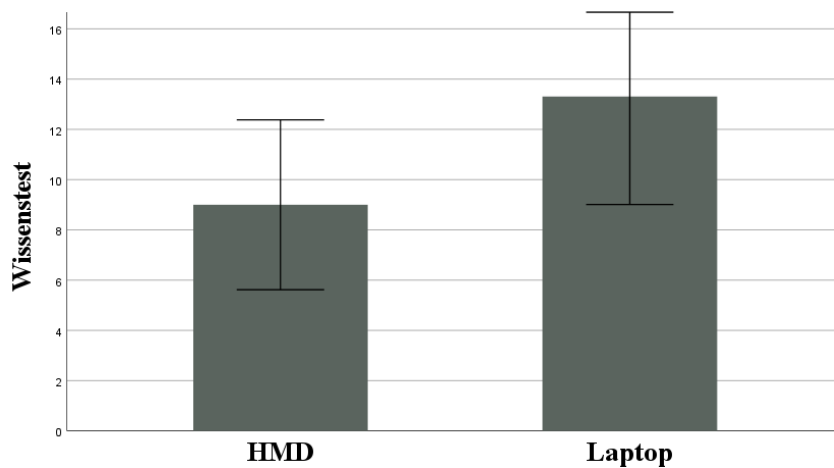
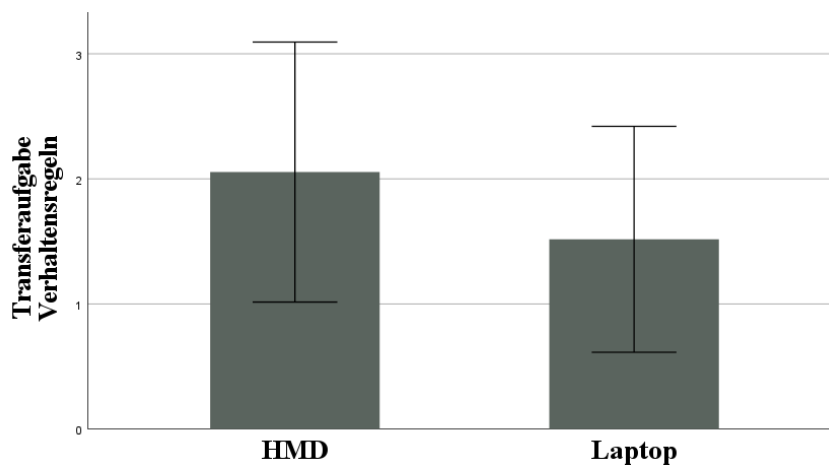


Abbildung 16

Signifikante Unterschiede bezüglich der Visualisierungstechnologie auf der abhängigen Variable Wissenstest

**Abbildung 17**

Signifikante Unterschiede bezüglich der Visualisierungstechnologie auf der abhängigen Variable Transferaufgabe Verhaltensregeln



Für die abhängige Variable Perspektive Prä-Post-Vergleich konnte knapp kein statistisch bedeutsamer Unterschied zwischen den Ausprägungen der Variable Visualisierungstechnologie gefunden werden ($p = .08$). Dennoch soll an dieser Stelle die numerische Differenz berichtet werden. Unter dem HMD liegt der Mittelwert bei $M = 2.25$ ($SD = 2.44$), am Laptop bei $M = 1.44$ ($SD = 2.13$).

4.3.2 Hypothese II: didaktische Methode

Tabelle 8

Ergebnisse der ANOVAs für die unabhängige Variable didaktische Methode

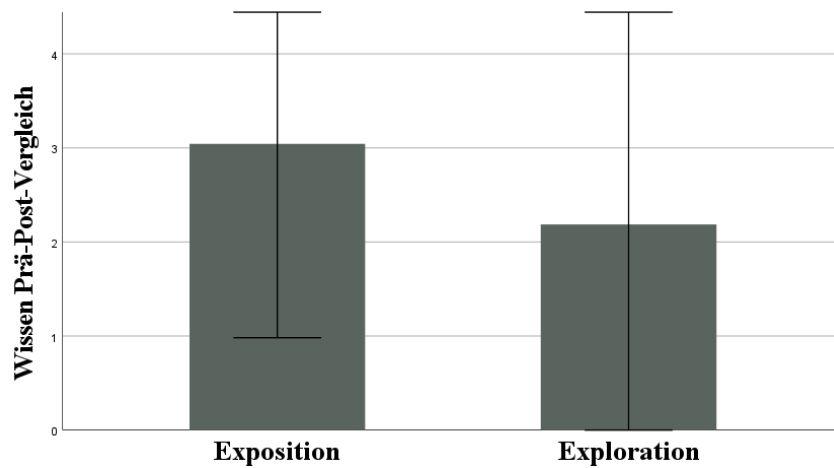
Abhängige Variable	F-Wert	df _{Zähler}	df _{Nenner}	p	partielles η^2
Wissen Prä-Post Vergleich	6.94	1	115	.01**	.06
Perspektive Prä-Post-Vergleich	.81	1	115	.37	.01
Zufriedenheit	.14	1	115	.71	.00
Weiterempfehlung	1.69	1	115	.20	.01
Historische Perspektivenübernahme	.03	1	115	.86	.00
Wissenstest	3.82	1	115	.05*	.03
Transferaufgabe Isolation	.29	1	115	.59	.00
Transferaufgabe Verhaltensregeln	1.65	1	115	.20	.01

Anmerkungen. df = Freiheitsgrade; p = Signifikanzniveau; η^2 = Eta-Quadrat; Signifikanzniveau * $p < .05$, ** $p < .01$

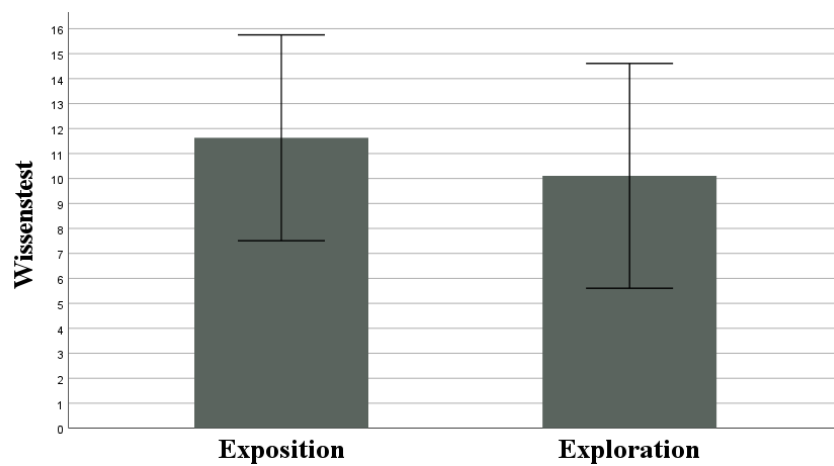
Im Hinblick auf den Prä-Post-Vergleich des fachlichen Wissens sowie auf den Wissenstest konnten in den ANOVAs statistisch signifikante Unterschiede zwischen den beiden Stufen der didaktischen Methode ermittelt werden. Testpersonen in den Expositions-Experimentalbedingungen schätzten ihren Wissenszuwachs signifikant größer ein als Testpersonen in den Explorations-Bedingungen und schnitten auch im Wissenstest bedeutsam besser ab. Abbildungen 18 und 19 zeigen die numerischen Stufenunterschiede auf den beiden abhängigen Variablen. Die Fehlerbalken repräsentieren erneut nach oben und unten die einfache Standardabweichung.

Abbildung 18

Signifikante Unterschiede bezüglich der didaktischen Methode auf der abhängigen Variable Wissen Prä-Post-Vergleich

**Abbildung 19**

Signifikante Unterschiede bezüglich der didaktischen Methode auf der abhängigen Variable Wissenstest



4.3.3 Hypothese III: Diskriminierungserfahrungen

Tabelle 9

Ergebnisse der ANOVAs für die unabhängige Variable Diskriminierungserfahrungen

Abhängige Variable	F-Wert	df _{Zähler}	df _{Nenner}	p	partielles η^2
Wissen Prä-Post Vergleich	.89	1	115	.35	.01
Perspektive Prä-Post-Vergleich	.31	1	115	.58	.00
Zufriedenheit	13.55	1	115	.00***	.11
Weiterempfehlung	9.71	1	115	.00***	.08
Historische Perspektivenübernahme	1.76	1	115	.19	.02
Wissenstest	.03	1	115	.86	.00
Transferaufgabe Isolation	.23	1	115	.63	.00
Transferaufgabe Verhaltensregeln	1.29	1	115	.26	.01

Anmerkungen. df = Freiheitsgrade; p = Signifikanzniveau; η^2 = Eta-Quadrat; Signifikanzniveau *** $p < .001$

Auch im Hinblick auf die unabhängige Variable Diskriminierungserfahrungen wurden signifikante Effekte sichtbar. Sowohl die Zufriedenheit als auch die Weiterempfehlung kann bedeutsam durch diese Variable, die zwischen den Stufen Diskriminierungserfahrung vorhanden und Diskriminierungserfahrung nicht vorhanden unterscheidet, erklärt werden. Personen, die innerhalb ihrer bisherigen Lebensgeschichte diskriminiert worden sind, sind bedeutsam unzufriedener mit der VR-Anwendung und empfinden diese als weniger empfehlenswert als Personen, die bislang keine Diskriminierung erfahren haben. Abbildungen 20 und 21 repräsentieren die numerischen Unterschiede zwischen den beiden Stufen der unabhängigen Variable. Wie auch in den obigen Darstellungen stehen die Fehlerbalken nach oben und unten für die einfache Standardabweichung.

Abbildung 20

Signifikante Unterschiede bezüglich der Diskriminierungserfahrungen auf der abhängigen Variable Zufriedenheit

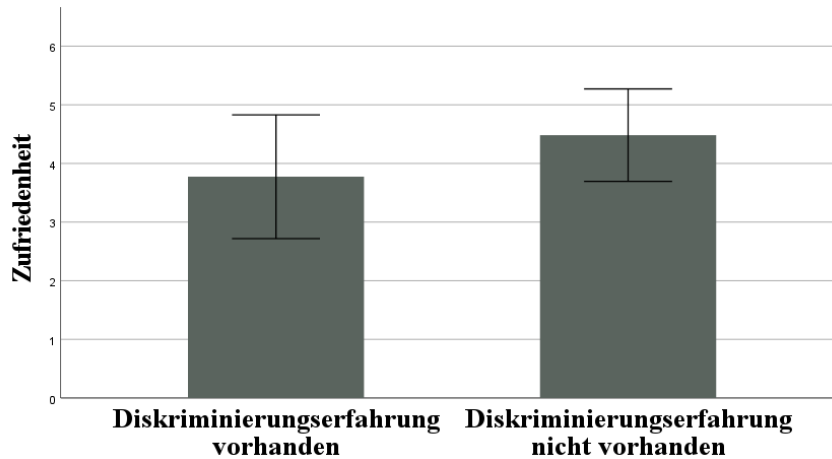
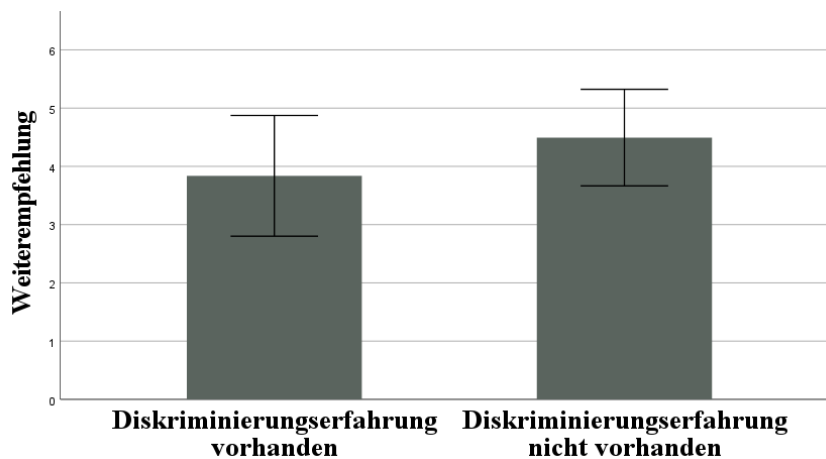


Abbildung 21

Signifikante Unterschiede bezüglich der Diskriminierungserfahrungen auf der abhängigen Variable Weiterempfehlung



4.4 Testung der Hypothesen IV und V: Moderationseffekte

Eine Moderation, auch Interaktion genannt, entsteht, wenn die Beziehung zwischen zwei Variablen von einer dritten Variable abhängt. In der vorliegenden Untersuchung ist davon ausgegangen worden, dass das fachliche Vorwissen und die technologischen Vorkenntnisse die Beziehung zwischen der unabhängigen Variable didaktische Methode und den abhängigen Variablen der Lernindikatoren getrennt voneinander beeinflussen (siehe Abbildungen 5 und 6). Um die angenommenen moderierenden Effekte der beiden Kontrollfaktoren hinreichend zu überprüfen, wurden mit Hilfe des PROCESS Makros von Hayes

(2013) lineare Regressionen angestellt. In die Regressionen wurde als unabhängige Variable die didaktische Methode und als Moderatoren technologische Vorkenntnisse sowie fachliches Vorwissen inkludiert. Weil Lernen als Kriterium der Regression auf verschiedenen Ebenen betrachtet wurde, wurden mehrere Regressionen angestellt. So ist für jeden Indikator (d.h. Wissenstest, Wissen Prä-Post Vergleich, historische Perspektivenübernahme, Perspektive Prä-Post Vergleich, Zufriedenheit, Weiterempfehlung, Transferaufgabe Verhaltensregeln) eine Regression berechnet worden. Der Lernindikator Transferaufgabe Isolation wurde aufgrund fehlender Linearität (siehe Anhang Q) exkludiert.

Zur Testung der Moderation verwendet das Makro PROCESS den Resampling-Ansatz Bootstrapping (z.B. Eid et al., 2010). Bootstrapping wird in der Forschungsliteratur als robuste Methode zur Signifikanztestung verstanden (MacKinnon, Lockwood & Williams, 2004). Dennoch ist die Durchführung einer Moderationsanalyse an bestimmte Voraussetzungen gebunden. Diese wurden hinreichend überprüft (siehe Anhang Q). Ob die Moderationseffekte bedeutsam sind, prüft PROCESS mittels Konfidenzintervallen, in der vorliegenden Untersuchung mit 5000 Bootstrapping-Durchgängen. Umschließt das Konfidenzintervall den Wert null, so ist der Moderationseffekt als nicht bedeutsam zu interpretieren. Es wurde auf das Modell zwei nach Hayes (2013) zurückgegriffen, da angenommen wurde, dass beide Kontrollfaktoren den Zusammenhang zwischen der unabhängigen Variable und den abhängigen Variablen beeinflussen, jedoch nicht miteinander interagieren.

Weil der Haupteffekt der didaktischen Methode bereits in der in Abschnitt 4.3 beschriebenen MANOVA hinreichend untersucht wurde, braucht dieser nachfolgend nicht erneut berichtet werden. Vielmehr interessieren die Interaktionseffekte. Die Inferenzstatistik der Moderationsanalysen lieferte F-Werte, dazugehörige Freiheitsgrade, Signifikanzniveaus und Konfidenzintervalle. Tabelle 10 bietet einen Überblick über die Ergebnisse. Für jede abhängige Variable, also für jeden der sieben Lernindikatoren (graue Zeilen in Tabelle 10), sind die Statistiken zu den Interaktionen durch die beiden Kontrollvariablen Vorwissen und technologische Vorkenntnisse dargeboten. Zusätzlich wird R-Quadrat Delta (ΔR^2) als Maß der Effektstärke berichtet. Es gibt in Werten zwischen 0 und 1 an, wie viel mehr Varianzanteile an der Gesamtvarianz der abhängigen Variable der Interaktionsterm aufklärt als der Moderator und die unabhängige Variable allein. Gemäß Cohen (1988) entspricht $R^2 = 0.02$ geringer Varianzaufklärung, $R^2 = 0.13$ moderater Varianzaufklärung und $R^2 = 0.26$ starker Varianzaufklärung.

Der Großteil der statistischen Analysen konnte keine Moderationseffekte der Faktoren fachliches Vorwissen sowie technologische Vorkenntnisse auf die Beziehung zwischen der didaktischen Methode und den Lernindikatoren finden. Lediglich für zwei der sieben Lernindikatoren sagte die Interaktion zwischen fachlichem Vorwissen und didaktischer Methode die Lernresultate (hier: die subjektive Einschätzung zum Wissenszuwachs und die Leistungen in der Transferaufgabe zu den Verhaltensregeln) signifikant vorher. 1,6% bzw. 3,9% der Gesamtvarianz konnte jeweils durch die Interaktion erklärt werden.

Tabelle 10

Ergebnisse der Moderationsanalysen

	<i>F</i> -Wert	<i>df</i> _{Zähler}	<i>df</i> _{Nenner}	<i>p</i>	ΔR^2	CI
Wissenstest						
Vorwissen	.02	1	126	.88	.0002	[-0.589, 0.751]
Technologische Vorkenntnisse	2.38	1	126	.13	.0178	[-5.451, 0.683]
Wissen Prä-Post						
Vorwissen	4.38	1	126	.04*	.0163	[-0.523, -0.034]
Technologische Vorkenntnisse	1.66	1	126	.20	.0052	[-1.706, 0.302]
Historische Perspektiven-übernahme						
Vorwissen	.00	1	125	.99	.0000	[-0.069, 0.070]
Technologische Vorkenntnisse	.59	1	125	.44	.0041	[-0.387, 0.166]
Perspektive Prä-Post						
Vorwissen	.43	1	126	.51	.0034	[-0.505, 0.256]
Technologische Vorkenntnisse	.03	1	126	.86	.0003	[-1.721, 1.949]
Zufriedenheit						
Vorwissen	.06	1	118	.80	.0006	[-0.131, 0.184]
Technologische Vorkenntnisse	.03	1	118	.87	.0002	[-0.726, 0.632]
Weiterempfehlung						
Vorwissen	.00	1	118	.98	.0000	[-0.151, 0.156]
Technologische Vorkenntnisse	.18	1	118	.67	.0015	[-0.891, 0.511]

Fortführung Tabelle 10

Ergebnisse der Moderationsanalysen

	<i>F</i> -Wert	<i>df</i> _{Zähler}	<i>df</i> _{Nenner}	<i>p</i>	ΔR^2	CI
Aufgabe						
Verhaltensregeln						
Vorwissen	5.88	1	125	.02*	.0393	[-0.345, -0.043]
Technologische Vorkenntnisse	2.31	1	125	.13	.0164	[-1.241, 0.149]

Anmerkungen. *df* = Freiheitsgrade; *p* = Signifikanzniveau; ΔR^2 = R-Quadrat Delta; CI = Konfidenzintervall mit Wahrscheinlichkeit 95%; Signifikanzniveau * $p < .05$

Zum besseren Verständnis der gefundenen Moderationseffekte für die Kontrollvariable fachliches Vorwissen wurde eine neue Variable gebildet. Die kontinuierliche Variable Vorwissen wurde kategorisiert in die Stufen wenig Vorwissen, moderates Vorwissen und viel Vorwissen. Diese Kategorisierung geschah anhand des Mittelwerts und der Standardabweichung der Variable (siehe Tabelle 5). Die Stufe moderates Vorwissen beinhaltet Werte plus und minus eine Standardabweichung um den Mittelwert. Werte unterhalb dieser Range fallen in die Kategorie wenig Vorwissen, Werte oberhalb in die Kategorie viel Vorwissen. In einem nächsten Schritt wurde für die beiden signifikant gewordenen abhängigen Variablen je ein Streudiagramm erstellt (siehe Abbildungen 22 und 23). Mit Hilfe eines solchen Diagramms lässt sich visualisieren, für welche Werte des Moderators der moderierende Effekt auftritt und für welche nicht. An der y-Achse ist der jeweilige Lernindikator, an der x-Achse die Stufen der didaktischen Methode (Exposition und Exploration) dargestellt. In diese Diagramme wurden für die Stufen der neu gebildeten kategorialen Variable Vorwissen bedingte Regressionsgeraden eingezeichnet. Anhand dieser Diagramme lässt sich schlussfolgern, dass Testpersonen mit wenig Vorwissen hinsichtlich der Lernresultate eher in der Explorations-Versuchsbedingung profitierten. Personen mit viel Vorwissen dagegen schnitten besser in den Expositions-Bedingungen ab. Für Probanden mit moderatem Vorwissen lässt sich keine eindeutige Richtung erkennen. Dieser Befund gilt für beide Lernindikatoren.

Abbildung 22

Signifikante Moderation der Variablen didaktische Methode und Vorwissen auf den Zuwachs an Fachwissen

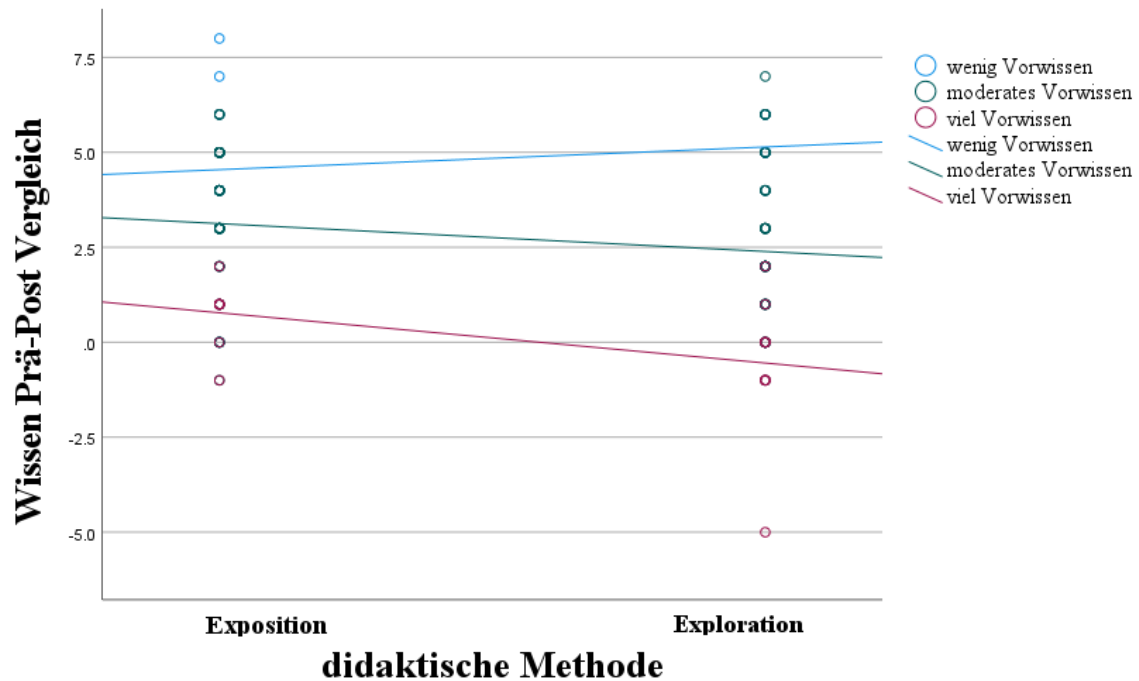


Abbildung 23

Signifikante Moderation der Variablen didaktische Methode und Vorwissen auf die Leistung bei der Transferaufgabe Verhaltensregeln

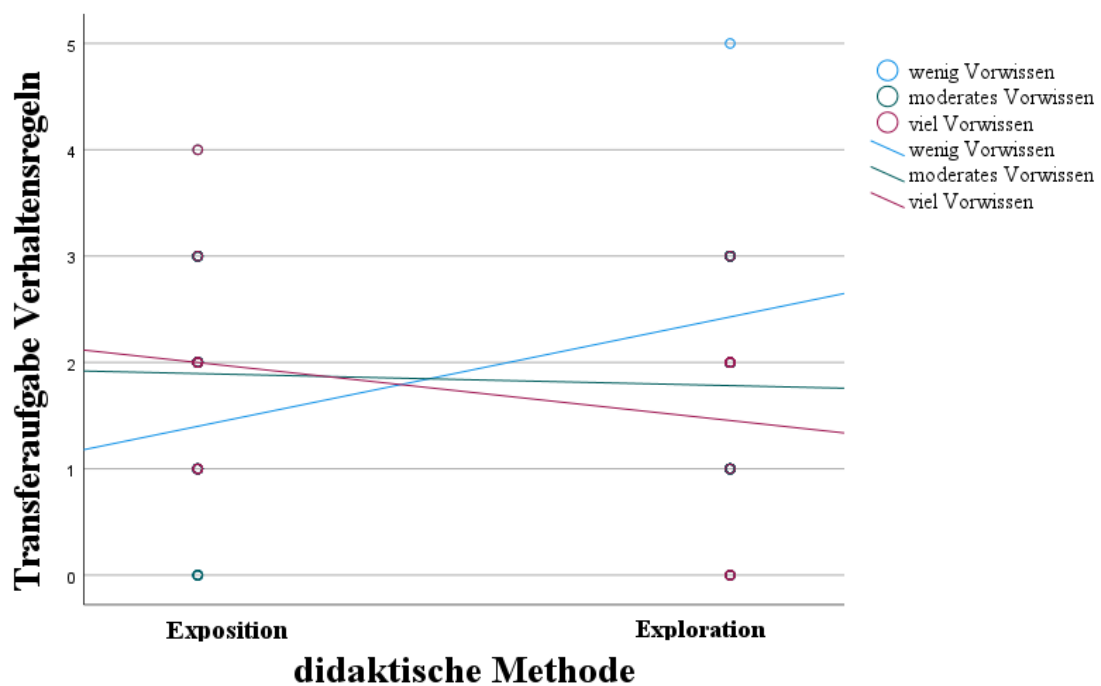
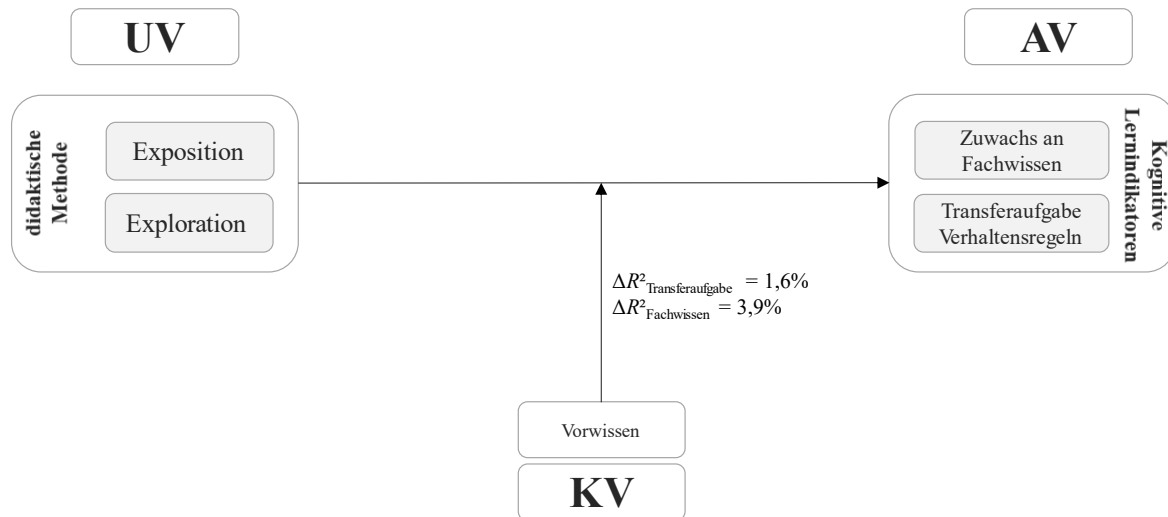


Abbildung 24 versucht die Befunde der Moderationsanalysen in Anlehnung an die Darstellung in Abbildung 6 komprimiert darzustellen.

Abbildung 24

Darstellung der Hypothese IV



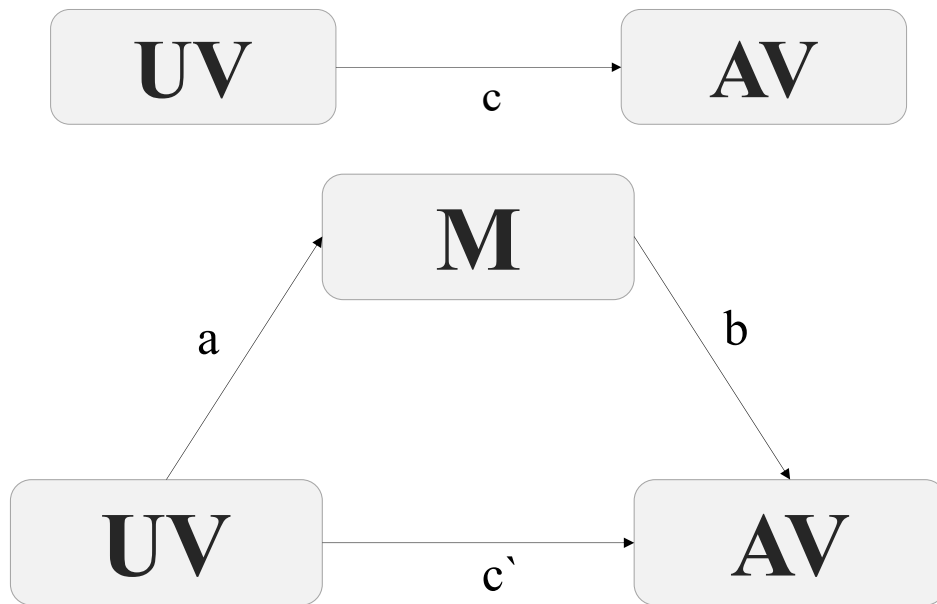
Anmerkungen. AV = abhängige Variable; UV = unabhängige Variable; KV = Kontrollvariable; ΔR^2 = partielles R-Quadrat

4.5 Testung der Hypothesen VI und VII: Mediationseffekte

Im letzten Abschnitt des Ergebnisberichts liegt der Fokus auf denen in Hypothese sechs und sieben postulierten Mediationen. Ein Mediator erklärt die Beziehung zwischen einer unabhängigen und einer abhängigen Variable. Damit ist die Mediationsanalyse auch gleichzeitig eine Analyse von Kausaleffekten. Neben direkten Effekten werden indirekte Effekte über Drittvariablen untersucht. Nach Baron und Kenny (1986) müssen vier Annahmen für das Vorhandensein einer Mediation erfüllt sein (siehe Abbildung 25). Erstens, zwischen der unabhängigen Variable und der abhängigen Variable existiert ein direkter Zusammenhang (Pfad c). Dieser Pfad wird auch der totale Effekt genannt. Zweitens, die unabhängige Variable muss mit dem Mediator korrelieren (Pfad a). Drittens, auch Mediator und abhängige Variable müssen zusammenhängen (Pfad b). Viertens, bei einer vollständigen Mediation verliert der direkte Pfad zwischen unabhängiger und abhängiger Variable seine Signifikanz (Pfad c'). Der Pfad c' wird auch der direkte Effekt genannt. Direkter (c') plus indirekter Effekt (d.h. das Produkt aus a und b) ergeben den totalen Effekt (c). Wenn der vierte Schritt nicht erfüllt ist, wird von partieller Mediation gesprochen.

Abbildung 25

Darstellung einer Mediationstestung (eigene Darstellung in Anlehnung an Baron & Kenny (1986))



Anmerkungen. AV = abhängige Variable; UV = unabhängige Variable; M = Mediatorvariable

In der Forschungsliteratur wird der Ansatz von Baron und Kenny (1986) oft kritisch betrachtet. Einige Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sind der Meinung, dass lediglich Schritt zwei und drei für eine Mediation vorhanden sein müssen (MacKinnon, 2012). Andere postulieren sogar, dass nur der indirekte Effekt notwendig ist, um von einer Mediation ausgehen zu können (Zhao, Lynch & Chen, 2010).

In der vorliegenden Untersuchung ist angenommen worden, dass latente Verarbeitungsprozesse beim Lernen die Zusammenhänge zwischen didaktischer Methode und den Lernindikatoren einerseits und Visualisierungstechnologien und Lernindikatoren andererseits bedeutsam erklären können (siehe Abbildungen 5 und 6). Dabei wird von paralleler Mediation ausgegangen, was bedeutet, dass die Mediatoren parallel nebeneinander wirken. Die unabhängigen Variablen beeinflussen sämtliche Mediatoren unabhängig voneinander und die beeinflussen wiederum unabhängig voneinander die abhängigen Variablen.

Die erste Annahme von Baron und Kenny (1986), nämlich der direkte Wirkzusammenhang zwischen Visualisierungstechnologie sowie didaktischer Methode und den verschiedenen Lernindikatoren (Pfad c), ist bereits durch die MANOVA und die darauf folgenden ANOVAs in Abschnitt 4.3 hinreichend überprüft worden. Für einige der Lern-

indikatoren wurden signifikante Haupteffekte für die didaktische Methode und die Visualisierungstechnologie gefunden.

Die Annahmen zwei bis vier von Baron und Kenny (1986) werden im Folgenden eingehend untersucht.

4.5.1 Zweite Annahme von Baron und Kenny (1986): Zusammenhänge zwischen VR-Visualisierungstechnologie, didaktischer Methode und Lernprozessvariablen

Um die Beziehungen zwischen Visualisierungstechnologie, didaktischer Methode und den Lernprozessvariablen (Pfad a) näher zu bestimmen, wurden multiple t-Tests für unabhängige Stichproben durchgeführt. Es interessierte, ob sich die Mediatorvariablen zwischen den Ausprägungen der unabhängigen Variablen unterscheiden. Der t-Test für unabhängige Stichproben prüft, ob sich die beobachteten Stichprobenmittelwerte zweier voneinander unabhängiger Gruppen statistisch bedeutsam voneinander unterscheiden. Im vorliegenden Fall testet das Verfahren, ob hinsichtlich der Stufen der Visualisierungstechnologie (HMD vs. Laptop) und der didaktischen Methode (Exposition vs. Exploration) Unterschiede bezüglich der diversen Lernprozessvariablen vorliegen.

Die Anwendung dieses parametrischen Verfahrens ist an bestimmte Voraussetzungen geknüpft. Diese wurden hinreichend überprüft. Die Prüfung der Voraussetzungen ist im Anhang R zu finden. Als Effektstärkemaß wurde Cohens d (Cohen, 1988) verwendet. Cohens d wird berechnet, indem die Differenz der Mittelwerte beider Gruppen durch den Standardfehler (d.h. die Streuung des Mittelwertunterschieds) dividiert wird (Eid et al., 2010). Laut Cohen (1988) ist $d = 0.20$ ein kleiner Effekt, $d = 0.50$ ein mittlerer Effekt und $d = 0.80$ ein großer Effekt. Die Ergebnisse der t-Tests sind den Tabellen 11 und 12 zu entnehmen. Eine positive Mittelwertsdifferenz in Tabelle 11 bedeutet, dass Versuchspersonen der HMD-Versuchsbedingungen höhere Werte erzielt haben als Personen in den Laptop-Bedingungen. Eine positive Mittelwertsdifferenz in Tabelle 12 bedeutet, dass Versuchspersonen der Expositions-Bedingungen höhere Werte erzielt haben als Personen in den Explorations-Bedingungen. Die beiden potenziellen Mediatorvariablen zu Unwohlsein wurden aufgrund zu vieler extremer Ausreißerwerte in den t-Tests und in darauffolgenden Analysen nicht berücksichtigt (siehe Anhang R).

Tabelle 11

Ergebnisse der multiplen t-Tests für unabhängige Stichproben für die Lernprozessvariablen auf den Stufen der Visualisierungstechnologie

Variable	MD	SD	df	t-Wert	p	d
Flowerleben gesamt	1.13	.15	126	7.37	.00***	1.31
Flowerleben Verlauf	1.17	.23	103	5.17	.00***	.95
Flowerleben Absorbiertheit	1.75	.19	126	9.18	.00***	1.64
Präsenzerleben physikalisch	1.06	.15	108	6.88	.00***	1.26
Präsenzerleben selbst	1.06	.18	111	.13	.90	1.05
Intrinsische Arbeitsbelastung	.11	.17	123	.66	.57	.12
Extrinsische Arbeitsbelastung Instruktionen	-.44	.14	110	-3.22	.00***	-.58
Extrinsische Arbeitsbelastung Interventionen	-.39	.13	111	-3.02	.00***	-.54
Extrinsische Arbeitsbelastung Umgebung	-.42	.13	112	-3.34	.00***	-.60
Lernrelevante Arbeitsbelastung	.85	.09	129	10.63	.00***	1.87

Anmerkungen. MD = Mittelwertsdifferenz; SD = Standardfehler; df = Freiheitsgrade; d = Effektstärkemaß nach Cohen; Signifikanzniveau *** $p < .001$

Hinsichtlich der Lernprozesse konnten statistisch hoch signifikante Unterschiede zwischen der HMD-Gruppe und der Laptop-Gruppe gefunden werden. Probanden in den HMD-Versuchsbedingungen erlebten subjektiv mehr Flow. Das gilt für die Gesamtskala und die beiden Subskalen Verlauf und Absorbiertheit. Hinsichtlich der Subskala physikalische Präsenz verspürten die Testpersonen der HMD-Gruppe mehr Präsenz als die der Laptop-Gruppe, nicht aber hinsichtlich der Selbst-Präsenz. Als dritter Lernprozess wurde die subjektiv erlebte Arbeitsbelastung betrachtet. In Bezug auf die intrinsische Arbeitsbelastung fanden sich keine Gruppenunterschiede, wohl aber in Bezug auf die anderen Subskalen. In allen drei Skalen zur extrinsischen Belastung berichtete die Laptop-Gruppe bedeutsam

belasteter gewesen zu sein als die HMD-Gruppe. Für die lernrelevante Belastung war es umgekehrt. Nach Cohen (1988) sind sämtliche als signifikant ermittelten Effekte als groß einzustufen.

Tabelle 12

Ergebnisse der multiplen t-Tests für unabhängige Stichproben für die Lernprozessvariablen auf den Stufen der didaktischen Methode

Variable	MD	SD	df	t-Wert	p	d
Flowerleben gesamt	-.17	.18	126	-.95	.37	-.17
Flowerleben Verlauf	-.35	.24	125	-1.45	.15	-.26
Flowerleben Absorbiertheit	-.09	.24	126	-.38	.71	-.07
Präsenzerleben physikalisch	-.21	.18	122	-1.16	.25	-.21
Präsenzerleben selbst	-.30	.20	122	-1.48	.14	-.27
Intrinsische Arbeitsbelastung	-.08	.17	126	-.46	.64	-.08
Extrinsische Arbeitsbelastung Instruktionen	-.25	.14	128	-1.80	.07	-.32
Extrinsische Arbeitsbelastung Interventionen	-.12	.13	128	-.93	.35	-.16
Extrinsische Arbeitsbelastung Umgebung	-.05	.13	128	-.39	.69	-.07
Lernrelevante Arbeitsbelastung	.12	.11	129	1.08	.28	.19

Anmerkungen. MD = Mittelwertsdifferenz; SD = Standardfehler; df = Freiheitsgrade; d = Effektstärkemaß nach Cohen; Signifikanzniveau $p = .05$

Wie Tabelle 12 aufzeigt, konnten hinsichtlich der Lernprozessvariablen keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen der Expositions-Gruppe und der Explorations-Gruppe gefunden werden. Aufgrund der fehlenden Zusammenhänge, wurde beschlossen, die unabhängige Variable didaktische Methode nicht in die nachfolgenden Mediationsanalysen mitaufzunehmen.

4.5.2 Dritte Annahme von Baron und Kenny (1986): Zusammenhänge zwischen Lernprozessvariablen und Lernindikatoren

Um die dritte Annahme von Baron und Kenny (1986) (Pfad b) zu testen, wurde angesichts der Vielzahl an Variablen (elf bis dreizehn Lernprozessvariablen und acht Lernindikatoren) auf deskriptive Korrelationsanalysen zurückgegriffen. Die korrelativen Zusammenhänge wurden aufgrund mangelnder Normalverteilung mit der nicht-parametrischen Spearman-Rangkorrelation (r_s) ermittelt. Der Korrelationskoeffizient ist definiert zwischen minus und plus eins, wobei ein Wert von plus eins einen perfekten positiven Zusammenhang zwischen zwei Variablen beschreibt, während eine Korrelation von minus eins einen perfekten negativen Zusammenhang beschreibt. Eine Korrelation von null bedeutet, dass kein Zusammenhang zwischen den beiden Variablen existiert (Eid et al., 2010). Laut Cohen (1988) ist $|r_s| = 0.10$ ein schwacher Zusammenhang, $|r_s| = 0.30$ ein mittlerer Zusammenhang und $|r_s| = 0.50$ ein großer Zusammenhang. Auch die Anwendung der Rangkorrelation nach Spearman ist an bestimmte Voraussetzungen geknüpft. Die Überprüfung dieser ist im Anhang S zu finden. Die beiden Variablen zu Unwohlsein wurden weiterhin aufgrund zu vieler Extremwerte exkludiert (siehe Anhang R).

Die Ergebnisse der Zusammenhangsanalysen sind Tabelle 13 zu entnehmen. Es konnten diverse statistisch signifikante Korrelationen ermittelt werden. So scheint das Erleben von Flow in allen Facetten mit erhöhter Zufriedenheit, größerer Tendenz zur Weiterempfehlung, besseren Leistungen im Wissenstest und teils besseren Leistungen in den Transferaufgaben einherzugehen. Auch das Präsenzerleben hängt in seinen beiden Facetten bedeutsam positiv mit Zufriedenheit und Weiterempfehlung zusammen und abhängig von der Facette auch positiv mit den Leistungen im Wissenstest oder den Transferaufgaben. Negative Korrelationen finden sich zwischen den Maßen zur extrinsischen Arbeitsbelastung und den Lernindikatoren. Je mehr extrinsische Arbeitsbelastung erlebt wurde, desto unzufriedener die Testpersonen, desto weniger würden sie die VR-Anwendung weiterempfehlen und desto schlechter die Leistungen in den Transferaufgaben. Für die intrinsische Arbeitsbelastung konnten keine signifikanten Korrelationen gefunden werden, wohl aber für die lernrelevante Arbeitsbelastung. Je höher diese war, desto höher auch die Zufriedenheit, die Weiterempfehlungstendenz und die Wissenstestleistungen.

Tabelle 13

Spearman-Rangkorrelationen zwischen den Lernprozessvariablen und den Lernindikatoren

	Lernindikatoren							
	WV	PV	ZH	WE	HP	WT	TI	TV
Flow gesamt	.12	.16	.43**	.28**	-.11	.24**	.09	.26**
Flow Verlauf	.11	.16	.47**	.36**	-.14	.22**	.12	.23**
Flow Absorbiertheit	.15	.11	.41**	.36**	-.03	.23**	.24**	.32**
Präsenz physikalisch	.09	.03	.48**	.48**	.09	-.15	.25**	.25**
Präsenz selbst	.01	.04	.40**	.40**	.02	.22*	.10	.07
Belastung intrinsisch	-.06	.10	-.05	-.04	.09	-.02	-.03	.00
Belastung extrinsisch Instruktionen	.05	-.03	-.34**	-.34**	-.14	-.12	-.33**	-.23**
Belastung extrinsisch Interventionen	-.05	-.06	-.44**	-.45**	-.02	-.09	-.33**	-.26**
Belastung extrinsisch Umgebung	-.08	-.01	-.46**	-.49**	-.15	.02	-.37**	-.23**
Belastung lernrelevant	.05	.06	.27**	.19*	.00	.42**	.08	.16

Anmerkungen. WV = Wissen Prä Post Vergleich, PV = Perspektive Prä Post Vergleich, ZH = Zufriedenheit, WE = Weiterempfehlung, HP = historische Perspektivenübernahme, WT = Wissenstest, TI = Transferaufgabe Isolation, TV = Transferaufgabe Verhaltensregeln, Signifikanzniveau * $p < .05$, ** $p < .01$

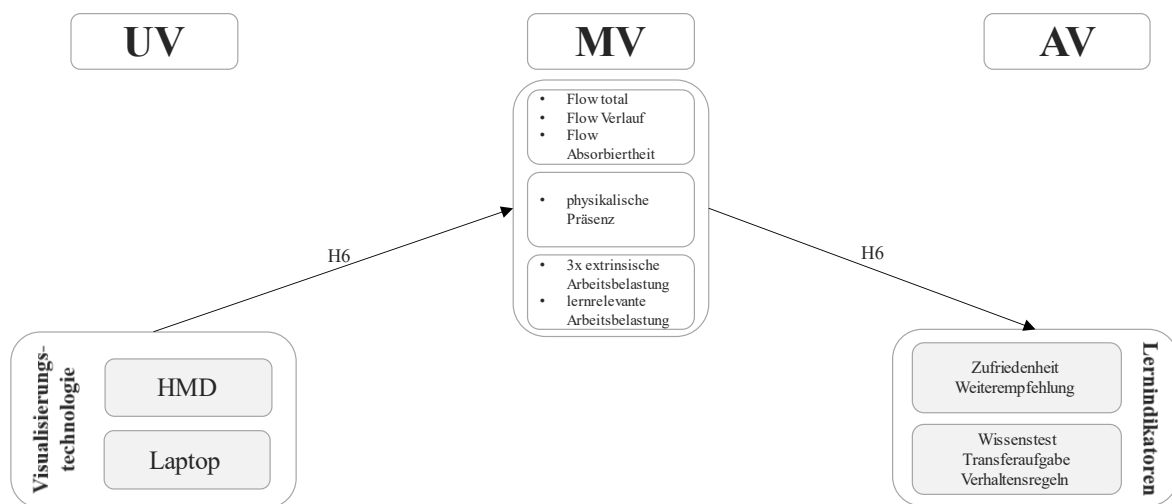
4.5.3 Vierte Annahme von Baron und Kenny (1986): Überprüfung des indirekten Effekts

Im Folgenden werden die in den Hypothesen sechs und sieben postulierten Mediationsannahmen inferenzstatistisch überprüft. Wie die multiplen t-Tests (siehe Abschnitt 4.5.1) aufgezeigt haben, hängt die Variable didaktische Methode nicht mit den Lernprozessvariablen zusammen. Daher wurde sie als unabhängige Variable für die folgenden Mediationsanalysen ausgeschlossen. Damit verbleibt einzig Visualisierungstechnologie als unabhängige Variable im Modell. Als Lernprozessvariablen wurden die Gesamtskala Flowerleben sowie ihre beiden

Subskalen Absorbiertheit und Verlauf, physikalisches Präsenzerleben, die drei Subskalen zur extrinsischen Arbeitsbelastung und lernrelevante Arbeitsbelastung inkludiert. Die Subskalen Selbst-Präsenz und intrinsische Arbeitsbelastung wurden aufgrund zu geringer Zusammenhänge zur Visualisierungstechnologie (siehe Abschnitt 4.5.1) und zu den Lernindikatoren (siehe Abschnitt 4.5.2) ebenfalls ausgeschlossen. Basierend auf den Ergebnissen der MANOVA und ANOVAs (siehe Abschnitt 4.5.1) wurden als abhängige Variablen Zufriedenheit, Weiterempfehlung, der Wissenstest und die Transferaufgabe Verhaltensregeln integriert. Für die anderen Lernindikatoren wurden keine signifikanten Zusammenhänge mit der Visualisierungstechnologie gefunden. Abbildung 26 präsentiert in Anlehnung an Abbildung 6 das überarbeitete Mediationsmodell, was nachfolgend geprüft werden soll.

Abbildung 26

Überarbeitete Darstellung der Hypothese VI



Anmerkungen. AV = abhängige Variable; UV = unabhängige Variable; MV = Mediatorvariable; H = Hypothese

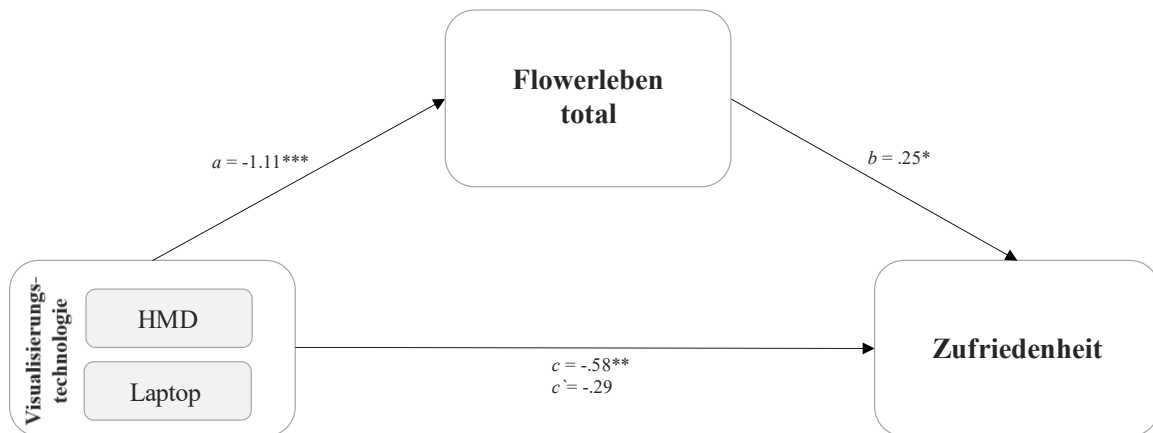
Wie die Moderationsanalysen wurden auch die Mediationsanalysen mit dem Makro PROCESS von Hayes (2013) durchgeführt. Wieder greift PROCESS auf einfache lineare Regressionen zur Durchführung der Mediationsanalysen und Bootstrapping mit 5000 Durchgängen zur Schätzung der Mediationseffekte zurück. Insgesamt wurden 32 Mediationsanalysen gerechnet. Diese Anzahl ergibt sich anhand der Variablenmenge (siehe Abbildung 26). Auch die Durchführung von Mediationsanalysen ist an bestimmte Voraussetzungen geknüpft. Diese wurden hinreichend überprüft (siehe Anhang T).

Aufgrund der Vielzahl an Analysen wurde zunächst jeweils nur der indirekte Effekt anhand der Konfidenzintervalle (d.h. signifikant, wenn Intervall den Wert null nicht umschließt) geprüft. Dieses Vorgehen widerspricht dem ursprünglichen Vorgehen von Baron und Kenny (1986), wird in der Wissenschaft mittlerweile jedoch als legitim erachtet. So ist für viele Statistikerinnen und Statistiker der indirekte Effekt das wichtigste Kriterium, um von Mediation sprechen zu können, unabhängig von den anderen Voraussetzungen (MacKinnon, 2012; Zhao et al., 2010). War ein indirekter Effekt in einer Mediationstestung in der vorliegenden Studie signifikant, wurden die einzelnen Pfadkoeffizienten, totaler, indirekter und direkter Effekt im Detail untersucht und anhand geeigneter Darstellungen visualisiert. Für die Erläuterung der Befunde wichtig zu kennen, ist die Variablenbeschriftung der unabhängigen Variable Visualisierungstechnologie (1 = HMD, 2 = Laptop). War ein indirekter Effekt nicht signifikant, wurde er nicht weiter betrachtet und wird auch im Folgenden nicht näher berichtet.

Eine signifikante Mediation konnte unter anderem für die Mediatorvariable Flowerleben (hier: Gesamtskala) und die abhängige Variable Zufriedenheit der Testpersonen gefunden werden. Innerhalb der Analyse wurde ein totaler Effekt von der Visualisierungstechnologie auf die Zufriedenheit gefunden ($c = -.58^{**}$), und zwar so gerichtet, dass Probanden in der Laptop-Gruppe signifikant unzufriedener waren als die in der HMD-Gruppe. Nachdem der Mediator in das Modell aufgenommen wurde, sagte die Visualisierungstechnologie den Mediator, also Flowerleben, signifikant vorher ($a = -.1.11^{***}$). Versuchspersonen in der Laptop-Bedingung erlebten bedeutsam weniger Flow als Versuchspersonen in der HMD-Bedingung. Flowerleben wiederum sagte die Zufriedenheit der Versuchspersonen vorher ($b = .25^*$). Je mehr Flow erlebt wurde, desto zufriedener waren die Testpersonen. Der Pfad c' , also der direkte Effekt von Visualisierungstechnologie auf Zufriedenheit, wurde nicht signifikant ($c' = -.29$). Daher konnte eine vollständige Mediation festgestellt werden. Nachdem der Mediator Flowerleben in die Analyse integriert wurde, verliert der Zusammenhang zwischen Visualisierungstechnologie und Zufriedenheit seine statistische Signifikanz. Folglich gibt es keinen direkten Zusammenhang zwischen Visualisierungstechnologie und Zufriedenheit, wohl aber einen indirekten Zusammenhang, der über Flowerleben erklärt werden kann. Demnach wird das Verhältnis von Visualisierungstechnologie und Zufriedenheit mit der VR-Anwendung vollständig durch das Erleben von Flow mediert (indirekter Effekt $ab_{\text{Flowerleben_total}} = -.28$, 95% KI $[-.525, -.070]$). Das Konfidenzintervall umschließt den Wert null nicht. Der indirekte Effekt ist als bedeutsam einzuschätzen. Eine Darstellung der Kausalzusammenhänge ist Abbildung 27 zu entnehmen.

Abbildung 27

Darstellung einer signifikanten vollständigen Mediation – Flowerleben_{total} – Zufriedenheit

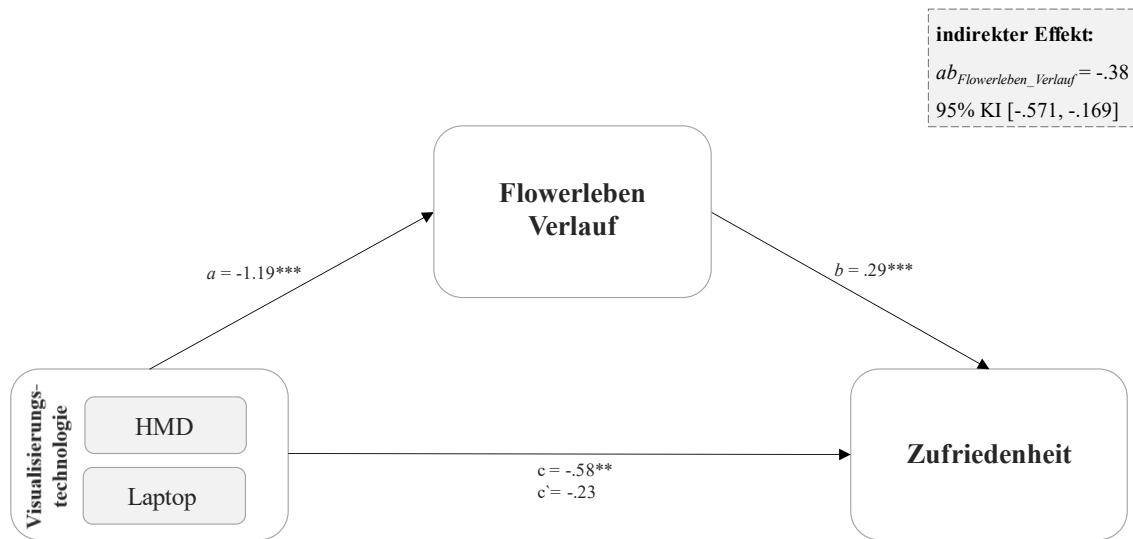


Anmerkungen. Signifikanzniveau * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

Für folgende signifikante Mediationen soll nicht mehr jeder einzelne Pfadkoeffizient im Fließtext erläutert werden. Dies ist mit obigem Beispiel hinreichend getan worden und kann auf die folgenden Mediationen übertragen werden.

Abbildung 28

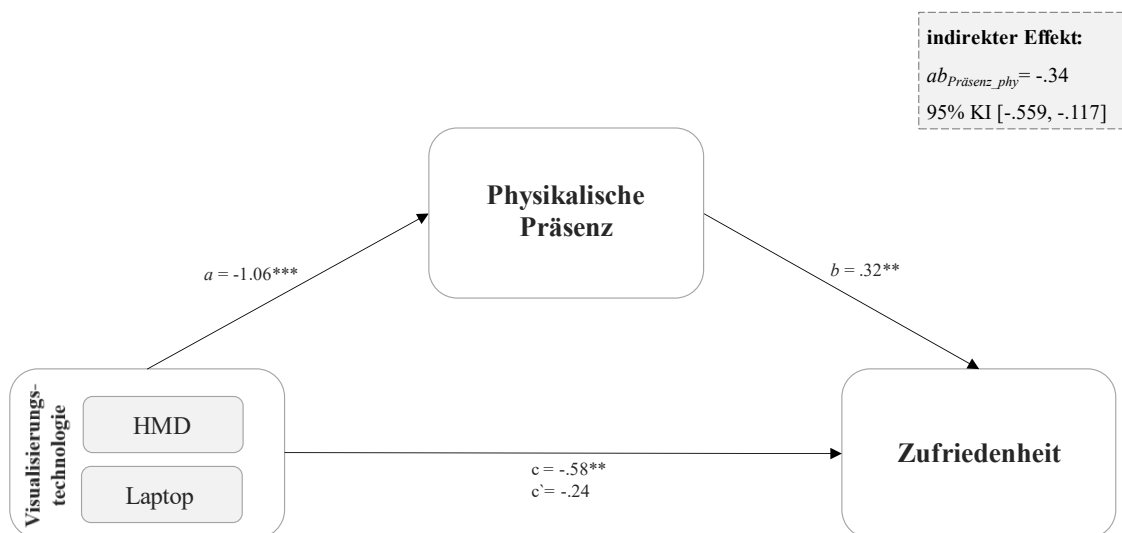
Darstellung einer signifikanten vollständigen Mediation – *Flowerleben_{Verlauf}* – *Zufriedenheit*



Anmerkungen. Signifikanzniveau * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

Abbildung 29

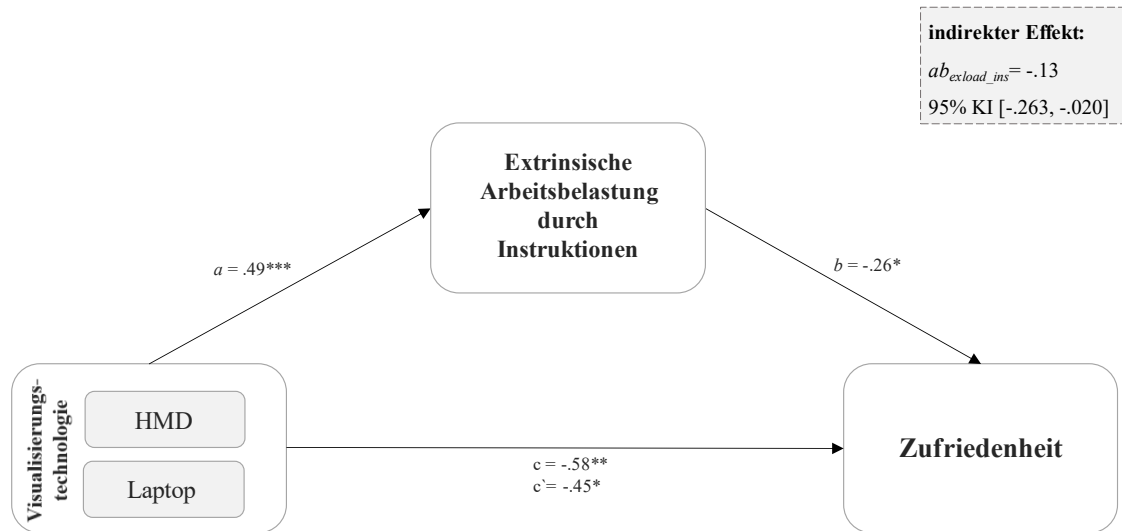
Darstellung einer signifikanten vollständigen Mediation – *Physikalische Präsenz* – *Zufriedenheit*



Anmerkungen. Signifikanzniveau * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

Abbildung 30

Darstellung einer signifikanten partiellen Mediation – Extrinsische Arbeitsbelastung durch Instruktionen – Zufriedenheit



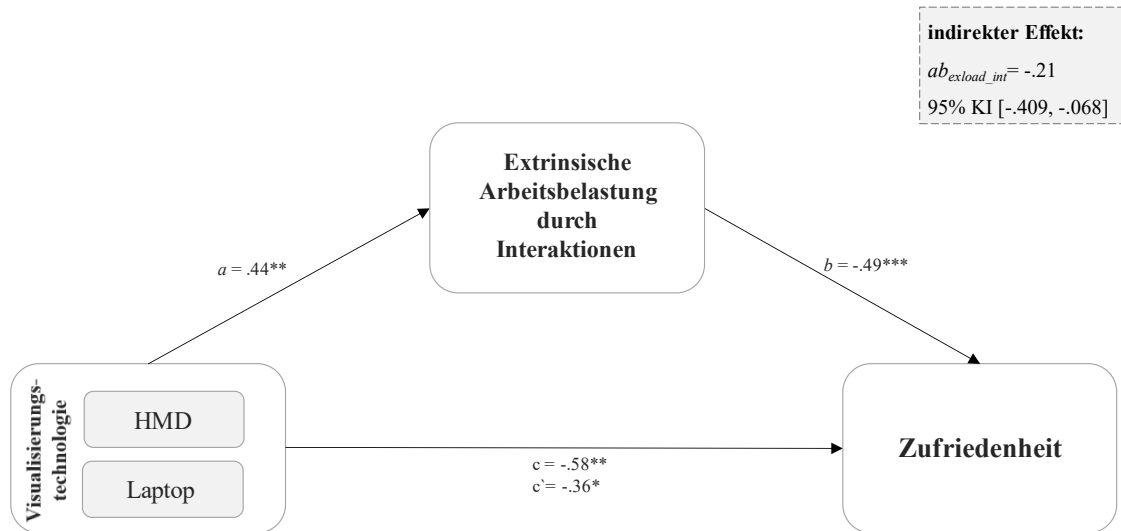
Anmerkungen. Signifikanzniveau * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

Für die Lernprozessvariablen zur extrinsischen Arbeitsbelastung weicht die Erläuterung der Befunde insofern ab, dass Versuchspersonen in der Laptop-Bedingung bedeutsam mehr extrinsische Arbeitsbelastung erlebt haben als Versuchspersonen in der HMD-Bedingung. Mehr extrinsische Arbeitsbelastung wiederum führt zu mehr Unzufriedenheit bzw. weniger Weiterempfehlung bzw. schlechteren Leistungen im Wissenstest oder in der Transferaufgabe.

Des Weiteren sind die Mediationen für die meisten Variablen zur extrinsischen Arbeitsbelastung nur partiell und nicht vollständig signifikant. Der Zusammenhang zwischen Visualisierungstechnologie und dem jeweiligen Lernindikator behält seine Signifikanz. Darüber hinaus können die Facetten der extrinsischen Belastung aber weitere Varianz aufklären.

Abbildung 31

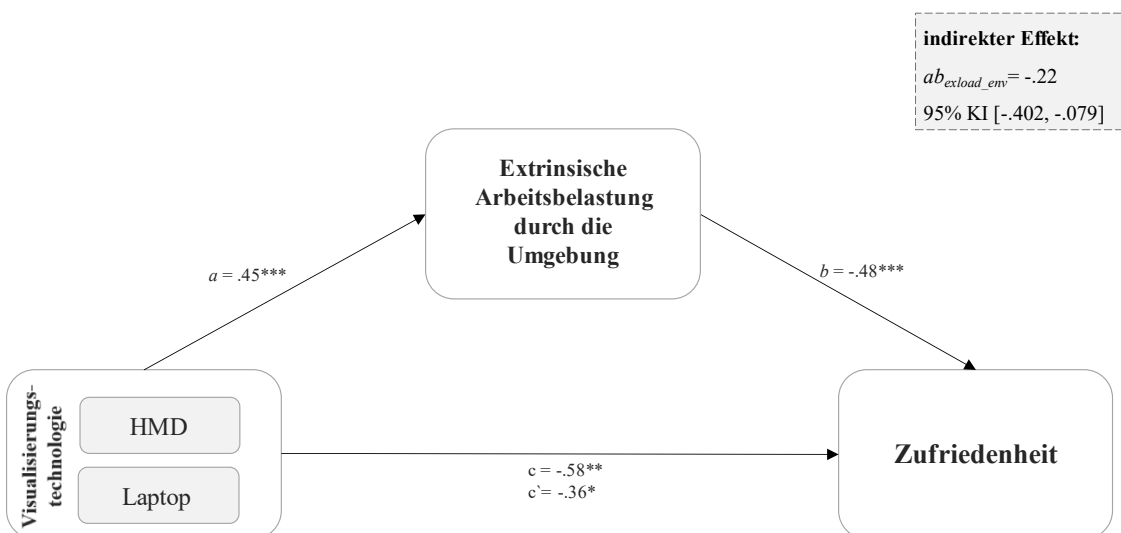
Darstellung einer signifikanten partiellen Mediation – Extrinsische Arbeitsbelastung durch Interaktionen – Zufriedenheit



Anmerkungen. Signifikanzniveau * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

Abbildung 32

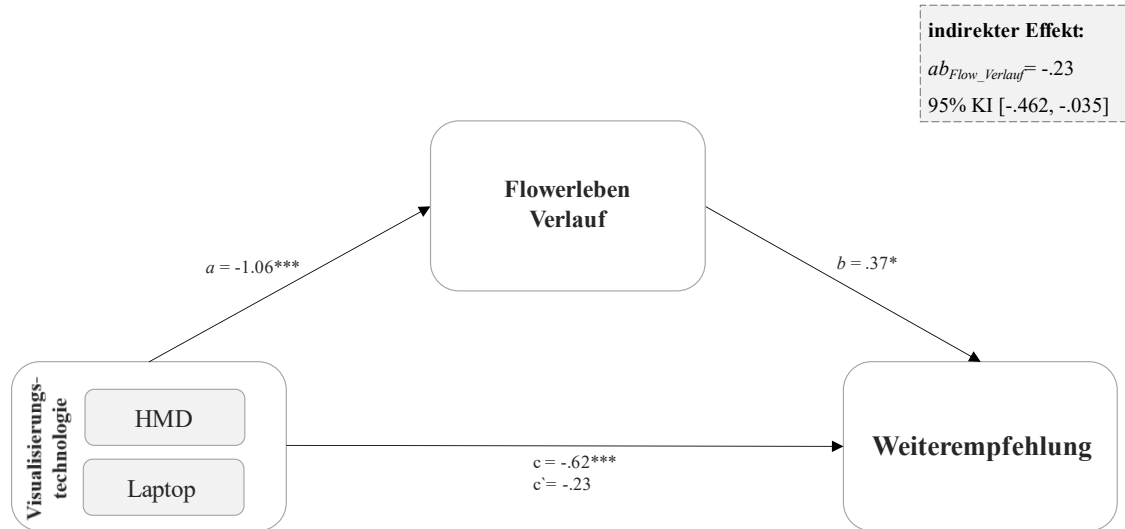
Darstellung einer signifikanten partiellen Mediation – Extrinsische Arbeitsbelastung durch die Umgebung – Zufriedenheit



Anmerkungen. Signifikanzniveau * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

Abbildung 33

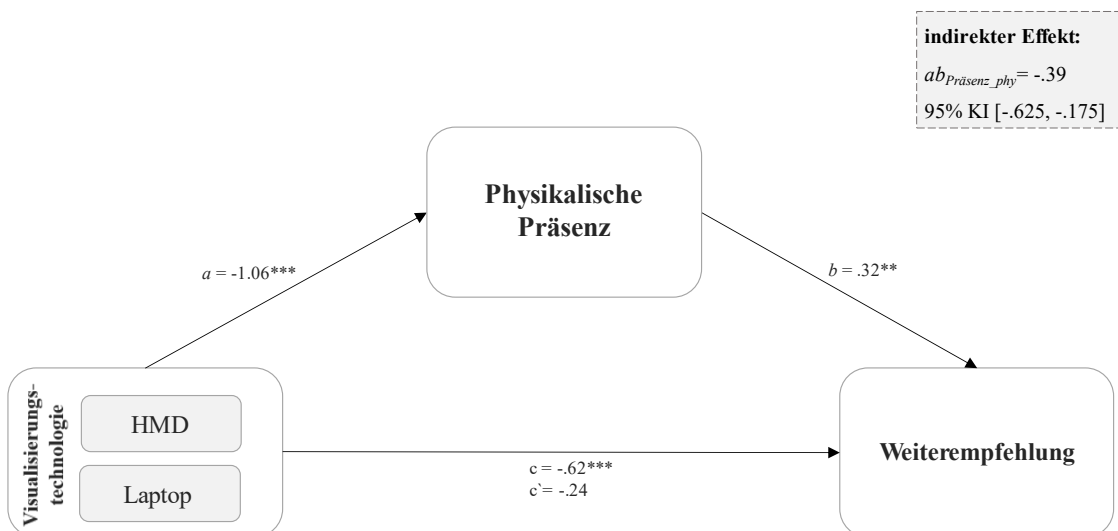
Darstellung einer signifikanten vollständigen Mediation – *Flowleben_{Verlauf}* –
Weiterempfehlung



Anmerkungen. Signifikanzniveau * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

Abbildung 34

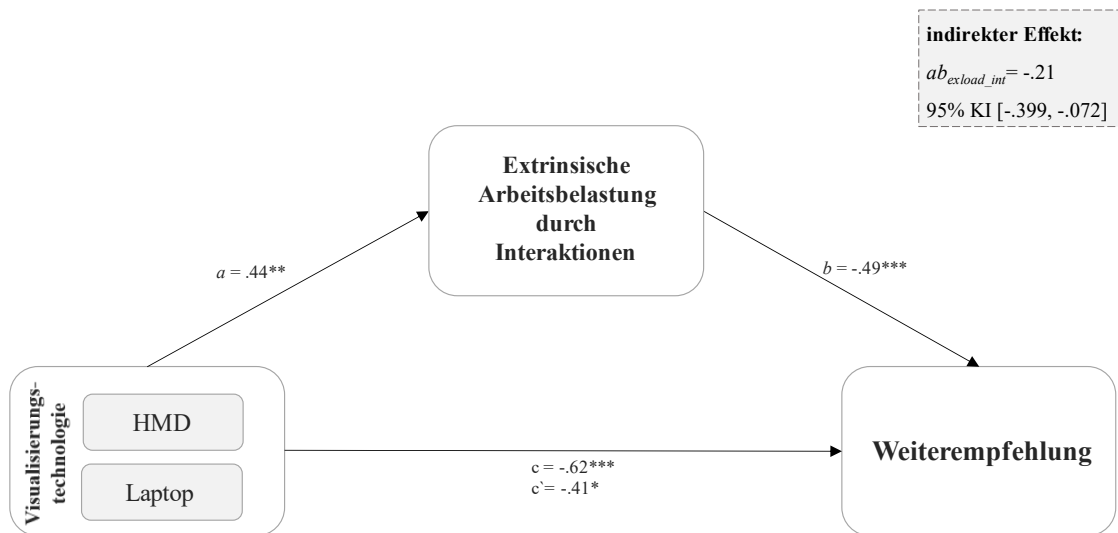
Darstellung einer signifikanten vollständigen Mediation – *Physikalische Präsenz* –
Weiterempfehlung



Anmerkungen. Signifikanzniveau * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

Abbildung 35

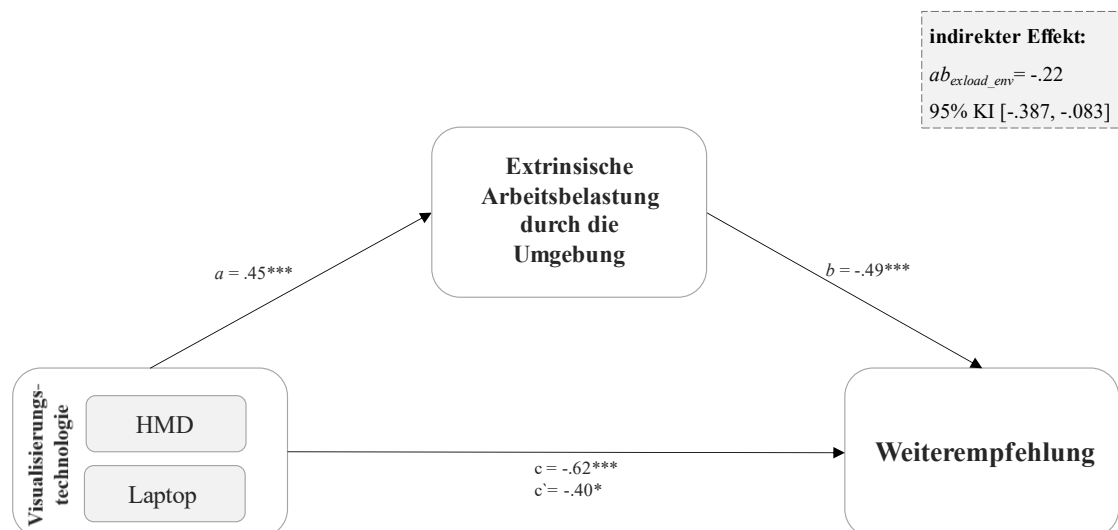
Darstellung einer signifikanten partiellen Mediation – Extrinsische Arbeitsbelastung durch Interaktionen – Weiterempfehlung



Anmerkungen. Signifikanzniveau * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

Abbildung 36

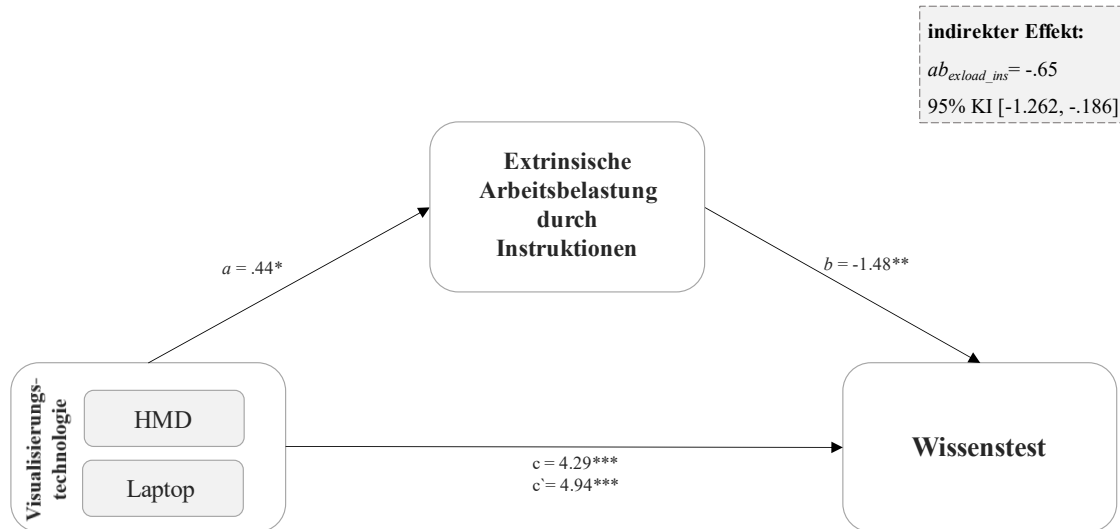
Darstellung einer signifikanten partiellen Mediation – Extrinsische Arbeitsbelastung durch die Umgebung – Weiterempfehlung



Anmerkungen. Signifikanzniveau * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

Abbildung 37

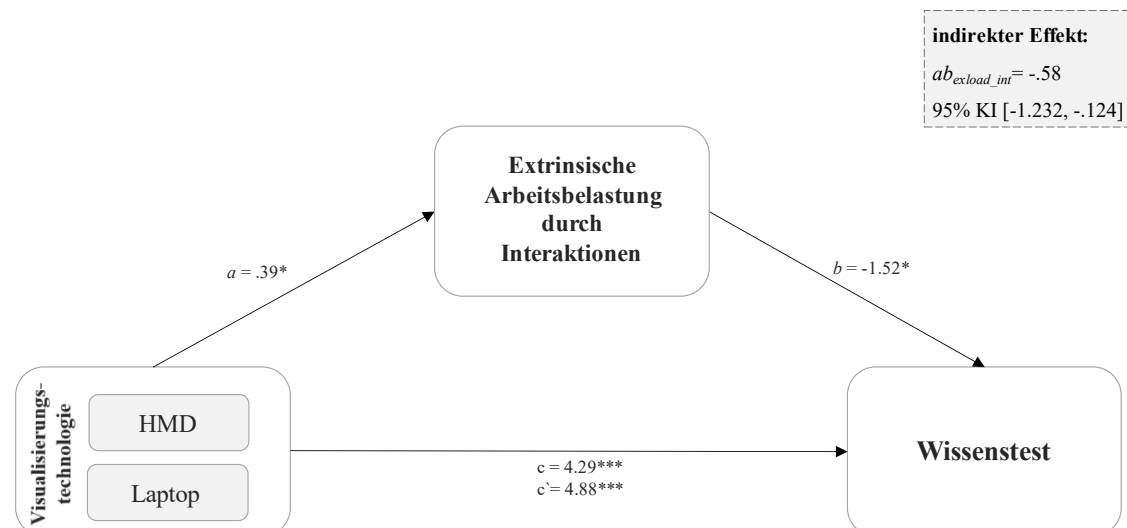
Darstellung einer signifikanten partiellen Mediation – Extrinsische Arbeitsbelastung durch Instruktionen – Wissenstest



Anmerkungen. Signifikanzniveau * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

Abbildung 38

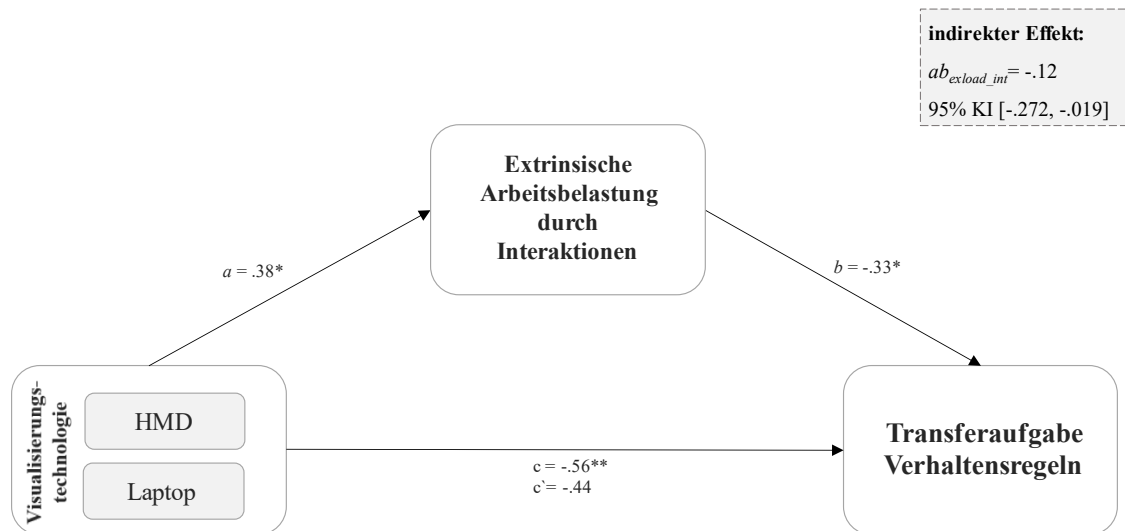
Darstellung einer signifikanten partiellen Mediation – Extrinsische Arbeitsbelastung durch Interaktionen – Wissenstest



Anmerkungen. Signifikanzniveau * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

Abbildung 39

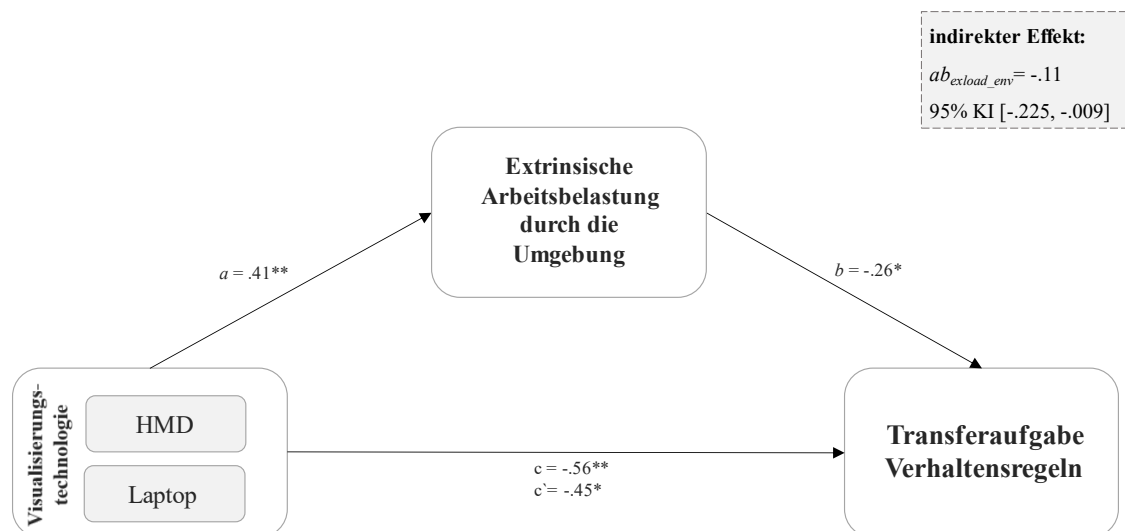
Darstellung einer signifikanten vollständigen Mediation – Extrinsische Arbeitsbelastung durch Interaktionen – Transferaufgabe Verhaltensregeln



Anmerkungen. Signifikanzniveau * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

Abbildung 40

Darstellung einer signifikanten partiellen Mediation – Extrinsische Arbeitsbelastung durch die Umgebung – Transferaufgabe Verhaltensregeln



Anmerkungen. Signifikanzniveau * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

Insgesamt konnte in 14 der 32 durchgeführten Analysen eine signifikante, entweder vollständige oder partielle, Mediation aufgedeckt werden. Für die Mediatorvariablen lernrelevante Arbeitsbelastung und Absorbiertheit fanden sich überhaupt keine bedeutsamen Effekte.

Im nachfolgenden Diskussionsteil dieser Arbeit sollen die Befunde entlang der Hypothesen zusammengefasst, beurteilt und interpretiert werden. Daraufgehend werden die theoretischen, die methodischen sowie die didaktischen Implikationen der Ergebnisse erläutert. Der Diskussionsteil schließt ab mit der Nennung von Limitationen, einer Zusammenfassung und einem Ausblick.

5. Diskussion

5.1 Zusammenfassung und Beurteilung der Befunde

Zunächst sollen die deskriptiven Statistiken, die in den Unterkapiteln 4.1 und 4.2 berichtet wurden, erklärt und Bezüge zu den Resultaten anderer Studien hergestellt werden. Danach folgen Erläuterungen und Interpretationen weiterer Ergebnisse entlang der in dieser Arbeit aufgestellten Hypothesen (siehe Abschnitt 2.4).

5.1.1 Deskriptive Statistiken der Stichprobe

Nach Begutachtung der vorliegenden Stichprobenkennwerte (Alter, Geschlecht, Schulklasse, Muttersprache) lässt sich von einer hinsichtlich der für diese Arbeit relevanten Kriterien repräsentativen Stichprobe ausgehen. Es fiel lediglich auf, dass ein Großteil der Testpersonen zum Untersuchungszeitpunkt ein Gymnasium oder eine Gesamtschule besuchte. In Folgestudien sollte darauf geachtet werden, hinsichtlich des Bildungsniveaus eine breitere und damit repräsentativere Stichprobe zu ziehen.

Was vorherige Erfahrungen mit Diskriminierung betrifft, ist hervorzuheben, dass etwa ein Viertel der Testpersonen angab, bisher aufgrund eigener Merkmale (z.B. Hautfarbe) diskriminiert worden zu sein. Dies entspricht in etwa den Daten eines Pretests zum sozio-ökonomischen Panel (Richter, Kasproski & Fischer, 2021). Hier berichteten 16% der Befragten von Diskriminierungserfahrungen in den letzten fünf Jahren.

Erwähnenswert ist, dass die technologischen Vorkenntnisse hinsichtlich VR über die verschiedenen Visualisierungstechnologien hinweg bei den Schülerinnen und Schülern zwar vorhanden, aber generell eher als rudimentär einzustufen sind. Dies entspricht den Einschätzungen von Hellriegel und Cubela (2018) für diese Zielgruppe.

5.1.2 Deskriptive Statistiken der Skalen

Im Hinblick auf die Instrumente, welche zur Operationalisierung der Lernerfolge vom Prä- zum Post-Messzeitpunkt herangezogen wurden, kann Folgendes berichtet werden. Über alle Experimentalbedingungen hinweg ist vom ersten zum zweiten Messzeitpunkt eine Zunahme an fachlichem Wissen und an Perspektivenübernahme in die Lebenssituation von Anne Frank zu beobachten, zumindest aus Sicht der Probanden. Während ihr Wissen sich nach eigener Einschätzung zu Messzeitpunkt eins auf einer zehnstufigen Skala im Durchschnitt bei 4.16 befindet, liegt es zu Messzeitpunkt zwei bedeutsam mehr als zwei Punktwerte darüber

bei 6.79. Ähnlich positive Werteveränderungen sind bei den Items zur Perspektivenübernahme festzustellen.

Beim Wissenstest erhielten die Probanden durchschnittlich etwas mehr als die Hälfte der maximal zu erreichenden zwanzig Punkte. Auch bei den zwei Transferaufgaben finden sich durchschnittliche Werte um die Hälfte des Maximalpunktwerts oder darunter. Inwiefern diese Durchschnittswerte über alle Experimentalbedingungen hinweg als hoch oder niedrig zu bewerten sind, kann im Rahmen dieser Arbeit nicht beantwortet werden. Es interessierte vielmehr, inwiefern die Varianz der Leistungen der Schülerinnen und Schüler auf Manipulationen im Studiendesign oder auf latent stattfindende Lernprozesse zurückzuführen sind. Generell ist jedoch bei den selbst entwickelten Lernindikatoren Wissenstest und den beiden Transferaufgaben eine sehr hohe Streuung zu beobachten. Die Leistungen der Schülerinnen und Schüler im Wissenstest und in den Transferaufgaben sind demnach sehr unterschiedlich. Fraglich ist, wie die starken Abweichungen vom Mittelwert zu erklären sind. Für Folgestudien wäre es ratsam, die Testfragen vorher mit Schülerinnen und Schülern und auch Lehrkräften hinsichtlich formaler testtheoretischer Kriterien (z.B. Itemschwierigkeit, Itemtrennschärfe; Kelava & Moosbrugger, 2020) hinreichend zu prüfen und in mehreren Iterationen die Tauglichkeit in praktischen Lehr- und Lernsettings zu erproben. So ließen sich gleichzeitig für die Praxis dienliche und valide Messinstrumente konstruieren, welche auch zur Notenbildung herangezogen werden könnten.

Perspektivenübernahme in die historisch relevante Figur der Anne Frank sollte mit dem von Hartmann (2008) entwickelten Messinstrument erfasst werden. Zu notieren ist, dass die interne Konsistenz schon in der Studie von Hartmann (2008) grenzwertig war und auch in der vorliegenden Arbeit liegen die Werte im nicht zufriedenstellenden bis für eine Interpretation problematischen Bereich. Hartmann (2008) berichtete in ihrer Untersuchung einen Gesamtmittelwert von 2.15. In der vorliegenden Studie liegt der Wert für die Gesamtskala ($M = 2.89$) über alle Versuchsbedingungen gemittelt mehr als eine Standardabweichungseinheit darüber. Auch für die Subskalen sind höhere Werte festzustellen. Die Inhalte des *Anne Frank VR House* scheinen demnach sehr gut geeignet zu sein, um die Lebenswirklichkeit eines jüdischen Mädchens zur NS-Zeit zu vermitteln und um affektive Lehr- und Lernziele, wie das Hineinversetzen in die in VR dargestellte Situation von Anne Frank, zu adressieren. Darüber hinaus wird die von Hartmann (2008) postulierte hierarchische Anordnung der Subskalen von einer gegenwartsfixierten Betrachtung der Situation über die Rolle des historischen Akteurs hin zu einer historischen Kontextualisierung auch in der vorliegenden Studie numerisch sichtbar. Generell lieferte die Skala zur historischen Perspektivenübernahme von Hartmann (2008)

jedoch wenig Erkenntnisse. Dies mag an der generell schlechten internen Konsistenz des Instruments liegen. Hinzu kommt, dass die Items des Fragebogens auf das Beispiel der Anne Frank angepasst wurden und auch dieser Fragebogen nicht hinreichend getestet oder gar validiert wurde. Derartige testtheoretische Fehler sollten in Folgestudien vermieden werden.

Die Gesamtbewertung der VR-Anwendung betreffend, finden sich gemittelt über alle Experimentalbedingungen hohe Mittelwerte und geringe Streuungen. Nur vereinzelte Ausreißer waren nicht zufrieden und würden die VR-Anwendung nicht weiterempfehlen. Ansonsten war sich die Schülerschaft einig. Die Ergebnisse sind jedoch unter Berücksichtigung des Neuigkeitseffekts zu betrachten. Jede neue Bildungstechnologie geht zunächst mit gesteigerter Neugier, Motivation und Interesse einher. Erwartungen an eine Bildungstechnologie werden anfangs oft durch die Medienberichterstattung und Marketingkampagnen von Herstellern in die Höhe getrieben. Eine nachhaltige Beschäftigung mit den Inhalten garantiert dies jedoch nicht (Huang, 2020; Kavanagh et al., 2017). Daher sollten neben generellen Akzeptanz- und Bewertungsvariablen stets weitere Indikatoren des Lernens erhoben werden, was in der vorliegenden Untersuchung auch getan wurde.

Hinsichtlich der Messinstrumente, die zur Operationalisierung der Lernprozesse (Arbeitsbelastung, Präsenzerleben, Flowerleben, Symptome des Unwohlseins) genutzt wurden, kann Folgendes berichtet werden. Die subjektiv wahrgenommene Arbeitsbelastung der Probanden wurde mit der MCLSVE von Andersen und Makransky (2021) erfasst, welche zwischen intrinsischer, extrinsischer und lernrelevanter Belastung differenzieren. In der vorliegenden Arbeit fanden sich über alle Versuchsbedingungen hinweg für alle Subskalen Werte, die meist zwischen den Werten liegen, die Andersen und Makransky (2021) in einer Studie fanden, in der sie eine komplexe mit einer simplen VR-Umgebung verglichen. Es kann folglich auf moderate Belastung hinsichtlich aller Facetten geschlossen werden. Eine systematische Überlastung in irgendeiner der Versuchsbedingungen kann demnach ausgeschlossen werden. Wie sich die subjektiv wahrgenommene Arbeitsbelastung in den unterschiedlichen Experimentalbedingungen darstellt, wird in Abschnitt 5.1.7 erläutert.

Des Weiteren wurden die Probanden zu zwei prävalenten Symptomen des Unwohlseins in VR befragt. Da nur wenige Probanden überhaupt derartige Symptome berichteten, kommen die doch recht hohen Mittelwerte durch Extremwerte zustande und sollten daher nicht weiter interpretiert werden. Daher wurden die beiden Items in folgenden Analysen ausgeschlossen. Aus diesem Befund lässt sich schlussfolgern, dass Schwindel und Übelkeit in der getesteten VR-Umgebung keine Probleme darstellten, auch wenn dies in anderen Studien der Fall war

(Kim et al., 2018). Ergänzt werden muss, dass die Probanden dieser Studie maximal 30 Minuten die VR erkundeten. In anderen Studien sind auch längere Nutzungszeiten festzustellen. Smith und Burd (2019) empfehlen diesbezüglich kurze Nutzungszeiten, um Effekte wie Cyber Sickness und verlängerte Reaktionszeiten post hoc zu vermeiden.

Das Erleben von Flow ist in dieser Studie gemittelt über alle vier Experimentalbedingungen und im Vergleich zu den von Rheinberg et al. (2003) berichteten Werten für besonders vereinnahmende und glatt ablaufende Tätigkeiten wie Graffiti-Sprayen als sehr hoch einzustufen. Besonders die Absorbiertheit erreichte im Durchschnitt sehr hohe Werte. Die Schülerschaft scheint dementsprechend über alle Bedingungen hinweg von der VR-Erfahrung vereinnahmt worden zu sein. Auch in Bezug auf Flowerleben interessieren besonders die Unterschiede hinsichtlich der Versuchsbedingungen, welche in Kapitel 5.1.7 behandelt werden.

Neben Flowerleben wurde das Präsenzerleben der Probanden in der VR mittels der MPS (Makransky et al., 2017; Volkmann et al., 2018) untersucht. Auch das Erleben von Präsenz ist über die vier Experimentalbedingungen gemittelt als hoch einzustufen. Dies gilt für beide Subskalen, also physikalische Präsenz und Selbst-Präsenz. Die Schülerinnen und Schüler fühlten sich dementsprechend in Annes Versteck präsent und erlebten sich selbst als agierende Personen innerhalb des Hinterhauses. Auf die Unterschiede im Hinblick auf die Versuchsbedingungen wird in Unterkapitel 5.1.7 eingegangen.

5.1.3 Hypothese I: VR-Visualisierungstechnologie

Die erste Hypothese der Untersuchung beinhaltete, dass sich die Lernergebnisse in Abhängigkeit von der Visualisierungstechnologie unterscheiden. Zur Überprüfung der Hypothese wurde eine multifaktorielle MANOVA durchgeführt. Ein Faktor war die Visualisierungstechnologie, welche sich hinsichtlich der Varianzaufklärung des Mittelwertvektors aller acht kombinierten abhängigen Lernindikatoren als bedeutsam erwies. Der Haupteffekt Visualisierungstechnologie war signifikant. Das partielle η^2 ist gemäß Cohen (1988) ein mindestens großer Effekt. Visualisierungstechnologie ist damit derjenige Faktor in der MANOVA, der am meisten Varianz aufklären kann. Um die Teilhypothesen a bis c zu überprüfen, schlossen sich post hoc für die einzelnen abhängigen Variablen ANOVAs an.

Teilhypothese a konnte durch die Daten der vorliegenden Studie eher nicht bestätigt werden. Die Untersuchung scheiterte, für die beiden affektiven Indikatoren historische Perspektivenübernahme und Perspektive Prä-Post Vergleich statistisch signifikante Unter-

schiede zwischen den beiden Stufen der Visualisierungstechnologie zu ermitteln. Wie oberhalb bereits erläutert, sind jedoch Interpretationen der Skala von Hartmann (2008) zur historischen Perspektivenübernahme eingeschränkt. Hinsichtlich der Variable Perspektive Prä-Post Vergleich allerdings ist der Unterschied nur knapp nicht signifikant geworden und liegt in der erwarteten Richtung. Die Zunahme an Perspektivenübernahme in Anne Frank war bei Testpersonen unter dem HMD, zumindest aus subjektiver Sicht und wenn auch nicht statistisch bedeutsam, größer als bei Testpersonen am Laptop.

Hinsichtlich des fachlichen Wissenserwerbs (Teilhypothese b) ist die Befundlage uneindeutig. Wie angenommen, konnten für zwei der kognitiven Lernindikatoren keine Unterschiede zwischen den beiden Stufen der Visualisierungstechnologie gefunden werden. Die angenommene Nullhypothese wurde für diese beiden Indikatoren bestätigt. Anders beim kognitiven Lernindikator Wissenstest. Hier ergab sich ein Vorteil für diejenigen, die am Laptop an der Untersuchung teilnahmen. Dieser Unterschied war hoch signifikant. Die Variable Visualisierungstechnologie kann insgesamt 16% der Varianz der Leistungen der Testpersonen im Wissenstest erklären. Die Differenz zwischen den beiden Gruppen liegt bei circa einer Standardabweichungseinheit. Das heißt, durchschnittlich lösten die Probanden am Laptop zwei Aufgaben mehr richtig als Probanden unter dem HMD. Der bedeutsame Unterschied zwischen den beiden Gruppen ließe sich möglicherweise damit erklären, dass kognitive Kapazitäten, die in den Bedingungen unter dem HMD durch viele Umgebungs-details und durch die hohe Interaktivität der Visualisierungstechnologie gebunden worden sind (z.B. Makransky et al., 2019a; Parong & Mayer, 2021), am Laptop frei waren und der Fokus auf den Erwerb von Fachwissen gelegt werden konnte. Während unter dem HMD die VR möglicherweise mehr holistisch erlebt wurde, konnte am Laptop der Aufmerksamkeitsfokus eher auf Details (z.B. Autor eines von Ottos Büchern, das auf dem Tisch lag) gelegt werden, welche später im Wissenstest abgefragt wurden. Ein Befund in umgekehrter Richtung liegt bei der Transferaufgabe zu den Verhaltensregeln vor. Probanden in den HMD-Versuchsbedingungen schnitten bei dieser Aufgabe signifikant besser ab als diejenigen in den Laptop-Versuchsbedingungen. Immerhin 7% der Varianz der Leistungen bei dieser Transferaufgabe kann durch die Variable Visualisierungstechnologie bedeutsam aufgeklärt werden. Bei den Transferaufgaben kam es weniger auf den Abruf kurz zuvor erworbenen Fachwissens, wie beim Wissenstest der Fall, an. Vielmehr sollte das Wissen abstrahiert werden. Möglicherweise fiel diese Transferleistung Schülerinnen und Schülern der HMD-Bedingungen leichter als denen der Laptop-Bedingungen, da sie sich besser in die räumliche Enge und den eingeschränkten Handlungsspielraum, der das Leben von Anne Frank bestimmte, hinein-

versetzen und somit mehr Verhaltensregeln für das Leben im Hinterhaus aufstellen konnten. Makransky et al. (2019a) fordern in diesem Zusammenhang dazu auf, das Lernen in VR nicht ausschließlich über dessen Bewertung und die Erinnerung von Faktenwissen zu erfassen, wie es bislang oftmals geschehen ist, sondern zusätzlich Transfertätigkeiten zu berücksichtigen.

Wie gemäß der Teilhypothese c erwartet, waren die Probanden in den HMD-Versuchsbedingungen bedeutsam zufriedener (4% Varianzaufklärung) und würden die Anwendung eher Mitschülerinnen und Mitschülern weiterempfehlen (6% Varianzaufklärung). Es ist die Vermutung anzustellen, dass auch dieser Befund teilweise durch den Neuigkeitseffekt (Huang, 2020; Kavanagh et al., 2017) bedingt wurde. Dieser fiel bei der Schülerschaft sicherlich unter dem HMD nochmal intensiver aus als am Laptop. Dennoch scheint angesichts der bedeutsam besseren Bewertung der HMD-Bedingungen im Vergleich zu den Laptop-Bedingungen das Lernen mit HMDs für die Schülerschaft emotional ansprechender und motivierender gewesen zu sein. Gemäß neuerer Annahmen von Motivationstheorien (z.B. Renninger & Hidi, 2016; Wentzel & Miele, 2016) lösen multimediale Lernumgebungen, wenn sie als ansprechend wahrgenommen werden, ein hohes initiales situationales Interesse aus, was sich wiederum positiv auf darauffolgende Lernprozesse auswirken kann. Auch nach Pekrun (2016) beeinflusst die initiale emotionale Reaktion auf einen Lerngegenstand maßgeblich die Lernleistungen. Hoch bewertete Lernszenarien, die als ansprechend erlebt werden und bei den Lernenden Freude an der Tätigkeit auslösen, können demnach dazu motivieren, sich anzustrengen und sich angemessen mit dem Lernmaterial auseinanderzusetzen.

Die Befundlage hinsichtlich der ersten Hypothese ist insgesamt uneindeutig. Während für Annahme a keine statistischen signifikanten Belege gefunden werden konnten und sie daher eher abgelehnt als bestätigt werden sollte, lässt sich Hypothese b in Teilen und Hypothese c gänzlich annehmen. Dies stimmt teilweise mit den Ergebnissen anderer Studien (siehe Tabelle 1, Abschnitt 2.2.2.3) überein.

5.1.4 Hypothese II: didaktische Methode

Auch der Haupteffekt didaktische Methode wurde in der angestellten MANOVA signifikant. 17% der Gesamtvarianz der kombinierten abhängigen Variablen konnte durch diesen Faktor erklärt werden. Das ist laut Cohen (1988) ebenfalls ein großer Effekt, wenn auch nicht so groß wie der der Visualisierungstechnologie. In den darauffolgenden ANOVAs konnten jedoch nur noch für zwei der insgesamt acht abhängigen Variablen überhaupt Unterschiede zwischen der Expositions- und Explorationsgruppe gefunden werden. Sowohl objektiv als auch subjektiv scheint der fachliche Wissenserwerbs bei Personen in den

Expositions-Bedingungen besser funktioniert zu haben als bei Personen in den Explorations-Bedingungen. Sie lösten mehr Aufgaben im Wissenstest korrekt und schätzten auch ihren Wissenszuwachs vom ersten zum zweiten Messzeitpunkt als größer ein. 6% und 3% der Varianz der beiden Lernindikatoren können jeweils durch die unabhängige Variable der didaktischen Methode aufgeklärt werden. Die Unterschiede im Wissenstest lassen sich möglicherweise erklären, indem berücksichtigt wird, dass Testpersonen der Expositions-Bedingungen durch die gegebenen Instruktionen auf die Inhalte, die später im Wissenstest abgefragt wurden, bewusst gestoßen wurden. Sämtliche Inhalte der VR wurden in den Expositions-Bedingungen erkundet. Es war unwahrscheinlich, relevante Inhalte nicht wahrgenommen zu haben. Den Testpersonen in den Explorations-Bedingungen hingegen stand es frei, mit welchen Inhalten und in welcher Intensität sie sich mit diesen beschäftigen wollten. Oftmals wurden in den Explorations-Bedingungen bestimmte Elemente zeitaufwändig begutachtet, während andere, oft auch abhängig von persönlichen Interessen, vernachlässigt wurden. So war ein Proband in der Explorations-Versuchsbedingung so fasziniert von einem in VR dargestellten Brettspiel, das die Untergetauchten oft spielten, dass er sich über Minuten nur mit diesem auseinandersetzte. Auch die subjektive Wahrnehmung, mehr gelernt zu haben, lässt sich durch letztere Ausführungen erläutern. Personen in den Expositions-Bedingungen konnten sich durch die Instruktionen sicher sein, sämtliche Inhalte der VR wahrgenommen zu haben, während sich Personen der Explorations-Bedingungen wahrscheinlich oft bewusst darüber waren, dass sie während ihrer Erkundung bestimmte Räume bzw. Artefakte eher fokussiert haben als andere.

Die ungerichtete zweite Hypothese kann folglich nur eingeschränkt bestätigt werden, insofern, dass sich die Lernergebnisse der zwei Gruppen der didaktischen Methode lediglich für zwei Indikatoren unterscheiden. In beiden signifikanten Befunden zeigt sich jedoch dieselbe Tendenz, dass Personen der Expositions-Gruppe hinsichtlich der aufgestellten kognitiven Lehr- und Lernziele im Vorteil gegenüber Personen der Explorations-Gruppe sind.

5.1.5 Hypothese III: Diskriminierungserfahrungen

Der dritte Haupteffekt der unabhängigen Variable Diskriminierungserfahrungen auf die acht kombinierten abhängigen Variablen wurde im Rahmen der MANOVA ebenfalls statistisch signifikant. Der Effekt ist ähnlich groß wie der zweite Haupteffekt. In den post hoc ANOVAs hielt dieser Effekt jedoch nur noch für die abhängigen Variablen Zufriedenheit und Weiterempfehlung stand. 11% und 8% der Varianz der Bewertungsvariablen können jeweils durch die Stufen der unabhängigen Variable Diskriminierungserfahrungen systematisch auf-

geklärt werden. Wenn selbst Erfahrungen mit Diskriminierung gesammelt wurde, wirkt sich dies negativ auf die Zufriedenheit mit der VR-Anwendung und die Tendenz zu deren Weiterempfehlung aus. Dieser Befund lässt sich erklären, wenn davon ausgegangen wird, dass aversive Erfahrungen in der eigenen Vergangenheit dazu führen, dass eine Konfrontation mit Diskriminierung von Minderheiten, wie bei Anne Frank eindeutig der Fall, eher Vermeidungs- und Abstoßungstendenzen sowie Stagnation zur Folge haben als erhöhte Lernbereitschaft, Perspektivenübernahme und eine positive Bewertung. Darüber hinaus zu erwähnen ist, dass lediglich ein Viertel der Befragten von Diskriminierungserfahrungen berichtete. Das Merkmal ist zwar repräsentativ für die gezogene Stichprobe vertreten, jedoch möglicherweise nicht ausreichend vertreten, um das Merkmal weiterführend innerhalb dieser Stichprobe untersuchen zu können.

Im Zuge der MANOVA wurde darüber hinaus, auch basierend auf der Forderung von Makransky und Petersen (2021) Wechselwirkungen zwischen Medien und Methoden zu erforschen, die Interaktion zwischen den Variablen Visualisierungstechnologie und didaktische Methode untersucht. Sie wurde nicht statistisch signifikant. Demnach liegt zumindest für die vorliegende Untersuchung keine Wechselwirkung zwischen den eingesetzten Visualisierungstechnologien HMD und Laptop und den didaktischen Methoden der Exposition und Exploration vor. Die didaktischen Methoden wirken folglich nicht in Abhängigkeit davon, über welche Visualisierungstechnologie das virtuelle Versteck von Anne Frank erkundet wurde.

5.1.6 Hypothesen IV und V: Moderationseffekte

In der vierten Hypothese wurde angenommen, dass das Vorwissen der Testpersonen den Zusammenhang zwischen didaktischer Methode und den Lernergebnissen moderiert. Diese Annahme beruht auf der Forschung zum Umkehreffekt der Expertise (z.B. Kalyuga & Renkl, 2010). Auf dieser Forschung aufbauend wurde davon ausgegangen, dass Personen mit viel Vorwissen eher in den Explorations-Bedingungen profitieren, während Personen mit wenig Vorwissen eher in den Expositions-Bedingungen Vorteile haben. Dem liegt zugrunde, dass eine zu hohe Didaktisierung von Lernumgebungen bei Personen mit viel Vorwissen durch Redundanzen unnötig Lernprozesse behindert, während eben diese Didaktisierung bei Personen mit wenig Vorwissen lernförderlich wirken kann.

Lediglich für zwei der insgesamt sieben Lernindikatoren konnte innerhalb der angestellten linearen Regressionen ein moderierender Effekt durch das fachliche Vorwissen aufgedeckt werden. Die anderen Moderationstestungen sind weit entfernt von statistischer

Signifikanz. Die beiden signifikant gewordenen Interaktionen bieten nach den Konventionen von Cohen (1988) nur eine geringe Varianzaufklärung hinsichtlich der subjektiven Einschätzungen zum Wissenszuwachs (1,6%) und den Leistungen in der Transferaufgabe zu den Verhaltensregeln (3,9%). Zudem liegen Wirkzusammenhänge nicht in der antizipierten Richtung. Personen mit wenig Vorwissen schnitten besser in den Explorations-Bedingungen als Expositions-Bedingungen ab und Personen mit viel Vorwissen schnitten besser in den Expositions-Bedingungen als Explorations-Bedingungen ab. Dies ist entgegengesetzt zu den ursprünglichen Annahmen.

Die fünfte Hypothese betraf ebenfalls Moderationsanalysen, jedoch mit technologischen Vorkenntnissen als Mediator. Die angenommenen Wirkzusammenhänge sind identisch zur vierten Hypothese. Der Kontrollfaktor technologische Vorkenntnisse scheint jedoch überhaupt keinen Einfluss auf den Zusammenhang zwischen didaktischer Methode und den Lernergebnissen zu haben. Angenommen wurde auch hier, dass Personen mit viel Erfahrung mit der Technologie eher in den Explorations-Bedingungen profitieren, während Personen mit wenig Vorerfahrung mit der Technologie eher in den Expositions-Bedingungen Vorteile haben. Für keinen der Lernindikatoren wurde die Interaktion aus didaktischer Methode und technologischen Vorkenntnissen statistisch signifikant. Erwähnenswert ist, dass die technologischen Vorkenntnisse hinsichtlich VR bei den Probanden nur als rudimentär einzustufen sind. Möglicherweise konnten auch aufgrund der geringen Varianz dieses Merkmals in der gezogenen Stichprobe keine moderierenden Effekte durch diesen Kontrollfaktor ermittelt werden.

Die Befundlage hinsichtlich der Moderationsanalysen erscheint insgesamt nicht eindeutig. Der Großteil der Analyseergebnisse deutet jedoch daraufhin, dass die Lernergebnisse in den Stufen der didaktischen Methode nicht davon abhängen, ob eine Person wenig oder viel fachliches Vorwissen bzw. technologische Vorkenntnisse hat. Das Vorhandensein von fachlichem Vorwissen bzw. technologischen Vorkenntnissen hat sich folglich, zumindest basierend auf den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit, als irrelevant dafür erwiesen, ob jemand eher fremdgesteuert oder selbstgesteuert eine VR-Umgebung erkundet.

5.1.7 Hypothesen VI und VII: Mediationseffekte

In den Hypothesen sechs und sieben sollten die für die vorliegende Arbeit besonders interessanten Mediationseffekte untersucht werden. Dabei war zunächst geplant, Kausalzusammenhänge zwischen den unabhängigen Variablen didaktische Methode und Visualisierungstechnologie, den Lernprozessvariablen Unwohlsein, Flowerleben, Arbeits-

belastung sowie Präsenzerleben und den verschiedenen Lernindikatoren als abhängige Variablen zu überprüfen. Die Variablen didaktische Methode, Selbst-Präsenz und intrinsische Arbeitsbelastung erwiesen sich jedoch in vorgeschalteten Analysen als zu wenig zusammenhängend mit den übrigen Variablen der Mediationstestungen. Daher wurden sie nicht in die Testungen aufgenommen.

Die Prüfung von Hypothese sieben mit didaktischer Methode als unabhängiger Variable kann daher bereits an dieser Stelle als nicht bestätigt betrachtet werden. Demnach beeinflussen die in dieser Untersuchung eingesetzten didaktischen Methoden nicht indirekt über Lernprozessvariablen die Lernleistungen der Schülerinnen und Schüler. Auch direkte Einflüsse sind, wie in Abschnitt 5.1.4 beschrieben, lediglich für zwei kognitive Lernindikatoren gefunden worden, die darauf hindeuten, dass Personen der Expositions-Bedingungen mehr Fachwissen erworben haben als Personen der Explorations-Bedingungen.

Die sechste Hypothese betreffend konnten in knapp der Hälfte der angestellten Mediationsanalysen signifikante Mediationseffekte aufgedeckt werden. Bestimmte Lernprozessvariablen vermitteln folglich die Zusammenhänge zwischen der VR-Visualisierungstechnologie und bestimmten Lernindikatoren. Um diese Kausaleffekte genauer zu spezifizieren, sollen die Ergebnisse zu Teilhypothesen sechs a bis c erläutert werden. Hypothese sechs d kann ebenfalls an dieser Stelle bereits verworfen werden, dass das Konstrukt Symptome des Unwohlseins aufgrund zu vieler Extremwerte aus den Analysen ausgeschlossen wurde.

Hinsichtlich des Präsenzerlebens (Hypothese sechs a) ist in die Mediationsanalysen lediglich die Subskala physikalische Präsenz inkludiert worden. Diese Lernprozessvariable konnte den Effekt der Visualisierungstechnologie auf die Zufriedenheit und die Tendenz zur Weiterempfehlung der Probanden statistisch bedeutsam und vollständig mediieren. Das heißt, der direkte Effekt zwischen Visualisierungstechnologie und Zufriedenheit wie Weiterempfehlung war nicht mehr signifikant, nachdem Präsenzerleben als Mediator in das jeweilige Modell integriert wurde. Die Zusammenhänge werden gänzlich über das Erleben von Präsenz erklärt. Wie in Teilhypothese sechs a angenommen, erlebten Testpersonen unter dem HMD mehr physikalische Präsenz als am Laptop, was bedeutet, dass die zuerst genannte Gruppe sich tendenziell eher im virtuellen Versteck der Untergetauchten räumlich anwesend gefühlt hat. Erklärend sei gesagt, dass unter einem HMD externe Stimuli aus der Realität weitreichend ausgeblendet werden, während am Laptop die reale Umwelt (z.B. der Klassenraum, andere Schülerinnen und Schüler) weiterhin präsent ist. Dies ist konform mit einer

Studie von Makransky et al. (2019b). Sie untersuchten ebenfalls Präsenzerleben in VR und verglichen HMD-Bedingungen mit Laptop-Bedingungen und fanden ebenso heraus, dass Personen unter dem HMD mehr Präsenz erlebten als Personen am Laptop. Hypothese sechs a beinhaltet darüber hinaus den positiven Kausalzusammenhang zwischen Präsenzerleben und Maßen des Lernerfolgs. In der vorliegenden Untersuchung ergab sich, dass Personen die Anwendung eher weiterempfehlen würden und zufriedener mit ihr waren, wenn das Präsenzerleben höher war. Leider konnten neben den mediierenden Effekten für die beiden Bewertungsvariablen keine Mediationseffekte für weitere Lernindikatoren aufgedeckt werden. Makransky et al. (2019b) fanden in ihrer Studie sogar negative Effekte von erhöhtem Präsenzerleben auf Maße des Lernens.

Hypothese sechs b betrifft das Konstrukt Flowerleben. Für diese Lernprozessvariable konnten im Hinblick auf die Gesamtskala und die zwei Subskalen Verlauf und Absorbiertheit ein paar bedeutsame Mediationseffekte aufgedeckt werden. Die Gesamtskala Flowerleben sowie die Subskala Verlauf konnten den Effekt der Visualisierungstechnologie auf die Zufriedenheit der Probanden statistisch bedeutsam und vollständig mediieren. Die Subskala Verlauf konnte darüber hinaus die Beziehung zwischen der Visualisierungstechnologie und der Weiterempfehlungstendenz vollständig erklären. Die Wirkzusammenhänge sind identisch zu denen, die für Präsenzerleben berichtet wurden. In den HMD-Bedingungen wurde bedeutsam mehr Flow erlebt als in den Laptop-Bedingungen. Wenn mehr Flow erlebt wurde, wurde die Anwendung signifikant besser bewertet. Auch hier finden sich nur signifikante indirekte Effekte für die beiden Bewertungsvariablen und leider nicht für weitere Lernindikatoren. Für die Subskala Absorbiertheit konnten überhaupt keine bedeutsamen Effekte ermittelt werden.

Die subjektiv wahrgenommene Arbeitsbelastung der Testpersonen wird in Teilhypothese sechs c betrachtet. Für den Mediator extrinsische Arbeitsbelastung durch Instruktionen wurden die indirekten Effekte auf die abhängigen Variablen Zufriedenheit und Wissenstest signifikant. Für den Mediator extrinsische Arbeitsbelastung durch Interaktionen fanden sich statistisch bedeutsame indirekte Effekte für die abhängigen Variablen Zufriedenheit, Weiterempfehlung und Wissenstest. Für die dritte Quelle extrinsischer Belastung, nämlich durch die Umgebung, konnten bedeutsame indirekte Effekte für Zufriedenheit, Weiterempfehlung und die Transferaufgabe zu den Verhaltensregeln aufgedeckt werden. Indirekte Effekte mit lernrelevanter Arbeitsbelastung als Mediator wurden nicht gefunden. Die Kausalzusammenhänge lassen sich so interpretieren, dass in den Laptop-Bedingungen mehr extrinsische Arbeitsbelastung wahrgenommen wurde als in den HMD-Bedingungen und

das über alle drei Quellen extrinsischer Belastung hinweg. Dies widerspricht dem in Teilhypothese sechs c angenommenen Zusammenhang, dass die extrinsische Belastung unter dem HMD größer als am Laptop ist. Der andere in Teilhypothese sechs c relevante Zusammenhang, nämlich zwischen der extrinsischen Arbeitsbelastung und den Lernindikatoren, erwies sich bei allen signifikanten Mediationstestungen als negativ. Je höher die extrinsische Arbeitsbelastung, desto hinderlicher für die Lernergebnisse. Dies ist konform mit der in Teilhypothese sechs c formulierten Wirkrichtung. Bei fast allen Mediationstestungen mit extrinsischer Arbeitsbelastung als Mediator ergaben sich partielle Mediationen, was bedeutet, dass sich sowohl die direkten Effekte von Visualisierungstechnologie auf die abhängigen Variablen als statistisch signifikant erwiesen haben als auch die indirekten Effekte vermittelt über die extrinsische Arbeitsbelastung. Weshalb die extrinsische Belastung am Laptop anders als erwartet höher als unter dem HMD war, kann innerhalb dieser Untersuchung nicht hinreichend beantwortet werden und bedarf weiterer Forschung. Andere Studien, beispielsweise von Parong und Mayer (2018) sowie Makransky et al. (2019b), fanden gegenteilige Befunde.

Werden die Teilhypothesen sechs a bis c zusammenfassend betrachtet, lässt sich schlussfolgern, dass einige der in der vorliegenden Studie erhobenen Lernprozessvariablen bedeutsam die Kausalzusammenhänge zwischen der eingesetzten VR-Visualisierungstechnologie und Maßen des Lernens erklären können. Gerade für die Lernprozesse Flow erleben und Präsenzerleben wurden einige vollständige Mediationen aufgedeckt. Diese Mediationseffekte sind besonders relevant, da vermeintlich signifikante direkte Effekte der Visualisierungstechnologie auf Indikatoren des Lernens ihre Signifikanz verlieren, wenn latente Lernprozesse ebenfalls betrachtet werden. Studien, die es versäumen, solche in VR stattfindenden Lernprozesse zu kontrollieren, interpretieren fälschlicherweise signifikante Ergebnisse zwischen zwei Variablen als Kausalzusammenhang, obwohl tatsächlich andere Variablen, nämlich latente Lernprozesse, für diesen Zusammenhang verantwortlich sind bzw. diesen systematisch erklären können. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie sollten daher dazu ermuntern, Lernprozessvariablen wie Flow erleben und Präsenzerleben stets zu erfassen, um Konfundierungen zu vermeiden. In der vorliegenden Studie wurde lediglich eine Auswahl an Lernprozessvariablen erhoben. Weitere Faktoren, wie beispielsweise Embodiment, Motivation, Selbstwirksamkeit oder Angst vor einer unbekannten Technologieform, die bereits im CAMIL (Makransky & Petersen, 2021) und EFIL (Dengel & Mägdefrau, 2020) vorgeschlagen wurden, könnten in Folgestudien auf mögliche Mediationseffekte hin untersucht werden. Aber nicht nur die vollständigen Mediationen, wie in dieser Untersuchung bei Flow erleben und Präsenzerleben der Fall, erscheinen interessant, sondern auch die partiellen

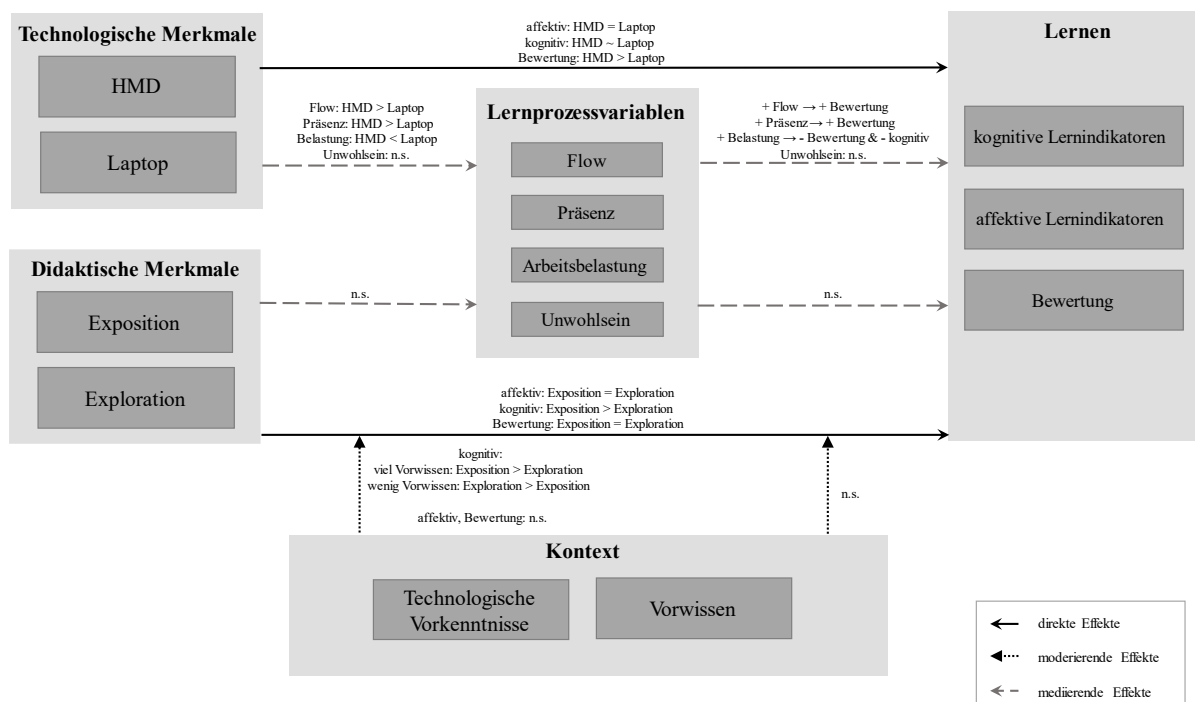
Mediationseffekte. In der vorliegenden Studie betrifft dies vor allem die Mediationstestungen mit der Mediatorvariable extrinsische Belastung. Diese deckten meist keine Konfundierungen auf, konnten jedoch systematisch zusätzliche Varianz der Lernindikatoren erklären und somit zum Verständnis von Lernen in VR-Umgebungen beitragen. Einschränkend ist jedoch zu erwähnen, dass sowohl die vollständig als auch die partiell signifikant gewordenen Mediationstestungen hauptsächlich die Bewertungsvariablen und nicht die kognitiven oder affektiven Lernindikatoren als abhängige Variablen betrafen. Folgestudien sollten überprüfen, ob sich Mediationseffekte unter Verwendung validerer Messmethoden für affektive und kognitive Lehr- und Lernziele eher finden lassen.

5.2 Theoretische und methodische Implikationen

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde das in Abbildung 5 visualisierte Forschungsdesign empirisch überprüft. Abbildung 41 ist ein Versuch, die in Abschnitt 5.1 verbalisierten Ergebnisse komprimiert darzustellen. Die Befunde können anhand der Abbildung jedoch nicht gänzlich dargestellt werden. Zum genauen Verständnis der Wirkzusammenhänge muss daher auf den Fließtext in 5.1 verwiesen werden.

Abbildung 41

Forschungsdesign basierend auf Abbildung 5 mit empirischen Befunden der vorliegenden Arbeit



Anmerkungen. n.s. = nicht signifikant

Insgesamt sind die Befunde der durchgeführten Studie als interessant zu werten. Sie liefern erste Evidenz für die der Arbeit zugrundeliegenden theoretischen Modelle CAMIL (Makransky & Petersen, 2021), EFIL (Dengel & Mägdefrau, 2020) sowie M-iVR-L (Mulders et al., 2020).

Wie im CAMIL (Makransky & Petersen, 2021) und EFIL (Dengel & Mägdefrau, 2020) angenommen, wirkten sich auch in der vorliegenden Untersuchung technische Merkmale auf das Erleben von Präsenz in VR-Umgebungen aus. Unter Verwendung einer Technologie, hier HMD-basierte VR, welcher eine hohe Immersion, Repräsentationsgenauigkeit und Handlungskontrolle zugeschrieben wird, erlebten die Probanden bedeutsam mehr Präsenz als in einer VR-Umgebungen am Laptop, welche als weniger immersiv, interaktiv und authentisch klassifiziert wird. Ebenso verhielt es sich für das Erleben von Flow. Das Erleben von Flow und Präsenz wirkten sich wiederum positiv auf Maße des Lernens aus. Für das Präsenzerleben liegen gleichsinnige Befunde von Roy und Schlemminger (2014) sowie Steed et al. (2016) vor. Für das Erleben von Flow gibt es bislang noch wenige empirische Untersuchungen zum Einfluss auf Parameter des Lernens in VR.

Laut CAMIL (Makransky & Petersen, 2021) und M-iVR-L (Mulders et al., 2020) spielt das Erleben kognitiver Belastung in VR-Umgebungen eine für das Lernen entscheidende Rolle, und zwar insofern, dass eine kognitive Überlastung für das Lernen hinderlich sein kann. Dass eine zu hohe extrinsische kognitive Belastung sich negativ auf Maße des Lernens auswirkt, konnte auch in der vorliegenden Studie nachgewiesen werden. Dieser Befund bekräftigt nochmals die Motivation von Mulders et al. (2020), Gestaltungsempfehlungen für VR-Lernumgebungen zu entwickeln, um eine solche kognitive Überlastung seitens der Lernenden zu vermeiden. Dies ist konform mit Studien von Makransky et al. (2019b) und Parong und Mayer (2018). Interessanterweise erlebten in der vorliegenden Untersuchung jedoch nicht wie angenommen die Testpersonen unter einem HMD mehr kognitive Belastung, sondern die Testpersonen am Laptop. Dieser Befund ist konträr zu Makransky et al. (2019b) und Parong und Mayer (2018). Weitere Forschung erscheint daher notwendig.

Neben kognitiver Belastung, dem Erleben von Präsenz und Flow wurden besonders im CAMIL (Makransky & Petersen, 2021) aber auch im EFIL (Dengel & Mägdefrau, 2018) weitere lernrelevante Verarbeitungsprozesse benannt. Konstrukte wie Embodiment, Neugier oder Motivation wurden in dieser Arbeit nicht betrachtet. Das vorliegende Studiendesign könnte somit zur empirischen Untersuchung weiterer Lernprozessvariablen herangezogen werden.

Im EFiL (Dengel & Mägdefrau, 2020) werden zudem Kontextvariablen berücksichtigt. Auch in der vorliegenden Untersuchung wurden solche integriert, indem sowohl die technologischen Vorkenntnisse als auch das fachliche Vorwissen der Probanden kontrolliert und auf moderierende Wirkungen hin überprüft wurden. Die Arbeit scheiterte weitgehend solche Moderationseffekte aufzudecken. In Folgestudien erscheint es ratsam, diese und weitere person- (z.B. kulturelle Herkunft der Versuchspersonen) und situationsgebundene Kontrollfaktoren (z.B. Tageszeit, zu der die Studie durchgeführt wird) zu untersuchen.

Insgesamt konnte die vorliegende Studie empirische Belege zu den drei theoretischen Modellen liefern. Ein Großteil der in den Modellen aufgeführten Konstrukte ist jedoch unangetastet geblieben. Die Modelle bieten demnach weiterhin sehr viel Potenzial für empirische Arbeiten. Auf den Ergebnissen dieser Untersuchung aufbauend lassen sich demzufolge unter Verwendung anderer VR-Lernumgebungen, dementsprechend anderer Lernindikatoren, anderer didaktischer Methoden, beispielsweise basierend auf weiteren Prinzipien der CTML (z.B. Mayer, 2005) und anderer Lernprozessvariablen weitere Versuchspläne entwickeln und durchführen.

Auf einer höheren Ebene hatte diese Arbeit zum Ziel, bestehende Studiendesigns im Sinne klassischer Medienvergleichsstudien kritisch zu hinterfragen. Das dieser Arbeit zugrundeliegende Forschungsdesign geht weit über die Untersuchung unidirektionaler Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge zwischen einer Bildungstechnologie und dessen Wirkungen auf Maße des Lernens hinaus. Vielmehr stehen komplexe Wirkzusammenhänge im Fokus. Es interessieren im Besonderen die zugrundeliegenden innerpsychischen Verarbeitungsprozesse, die während einer VR-Erfahrung stattfinden. Kontextvariablen werden zudem im Forschungsdesign kontrolliert. Die methodische Herangehensweise erlaubte es in der vorliegenden Studie, von kausalen Effekten zwischen unabhängigen und abhängigen Variablen sprechen zu können. Eine Kontrolle von Drittvariablen war einerseits durch das experimentelle Design der Studie und andererseits durch die Integration bestimmter Lernprozessvariablen gegeben. So ließen sich Konfundierungen, die zu verzerrten Ergebnisinterpretationen führen, vermeiden. Durch das Studiendesign wurden aber nicht nur Störvariablen kontrolliert. Vielmehr konnten Lernprozessvariablen und Kontextfaktoren die Zusammenhänge zwischen Technologien, Methoden und Maßen des Lernens tiefergehend erklären und so zum Verständnis von Lernen in VR beitragen.

Für die zukünftige Erforschung von VR-Lernszenarien bietet ein Forschungsansatz, wie er in der vorliegenden Arbeit erprobt wurde, vielversprechende Möglichkeiten. Mit Hilfe

dieses Forschungsdesigns lassen sich latente in VR ablaufende Lernprozesse umfassender als bislang analysieren. Die vorliegende Arbeit ist somit nur eine erste Prüfung des Forschungsdesigns und weitere Erprobungen mit anderen didaktischen Methoden, Lernprozessvariablen oder auch Lernindikatoren scheinen zukünftig indiziert.

Zusammengefasst konnte mittels der vorliegenden Untersuchung ein Forschungsdesign getestet werden, das exemplarisch aufzeigt, wie in VR stattfindende Lernprozesse erhoben und statistisch ausgewertet werden können. Die Einzelergebnisse dieser Studie rund um das *Anne Frank VR House*, die eingesetzten didaktischen Methoden der Exposition und Exploration und die verwendeten VR-Visualisierungstechnologien Laptop und HMD sind daher zwar bedeutsam und anschlussfähig an die bisherige Forschung zu Lernen in VR, rücken jedoch etwas in den Hintergrund. Die vorliegende Arbeit kann darüber hinaus einen Beitrag zur Bildungsforschung im Sektor VR leisten, indem ein Forschungsdesign ausgearbeitet und erprobt wurde, welches es ermöglicht, komplexe Lernprozesse in VR abbilden und messen zu können.

Die Forschungsmethodik der vorliegenden Arbeit ist quantitativ. Um inferenzstatistische Verfahren wie MANOVAs, Mediationsanalysen oder Moderationsanalysen rechnen zu dürfen, braucht es ausreichend große Stichproben, was in der vorliegenden Untersuchung mit $N > 25$ pro Versuchsbedingung (Eid et al., 2010) hinreichend adressiert wurde. Ebenso könnte der Forschungsansatz aber auch in qualitativen Studien eingesetzt werden, indem wenige Probanden eine VR-Umgebung wie das *Anne Frank VR House* explorieren und post hoc mit diesen Probanden leitfadengestützte Interviews durchgeführt werden. Dieses Vorgehen bietet sich besonders für noch wenig erforschte in VR stattfindende Lernprozesse an. Für das Erleben von Flow liegt beispielsweise im Gegensatz zum Präsenzerleben und zur kognitiven Belastung kein für VR spezifisches Messinstrument vor. Hier bieten qualitative Erhebungs- und Auswertungsverfahren die Möglichkeit, sich einem latenten Konstrukt angemessen zu nähern. Basierend auf den Erkenntnissen qualitativer Forschung können wiederum konstruktvalide Fragebögen zur quantitativen Erfassung von Lernprozessen in VR entwickelt werden.

5.3 Didaktische Implikationen

Neben der Erarbeitung eines Forschungsdesigns zum Lernen in VR, versucht die Arbeit Antworten auf Fragen zur didaktischen Einbettung einer VR-Umgebung zu finden, die adressieren, wann sich der Mehraufwand durch den Einsatz von HMDs oder von zusätzlichen

Instruktionen lohnt. Es sollte einschränkend erwähnt werden, dass eine Beantwortung solcher Fragen anhand einer Einzelstudie sicherlich nicht gelingen kann. An dieser Stelle erscheint es sinnvoll, sich genauer mit dem Konstrukt der Effizienz auseinanderzusetzen, welches bereits in Abschnitt 2.2.3 näher beschrieben wurde. Windham und Chapman (1990) schlugen zur Effizienzbestimmung die Betrachtung monetärer, quantitativer und qualitativer Faktoren vor.

Im Hinblick auf monetäre Faktoren lässt sich wie folgt argumentieren. Die Anschaffung eines oder mehrerer HMDs ist kostenintensiv. Ein HMD (hier: *Oculus Quest 2*) kann um die 400 Euro kosten (Schuir, Pöhler & Teuteberg, 2022). Braucht es für ein Lernszenario angesichts einer größeren Lerngruppe mehrere HMDs, vervielfachen sich die Kosten und auch die benötigte Fläche in Quadratmetern. Andere Ein- und Ausgabegeräte sind wesentlich kostengünstiger und oftmals eh im Besitz von Bildungsinstitutionen oder von einzelnen Lernenden. Laptops, Tablets, selbst Smartphones können genutzt werden, um VR-Umgebungen zu erkunden. Dies ist jedoch abhängig von der verwendeten Software. VR-Software kann oft käuflich erworben werden oder es werden gratis zur Verfügung stehende VR-Umgebungen wie das *Anne Frank VR House* oder *Kokoda VR* genutzt. Im vorliegenden Fall kann das *Anne Frank VR House* sowohl mit HMDs als auch mit Endgeräten mit zweidimensionalen Bildschirmen exploriert werden. Für den Einsatz von VR zu Lehr- und Lernzwecken notwendig sind zudem geschulte Lehrkräfte, welche das VR-Erlebnis sowohl technisch als auch inhaltlich angemessen begleiten können. Schulungsangebote und strukturierte Hilfestellungen wie Begleitmaterialien, Leitlinien und Verlaufspläne sind im Bereich rund um VR erst wenig verbreitet (Hellriegel & Cubela, 2018). Daher werden sich Fähigkeiten bislang meist selbst angeeignet oder von Lehrkraft zu Lehrkraft individuell weitergegeben. Manche VR-Anwendungen brauchen zudem eine stabile Verbindung zum Internet. Für die Webanwendung des *Anne Frank VR House* ist diese beispielsweise nötig. Für die HMD-Version ist lediglich zur Installation der App eine stabile Internetverbindung notwendig. Auch langfristig können durch Wartung, Instandhaltung und manchmal auch Lizenzen Kosten entstehen. Kosten können jedoch auch eingespart werden. Das Anne-Frank-Museum in Amsterdam war aufgrund der Covid-19-Pandemie während der Durchführung der vorliegenden Studie größtenteils geschlossen und konnte nicht besucht werden. Exkursionen von Lerngruppe in größere Städte fanden selten statt. Die VR-Anwendung ist dagegen permanent und zeitlich wie örtlich flexibel nutzbar. Aber auch außerhalb der Pandemie ist für viele Interessierte eine Fahrt nach Amsterdam neben den entstehenden Kosten aus verschiedenen Gründen (z.B. Mobilität) nicht realisierbar. Hier können durch das VR-Erlebnis sogar immens Kosten reduziert werden. Darüber hinaus zu erwähnen ist, dass auch andere

Bildungsmedien rund um das Thema Anne Frank vorliegen, die oft kostenfrei verfügbar sind. Mehrere Filme existieren. Auf Bildungsplattformen haben Lehrkräfte ganze Unterrichtsreihen samt der Begleitmaterialien zur Verfügung gestellt. Das Tagebuch der Anne Frank selbst sollte auch nicht unerwähnt bleiben. Monetär sind letztere Materialien sicherlich im Vorteil gegenüber VR-Anwendungen, welche meist mit einem Mehraufwand für Lehrpersonal und abhängig von der Visualisierungstechnologie mit zusätzlichem finanziellem Aufwand einhergehen.

Bezugnehmend auf quantitative Faktoren lässt sich erörtern, dass durch VR immens Zeit eingespart werden kann. VR-Umgebungen sind, wie oberhalb bereits erwähnt, dauerhaft verfügbar. Es braucht keine zeitintensiven Exkursionen. Lernende können, sofern es das Lernszenario erlaubt, selbst bestimmen, wann und wie lange sie die VR-Umgebung erkunden und wann sie möglicherweise eine Pause brauchen. Hinsichtlich der von Windham und Chapman (1990) intendierten Testergebnisse lässt sich basierend auf den Resultaten der vorliegenden Studie vermuten, dass es nicht unbedingt kostenintensive HMDs braucht, um kognitive wie affektive Lehr- und Lernziele hinreichend zu adressieren. In dieser Studie wurde nur für wenige Maße des Lernens eine Überlegenheit der HMD-Bedingungen gegenüber den Laptop-Bedingungen festgestellt. Oft waren diese Maße rein evaluativer Natur. Um den Erwerb deklarativen Wissens zu unterstützen oder Perspektivenübernahme in die Figur der Anne Frank zu erzeugen, macht es folglich kaum einen Unterschied, welche VR-Visualisierungstechnologie zur Darstellung des virtuellen Verstecks gewählt wird. Kritisch sei an dieser Stelle erwähnt, dass das Instrument zur historischen Perspektivenübernahme von Hartmann (2008) leider wenig Erkenntnisse liefern konnte. Generell scheint das *Anne Frank VR House* aber angesichts der Studienergebnisse gemittelt über alle Versuchsbedingungen lernförderlich zu sein, weshalb aus Effizienzgründen sicherlich der Einsatz der 360°-Webanwendung unter Verwendung von Endgeräten der Lernenden oder der Bildungsinstitution zu empfehlen ist. Diese Kosteneinsparungen gelten selbstverständlich auch für andere Bildungsmedien, die über zweidimensionale Bildschirme dargeboten werden können (z.B. ein Dokumentarfilm über Anne Frank). Es ist zu betonen, dass es vom zugrundeliegenden Bildungsproblem und den zugrundeliegenden Lehr- und Lernzielen abhängt, zugunsten welchen Bildungsmediums die Entscheidung fällt (Kerres, 2018). Das *Anne Frank VR House* ist scheinbar eher dafür geeignet, das Leben im Hinterhaus zu skizzieren und den eingeschränkten Handlungsspielraum auf wenigen Quadratmetern mit unterschiedlichen Menschen zu verdeutlichen als Fakten über Anne Franks Leben im Versteck zu vermitteln. Neben dem Bildungsanliegen und den Lehr- und Lehrzielen sollten hinsichtlich der didaktischen Einbettung stets weitere Rahmen-

bedingungen (z.B. Gruppengröße, verfügbare Zeit, Vorwissen der Zielgruppe) berücksichtigt werden (Kerres, 2018). In der vorliegenden Untersuchung wurde das fachliche Vorwissen der Schülerinnen und Schüler als Kontrollvariable erfasst. Anders als es gemäß dem Umkehr-effekt der Expertise (z.B. Kalyuga & Renkl, 2010) zu erwarten gewesen wäre, wirkten die didaktischen Methoden nicht in Abhängigkeit vom vorhandenen Fachwissen und wenn in entgegengesetzter Wirkweise. Neben der Visualisierungstechnologie wurde im Rahmen der vorliegenden Studie also die Wirksamkeit zweier didaktischer Methoden, nämlich Exposition und Exploration, untersucht. Lediglich für zwei kognitive Lernindikatoren konnten Vorteile für Probanden der Expositions-Gruppen gegenüber denen der Explorations-Gruppen gefunden werden. Der Zusatzaufwand, welcher in den Expositions-Bedingungen mit den Instruktionen verbunden ist, erscheint somit nur legitim, wenn der deklarative Wissenserwerb im Vordergrund steht. Andernfalls kann auf die Instruktionen zugunsten der selbstgesteuerten Erkundung der VR-Umgebung entlang vieler Freiheitsgrade verzichtet werden. Bezüglich der von Windham und Chapman (1990) aufgeführten langfristigen Effekte des Einsatzes von VR zu Lehr- und Lernzwecken (z.B. Abschlussnoten, späterer beruflicher und schulischer Erfolg) kann die vorliegende Arbeit keine Aussagen treffen, da es sich um eine Querschnittsstudie handelt. Langzeitstudien erscheinen daher in Zukunft indiziert.

Hinsichtlich qualitativer Faktoren zur Effizienzbestimmung wird VR nachgesagt, andersartiges Lernen zu ermöglichen. Das *Anne Frank VR House* entspricht in seiner Darstellung weitgehend dem Versteck, wie es auch in der Realität im Anne-Frank-Museum in Amsterdam erhalten ist. Insofern eröffnet das *Anne Frank VR House* keine gänzlich neue Erfahrungsqualität. Dennoch ermöglicht das *Anne Frank VR House* aus der Distanz das Erleben räumlicher Präsenz im Versteck im Hinterhaus. Das VR-Szenario ist situiert. Anhand der Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung zum Erleben von Präsenz ist davon auszugehen, dass Lernende unter einem HMD sich eher räumlich in das Hinterhaus versetzt fühlten als Lernende am Laptop. Auch das Erleben von Flow war unter einem HMD stärker. Die Zusammenhänge zwischen VR-Visualisierungstechnologie und Flowerleben sowie Präsenzerleben sind hoch signifikant (siehe Tabelle 11 in Abschnitt 4.5.1). Die Lernenden scheinen demnach unter dem HMD eher emotional aktiviert gewesen zu sein. In dieser Studie konnten jedoch nur vereinzelt signifikante Zusammenhänge zwischen Flow, Präsenz und Maßen des Lernens aufgedeckt werden. Dies deutet daraufhin, dass unterschiedliche VR-Visualisierungstechnologien zwar qualitativ unterschiedliche Lernprozesse auslösen, was sich jedoch nicht notwendigerweise in den Lernresultaten widerspiegelt. Auch die Interaktivität als Determinante des qualitativen Erlebens unterscheidet sich in Abhängigkeit von der

Visualisierungstechnologie, über die die VR dargeboten wird. In der HMD-Version können Gegenstände im Raum durch VR-spezifische Interaktionen beispielsweise im Detail betrachtet oder gewendet werden. Auch wenn diese Interaktionen durch einen Controller durchgeführt werden und kein haptisches Feedback (z.B. ertasten der Oberflächenstruktur des Tagebuchs von Anne Frank) möglich ist, sind derartige Interaktionen in der Realität, hier im Museum, meist nicht erlaubt. Des Weiteren ist das Erleben des *Anne Frank VR House* insofern andersartig, als dass keine anderen Personen, beispielsweise Mitschülerinnen und Mitschüler, mit anwesend sind, wie es im Museum sicherlich der Fall wäre. Solche realen Personen sind ein Anker zur Realität bzw. Gegenwart, der in der VR-Umgebung nicht gegeben ist, was möglicherweise die Eingebundenheit der Lernenden in das Szenario erhöht. Zusammengefasst eröffnet das *Anne Frank VR House* keine vollkommen neue Qualität des Erlebens, da es eine Rekonstruktion des Anne-Frank-Museums in Amsterdam darstellt, das dort genauso erkundet werden kann. Dennoch ermöglichen VR-Umgebungen und HMD-basierte VR-Umgebungen im Speziellen durch einzelne Elemente der VR (z.B. Interaktivität, selbstgesteuertes Erkunden, Situierung) besondere und qualitativ andersartige Erfahrungen. Die vorliegende Untersuchung zeigte, dass Flow und Präsenz bedeutsam eher unter HMDs als an Laptops erlebt werden. Steht für eine Lehrkraft die Erlebensqualität ihrer Schülerinnen und Schüler im Fokus, also dass die Schülerschaft andersartige Verarbeitungsprozesse innerhalb der VR durchläuft, empfiehlt sich der Einsatz von HMDs. Geht es der Lehrkraft eher um die Adressierung von Lehr- und Lernzielen, ist der Zusatzaufwand durch den Einsatz von HMDs weniger gerechtfertigt. Dementsprechend erscheint der Einsatz von HMDs eher in informellen Lehr- und Lernsettings indiziert, in denen Lehrpersonal weniger gebunden an Lehrpläne und die Erreichung von Lehrzielen ist. Die Lehrkraft sollte jedoch auch die kognitive Belastung der Schülerinnen und Schüler berücksichtigen. Diese war in der vorliegenden Untersuchung am Laptop höher als unter einem HMD.

Neben kurzfristigen Effekten seitens der Lernenden eröffnet der Einsatz von Bildungstechnologien wie VR oder auch AR langfristig einer Bildungsinstitution die Möglichkeit, ihre Außenwirkung zu optimieren. Bildungstechnologien wie VR werden mit Attributen wie innovativ, neu oder fortschrittlich assoziiert und die Hoffnung von Institutionen besteht darin, dass die Eigenschaften der Technologie auf die Institution übertragen werden. Indem durch die Technologie andersartige Lernangebote geschaffen werden können, können zudem neue Zielgruppen angesprochen werden. Diese Effekte können zwar der Institution dienlich sein, sind jedoch nicht direkt mit dem individuellen Lernen verbunden.

Basierend auf den Argumenten, welche hinsichtlich der Effizienzbestimmung von VR, genauer vom *Anne Frank VR House*, diskutiert wurden, lässt sich schlussfolgern, dass die Implementierung einer VR-Anwendung Kosten durch Hardware, technische und didaktische Begleitung usw. verursacht, aber gleichzeitig Kosten durch eingesparte Reisen reduziert werden können. Auf das *Anne Frank VR House* kann darüber hinaus dauerhaft sowie zeitlich und örtlich flexibel zugegriffen werden. Selbstgesteuertes Lernen in einem situierten Setting wird ermöglicht. Ob HMDs oder Geräte mit zweidimensionalen Bildschirmen herangezogen werden, scheint von den intendierten Lehr- und Lernzielen sowie von der intendierten Erlebensqualität abhängig zu sein. Auch Effekte auf höheren Ebenen (z.B. Verbesserung der Außenwirkung der Institution) fließen in die Bestimmung der Effizienz eines Bildungsmediums ein. Insgesamt scheint eine Vielzahl von Wirkfaktoren die Effizienz von VR, hier vom *Anne Frank VR House*, zu determinieren. Es ist stets eine umfassende Begutachtung sämtlicher monetärer, quantitativer und qualitativer Faktoren mit Blick auf kurzfristige und langfristige Folgen im Einzelfall notwendig. Auch didaktische Überlegungen zur Zielgruppe (z.B. technologische Vorerfahrungen) sowie zu den Rahmenbedingungen vor Ort (z.B. Größe der Lerngruppe, zur Verfügung stehender Platz) sollten in den Bewertungsprozess integriert werden.

Da die vorliegende Arbeit auch der Bildungs- wie Forschungspraxis dienlich sein möchte, wurden sämtliche Begleitmaterialien (z.B. Instruktionen, Wissenstest, Transferaufgaben inklusive Erwartungshorizont) veröffentlicht¹⁹ und auf gängigen und für Bildungs- und Forschungsinstitutionen relevanten Plattformen (z.B. *MUNDO*²⁰, *ResearchGate*²¹) distribuiert.

5.4 Limitationen der vorliegenden Arbeit

Im vorletzten Kapitel dieser Arbeit sollen die Limitationen der vorliegenden Studie kritisch benannt, reflektiert und Optimierungsvorschläge erarbeitet werden.

Als eine Limitation der Untersuchung sollte erwähnt werden, dass die gesammelten Daten sich nur über den Zeitraum kurz vor bis direkt nach dem VR-Erlebnis erstrecken. Es ist daher zwar möglich, Aussagen über unmittelbare Effekte der VR zu treffen, jedoch können keine Angaben über mögliche langfristige Wirkungen oder auch Nebenwirkungen gemacht werden. Dementsprechend erscheint es sinnvoll, im Rahmen einer Nachuntersuchung die Langfristig-

¹⁹ https://learninglab.uni-due.de/sites/default/files/OER_Anne%20Frank%20VR%20House.pdf (abgerufen am 21.04.2022)

²⁰ <https://mundo.schule/details/SODIX-0001033059> (abgerufen am 21.04.2022)

²¹ https://www.researchgate.net/publication/359650159_Arbeitsmaterialien_zum_Anne_Frank_VR_House (abgerufen am 21.04.2022)

keit möglicher Erfolge oder Misserfolge zu überprüfen. So ließen sich jenseits des Neuigkeits-effekts oder anfänglich gesteigerter Motivation bedingt durch eine neue Technologieform Lernprozesse und Lernresultate untersuchen.

Eine weitere Limitation dieser Arbeit beinhaltet, dass möglicherweise nur diejenigen Probanden sich für die Studie anmeldeten, die auch Interesse an VR zeigten und eine hohe intrinsische Motivation zur Begehung solcher VR-Umgebungen aufwiesen. Dies gilt zumindest für die HMD-Versuchsbedingungen. In den Laptop-Bedingungen meldete die Lehrkraft die Schülerinnen und Schüler an. Die unterschiedlichen motivationalen Ausgangsvoraussetzungen und auch die unterschiedlichen Rahmenbedingungen dieser beiden Versuchsbedingungen (Einzelszenario vs. Plenum) lassen eine Konfundierung nicht gänzlich ausschließen. Es lässt sich vermuten, dass lediglich Versuchspersonen mit einer hohen intrinsischen Motivation den Fragebogen vollständig und gewissenhaft ausfüllten. Eine explorative Analyse, ob die Fragebögen der Versuchspersonen der Laptop-Bedingungen signifikant mehr fehlende Werte aufweisen als Fragebögen der Versuchspersonen der HMD-Bedingungen lieferte jedoch keine auffälligen Befunde.

Eine weitere Konfundierung hinsichtlich des experimentellen Designs besteht in den unterschiedlichen Modalitäten, in denen die Instruktionen in den Expositions-Versuchsbedingungen dargeboten wurden. In den Laptop-Bedingungen waren die Instruktionen textuell einem ausgedruckten Arbeitsblatt zu entnehmen. In den HMD-Bedingungen wurden identische Instruktionen verbal durch die Versuchsleitung gegeben. Dieses Vorgehen wurde aus forschungspraktischen Gründen gewählt, um möglichst viele Schülerinnen und Schüler zeitgleich in den Laptop-Versuchsbedingungen zu erheben. Folgestudien könnten weniger Schülerinnen und Schüler einsetzen, dafür qualitative Messverfahren integrieren und die Untersuchungsbedingungen exakt gleich halten, um Konfundierungen gänzlich ausschließen zu können.

Eine weitere Limitation der Studie liegt in der Verwendung nicht validierter Fragebögen (z.B. Wissenstest) sowie selbst erstellter und ebenfalls nicht validierter deutscher Übersetzungen (z.B. MCLSVE von Andersen & Makransky, 2021). Es empfiehlt sich daher, auch wenn dies aufwendig ist, sich durch qualitative Methoden relevanten Konstrukten zu nähern, darauf basierend speziell auf VR zugeschnittene Messinstrumente in verschiedenen Sprachen zu entwickeln, zu validieren und in wissenschaftlichen Studien vielfach einzusetzen.

Außerdem waren einige der untersuchten Variablen in der vorliegenden Untersuchung nicht normalverteilt, sodass teilweise auf nicht parametrische Verfahren zurückgegriffen werden musste. In Folgestudien sollte darauf geachtet werden, eine hinsichtlich der demographischen Variablen repräsentative Stichprobe zu ziehen.

Des Weiteren wurden Lernresultate in der vorliegenden Arbeit unter anderem durch die Bildung von Differenzen zwischen den beiden Messzeitpunkten operationalisiert. Es stellt sich jedoch die Frage, ob dies eine passende Darstellung ist. Eine Alternative wäre es, geeignete Messmethoden für den Lernzuwachs, auch gemeinsam mit darin geschulten Lehrkräften, zu entwickeln und daran Lernerfolge zu messen. Um eine noch höhere Validität der Methoden zu generieren, könnten die Instrumente vorab in mehreren Iterationen mit der Zielgruppe getestet und verbessert werden. Zudem wurden im Rahmen der vorliegenden Studie lediglich retrospektive Fragebögen verwendet. Werden Probanden jedoch im Nachhinein zu ihrer VR-Erfahrung befragt, ist dies stets nur eine Rekonstruktion der Erfahrung und verzerrt durch nachgeschaltete menschliche Interpretationsprozesse. Andere Studien versuchen just in dem Moment, in dem VR erfahren wird, lernrelevante Konstrukte, wie beispielsweise das Erleben von Präsenz, zu erfassen. So haben Parong und Mayer (2021) biometrische Maße (z.B. Hirnaktivität, Herzrate, Hautleitfähigkeit) erhoben, um affektive und kognitive Lernprozesse in VR angemessen abbilden zu können. Eine Kombination von Fragebögen und biometrischen Messmethoden könnte in Folgestudien vielversprechende Ergebnisse generieren.

In der vorliegenden Arbeit wurden lediglich zwei didaktische Herangehensweisen, nämlich Exposition und Exploration, einander gegenübergestellt. Es konnten kaum signifikante Befunde aufgedeckt werden. Eine Reihe weiterer Didaktisierungen und ihre Effekte auf das Lernen in VR-Umgebungen könnten untersucht werden. So könnte bei der Anwendung *Anne Frank VR House* geprüft werden, wie sich die Modalität, in welcher Informationen innerhalb der VR-Umgebung präsentiert werden, auf Parameter des Lernens auswirken. Das Modalitätsprinzip entstammt dabei der CTML (z.B. Mayer, 2005). In der vorliegenden Untersuchung sprach unter dem HMD eine weibliche Stimme aus dem Hintergrund zu den Probanden, sobald mit Gegenständen interagiert wurde, und lieferte relevante Hintergrundinformationen. Die Anwendung bietet darüber hinaus die Möglichkeit, die Interaktionsform zu modifizieren, indem die Stimme durch eingeblendete Textbausteine ersetzt werden kann. Diese beiden Modalitäten könnten in einer Folgestudie experimentell verglichen werden. In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, dass sich eine Konfundierung

durch die unterschiedlichen Modalitäten, in welchen den Probanden Hintergrundinformationen innerhalb der VR präsentiert wurden nicht ausschließen lässt. Am Laptop wurden Hintergrundinformationen über aufploppende Fenster mit Textbausteinen dargeboten, unter dem HMD verbal durch eine weibliche Stimme.

Letztlich wurden, um Lernerfolge in VR zu operationalisieren, affektive und kognitive Lernindikatoren sowie Bewertungsparameter genutzt. Psychomotorische Lehr- und Lernziele, wurden im Forschungsdesign dieser Arbeit nicht, wie beispielsweise Dengel und Mägdefrau (2020) vorgeschlagen, berücksichtigt. Diverse Studien konnte jedoch die Vorteile von VR für den Erwerb psychomotorischer Fähigkeiten (z.B. Sankaranarayanan et al., 2018; Zender et al., 2019) aufzeigen. Eine Integration von Lehr- und Lernzielen auf psychomotorischer Ebene ist somit, abhängig von den Inhalten der VR, ebenfalls notwendig.

5.5 Zusammenfassung und Fazit

Abschließend soll im letzten Teil der vorliegenden Arbeit ein Ausblick gegeben werden, inwiefern die Ergebnisse aber auch das Forschungsdesign der Untersuchung anschlussfähig sind und die Bildungsforschung im Sektor VR bereichern können.

In dieser Arbeit wurde die VR-Umgebung *Anne Frank VR House* empirisch untersucht. Über die verschiedenen Versuchsbedingungen hinweg zeigte sich, dass die Anwendung generell kognitive und affektive Lehr- und Lernziele adressieren kann und von den Schülerinnen und Schülern überaus positiv bewertet wird. Insofern scheint die Anwendung insgesamt für Lehr- und Lernzwecke geeignet zu sein. Die Frage, welche VR-Visualisierungstechnologie, hier HMD oder Laptop, eher zur Präsentation der VR-Inhalte geeignet ist, vermag diese Arbeit nicht zu beantworten. Wenig überraschend fanden sich bedeutsam bessere Bewertungen seitens der Schülerinnen und Schüler für HMD-basierte VR-Umgebungen im Vergleich zu Laptop-basierten VR-Umgebungen. Für weitere kognitive und affektive Maße des Lernens konnten seltener signifikante Unterschiede gefunden werden. Für die kognitiven Lernindikatoren waren die Ergebnisse uneindeutig. Für die affektiven Lernindikatoren wurden lediglich numerisch aber nicht statistisch bedeutsam Vorteile für HMD-basierte VR sichtbar. Daher sollte eine Entscheidung für oder gegen eine VR-Visualisierungstechnologie stets eine Entscheidung im Einzelfall sein, die eine Lehrperson anhand einer genauen Analyse monetärer, qualitativer und quantitativer Faktoren trifft. Eine weitere Frage adressiert die Didaktisierung der VR-Umgebung. In der vorliegenden Untersuchung wurden kaum Unterschiede zwischen den Methoden der Exposition und Exploration gefunden.

Lediglich für den deklarativen Wissenserwerb zeigten sich leichte Vorteile in den Expositions-Versuchsbedingungen. Daher sei auch an dieser Stelle auf die Entscheidung seitens der Lehrkraft verwiesen, zu Gunsten welcher Lehr- und Lernziele sie das Medium einsetzen möchte.

Bedeutsamer als die Haupteffekte der VR-Visualisierungstechnologie und der didaktischen Methode waren jedoch die in dieser Arbeit untersuchten Moderations- und Mediationseffekte. Moderierende Effekte durch fachliches Vorwissen und technologische Vorkenntnisse wurden nicht bzw. vereinzelt aber nicht in der erwarteten Wirkrichtung gefunden. Mediationseffekte hingegen, welche die Wirkung von der VR-Visualisierungstechnologie auf Parameter des Lernens bedeutsam erklären können, wurden vielfach aufgedeckt. Das Erleben von Präsenz und Flow sowie die erfahrene kognitive Belastung in der VR-Umgebung konnten die Effekte der VR-Visualisierungstechnologie auf einige Lernindikatoren hinreichend erklären. Teilweise verschwand der direkte Effekt durch die Hinzunahme eines Mediators und nur noch der indirekte Effekt vermittelt über den jeweiligen Mediator erwies sich als statistisch signifikant. An dieser Stelle wird deutlich, warum in empirischen Studien stets latente Prozessvariablen kontrolliert und erhoben werden sollten. Anderenfalls werden statistisch bedeutsame direkte Effekte vermeintlich als signifikant interpretiert oder systematisch überschätzt, obwohl tatsächlich ein zugrundeliegender Verarbeitungsprozess für den Zusammenhang verantwortlich ist. Leider konnten in der vorliegenden Untersuchung nur wenige Mediationseffekte für die affektiven und kognitiven Lernindikatoren als abhängige Variablen aufgedeckt werden. Der Großteil der signifikanten Mediationseffekte betrifft die Bewertung der VR-Anwendung.

Eine Stärke dieser Arbeit liegt in der Erprobung des erarbeiteten Forschungsdesigns. Durch die vorliegende Untersuchung konnte aufgezeigt werden, wie Bildungsforschung im Bereich VR in Zukunft gestaltet werden könnte. Dabei beschränkt sich das erarbeitete Forschungsdesign nicht nur auf quantitative Methoden. Vielmehr können auch qualitative Studien entlang des Designs durchgeführt werden. Wie diese Studie, wenn auch größtenteils nur für evaluative Maße, zeigen konnte, können latente Lernprozessvariablen, d.h. Flow-erleben, Präsenzerleben und kognitive Belastung, die Effekte von technischen Merkmalen auf Lernergebnisse bedeutsam erklären und somit zum Verständnis von Lernen in VR-Umgebungen beitragen. Darum erscheint es umso wichtiger, dass Folgestudien dem Vorschlag dieser Arbeit folgen, latente Verarbeitungsprozesse in VR zu berücksichtigen. Dabei beschränkt sich das Forschungsdesign nicht nur auf VR. Auch in Lernszenarien, die sich

beispielsweise AR-Technologien bedienen, spielen latente Lernprozessvariablen eine entscheidende Rolle. Demzufolge könnten anhand des vorgeschlagenen Forschungsdesigns einerseits unterschiedliche Bildungstechnologien und unterschiedliche didaktische Methoden sowie deren Wechselwirkungen erforscht werden. Dieses Vorgehen geht über in der Wissenschaft als kritisch betrachtete Medienvergleichsstudien hinaus. Andererseits ermöglicht das Forschungsdesign Kausalzusammenhänge durch mediiierende Lernprozessvariablen aufzudecken und damit Konfundierungen zu vermeiden sowie relevante Kontextfaktoren zu kontrollieren.

Zusammenfassend betrachtet, leistet die vorliegende Arbeit einen Beitrag zur Forschung im Bereich VR, indem am Beispiel des *Anne Frank VR House* das Lernen in VR mit Blick auf verschiedene Lehr- und Lernzieldimensionen genauer betrachtet wurde. Zwischen den untersuchten didaktischen Methoden und VR-Visualisierungstechnologien fanden sich nur wenige signifikante Unterschiede. Die Methode der Exposition scheint sich eher als die Methode der Exploration für die Adressierung kognitiver Lehr- und Lernziele zu eignen. HMD-basierte VR scheint im Vergleich zu Laptop-basierter VR ein qualitativ andersartiges Erleben von virtuellen Umgebungen zu ermöglichen und unterstützt damit eher die Perspektivenübernahme in Anne Frank und den Transfer von Wissen als den Abruf kurz zuvor erworbenen Wissens. Darüber hinaus konnte aufgedeckt werden, dass durch die Hinzunahme von Mediator- und Moderatorvariablen bedeutsam mehr der Varianz des Lernens in VR-Umgebungen aufgedeckt werden kann und sich dementsprechend komplexe Interaktionsgefüge eher eignen, um Lernen in VR abbilden und untersuchen zu können.

Literaturverzeichnis

- Abadia, R., Calvert, J., & Dasika, R. (2019). Effectiveness of using an immersive and interactive virtual reality learning environment to empower students in strengthening empathy and mastery learning. In *27th International Conference on Computers in Education, ICCE 2019* (S. 495-504). Asia-Pacific Society for Computers in Education.
- Ahn, S. J., & Bailenson, J. N. (2011). Self-endorsing versus other-endorsing in virtual environments. *Journal of Advertising*, 40(2), 93-106.
- Aichele, C., & Schönberger, M. (2017). Die Digitalisierung der Energiewirtschaft: Potenziale und Herausforderungen der IKT-Branche für Utility 4.0. In *Herausforderung Utility 4.0* (S. 501-530). Wiesbaden: Springer.
- Albus, P., Vogt, A., & Seufert, T. (2021). Signaling in virtual reality influences learning outcome and cognitive load. *Computers & Education*, 166, 104154.
- Allcoat, D., & von Mühlen, A. (2018). Learning in virtual reality: Effects on performance, emotion and engagement. *Research in Learning Technology*, 26.
- Allmendinger, K. (2010). Social presence in synchronous virtual learning situations: The role of nonverbal signals displayed by avatars. *Educational Psychology Review*, 22(1), 41-56.
- Alrehaili, E. A., & Al Osman, H. (2019). A virtual reality role-playing serious game for experiential learning. *Interactive Learning Environments*, 1-14.
- Alsdorf, C., & Bannwart, E. (1995). Virtuelle Realität: Erfahrbare Informationen im Cyberspace. In L. J. Issing & P. Klimsa (Hrsg.), *Informationen und Lernen mit Multimedia* (S. 437-450). München: Psychologie Verlags Union.
- Anderson, L. W., Krathwohl, D. R., Airasian, P., Cruikshank, K., Mayer, R., Pintrich, P., & Wittrock, M. (2001). *A taxonomy for learning, teaching and assessing: A revision of Bloom's taxonomy*. Longman Publishing.

- Andersen, M. S., & Makransky, G. (2021). The validation and further development of a multidimensional cognitive load scale for virtual environments. *Journal of Computer Assisted Learning*, 37(1), 183-196.
- Andreas, K., Tsiatsos, T., Terzidou, T., & Pomportsis, A. (2010). Fostering collaborative learning in Second Life: Metaphors and affordances. *Computers & Education*, 55(2), 603-615.
- Ates, C., Kaymaz, Ö., Kale, H. E., & Tekindal, M. A. (2019). Comparison of Test Statistics of Nonnormal and Unbalanced Samples for Multivariate Analysis of Variance in terms of Type-I Error Rates. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, 2019, 1–8.
- Bailey, J., Bailenson, J. N., Won, A. S., Flora, J., & Armel, K. C. (2012). Presence and memory: immersive virtual reality effects on cued recall. In *Proceedings of the International Society for Presence Research Annual Conference* (S. 24-26).
- Baltes-Götz, B. (2018). *Mediator- und Moderatoranalyse mit SPSS und PROCESS*. <https://www.uni-trier.de/fileadmin/urt/doku/medmodreg/medmodreg.pdf> (abgerufen am 18.02.2022)
- Barnett, J. S., & Taylor, G. S. (2012). *How simulator interfaces affect transfer of training: comparing wearable and desktop systems*. <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA564898.pdf> (abgerufen am 04.03.2022)
- Baron, R. M., & Kenny, D. A. (1986). The moderator-mediator variable distinction in social psychological research: Conceptual, strategic, and statistical considerations. *Journal of Personality and Social Psychology*, 51(6), 1173-1182.
- Bente, G., Krämer, N. C., & Petersen, A. (2002). Virtuelle Realität als Gegenstand und Methode in der Psychologie. *Virtuelle Realitäten*, 1-31.
- Berg, L. P., & Vance, J. M. (2017). Industry use of virtual reality in product design and manufacturing: a survey. *Virtual reality*, 21(1), 1-17.

- Bertrand, P., Guegan, J., Robieux, L., McCall, C. A., & Zenasni, F. (2018). Learning empathy through virtual reality: multiple strategies for training empathy-related abilities using body ownership illusions in embodied virtual reality. *Frontiers in Robotics and AI*, 26.
- Bharathi, A. K. B. G., & Tucker, C. S. (2015). *Investigating the impact of interactive immersive virtual reality environments in enhancing task performance in online engineering design activities*. <https://asmedigitalcollection.asme.org/IDETC-CIE/proceedings-abstract/IDETC-CIE2015/V003T04A004/257903> (abgerufen am 04.03.2022)
- Billingsley, G., Smith, S., Smith, S., & Meritt, J. (2019). A systematic literature review of using immersive virtual reality technology in teacher education. *Journal of Interactive Learning Research*, 30(1), 65-90.
- Biocca, F., & Delaney, B. (1995). Immersive virtual reality technology. *Communication in the age of virtual reality*, 15(32), 10-5555.
- Bitkom e.V. (2017). *Zukunft der Consumer Technology - 2017*. <https://www.bitkom.org/sites/default/files/file/import/170901-CT-Studie-online.pdf> (abgerufen am 25.02.2022)
- Black, E. R. (2017). *Learning then and there: an exploration of virtual reality in k-12 history education*. <https://repositories.lib.utexas.edu/handle/2152/63616> (abgerufen am 02.03.2022)
- Bloom, B. S. (1956). Taxonomy of educational objectives. Vol. 1: Cognitive domain. *New York: McKay*, 20(24), 1.
- Bodzin, A., Junior, R. A., Hammond, T., & Anastasio, D. (2021). Investigating engagement and flow with a placed-based immersive virtual reality game. *Journal of Science Education and Technology*, 30(3), 347-360.

- Bogusevski, D., Muntean, C., & Muntean, G. M. (2020). Teaching and learning physics using 3D virtual learning environment: A case study of combined virtual reality and virtual laboratory in secondary school. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 39(1), 5-18.
- Boyd, J., Barnett, S. W., Bodrova, E., Leong, D. J., & Gomby, D. (2005). Promoting children's social and emotional development through preschool education. In *National Institute for Early Education Research Preschool Policy Brief*. New Brunswick, NJ: Rutgers.
- Bredl, K., & Groß, A. (2012). Gestaltung und Bewertung von Lernszenarien in immersiven virtuellen Welten. *Zeitschrift für E-Learning*, 7(1), 36-46.
- Broaders, S. C., Cook, S. W., Mitchell, Z., & Goldin-Meadow, S. (2007). Making children gesture brings out implicit knowledge and leads to learning. *Journal of Experimental Psychology: General*, 136(4), 539-550.
- Burdea, G. C., & Coiffet, P. (2003). *Virtual reality technology*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Buttussi, F., & Chittaro, L. (2017). Effects of different types of virtual reality display on presence and learning in a safety training scenario. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 24(2), 1063-1076.
- Champney, R. K., Stanney, K. M., Milham, L., Carroll, M. B., & Cohn, J. V. (2017). An examination of virtual environment training fidelity on training effectiveness. *International Journal of Learning Technology*, 12(1), 42-65.
- Chattha, U. A., Janjua, U. I., Anwar, F., Madni, T. M., Cheema, M. F., & Janjua, S. I. (2020). Motion sickness in virtual reality: An empirical evaluation. *IEEE Access*, 8, 130486-130499.
- Chen, C. J., & Teh, C. S. (2013). Enhancing an instructional design model for virtual reality-based learning. *Australasian Journal of Educational Technology*, 29(5).

- Christofi, M., & Michael-Grigoriou, D. (2017). Virtual reality for inducing empathy and reducing prejudice towards stigmatized groups: A survey. In *2017 23rd International Conference on Virtual System & Multimedia (VSMM)* (S. 1-8). IEEE.
- Clark, R. E. (1994). Media will never influence learning. *Educational Technology Research and Development*, 42(2), 21–29.
- Clark, R. C., & Mayer, R. E. (2016). *E-Learning and the Science of Instruction: Proven Guidelines for Consumers and Designers of Multimedia Learning*. John Wiley & Sons.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Csikszentmihalyi, M. (1997). Flow and education. *NAMTA journal*, 22(2), 2-35.
- Cummings, J. J., & Bailenson, J. N. (2016). How immersive is enough? A meta-analysis of the effect of immersive technology on user presence. *Media psychology*, 19(2), 272-309.
- Curry, C., Li, R., Peterson, N., & Stoffregen, T. A. (2020). Cybersickness in virtual reality head-mounted displays: examining the influence of sex differences and vehicle control. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 36(12), 1161-1167.
- Dalgarno, B., & Lee, M. J. W. (2010). What are the learning affordances of 3-D virtual environments? *British Journal of Educational Technology*, 41(1), 10–32.
- Davidson, R., & MacKinnon, J. G. (1993). *Estimation and inference in econometrics*. New York: Oxford.
- Davis, S., Nesbitt, K., & Nalivaiko, E. (2015). Comparing the onset of cybersickness using the Oculus Rift and two virtual roller coasters. In *Proceedings of the 11th Australasian conference on interactive entertainment (IE 2015)* (S. 30). Sydney, Australia: Australian Computing Society.

- De Freitas, S. (2008). *Serious Virtual Worlds*. <https://researchrepository.murdoch.edu.au/id/eprint/30594/1/serious%20virtual%20worlds%20scoping%20study.pdf> (abgerufen am 02.03.2022)
- De Freitas, S., Rebolledo-Mendez, G., Liarokapis, F., Magoulas, G., & Poulouvassilis, A. (2010). Learning as immersive experiences: Using the four-dimensional framework for designing and evaluating immersive learning experiences in a virtual world. *British Journal of Educational Technology*, 41(1), 69-85.
- Deci, E. L., & Ryan, R. M. (1985). *Intrinsic motivation and self-determination in human behavior*. New York: Plenum.
- Dengel, A., Buchner, J., Mulders, M., & Pirker, J. (2021). Beyond the horizon: Integrating immersive learning environments in the everyday classroom. In *2021 7th International Conference of the Immersive Learning Research Network (iLRN)* (S. 1-5). IEEE.
- Dengel, A., & Mägdefrau, J. (2018). Immersive learning explored: Subjective and objective factors influencing learning outcomes in immersive educational virtual environments. In *2018 IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering (TALE)* (S. 608-615). IEEE.
- Dengel, A., & Mägdefrau, J. (2020). Immersive learning predicted: Presence, prior knowledge, and school performance influence learning outcomes in immersive educational virtual environments. In *2020 6th International Conference of the Immersive Learning Research Network (iLRN)* (S. 163-170). IEEE.
- Dev, P. C. (1997). Intrinsic motivation and academic achievement: What does their relationship imply for the classroom teacher? *Remedial and Special Education*, 18(1), 12–19.
- Dickey, M. D. (2005). Brave new (interactive) worlds: A review of the design affordances and constraints of two 3D virtual worlds as interactive learning environments. *Interactive learning environments*, 13(1-2), 121-137.

- Dimitrova, V., & Lüdmann, M. (2014). Zur Entwicklung der Fähigkeit zur Perspektivenübernahme. In *Sozial-emotionale Kompetenzentwicklung* (S. 3-7). Wiesbaden: Springer.
- Dörner, R., Broll, W., Grimm, P., & Jung, B. (2013). Einleitung. In R. Dörner, W. Broll, & B. Jung (Hrsg.), *Virtual und Augmented Reality (VR/AR)* (S. 1-31). Berlin: Springer.
- Dörner, R., & Steinicke, F. (2013). Wahrnehmungsaspekte von VR. In R. Dörner, W. Broll, & B. Jung (Hrsg.), *Virtual und Augmented Reality (VR/AR)* (S. 33-63). Berlin: Springer.
- Dubach, J., Schelleis, N., Bölsterli, K., Cacchione, T., Martarelli, C. S., Probst, M., & Tempelmann, S. (2022). Unzugängliche Welten für das erfahrungsbasierte Lernen erschließen. Immersive Virtuelle Realität im naturwissenschaftlichen Sachunterricht. In *Sachunterricht in der Informationsgesellschaft* (S. 147-154). Bad Heilbronn: Klinkhardt.
- Dyer, E., Swartzlander, B. J., & Gugliucci, M. R. (2018). Using virtual reality in medical education to teach empathy. *Journal of the Medical Library Association: JMLA*, 106(4), 498.
- Eccles, J. S., & Wigfield, A. (2002). *Motivational beliefs, values, and goals. Annual Review of Psychology*, 53(1), 109–132.
- Eid, M., Gollwitzer, M., & Schmitt, M. (2010). *Statistik und Forschungsmethoden*. Weinheim und Basel: Beltz.
- Emihovich, B., Xu, X., & Arrington, T. L. (2020). SPECIAL: a conceptual framework to support learning in immersive environments. *International Journal of Smart Technology and Learning*, 2(2-3), 182-197.
- Engeser, S., Rheinberg, F., Vollmeyer, R., & Bischoff, J. (2005). Motivation, Flow-Erleben und Lernleistung in universitären Lernsettings. *Zeitschrift für pädagogische Psychologie*, 19(3), 159-172.

- Eschweiler, M., Evanschitzky, H., & Woisetschläger, D. (2009). Laborexperiment. In *Empirische Mastertechniken* (S. 361-388). Wiesbaden: Gabler Verlag.
- Eysenck, M. W., & Keane, M. T. (2015). *Cognitive Psychology: A Student's Handbook*. London: Psychology press.
- Finch, H. (2005). Comparison of the Performance of Nonparametric and Parametric MANOVA Test Statistics when Assumptions Are Violated. *Methodology*, 1(1), 27–38.
- Fowler, C. (2015). Virtual reality and learning: Where is the pedagogy? *British journal of educational technology*, 46(2), 412-422.
- Freeman, J., Avons, S. E., Pearson, D. E., & IJsselsteijn, W. A. (1999). Effects of sensory information and prior experience on direct subjective ratings of presence. *Presence*, 8(1), 1-13.
- Freina, L., Bottino, R., Tavella, M., & Dagnino, F. (2016). Immersion's impact on performance in a spatial reasoning task. In *International Conference on Games and Learning Alliance* (S. 211-220). Cham: Springer.
- Georgiou, J., Dimitropoulos, K., & Manitsaris, A. (2007). A virtual reality laboratory for distance education in chemistry. *International Journal of Social Sciences*, 2(1), 34-41.
- Göldi, S. (2011). *Von der bloomschen Taxonomy zu aktuellen Bildungsstandards*. Bern: hep Verlag.
- Graham, J. W., Cumsille, P. E., & Elek-Fisk, E. (2003). Methods for Handling Missing Data. *Handbook of Psychology*, 87-114.
- Greenbaum, P. (1992). The lawnmower man. *Film and video*, 9(3), 58-62.
- Gutiérrez, J., Ferrer-García, M., Plasanjuanelo, J., Andrés-Pueyo, A., & Talarn-Caparrós, A. (2016). Virtual reality to train diagnostic skills in eating disorders. Comparison of two

low cost systems. *Annual Review of Cybertherapy and Telemedicine 2015: Virtual Reality in Healthcare: Medical Simulation and Experiential Interface*, 219, 75.

Hamilton, D., McKechnie, J., Edgerton, E., & Wilson, C. (2021). Immersive virtual reality as a pedagogical tool in education: a systematic literature review of quantitative learning outcomes and experimental design. *Journal of Computers in Education*, 8(1), 1-32.

Harackiewicz, J. M., Smith, J. L., & Priniski, S. J. (2016). Interest matters: The importance of promoting interest in education. *Policy Insights From the Behavioral and Brain Sciences*, 3(2), 220–227.

Hartmann, U. (2008). *Perspektivenübernahme als eine Kompetenz historischen Verstehens*. <https://ediss.uni-goettingen.de/handle/11858/00-1735-0000-0006-AD13-2?locale-attribute=de> (abgerufen am 10.02.2022)

Hattie, J. (2009). *Visible learning: A synthesis of 800+ meta-analyses on achievement*. New York: Routledge.

Hayes, A.F. (2013). *Introduction to mediation, moderation and conditional process analysis: A regression based approach*. New York, NY: Guilford Press.

Heiß, A., Eckhardt, A. & Schnotz, W. (2003). Selbst- und Fremdsteuerung beim Lernen mit Hypermedien. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 17(3/4), 211–220.

Hellriegel, J., & Cubela, D. (2018). Das Potenzial von Virtual Reality für den schulischen Unterricht-Eine konstruktivistische Sicht. *MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung*, 58-80.

Helmke, A. (2014). *Unterrichtsqualität und Lehrerprofessionalität: Diagnose, Evaluation und Verbesserung des Unterrichts*. Seelze-Velber: Klett Kallmeyer.

Hettinger, L. J., & Riccio, G. E. (1992). Visually induced motion sickness in virtual environments. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 1(3), 306-310.

- Hew, K. F., & Cheung, W. S. (2010). Use of three-dimensional (3-D) immersive virtual worlds in K-12 and higher education settings: A review of the research. *British journal of educational technology*, 41(1), 33-55.
- Hibbard, P. B., Haines, A. E., & Hornsey, R. L. (2017). Magnitude, precision, and realism of depth perception in stereoscopic vision. *Cognitive Research: Principles and Implications*, 2(1), 1-11.
- Hidi, S., & Renninger, K. A. (2006). The four-phase model of interest development. *Educational Psychologist*, 41(2), 111–127.
- Hofer, M. (2019). „The feeling of being there “: Presence-Erleben als Folge kognitiver und emotionaler Verarbeitungsprozesse. In *Emotions Meet Cognitions* (S. 53-62). Wiesbaden: Springer.
- Huang, W. (2020). *Investigating the novelty effect in virtual reality on stem learning*. <https://www.proquest.com/openview/ca694c28210f0276d5721fccc639dd9a/1> (abgerufen am 23.02.2022)
- Huang, H. M., Rauch, U., & Liaw, S. S. (2010). Investigating learners’ attitudes toward virtual reality learning environments: Based on a constructivist approach. *Computers & Education*, 55(3), 1171-1182.
- Huang, C. L., Luo, Y. F., Yang, S. C., Lu, C. M., & Chen, A. S. (2020). Influence of students’ learning style, sense of presence, and cognitive load on learning outcomes in an immersive virtual reality learning environment. *Journal of Educational Computing Research*, 58(3), 596-615.
- Huang, Y., Richter, E., Kleickmann, T., Wiepke, A., & Richter, D. (2021). Classroom complexity affects student teachers’ behavior in a VR classroom. *Computers & Education*, 163, 104100.

- Jenewein, K., & Hundt, D. (2009). Wahrnehmung und Lernen in virtueller Realität: psychologische Korrelate und exemplarisches Forschungsdesign. *BBP-Arbeitsberichte*, 67.
- Jensen, L., & Konradsen, F. (2018). A review of the use of virtual reality head-mounted displays in education and training. *Education and Information Technologies*, 23(4), 1515-1529.
- Johnson-Glenberg, M. C. (2019). The Necessary Nine: Design Principles for Embodied VR and Active Stem Education. In P. Díaz, A. Ioannou, K. Bhagat, & J. Spector (Hrsg.), *Learning in a Digital World. Smart Computing and Intelligence* (S. 83- 112). Singapur: Springer.
- Kalyuga, S. (2011). Cognitive load theory: How many types of load does it really need? *Educational Psychology Review*, 23(1), 1-19.
- Kalyuga, S., & Renkl, A. (2010). Expertise reversal effect and its instructional implications: Introduction to the special issue. *Instructional Science*, 38(3), 209-215.
- Karich, A. C., Burns, M. K., & Maki, K. E. (2014). Updated meta-analysis of learner control within educational technology. *Review of Educational Research*, 84(3), 392-410.
- Kavanagh, S., Luxton-Reilly, A., Wuensche, B., & Plimmer, B. (2017). A systematic review of virtual reality in education. *Themes in Science and Technology Education*, 10(2), 85-119.
- Kelava, A., & Moosbrugger, H. (2020). Deskriptivstatistische Itemanalyse und Testwertbestimmung. In *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion* (S. 143-158). Berlin: Springer.
- Kelley, K. (2005). The Effects of Nonnormal Distributions on Confidence Intervals Around the Standardized Mean Difference: Bootstrap and Parametric Confidence Intervals. *Educational and Psychological Measurement*, 65(1), 51–69.

- Kennedy, R. S., Drexler, J., & Kennedy, R. C. (2010). Research in visually induced motion sickness. *Applied ergonomics*, 41(4), 494-503.
- Kerres, M. (2018). *Mediendidaktik: Konzeption und Entwicklung mediengestützter Lernangebote* (5. Auflage). De Gruyter Oldenbourg Verlag.
- Kiltner, K., Groten, R., & Slater, M. (2012). The sense of embodiment in virtual reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 21(4), 373–387.
- Kiltner, K., Bergstrom, I., & Slater, M. (2013). Drumming in immersive virtual reality: The body shapes the way we play. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 19(4), 597–605.
- Kim, H. K., Park, J., Choi, Y., & Choe, M. (2018). Virtual reality sickness questionnaire (VRSQ): Motion sickness measurement index in a virtual reality environment. *Applied ergonomics*, 69, 66-73.
- Klingenberg, S., Jørgensen, M. L., Dandanell, G., Skriver, K., Mottelson, A., & Makransky, G. (2020). Investigating the effect of teaching as a generative learning strategy when learning through desktop and immersive VR: A media and methods experiment. *British Journal of Educational Technology*, 51(6), 2115-2138.
- Köhler, T., Münster, S., & Schlenker, L. (2013). Didaktik virtueller Realität: Ansätze für eine zielgruppengerechte Gestaltung im Kontext akademischer Bildung. *Hochschuldidaktik im Zeichen von Heterogenität und Vielfalt: Doppelfestschrift für Peter Baumgartner und Rolf Schulmeister*, 97-110.
- Kolasinski, G. (1995). *Simulator sickness in virtual environments*. Orlando, FL: United States Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences.
- Kozak, J. J., Hancock, P. A., Arthur, E. J., & Chrysler, S. T. (1993). Transfer of training from virtual reality. *Ergonomics*, 36(7), 777-784.

- Kozhevnikov, M., & Gurlitt, J. (2013). Immersive and non-immersive virtual reality system to learn relative motion concepts. In *2013 3rd Interdisciplinary Engineering Design Education Conference* (S. 168-172). IEEE.
- Kozma, R. B. (1994). Will media influence learning? Reframing the debate. *Educational Technology Research and Development*, 42(2), 7–19.
- Krathwohl, D. R., Bloom, B. S., Masia, B. B., & Dreesmann, H. (1975). *Taxonomie von Lernzielen im affektiven Bereich*. Beltz.
- Krokos, E., Plaisant, C., & Varshney, A. (2018). Spatial mnemonics using virtual reality. In *Proceedings of the 2018 10th International Conference on Computer and Automation Engineering* (S. 27-30).
- Leder, J., Horlitz, T., Puschmann, P., Wittstock, V., & Schütz, A. (2019). Comparing immersive virtual reality and powerpoint as methods for delivering safety training: Impacts on risk perception, learning, and decision making. *Safety science*, 111, 271-286.
- Lee, K. M. (2004). Presence, explicated. *Communication theory*, 14(1), 27-50.
- Lee, E. A. L., Wong, K. W., & Fung, C. C. (2010). How does desktop virtual reality enhance learning outcomes? A structural equation modeling approach. *Computers & Education*, 55(4), 1424-1442.
- Lerner, D., Wichmann, D., & Wegner, K. (2019). Virtual-Reality-Simulationstraining in der Notfallsanitäterausbildung. *retten!*, 8(04), 234-237.
- Lester, J. C., Stone, B. A., & Stelling, G. D. (1999). Lifelike pedagogical agents for mixed-initiative problem solving in constructivist learning environments. *User modeling and user-adapted interaction*, 9(1), 1-44.
- Liu, D., Bhagat, K. K., Gao, Y., Chang, T. W., & Huang, R. (2017). The potentials and trends of virtual reality in education. In *Virtual, augmented, and mixed realities in education* (S. 105-130). Singapur: Springer.

- Loke, S.-K. (2015). How do virtual world experiences bring about learning? A critical review of theories. *Australasian Journal of Educational Technology*, 31(1), 112–122.
- Loomis, J. M., Blascovich, J. J., & Beall, A. C. (1999). Immersive virtual environment technology as a basic research tool in psychology. *Behavior Research Methods, Instruments, and Computers*, 31(4), 557–564.
- Maas, M. J., & Hughes, J. M. (2020). Virtual, augmented and mixed reality in K–12 education: A review of the literature. *Technology, Pedagogy and Education*, 29(2), 231–249.
- MacKinnon, D. P. (2012). *Introduction to statistical mediation analysis*. Routledge.
- MacKinnon, D. P., Lockwood, C. M., & Williams, J. (2004). Confidence Limits for the Indirect Effect: Distribution of the Product and Resampling Methods. *Multivariate Behavioral Research*, 39(1), 99–128.
- Madden, J. H., Won, A. S., Schuldt, J. P., Kim, B., Pandita, S., Sun, Y., ... & Holmes, N. G. (2018). *Virtual reality as a teaching tool for moon phases and beyond*. <https://arxiv.org/pdf/1807.11179.pdf> (abgerufen am 04.03.2022)
- Makransky, G., Lilleholt, L., & Aaby, A. (2017). Development and validation of the Multimodal Presence Scale for virtual reality environments: A confirmatory factor analysis and item response theory approach. *Computers in Human Behavior*, 72, 276–285.
- Makransky, G., & Lilleholt, L. (2018). A structural equation modeling investigation of the emotional value of immersive virtual reality in education. *Educational Technology Research and Development*, 66(5), 1141–1164.
- Makransky, G., Borre-Gude, S., & Mayer, R. E. (2019a). Motivational and cognitive benefits of training in immersive virtual reality based on multiple assessments. *Journal of Computer Assisted Learning*, 35(6), 691–707.

- Makransky, G., Terkildsen, T. S., & Mayer, R. E. (2019b). Adding immersive virtual reality to a science lab simulation causes more presence but less learning. *Learning and Instruction, 60*, 225-236.
- Makransky, G., Andreasen, N. K., Baceviciute, S., & Mayer, R. E. (2021). Immersive virtual reality increases liking but not learning with a science simulation and generative learning strategies promote learning in immersive virtual reality. *Journal of Educational Psychology, 113*(4), 719-735.
- Makransky, G., & Petersen, G. B. (2021). The cognitive affective model of immersive learning (CAMIL): a theoretical research-based model of learning in immersive virtual reality. *Educational Psychology Review, 33*(3), 937-958.
- Mania, K., & Chalmers, A. (2001). The effects of levels of immersion on memory and presence in virtual environments: A reality centered approach. *CyberPsychology & Behavior, 4*(2), 247-264.
- Mantovani, F., Castelnuovo, G., Gaggioli, A., & Riva, G. (2003). Virtual reality training for health-care professionals. *CyberPsychology & Behavior, 6*(4), 389-395.
- Martingano, A. J., Hererra, F., & Konrath, S. (2021). Virtual Reality Improves Emotional but Not Cognitive Empathy: A Meta-Analysis. *Technology, Mind, and Behavior, 2*(1).
- Martín-Gutiérrez, J., Mora, C. E., Añorbe-Díaz, B., & González-Marrero, A. (2017). Virtual technologies trends in education. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education, 13*(2), 469-486.
- Massy, J. (2016). The Investment in Learning Technologies. In N. Rushbay & D. Surry (Hrsg.), *The Wiley Handbook of Learning Technology* (S. 436-454). John Wiley & Sons.
- Mayer, R. E. (2002). Rote versus meaningful learning. *Theory into practice, 41*(4), 226-232.

- Mayer, R. E. (2005). Cognitive theory of multimedia learning. *The Cambridge handbook of multimedia learning*, 41, 31-48.
- Mayer, R. E. (2019). Thirty years of research on online learning. *Applied Cognitive Psychology*, 33(2), 152-159.
- Mayer, R. E., & Pilegard, C. (2005). Principles for managing essential processing in multimedia learning: Segmenting, pretraining, and modality principles. *The Cambridge handbook of multimedia learning*, 169-182.
- Merchant, Z., Goetz, E. T., Cifuentes, L., Keeney-Kennicutt, W., & Davis, T. J. (2014). Effectiveness of virtual reality-based instruction on students' learning outcomes in K-12 and higher education: A meta-analysis. *Computers & Education*, 70, 29-40.
- Meyer, O. A., Omdahl, M. K., & Makransky, G. (2019). Investigating the effect of pre-training when learning through immersive virtual reality and video: A media and methods experiment. *Computers & Education*, 140, 103603.
- Mikropoulos, T. A. (2006). Presence: a unique characteristic in educational virtual environments. *Virtual Reality*, 10(3), 197-206.
- Mikropoulos, T. A., & Natsis, A. (2011). Educational virtual environments: A ten-year review of empirical research (1999–2009). *Computers & Education*, 56(3), 769-780.
- Milgram, P., & Kishino, F. (1994). A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*, 77(12), 1321-1329.
- Milk, C. (2015). *How virtual reality can create the ultimate empathy machine*.
https://www.ted.com/talks/chris_milk_how_virtual_reality_can_create_the_ultimate_empathy_machine?language=en (abgerufen am 03.03.2022)
- Ministerium für Schule und Bildung (MSB) des Landes Nordrhein-Westfalen (2019). *Kernlehrplan für die Sekundarstufe I Gymnasium in Nordrhein-Westfalen Geschichte*.

https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplan/203/g9_ge_klp_%203407_2019_06_23.pdf (abgerufen am 10.02.2022)

- Molina-Carmona, R., Pertegal-Felices, M. L., Jimeno-Morenilla, A., & Mora-Mora, H. (2018). Virtual reality learning activities for multimedia students to enhance spatial ability. *Sustainability*, 10(4), 1074.
- Moore, J. W., & Fletcher, P. C. (2012). Sense of agency in health and disease: A review of cue integration approaches. *Consciousness and Cognition*, 21(1), 59–68.
- Moreno, R., & Mayer, R. E. (2002). Learning science in virtual reality multimedia environments: Role of methods and media. *Journal of Educational Psychology*, 94(3), 598.
- Moreno, R., & Mayer, R. (2007). Interactive multimodal learning environments. *Educational Psychology Review*, 19(3), 309-326.
- Moro, C., Štromberga, Z., Raikos, A., & Stirling, A. (2017). The effectiveness of virtual and augmented reality in health sciences and medical anatomy. *Anatomical sciences education*, 10(6), 549-559.
- Mulders, M., Buchner, J., & Kerres, M. (2020). A framework for the use of immersive virtual reality in learning environments. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, 15(24), 208-224.
- Munafo, J., Diedrick, M., & Stoffregen, T. A. (2017). The virtual reality head-mounted display Oculus Rift induces motion sickness and is sexist in its effects. *Experimental brain research*, 235(3), 889-901.
- Murcia-López, M., & Steed, A. (2016). The effect of environmental features, self-avatar, and immersion on object location memory in virtual environments. *Frontiers in ICT*, 3, 24.
- Olmos-Raya, E., Ferreira-Cavalcanti, J., Contero, M., Castellanos, M. C., Giglioli, I. A. C., & Alcañiz, M. (2018). Mobile virtual reality as an educational platform: A pilot study on

- the impact of immersion and positive emotion induction in the learning process. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 14(6), 2045-2057.
- Ou, K. L., Liu, Y. H., & Tarn, W. (2021). Development of a virtual ecological environment for learning the Taipei tree frog. *Sustainability*, 13(11), 5911.
- Paivio, A. (1991). Dual coding theory: Retrospect and current status. *Canadian Journal of Psychology/Revue canadienne de psychologie*, 45(3), 255.
- Paraschivoiu, I., Buchner, J., Praxmarer, R., & Layer-Wagner, T. (2021). Escape the Fake: Development and Evaluation of an Augmented Reality Escape Room Game for Fighting Fake News. In *Extended Abstracts of the 2021 Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play* (S. 320-325).
- Parmar, D., Bertrand, J., Babu, S. V., Madathil, K., Zelaya, M., Wang, T., ... & Frady, K. (2016). A comparative evaluation of viewing metaphors on psychophysical skills education in an interactive virtual environment. *Virtual Reality*, 20(3), 141-157.
- Parong, J., & Mayer, R. E. (2018). Learning science in immersive virtual reality. *Journal of Educational Psychology*, 110(6), 785–797.
- Parong, J., & Mayer, R. E. (2021). Cognitive and affective processes for learning science in immersive virtual reality. *Journal of Computer Assisted Learning*, 37(1), 226-241.
- Pekrun, R. (2016). Emotions at school. In K. R. Wentzel, & D. B. Miele (Hrsg.), *Handbook of motivation at school* (S. 120-144). New York: Routledge.
- Perkins, D. N., & Salomon, G. (1992). Transfer of learning. In T. Husén & T. N. Postlethwaite (Hrsg.), *International encyclopedia of education* (S. 1–13). Oxford: Pergamon Press.

- Piromchai, P., Avery, A., Laopaiboon, M., Kennedy, G., & O'Leary, S. (2015). Virtual reality training for improving the skills needed for performing surgery of the ear, nose or throat. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, (9).
- Preacher, K. J., Rucker, D. D., & Hayes, A. F. (2007). Addressing Moderated Mediation Hypotheses: Theory, Methods, and Prescriptions. *Multivariate Behavioral Research*, 42(1), 185–227.
- Quintana, M. G. B., & Fernández, S. M. (2015). A pedagogical model to develop teaching skills. The collaborative learning experience in the Immersive Virtual World TYMMI. *Computers in Human Behavior*, 51, 594-603.
- Radianti, J., Majchrzak, T. A., Fromm, J., & Wohlgenannt, I. (2020). A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda. *Computers & Education*, 147, 103778.
- Reeves, T. (2006). Design research from a technology perspective. In *Educational design research* (S. 64-78). Routledge.
- Regenbrecht, H., & Schubert, T. (2002). Real and illusory interactions enhance presence in virtual environments. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 11(4), 425-434.
- Renninger, K. A., & Hidi, S. (2016). *The power of interest for motivation and engagement*. New York: Routledge.
- Rey, G. D., Beege, M., Nebel, S., Wirzberger, M., Schmitt, T. H., & Schneider, S. (2019). A meta-analysis of the segmenting effect. *Educational Psychology Review*, 31(2), 389-419.
- Rheinberg, F., Vollmeyer, R., & Engeser, S. (2003). Die Erfassung des Flow-Erlebens. In J. Stiensmeier-Pelster & F. Rheinberg (Hrsg.), *Diagnostik von Selbstkonzept, Lernmotivation und Selbstregulation* (S. 261–279). Göttingen: Hogrefe.

- Richter, D., Kasprowski, D., & Fischer, M. (2021). *Pretest eines Fragenmoduls zu subjektiven Diskriminierungserfahrungen in der SOEP-Innovationsstichprobe 2020*. Berlin: DIW/SOEP.
- Roettl, J., & Terlutter, R. (2018). The same video game in 2D, 3D or virtual reality—How does technology impact game evaluation and brand placements?. *PloS one*, 13(7), e0200724.
- Rose, F. D., Attree, E. A., Brooks, B. M., Parslow, D. M., & Penn, P. R. (2000). Training in virtual environments: transfer to real world tasks and equivalence to real task training. *Ergonomics*, 43(4), 494-511.
- Rosenshine, B. (2008). Five meanings of direct instruction. *Center on Innovation & Improvement, Lincoln*, 1-10.
- Roswell, R. O., Cogburn, C. D., Tocco, J., Martinez, J., Bangeranye, C., Bailenson, J. N., ... & Smith, L. (2020). Cultivating empathy through virtual reality: advancing conversations about racism, inequity, and climate in medicine. *Academic Medicine*, 95(12), 1882-1886.
- Roy, M., & Schlemminger, G. (2014). Immersion und Interaktion in Virtuellen Realitäten: Der Faktor Präsenz zur Optimierung des geleiteten Sprachenlernens. *Zeitschrift für Interkulturellen Fremdsprachenunterricht*, 19(2).
- Rutrecht, H., Wittmann, M., Khoshnoud, S., & Igarzábal, F. A. (2021). Time speeds up during flow states: A study in virtual reality with the video game thumper. *Timing & Time Perception*, 9(4), 353-376.
- Salzman, M. C., Dede, C., Loftin, R. B., & Chen, J. (1999). A model for understanding how virtual reality aids complex conceptual learning. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 8(3), 293–316.
- Sanchez-Vives, M. V., & Slater, M. (2005). From presence to consciousness through virtual reality. *Nature Reviews Neuroscience*, 6(4), 332-339.

- Sankaranarayanan, G., Wooley, L., Hogg, D., Dorozhkin, D., Olasky, J., Chauhan, S., ... & Jones, D. B. (2018). Immersive virtual reality-based training improves response in a simulated operating room fire scenario. *Surgical endoscopy*, 32(8), 3439-3449.
- Savin-Baden, M., Gourlay, L., Tombs, C., Steils, N., Tombs, G., & Mawer, M. (2010). Situating pedagogies, positions and practices in immersive virtual worlds. *Educational Research*, 52(2), 123-133.
- Schäfer, A., & Schöttker-Königer, T. (2015). *Statistik und quantitative Methoden für Gesundheitsberufe*. Heidelberg: Springer Verlag.
- Schroeder, R. (2010). *Being there together*. New York, NY: Oxford University Press.
- Schroeder, B. L., Bailey, S. K., Johnson, C. I., & Gonzalez-Holland, E. (2017). Presence and usability do not directly predict procedural recall in virtual reality training. In *International conference on human-computer interaction* (S. 54-61). Cham: Springer.
- Schuir, J., Pöhler, L. & Teuteberg, F. (2022). Zwischen Preisjägern, Datenschützern und Tech-Enthusiasten: Segmentierung des Virtual-Reality-Marktes am Beispiel Oculus. *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik*, 59, 261–279.
- Schunk, D. H., & DiBenedetto, M. K. (2016). Self-efficacy theory in education. In K. R. Wentzel & D. B. Miele (Hrsg.), *Handbook of motivation at school* (S. 34–54). New York, NY: Routledge.
- Schutte, N. S., & Stilinović, E. J. (2017). Facilitating empathy through virtual reality. *Motivation and emotion*, 41(6), 708-712.
- Schwan, S., & Buder, J. (2006). *Virtuelle Realität und E-Learning*. <https://www.e-teaching.org/didaktik/gestaltung/vr/vr.pdf>. (abgerufen am 10.02.2022)
- Sheridan, T. B. (2000). Interaction, imagination and immersion some research needs. In *Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology* (S. 1-7).

- Sherman, W. R., & Craig, A. B. (2002). *Understanding virtual reality: interface, application, and design*. Amsterdam: Elsevier.
- Sherry, J. L. (2004). Flow and media enjoyment. *Communication theory*, 14(4), 328-347.
- Shim, K. C., Park, J. S., Kim, H. S., Kim, J. H., Park, Y. C., & Ryu, H. I. (2003). Application of virtual reality technology in biology education. *Journal of Biological education*, 37(2), 71-74.
- Shu, Y., Huang, Y. Z., Chang, S. H., & Chen, M. Y. (2019). Do virtual reality head-mounted displays make a difference? A comparison of presence and self-efficacy between head-mounted displays and desktop computer-facilitated virtual environments. *Virtual Reality*, 23(4), 437-446.
- Slater, M. (2003). A note on presence terminology. *Presence connect*, 3(3), 1-5.
- Slater, M. (2018). Immersion and the illusion of presence in virtual reality. *British Journal of Psychology*, 109(3), 431-433.
- Slater, M., & Wilbur, S. (1997). A framework for immersive virtual environments (FIVE): Speculations on the role of presence in virtual environments. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 6(6), 603-616.
- Smith, S. P., & Burd, E. L. (2019). Response activation and inhibition after exposure to virtual reality. *Array*, 3, 100010.
- Smith, S. J., Farra, S. L., Ulrich, D. L., Hodgson, E., Nicely, S., & Mickle, A. (2018). Effectiveness of two varying levels of virtual reality simulation. *Nursing education perspectives*, 39(6), E10-E15.
- Southgate, E., Smith, S. P., Cividino, C., Saxby, S., Kilham, J., Eather, G., ... & Bergin, C. (2019). Embedding immersive virtual reality in classrooms: Ethical, organisational and

- educational lessons in bridging research and practice. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 19, 19-29.
- Spangenberg, P., Geiger, S. M., & Freytag, S. C. (2022). Becoming nature: effects of embodying a tree in immersive virtual reality on nature relatedness. *Scientific Reports*, 12(1), 1-11.
- Srivastava, P., Rimzhim, A., Vijay, P., Singh, S., & Chandra, S. (2019). Desktop VR is better than non-ambulatory HMD VR for spatial learning. *Frontiers in Robotics and AI*, 6, 50.
- Steed, A., Frlston, S., Lopez, M. M., Drummond, J., Pan, Y., & Swapp, D. (2016). An 'in the wild' experiment on presence and embodiment using consumer virtual reality equipment. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 22(4), 1406-1414.
- Steuer, J. (1992). Defining virtual reality: Dimensions determining telepresence. *Journal of Communication*, 42(4), 73-93.
- Stevens, J. A., & Kincaid, J. P. (2015). The relationship between presence and performance in virtual simulation training. *Open Journal of Modelling and Simulation*, 3(02), 41.
- Stone, E. R. (2010). T test, independent samples. In N. J. Salkind (Hrsg.), *Encyclopedia of Research Design* (S. 1551-1556). Los Angeles, CA: Sage.
- Sweller, J. (2020). Cognitive load theory and educational technology. *Educational Technology Research and Development*, 68(1), 1-16.
- Sweller, J., Ayres, P., & Kalyuga, S. (2011). *Cognitive load theory*. New York, NY: Springer.
- Sweller, J., Van Merriënboer, J. J., & Paas, F. (2019). Cognitive architecture and instructional design: 20 years later. *Educational Psychology Review*, 31(2), 261-292.

- Szabó, B. K., & Gilányi, A. (2020). The notion of immersion in virtual reality literature and related sources. In *2020 11th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom)* (S. 000371-000378). IEEE.
- Tabachnik, B. G., & Fidell, L. S. (2013). *Using multivariate statistics*. Boston, MA: Pearson.
- Tacgin, Z. (2020). The perceived effectiveness regarding Immersive Virtual Reality learning environments changes by the prior knowledge of learners. *Education and Information Technologies*, 25(4), 2791-2809.
- Tai, K. H., Hong, J. C., Tsai, C. R., Lin, C. Z., & Hung, Y. H. (2022). Virtual reality for car-detailing skill development: Learning outcomes of procedural accuracy and performance quality predicted by VR self-efficacy, VR using anxiety, VR learning interest and flow experience. *Computers & Education*, 104458.
- Troeger, J., & Tümler, J. (2020). Virtual Reality zur Steigerung empathischer Anteilnahme. In B. Weyers, C. Lürig & D. Zielasko (Hrsg.), *VR / AR Workshop 2020*. Trier: Gesellschaft für Informatik e.V.
- Van Merriënboer, J. J., & Sweller, J. (2005). Cognitive load theory and complex learning: Recent developments and future directions. *Educational psychology review*, 17(2), 147-177.
- Van Wyk, E. A., & De Villiers, M. R. (2019). An evaluation framework for virtual reality safety training systems in the South African mining industry. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 119(5), 427-436.
- Vélaz, Y., Rodríguez Arce, J., Gutiérrez, T., Lozano-Rodero, A., & Suescun, A. (2014). The influence of interaction technology on the learning of assembly tasks using virtual reality. *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, 14(4).
- Ventura, S., Badenes-Ribera, L., Herrero, R., Cebolla, A., Galiana, L., & Baños, R. (2020). Virtual reality as a medium to elicit empathy: a meta-analysis. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 23(10), 667-676.

- Verma, J. P. (2015). *Repeated measures design for empirical researchers*. John Wiley & Sons.
- Voiskounsky, A. E., Mitina, O. V., & Avetisova, A. A. (2004). Playing online games: Flow experience. *PsychNology J.*, 2(3), 259-281.
- Volkman, T., Wessel, D., Jochems, N., & Franke, T. (2018). German Translation of the Multimodal Presence Scale. In G. Dachsel & R. Weber (Hrsg.), *Mensch und Computer 2018 -Tagungsband* (S. 475-479). Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V.
- Webster, R. (2016). Declarative knowledge acquisition in immersive virtual learning environments. *Interactive Learning Environments*, 24(6), 1319-1333.
- Weibel, D., & Wissmath, B. (2011). Immersion in computer games: The role of spatial presence and flow. *International Journal of Computer Games Technology*, 2011.
- Wentura, D., & Pospeschill, M. (2015). *Multivariate Datenanalyse: Eine kompakte Einführung*. Springer-Verlag.
- Wentzel, K. R., & Miele, D. B. (2016). *Handbook of motivation at school*. New York: Routledge.
- Wickens, C., & Baker, P. (1995). Cognitive issues in virtual reality. In W. Barfield & T. Furness (Hrsg.), *Virtual reality and advanced interface design* (S. 515-541). Oxford: Oxford University Press.
- Windham, D. M., & Chapman, D. W. (1990). *The evaluation of educational efficiency: constraints, issues, and policies*. London: JAI.
- Witmer, B. G., & Singer, M. J. (1998). Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 7(3), 225–240.

- Wittrock, M. C. (1992). Generative learning processes of the brain. *Educational Psychologist*, 27(4), 531-541.
- Woon, A. P. N., Mok, W. Q., Chieng, Y. J. S., Zhang, H. M., Ramos, P., Mustadi, H. B., & Lau, Y. (2021). Effectiveness of virtual reality training in improving knowledge among nursing students: A systematic review, meta-analysis and meta-regression. *Nurse Education Today*, 98, 104655.
- Wössner, S. (2019). Immersives Fremdsprachenlernen. *Computer+Unterricht*, 114, 28–31.
- Wu, B., Yu, X., & Gu, X. (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.
- Xin, B., Chen, G., Wang, Y., Bai, G., Gao, X., Chu, J., ... & Liu, T. (2019). The efficacy of immersive virtual reality surgical simulator training for pedicle screw placement: a randomized double-blind controlled trial. *World neurosurgery*, 124, e324-e330.
- Yildirim, G., Elban, M., & Yildirim, S. (2018). Analysis of use of virtual reality technologies in history education: A case study. *Asian Journal of Education and Training*, 4(2), 62-69.
- Zender, R., Buchner, J., Schäfer, C., Wiesche, D., Kelly, K. & Tüshaus, L. (2022). Virtual Reality für Schülerinnen und Schüler: Ein «Beipackzettel» für die Durchführung immersiver Lernszenarien im schulischen Kontext. *MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung*, 47, 26-42.
- Zender, R., Sander, P., Weise, M., Mulders, M., Lucke, U., & Kerres, M. (2019). HandLeVR: Action-Oriented Learning in a VR Painting Simulator. In *International Symposium on Emerging Technologies for Education* (S. 46-51). Springer.
- Zhao, X., Lynch, J. G., Jr., & Chen, Q. (2010). Reconsidering Baron and Kenny: Myths and Truths about Mediation Analysis. *Journal of Consumer Research*, 37(2), 197–206.

- Zhao, J., LaFemina, P., Carr, J., Sajjadi, P., Wallgrün, J. O., & Klippel, A. (2020). Learning in the field: Comparison of desktop, immersive virtual reality, and actual field trips for place-based STEM education. In *2020 IEEE conference on virtual reality and 3D user interfaces (VR)* (S. 893-902). IEEE.
- Zinn, B. (2019). Editorial: Lehren und Lernen zwischen Virtualität und Realität. *Journal of Technical Education (JOTED)*, 7(1), 16–31.
- Zinn, B., Guo, Q., & Sari, D. (2016). Entwicklung und Evaluation der virtuellen Lern-und Arbeitsumgebung VILA. *Journal of Technical Education (JOTED)*, 4(1).

Anhang

Anhang A: Standardisierungsmaßnahmen für Versuchsleitung

Tabelle 14

Standardisierungsmaßnahmen für Versuchsleitung

	Laptop	HMD
Raum und Technik vorbereiten	• Links zu anderen Webseiten blockieren • Laptops hochfahren, im Raum verteilen und an Strom anschließen, wenn möglich • Mäuse anschließen • Kurzlinks zu Prä- und Post-Fragebogen sowie zur Webanwendung an Tafel/ Whiteboard schreiben • in Expositionsbedingungen Arbeitsblätter mit Instruktionen und Stifte austeilern (1x für jeden Probanden)	• Laptop hochfahren und an Strom anschließen • Link zu Prä- und Post-Fragebogen bereits öffnen • Tablet anschalten und Oculus Homepage öffnen • HMD anschalten • Raum mit Headset tracken (ca. 3m x 3m freier Platz) • App gestartet • Verbindung zwischen HMD und Tablet herstellen über Oculus Streaming Dienst • in Expositionsbedingungen Ausdruck zum Vorlesen der Instruktionen bereithalten
Begrüßung und Studieninformationen	• Anonymität • Studienziele • Raum für Nachfragen durch Probanden	
Finale Vorbereitungen	• Probanden geben Kurzlink zu Prä-Fragebogen ein	
Prä-Fragebogen ausfüllen		
Vorabinstruktion	Millionen von Menschen in aller Welt kennen das Tagebuch der Anne Frank. Anne wurde 1929 als Kind jüdischer Eltern in Frankfurt am Main geboren. Ihre Familie flüchtete 1933 vor den Nationalsozialisten nach Amsterdam. Nach dem Einmarsch der deutschen Truppen in die Niederlande versteckten sich Anne und ihre Familie zwei Jahre lang in einem Amsterdamer Hinterhaus. Dort schrieb Anne ihr weltberühmtes Tagebuch. Nach dem Verrat ihres Verstecks wurden Anne und ihre Familie deportiert. Anne starb 1945 im	Millionen von Menschen in aller Welt kennen das Tagebuch der Anne Frank. Anne wurde 1929 als Kind jüdischer Eltern in Frankfurt am Main geboren. Ihre Familie flüchtete 1933 vor den Nationalsozialisten nach Amsterdam. Nach dem Einmarsch der deutschen Truppen in die Niederlande versteckten sich Anne und ihre Familie zwei Jahre lang in einem Amsterdamer Hinterhaus. Dort schrieb Anne ihr weltberühmtes Tagebuch. Nach dem Verrat ihres Verstecks wurden Anne und ihre Familie deportiert. Anne starb 1945 im

	Konzentrationslager Bergen-Belsen im Alter von 15 Jahren. Durch die Veröffentlichung ihres Tagebuchs ist Anne zum Symbol für Millionen von Jüdinnen und Juden geworden, die während des zweiten Weltkriegs diskriminiert, verfolgt und systematisch getötet wurden. <i>Pause.</i> Du wirst gleich das Versteck von Anne Frank in einem Hinterhaus in Amsterdam virtuell erkunden. Dazu wirst du einen Laptop und eine Maus brauchen. Im Versteck kannst du mit der Maus dein Sichtfeld verändern. Dir wird dazu ein Cursor angezeigt. Wenn du ihn siehst, klicke die linke Maustaste, damit du dich in den Räumen umsehen kannst. Auswählen tust du wie gewohnt per Mausklick. Manchmal werden dir dann zusätzliche Informationen angezeigt. Zusätzliche Videos wurden von mir blockiert, damit du dich voll und ganz auf die virtuelle Realität konzentrieren kannst. Sollte es dir zu irgendeinem Zeitpunkt nicht gut gehen, wenn dir zum Beispiel übel wird, sagst du mir bitte sofort Bescheid. Öffne die Webseite und los geht's!	Konzentrationslager Bergen-Belsen im Alter von 15 Jahren. Durch die Veröffentlichung ihres Tagebuchs ist Anne zum Symbol für Millionen von Jüdinnen und Juden geworden, die während des zweiten Weltkriegs diskriminiert, verfolgt und systematisch getötet wurden. <i>Pause.</i> Du wirst gleich das Versteck von Anne Frank in einem Hinterhaus in Amsterdam virtuell erkunden. Dazu wirst du ein solches Head-Mounted-Display auf dem Kopf tragen und zwei Controller in den Händen halten. Im Versteck kannst du dich durch Gehen fortbewegen aber auch durch Teleportation. Dazu benutzt du den Knopf B am rechten Controller. Es gibt aber auch im physischen Raum, also hier, Grenzen. Solltest du an die Grenzen des realen Raums kommen, wird dir ein blaues Gitternetz angezeigt. Dann musst du dich teleportieren. Wenn du dich teleportieren willst, drücke den Knopf B und visiere die Stelle an, an die du dich teleportieren willst. Dann siehst du weiße Schuhsohlen auf dem Boden. Im Idealfall kommt das aber nicht vor. Im Versteck kannst du außerdem Objekte auswählen, in die Hand nehmen, drehen und dir Hintergrundinformationen ansehen und anhören. Um etwas auszuwählen, benutzt du die Taste A am rechten Controller. Sollte es dir zu irgendeinem Zeitpunkt nicht gut gehen, wenn dir zum Beispiel übel wird, sagst du mir bitte sofort Bescheid. Los geht's!
Vorbereitungen VR-Erlebnis	• Probanden geben Kurzlink zu Webanwendung ein	• Proband mittig im getrackten Bereich positionieren

	• HMD aufsetzen (lassen), von Nacken aus über Gesicht ziehen, dazu Kopfhalterung lockern, indem die Seitenriemen und der obere Riemen etwas geöffnet werden, dann Riemen wieder festziehen • ggf. Linsenabstand anpassen • Nachfragen, ob Beschwerden (z.B. Druckgefühl, verschwommene Sicht) vorhanden sind • Controller in die Hände geben
während VR-Erfahrung	• in Explorations-Versuchsbedingungen keine Instruktionen, nur Hilfe bei technischen Schwierigkeiten, sonst Floskeln wie „<i>Schau dich erst einmal um.</i>“ • Instruktionen in Expositionsbedingungen: siehe Anhang B (HMD) und C (Laptop) • Stream auf Tablet in HMD-Bedingungen • Zeit tracken
Post-Fragebogen ausfüllen	• Probanden geben Kurzlink zu Post-Fragebogen ein
Abschluss	• Danksagung • Aufklärung über weiteren Studienverlauf • Reinigen des Equipments

Anhang B: Instruktionen in Expositionsbedingungen unter dem HMD

Tabelle 15

Instruktionen in Expositionsbedingungen unter dem HMD

Raum	Instruktion
vor Bücherregal	Bevor du das Versteck von Anne Frank betrittst, erinnere dich daran, was du alles bereits über Anne und ihr Versteck in Amsterdam weißt. Ziel deines virtuellen Besuchs ist es, dass du weißt, wer in welchem Raum zusammen im Versteck gelebt hat, dass du die die Verwandtschafts- und Beziehungsverhältnisse der Untergetauchten kennst und dass du in der Lage bist, dich in die Lebensumstände von Anne hineinzusetzen. Achte dabei auch auf Details. Du stehst nun vor einem schwenkbaren Bücherregal. Hier im Raum befinden sich aber noch Zusatzinformationen. Wähle dazu nacheinander die Kreise mit den Anführungszeichen aus. <i>Pause</i> . Nun gehe ins Versteck, indem du das Bücherregal bewegst.
Diele	Bleib erstmal stehen und schau dich um. Hast du links den Kreis mit den Anführungszeichen entdeckt? Hör dir die Informationen zu diesem Raum an, indem du diesen auswählst. <i>Pause</i> . Rechts geht es zum Waschraum. Wenn

	man die Treppe hochgeht, kommt man zum Zimmer des Ehepaares van Pels. Lass uns zuerst in den Waschraum gehen. Gehe dazu rechts.
Waschraum	Im Waschraum gibt es nur ein Waschbecken und ein WC. Die Versteckten müssen sich den Raum teilen und müssen oft leise sein, damit sie nicht gehört und damit entdeckt werden. Höre dir dazu die Zusatzinformationen an. <i>Pause.</i> Geh doch einmal zum Waschbecken und nimm das kleine Täschchen in die Hand. <i>Pause.</i> Gehe durch die Tür neben dem Tisch in Annes Zimmer.
Annes Zimmer	Das ist das Zimmer von Anne Frank. Direkt rechts neben dir findest du einen Kreis mit Führungszeichen. Hör dir an, was Anne dir zu erzählen hat. <i>Pause.</i> In diesem Raum gibt es viel zu entdecken. Fangen wir rechts mit einem der Bilder an der Wand an. Eines davon kannst du in die Hand nehmen. <i>Pause.</i> Daneben findest du einen Kreis mit Führungszeichen mit zusätzlichen Informationen. <i>Pause.</i> Am hinteren Ende des Raums am Fenster ist ein Fernglas. Nimm es mal in die Hand. <i>Pause.</i> Wenn du dich wieder umdrehst, siehst du auf dem Bett und auf dem Schreibtisch noch zwei Bücher. Sieh nach, was du herausfinden kannst, wenn du sie dir näher anschaust. <i>Pause.</i> Jetzt hast du schon die Hälfte der Räume im Versteck erkundet. Geh durch die Tür neben dem Schreibtisch.
Zimmer der Familie Frank	Tagsüber ist dieser Raum das Wohnzimmer der Familie Frank, abends räumen die Untergetauchten ihn um zum Schlafzimmer von Otto, Edith und Margot. Drehe dich nach links zur Wand. Was ist dort herauszufinden? <i>Pause.</i> An der Wand rechts findest du erneut einen Kreis mit Führungszeichen für mehr Infos. <i>Pause.</i> Auf dem Tisch liegt ein Buch. Schau nach. <i>Pause.</i> Über dem Tisch ist wieder ein Kreis mit Führungszeichen, den du auswählen kannst. <i>Pause.</i> Lass uns weitergehen. Nutze dafür die Türe rechts.
Diele	Wir sind zurück in der Diele und werden gleich über die Treppe ein Stockwerk höher gehen. Höre dir erst die Zusatzinformationen an.
Zimmer Ehepaar van Pels	In diesem Zimmer gibt es allerlei zu entdecken. Gehe zum Radio hinten im Raum. <i>Pause.</i> Hier im Raum befindet sich außerdem ein Gemeinschaftstisch. <i>Pause.</i> Auf der Spüle kannst du ebenfalls mehr erfahren, wenn du einen der Teller in die Hand nimmst. <i>Pause.</i> Gehe durch die helle Tür neben der Spüle.
Peters Zimmer	Das ist das Zimmer von Peter van Pels. In seinem Zimmer hängt etwas an der Wand. Sieh nach. Dort gibt es auch noch mehr in Erfahrung zu bringen. <i>Pause.</i> Auf der Holztreppe liegt ein Buch. Nimm es doch mal in die Hand. <i>Pause.</i> Hinten am Bett findest du eine weitere letzte Information über diesen Raum. <i>Pause.</i> Geh als nächstes eine Etage höher auf den Dachboden.
Dachboden	Hier bewahren die Untergetauchten Lebensmittel auf und trocknen ihre Wäsche. Wenn du nach rechts und links schaut, siehst du zwei Kreise mit Führungszeichen. Wähle beide nacheinander aus. <i>Pause.</i> Als letztes gehe weiter hinein in den Dachboden, schau dich um und stelle dich auf die weißen Füße.
Dachboden	Du hast einiges über Anne Frank und ihr Versteck zu Zeiten des Nationalsozialismus gelernt. Anne ist berühmt geworden durch ihr Tagebuch, das ihr Vater nach ihrem Tod veröffentlicht hat. Sich auf engstem Raum verstecken und stets auf der Flucht sein, das ist nicht allein das Schicksal von Anne und den Untergetauchten im Hinterhaus, sondern auch das von Millionen Anderer. <i>Pause.</i> Deine Erkundungstour durch das Versteck von Anne Frank und den anderen Untergetauchten ist damit zu Ende.

Anmerkung: Die Instruktionen wurden verbal durch die Versuchsleitung gegeben. Die Versuchsleitung beobachtete das Sichtfeld des Probanden über den vorher aktivierten Stream auf einem Tablet.

Anhang C: Instruktionen in Expositionsbedingungen am Laptop

Anmerkung: Die Instruktionen wurden auf Arbeitsblättern ausgedruckt verteilt. Jeder Proband erhielt ein Blatt. Die Probanden bekamen den Arbeitsauftrag, erledigte Teilschritte auf dem Arbeitsblatt abzuhaken.

Abbildung 42

Arbeitsblatt mit Instruktionen für Schülerinnen und Schüler am Laptop (Exposition)

Lieber Schüler/liebe Schülerin, bevor du das Versteck von Anne Frank betrittst, erinnere dich daran, was du alles bereits über Anne und ihr Versteck in Amsterdam weißt. Ziel deines virtuellen Besuchs ist es, dass du weißt, wer in welchem Raum zusammen im Versteck gelebt hat, dass du weißt, welche Personen wie miteinander in Beziehung standen und dass du in der Lage bist, dich in die Lebensumstände von Anne hineinzusetzen. Achte dabei auch auf Details. Bewege dich durch das Hinterhaus entlang der folgenden Tätigkeiten. Schritt für Schritt. Hake immer ab, wenn du eine Tätigkeit erledigt hast.		
Raum	Instruktion	
PC-Pool	Nimm auf deinem Stuhl Platz.	☒
Falls du Schwierigkeit hast, dein Sichtfeld in der virtuellen Welt zu verändern, hier eine kleine Hilfe: Siehst du diesen Mauscursor , dann halte die linke Maustaste gedrückt und schwenke nach links oder rechts, oben oder unten. Los geht's!		
Raum	Instruktion	
Bücherregal	Du stehst nun vor einem schwenkbaren Bücherregal, dem Eingang zum Hinterhaus. Du siehst zwei runde rot umrandete Felder. Klicke zuerst den Kreis mit dem Play-Symbol (▶) weiter unten an, um dir zusätzliche Informationen durchzulesen.	☐
Bücherregal	Danach öffnest du die Tür, indem du den runden roten Knopf, auf dem eine weiße Tür abgebildet ist, anklickst.	☐
Diele	Bleib erstmal stehen und schau dich um. Du befindest dich nun in einer kleinen Diele. Von hier aus geht es links zum Zimmer der Familie Frank und rechts zum Waschraum. Wenn man die Treppe hochgeht, kommt man zum Zimmer des Ehepaares van Pels. Schau dich kurz in der Diele um.	☐
Diele	Danach nutze die Tür rechts neben der Treppe, um in den Waschraum zu gelangen. Klicke dazu wieder auf den roten Knopf.	☐
Waschraum	Im Waschraum gibt es nur ein Waschbecken und ein WC. Die Versteckten müssen sich den Raum teilen. Geh doch einmal zum Waschbecken und	☐

	klicke den Kreis mit dem Play-Symbol (▶), um nähere Informationen zu erhalten.	
Waschraum	Danach kannst du zur Toilette gehen. Dort findest du Hintergrundinformationen zum Waschraum. Anschließend gehst du in Annes Zimmer, indem du die Tür neben dem Tisch benutzt.	☐
Annes Zimmer	Hier in Annes Zimmer gibt es viel zu entdecken. Schau dir doch zuerst an, was du Näheres zu den Postern und Bildern an der Wand erfahren kannst.	☐
Annes Zimmer	Danach wende dich dem Fenster und dem Fernglas zu.	☐
Annes Zimmer	Auf dem Boden lernst du mehr zu Annes Schuhen.	☐
Annes Zimmer	Der Schreibtisch war für Anne besonders wichtig. Sieh nach, was es über diesen Gegenstand zu wissen gibt.	☐
Annes Zimmer	Das Wertvollste in diesem Raum zum Schluss. Klicke Annes Tagebuch auf dem Schreibtisch an und erfahre mehr.	☐
Annes Zimmer	Jetzt hast du schon die Hälfte der Räume im Versteck erkundet. Geh über die Tür neben dem Schreibtisch in das Zimmer von Otto, Edith und Margot.	☐
Zimmer Familie Frank	Tagsüber ist dieser Raum das Wohnzimmer der Familie Frank, abends räumen die Untergetauchten ihn um zum Schlafzimmer von Otto, Edith und Margot. Auf dem Tisch am Fenster kannst du direkt mehrere interessante Dinge über die Familie Frank in Erfahrung bringen.	☐
Zimmer Familie Frank	Auf dem Regal über einem der Betten finden sich weitere Zusatzinformationen.	☐
Zimmer Familie Frank	Auch der freie Platz an der Wand wird sinnvoll genutzt. Schau dir mal an wozu.	☐
Zimmer Familie Frank	Verlasse den Raum anschließend durch die Tür rechts neben der beschriebenen Wand.	☐
Diele	Du befindest dich wieder in der Diele. Die Treppe hoch geht es ins Zimmer des Ehepaars van Pels. Bevor du hoch gehst, sieh dir die Zusatzinformationen auf der Treppe an.	☐
Zimmer Ehepaar van Pels	Das ist das Zimmer des Ehepaares van Pels. Tagsüber wird hier gekocht und anderweitig Zeit miteinander verbracht.	☐
Zimmer Ehepaar van Pels	Auf dem Tisch findest du noch mehr Informationen zum Zeitvertreib im Hinterhaus.	☐
Zimmer Ehepaar van Pels	Über die Essgewohnheiten findest du beim Ofen mehr Informationen.	☐
Zimmer Ehepaar van Pels	Gehe durch die Tür direkt neben der Spüle in Peters Zimmer.	☐
Peters Zimmer	Hier lebt Peter. In seinem Zimmer hängt etwas an der Wand. Sieh dir die Informationen dazu an.	☐
Peters Zimmer	Hinter der Tür hängt Peters Kleidung. Was gibt es über diese zu erfahren?	☐
Peters Zimmer	Beim Bett sind weitere spannende Informationen über Anne und Peter hinterlegt.	☐
Peters Zimmer	Anschließend gehe die steile Holztreppe hinauf zum Dachboden.	☐
Dachboden	Hier bewahren die Untergetauchten Lebensmittel auf und trocknen ihre Wäsche. Auf dem Dachboden gibt es ein Dachfenster. Sieh, was es dazu zu erfahren gibt.	☐
Dachboden	Auf dem Dachboden findest du außerdem versteckt eine weitere Informationseinheit. Hast du sie schon entdeckt?	☐
Dachboden	Du hast einiges über Anne Frank und ihr Versteck zu Zeiten des Nationalsozialismus gelernt. Anne ist berühmt geworden durch ihr Tagebuch, das ihr Vater nach ihrem Tod veröffentlicht hat. Sieh auf	☐

	engstem Raum verstecken und stets auf der Flucht sein, das ist nicht allein das Schicksal von Anne und den Untergetauchten im Hinterhaus, sondern auch das von Millionen Anderer. Deine Erkundungstour durch das Versteck von Anne Frank und den anderen Untergetauchten ist damit zu Ende.	
--	---	--

Anhang D: Soziodemographische Daten

I. Versuchspersonencode in Textfeld eintragen

Damit die Daten des zweiten Fragebogens mit den Daten des ersten Fragebogens kombiniert werden können und deine Anonymität nicht verloren geht, ist ein individueller Code nötig. Den erstellst du wie folgt:

1. Erster Buchstabe des Vornamens deiner Mutter
2. Erster Buchstabe deines Geburtsortes
3. Ersten zwei Ziffern deines Geburtstags

Beispiel: Miriam wurde am 13. September in Duisburg geboren. Ihre Mutter heißt Susanne. Ihr Code lautet folglich SD13.

II. Alter in Textfeld eintragen

III. Geschlecht mit den Auswahlmöglichkeiten: männlich, weiblich, divers

IV. Schulform mit den Auswahlmöglichkeiten: Gymnasium, Hauptschule, Realschule, Gesamtschule, Sonstiges (mit Freitext)

V. Muttersprache mit den Auswahlmöglichkeiten: Deutsch und Sonstiges (mit Freitext)

VI. Diskriminierungserfahrungen mit den Auswahlmöglichkeiten: Ja und Nein

Wurdest du selbst schon aufgrund deiner Religion, deiner Hautfarbe oder anderer Merkmale diskriminiert?

Anhang E: Technologische Vorerfahrungen

Anmerkung: Das zweite Item öffnet sich nur, wenn das erste Item bejaht wurde.

I. Hast du bereits Erfahrungen mit Virtual Reality gemacht? Antwortoptionen: Ja und Nein

II. Wie häufig nutzt du Virtual Reality Anwendungen? Antwortoptionen: regelmäßig (täglich bis mehrfach pro Woche), ab und an (wöchentlich bis einmal pro Monat), selten (weniger als einmal pro Monat), bisher habe ich es nur ausprobiert

Anhang F: (Vor)-Wissen

Anmerkung: Diese Frage wurde sowohl beim ersten als auch beim zweiten Messzeitpunkt gestellt.

Wie gut schätzt du dein Wissen zur Lebenssituation von Anne Frank im Hinterhaus ein?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
nicht vorhanden									sehr großer Wissensschatz

Anhang G: Wissenstest (inklusive Erwartungshorizont)**Tabelle 16***Wissenstest (inklusive Erwartungshorizont)*

Items	Punktzahl			
	0,5	1,0	1,5	2,0
Was tarnte den Eingang zum Hinterhaus?				(Bücher)-Regal, (Bücher)-Schränk
Wenn man in das Versteck im Hinterhaus hineinkam, befand man sich zuerst in einem Flur. Welche Räume konnte man vom Flur aus betreten? Zähle Sie auf.	Anzahl (3) genannt	1 Raum	2 Räume	3 Räume: 1. Waschraum/-zimmer, Badezimmer, WC, Toilette 2. Zimmer von Hermann und Auguste/Ehepaar van Pels/Eltern von Peter 3. Zimmer von Margot und dem Ehepaar Frank
Wie viele Bewohnerinnen und Bewohner hatte das Hinterhaus? Zähle Sie mit Namen auf.	> 3 Personen	4-5 Personen	6-7 Personen	8 Personen: - Anne - Margot/Schwester von Anne - Edith/Mutter von Margot und Anne - Otto/Vater von Margot und Anne - Fritz Pfeffer/ Zimmergenosse/-partner von Anne - Auguste van Pels/ Mutter von Peter - Hermann van Pels/Vater von Peter - Peter van Pels/Annes Freund
In welcher halben Stunde am Morgen mussten die Untergetauchten besonders leise sein mussten, um nicht von den Lagerarbeiterinnen und Lagerarbeitern entdeckt zu werden?				8:30 bis 9:00/halb neun bis neun
Im Wohnzimmer der Familie Frank lag eines von Otto Franks Lieblingsbüchern auf dem Tisch. Von welchem Autor war das Buch?				(Charles) Dickens
Womit hat Anne manchmal heimlich				Teleskop, Fernglas/-rohr

die Nachbarn beobachtet?			
Wie sah Annes Tagebuch aus? Versuche mehrere Merkmale zu benennen.	1 Merkmal	2 Merkmale	3 Merkmale: - Grundfarbe rot/pink - Struktur: kariert (mit Linien) - Schnalle/Verschluss/Schlaufe
Im Wohnzimmer der Familie Frank wurde etwas an die Wand geschrieben. Was?			- Körpergröße/Wachstum von Anne und Margot - Alternative: Karte der Normandie/Landkarte
Was hing an der Wand von Peters Zimmer?			Fahrrad/Rad
Im Zimmer von Hermann und Auguste van Pels befand sich die Küche und der Gemeinschaftstisch. Was lag auf dem Gemeinschaftstisch?			Spiel/Gemeinschaftsspiel/Börsenspiel

Anhang H: Transferaufgaben (inklusive der beiden Erwartungshorizonte)

I. Was hast du über die Regeln, die die acht Menschen im Hinterhaus unbedingt einhalten mussten, um nicht entdeckt werden zu werden, erfahren? Verfasse Dos and Don'ts.

Trenne die Regeln durch Kommata voneinander ab.

Erwartungshorizont: Verhaltensbereiche

- Lautstärke
- Waschzimmerbenutzung
- aus dem Fenster schauen
- Licht in Zimmern
- Ausgelassenheit/Spaß/Spontanität/Herumtollen
- rausgehen
- frei bewegen
- Angepasstheit
- (Essens)-Routinen
- Privatsphäre

Anmerkung. Pro Verhaltensregel, die einen der Verhaltensbereiche abdeckte, wurde ein Punkt vergeben. Doppelungen wurden nicht gezählt.

II. Wenn jemand das Wort „Isolation“ nicht kennt, wie würdest du es erklären? Stelle den Zusammenhang zu Anne Franks Leben her.

- + 0,5 Punkte: Nennung eines Synonyms (z.B. Absonderung, Kontakteinschränkung, Kontakteinschränkung, Abkapselung, Vereinzelung, Abtrennung, Trennung, Vereinsamung, Einsamkeit, Abgeschnittenheit, Separation, Exil, Rückzug,

Abgeschiedenheit, Eintönigkeit, Alleinsein, Abgeschottenheit) oder Antonyms (z.B. Freiheit, Partizipation)

- + 0,5 Punkte: Verweis auf Relation: Außenwelt, Umgebung, Umfeld, Gesellschaft, Gemeinschaft, Gruppe, Gefüge
- + 1 Punkt: Bezugsherstellung zu Anne Frank: z.B. keinen Kontakt zu Freundinnen und Freunden bzw. anderen Menschen bis auf die Anderen im Hinterhaus, kein Bezug zur Gesellschaft und Außenwelt

Anhang I: Perspektivenübernahme

Anmerkung: Diese Frage wurde sowohl beim ersten als auch beim zweiten Messzeitpunkt gestellt.

Wie gut kannst du dich in die Lebenssituation von Anne Frank im Hinterhaus hineinversetzen?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
überhaupt nicht					vollkommen				

Anhang J: Historische Perspektivenübernahme (adaptiert nach Hartmann, 2008)

Tabelle 17

Historische Perspektivenübernahme (adaptiert nach Hartmann, 2008)

Arbeitsanweisung: Unten sind einige Aussagen aufgelistet. Versuche dich in Anne hineinzuversetzen und kreuze für jede Aussage an, wie gut sie deiner Meinung nach zu ihrer Situation passt.

	1	2	3	4	Sub- skala
	passt gar nicht zu ihrer Situation	passt eher nicht zu ihrer Situation	passt ziemlich zu ihrer Situation	passt voll und ganz zu ihrer Situation	
Anne fühlte sich schlecht behandelt, weil es ihr nicht möglich war, ein eigenes und selbstbestimmtes Leben zu führen. <i>Original:</i> Johanna wird sich von ihren Eltern schlecht behandelt fühlen, weil sie ihr nicht ermöglichen, ein eigenes, selbstbestimmtes Leben zu führen.					GEG
Anne wusste, dass ihre Eltern ihr nur deshalb das Leben im beengten Hinterhaus zumuteten, weil sie die Familie schützen wollten. <i>Original:</i> Johanna weiß, dass ihre Eltern sie mit guten					KONT

Absichten ins Kloster geben, damit sie auch als unverheiratete Frau versorgt ist.	
Anne verstand, dass sie sich im Hinterhaus nicht frei bewegen konnte und bestimmte Regeln (z.B. Waschzeiten) befolgen musste. <i>Original:</i> Johanna versteht, dass Karl lieber die Tochter eines Grafen heiraten möchte.	ROLLE
Freiheit spielte für Anne eine ganz andere Rolle als für viele Menschen in Deutschland und Europa heute. Deshalb war es für sie sinnvoll, ein Leben im Hinterhaus mit kaum Kontakt zur Außenwelt zu führen. <i>Original:</i> Religion spielt für Johanna eine ganz andere Rolle als für viele Menschen heute. Deshalb ist es für sie sinnvoll, ein Leben im Kloster zu führen.	KONT
Anne musste sich als Tochter dem Willen ihrer Eltern beugen. <i>Original:</i> Johanna muss sich als Tochter dem Willen ihrer Eltern beugen.	ROLLE
Für Anne muss es furchtbar gewesen sein, nicht mehr in die Schule gehen zu können, weil sie so keine Chance hatte, Freund- schaften zu pflegen und neue Freundinnen oder Freunde kennen zu lernen. <i>Original:</i> Für Johanna muss es furchtbar sein, ins Kloster zu gehen, weil sie dann keine Chance mehr hat, jemanden kennen zu lernen, den sie liebt.	GEG
Auf die Schule und ihre Freunde zu verzichten, konnte Anne ertragen, weil für sie vor allem wichtig war, dass sie und ihre Familie in Sicherheit waren. <i>Original:</i> Auf die Heirat zu verzichten ist für Johanna nicht so schlimm. Für sie ist vor allem wichtig, dass sie für ihr Leben versorgt ist.	KONT

Anne wird wütend gewesen sein, weil sie in der Enge des Hinterhauses nur wenige Gelegenheiten hatte, mit Peter ungestört zu sein und Zweisamkeit unbeschwert zu genießen. <i>Original:</i> Sie wird ihre Eltern grausam finden, weil sie sie in ein Kloster geben und ihr keine Möglichkeit geben zu heiraten.	GEG
Anne konnte als Tochter nichts gegen die Entscheidung ihrer Eltern, sich im Hinterhaus zu verstecken, sagen und musste sich so verhalten, wie sie es wollten. <i>Original:</i> Johanna kann als Tochter nichts gegen die Entscheidung ihrer Eltern sagen und muss sich so verhalten, wie sie es wollen.	ROLLE

Anmerkung: GEG = gegenwartsfixierte Betrachtung der historischen Situation, ROLLE = Rolle des historischen Akteurs, KONT = historische Kontextualisierung

Anhang K: Arbeitsbelastung (eigene deutsche Übersetzung der MCLSVE von Andersen & Makransky, 2021)

Tabelle 18

Arbeitsbelastung (eigene deutsche Übersetzung der MCLSVE von Andersen & Makransky, 2021)

	1	2	3	4	5	Sub-skala
	stimme über- haupt nicht zu	stimme nicht zu	weder noch	stimme zu	stimme voll und ganz zu	
Die in der virtuellen Welt behandelten Themen waren sehr komplex. <i>Original:</i> The topics covered in the activity were very complex.						IL
Die virtuelle Welt umfasste Prozeduren, die ich als sehr komplex wahrgenommen habe. <i>Original:</i> The activity covered theories that I perceived as very complex.						IL
Die virtuelle Realität umfasste Konzepte und Definitionen, die ich als sehr komplex empfand.						IL

<i>Original:</i> The activity covered concepts and definitions that I perceived as very complex.	
Die Anweisungen und/oder Erklärungen währenddessen waren sehr unklar. <i>Original:</i> The instructions and/or explanations during the activity were very unclear.	EL _{instr}
Die Anweisungen und/oder Erklärungen waren, was das Lernen betrifft, sehr ineffektiv. <i>Original:</i> The instructions and/or explanations were, in terms of learning, very ineffective.	EL _{instr}
Die Anweisungen und/oder Erklärungen waren voll von unklarem Inhalt. <i>Original:</i> The instructions and/or explanations were full of unclear content.	EL _{instr}
Die Interaktionsmöglichkeiten in der virtuellen Welt waren sehr unklar. <i>Original:</i> The interaction technique used in the simulation was very unclear.	EL _{int}
Die Interaktionsmöglichkeiten in der virtuellen Welt waren, was das Lernen betrifft, sehr ineffektiv. <i>Original:</i> The interaction technique used in the simulation was, in terms of learning, very ineffective.	EL _{int}
Die Interaktionsmöglichkeiten in der virtuellen Welt erschwerten das Lernen. <i>Original:</i> The interaction technique used in the simulation made it harder to learn.	EL _{int}
Die Interaktionsmöglichkeiten in der virtuellen Welt waren schwer zu beherrschen. <i>Original:</i> The interaction technique used in the simulation was difficult to master.	EL _{int}

Die Elemente in der virtuellen Umgebung machten das Lernen sehr unübersichtlich. <i>Original:</i> The elements in the virtual environment made the learning very unclear.	EL _{env}
Die virtuelle Umgebung war, was das Lernen angeht, sehr ineffektiv. <i>Original:</i> The virtual environment was, in terms of learning, very ineffective.	EL _{env}
Die virtuelle Umgebung war voll von irrelevantem Inhalt. <i>Original:</i> The virtual environment was full of irrelevant content.	EL _{env}
Es war schwierig, die relevanten Lerninformationen in der virtuellen Umgebung zu finden. <i>Original:</i> It was difficult to find the relevant learning information in the virtual environment.	EL _{env}
Die virtuelle Umgebung hat mein Verständnis für die behandelten Themen wirklich verbessert. <i>Original:</i> The simulation really enhanced my understanding of the topics covered.	GL
Die virtuelle Umgebung hat mein Wissen und mein Verständnis zur Lebenswirklichkeit von Anne Frank wirklich verbessert. <i>Original:</i> The simulation really enhanced my knowledge and understanding of lab safety.	GL
Die virtuelle Umgebung hat mein Verständnis für die behandelten Prozeduren wirklich verbessert. <i>Original:</i> The simulation really enhanced my understanding of the procedures covered.	GL
Die virtuelle Umgebung hat mein Verständnis von Konzepten und Definitionen wirklich verbessert.	GL

Original: The simulation really enhanced my understanding of concepts and definitions.

Anmerkung: IL = Intrinsische Belastung, EL_{instr} = extrinsische Belastung durch Instruktionen, EL_{int} = extrinsische Belastung durch Interaktionen, EL_{env} = extrinsische Belastung durch die Umgebung, GL = lernrelevante Belastung

Anhang L: Unwohlsein

Tabelle 19

Symptome des Unwohlseins

	1 trifft überhaupt nicht zu	2 trifft eher nicht zu	3 trifft eher zu	4 trifft völlig zu
Während ich in der virtuellen Welt war, wurde mir schwindelig.				
Während ich in der virtuellen Welt war, wurde mir übel.				

Anhang M: Flowerleben (FKS; Rheinberg et al., 2003)

Tabelle 20

Flowerleben (FKS; Rheinberg et al., 2003)

	1 trifft nicht zu	2	3	4 teils teils	5	6	7 trifft zu	Sub- skala
Ich fühlte mich optimal beansprucht.								GAV
Ich merkte gar nicht, wie die Zeit verging.								GAV
Ich war ganz vertieft in das, was ich tat.								GAV
Ich war völlig selbstvergessen.								GAV
Meine Gedanken bzw. Aktivitäten liefen flüssig und glatt.								ABS
Ich hatte keine Mühe, mich zu konzentrieren.								ABS
Mein Kopf war völlig klar.								ABS
Die richtigen Gedanken/ Bewegungen kamen wie von selbst.								ABS

Ich wusste bei jedem Schritt, was ich zu tun hatte.	ABS
Ich hatte das Gefühl, den Ablauf unter Kontrolle zu haben.	ABS

Anmerkung: GAV = glatter automatisierter Verlauf, ABS = Absorbiertheit

Anhang N: Präsenzerleben (MPS; Makransky et al., 2017; deutsche Übersetzung von Volkmann et al., 2018)

Tabelle 21

Präsenzerleben (MPS; Makransky et al., 2017; deutsche Übersetzung von Volkmann et al., 2018)

	1 stimmt gar nicht	2 stimmt nicht	3 weder noch	4 stimmt	5 stimmt völlig	Sub- skala
Die virtuelle Umgebung erschien mir real.						PR _{phy}
Ich hatte das Gefühl, in der virtuellen Umgebung zu agieren, anstatt etwas von außen zu kontrollieren.						PR _{phy}
Mein Erleben in der virtuellen Umgebung erschien konsistent mit meinem Erleben in der realen Welt.						PR _{phy}
Während ich in der virtuellen Umgebung war, hatte ich ein Gefühl des 'Dort-Seins'.						PR _{phy}
Ich war komplett gefesselt von der virtuellen Welt.						PR _{phy}
Ich habe mich gefühlt, als sei mein virtueller Körper eine Erweiterung meines echten Körpers innerhalb der virtuellen Umgebung.						PR _{selbst}
Wenn etwas mit meiner virtuellen Verkörperung passierte, fühlte sich das an, als würde es meinem echten Körper passieren.						PR _{selbst}
Es fühlte sich an, als würde mein echter Arm durch meine virtuelle Verkörperung in die virtuelle Umgebung projiziert.						PR _{selbst}

Es hat sich angefühlt, als wäre meine echte Hand in der virtuellen Umgebung.	PR _{selbst}
Während der Simulation fühlte ich mich, als würde meine virtuelle Verkörperung und mein realer Körper ein und dasselbe werden.	PR _{selbst}

Anmerkung: PR_{selbst} = Selbst-Präsenz, PR_{phy} = physikalische Präsenz

Anhang O: Zufriedenheit und Tendenz zur Weiterempfehlung

Tabelle 22

Zufriedenheit und Tendenz zur Weiterempfehlung

	1	2	3	4	5
	stimme über- haupt nicht zu	stimme nicht zu	weder noch	stimme zu	stimme voll und ganz zu
Ich bin mit dem virtuellen Lernangebot zufrieden.					
Ich würde das virtuelle Hinterhaus anderen Schülerinnen und Schülern weiterempfehlen.					

Anhang P: Überprüfung der Voraussetzungen der MANOVA

Eine MANOVA wurde zur Überprüfung der ersten drei Hypothesen durchgeführt. Voraussetzungen für das Verfahren sind (Eid et al., 2010; Eschweiler et al., 2009; Wentura & Pospeschill, 2015):

- Unabhängigkeitsannahme

Bei den Teilstichproben muss es sich um unabhängige Zufallsstichproben handeln. Die erste Voraussetzung bezieht sich auf das Design der Studie. Da es sich bei dieser Studie um ein Experiment handelt, kann diese Voraussetzung als erfüllt betrachtet werden.

- Intervallskalenniveau

Die abhängigen Variablen sollten mindestens intervallskaliert sein. Die zweite Voraussetzung trifft ebenfalls zu. Sowohl den beiden Bewertungsitems, dem einzelnen Item für (Vor)-Wissen, der Skala von Hartmann (2008) und dem einzelnen Item für affektives Lernen liegen als Antwortformate Likert-Skalen zugrunde. Einschränkungen sind bei dem selbst-entwickelten Wissenstest und den beiden Transferaufgaben zu sehen.

- Nominalskaliertheit

Die unabhängigen Variablen sind nominalskaliert. Die dritte Voraussetzung ist erfüllt. Alle unabhängigen Variablen sind zweistufig kategorial und voneinander unabhängig.

- Stichprobengröße

Hinsichtlich der Stichprobengröße gilt, dass es mindestens so viele Fälle in jeder Stufe der unabhängigen Variablen geben muss, wie es abhängige Variablen gibt (Eid et al., 2010). Es gibt acht abhängige Variablen. Damit ist diese Voraussetzung in der vorliegenden Untersuchung erfüllt. Eschweiler et al. (2009) schlagen Gruppengrößen größer 20 vor. Auch dieses Kriterium ist in der vorliegenden Untersuchung erfüllt.

- Keine Multikollinearität

Multikollinearität tritt auf, wenn abhängige Variablen sehr hoch miteinander korrelieren. Durch hohe Zusammenhänge werden Variablen redundant. Auch eine zu geringe Korrelation zwischen den abhängigen Variablen ist problematisch, da dies die Teststärke des Verfahrens mindert. Zur Überprüfung der Voraussetzung wurden Pearson-Korrelationen zwischen den abhängigen Variablen berechnet. Die Korrelationen sind Tabelle 23 zu entnehmen. Die Korrelationen zwischen den abhängigen Variablen sind gering ($r < .90$) und unterhalb bekannter Richtlinien (z.B. Verma, 2015), was darauf hindeutet, dass Multikollinearität die Analyse nicht konfundiert hat.

Tabelle 23

Korrelationen zwischen den abhängigen Variablen der MANOVA

	WV	PV	ZH	WE	HP	WT	TI	TV
WV		.42**	.09	.11	.03	-.02	.10	.20*
PV			.13	.11	-.11	-.08	-.01	.12
ZH				.78**	-.03	.01	.29**	.23*
WE					-.00	-.01	.31**	.21*
HP						.23**	.17	.24**
WT							.22*	.29**
TI								.30**

Anmerkungen. WV = Wissen Prä Post Vergleich, PV = Perspektive Prä Post Vergleich, ZH = Zufriedenheit, WE = Weiterempfehlung, HP = historische Perspektivenübernahme, WT = Wissenstest, TI = Transferaufgabe Isolation, TV = Transferaufgabe Verhaltensregeln, Signifikanzniveau * $p < .05$, ** $p < .01$

- Homoskedastizität/Varianzhomogenität

Die Fehlervarianzen sollten gleich sein. Liegen die Varianzen der einzelnen Gruppen zu weit voneinander entfernt, erhöht sich die Wahrscheinlichkeit, einen Alpha-Fehler zu

begehen. Diese Voraussetzung wurde mit dem Levene-Test geprüft. Der Levene-Test wird bei einer MANOVA getrennt für jede abhängige Variable berechnet. Er testet die Nullhypothese, dass die Varianz der abhängigen Variablen über alle Gruppen gleich ist. In der vorliegenden Untersuchung ist die Homogenität der Fehlervarianzen zwischen den Versuchsgruppen gemäß dem Levene-Test für den Wissens- sowie Perspektiven-Prä-Post-Vergleich, für die historische Perspektivenübernahme und für die Transferaufgabe Verhaltensregeln erfüllt ($p > .05$), nicht aber für die Weiterempfehlung ($p = .00$), für den Wissenstest ($p = .01$), für die Zufriedenheit ($p = .00$) und für die Transferaufgabe Isolation ($p = .02$). Da die Statistiken der MANOVA relativ robust gegenüber Verletzungen der Varianzgleichheit sind (Ates et al., 2019), ergeben sich jedoch keine Einschränkungen für die Durchführung der MANOVA.

- Multivariate Normalverteilung

Mittels SPSS kann die univariate Normalverteilung geprüft werden, welche eine Voraussetzung für die multivariate Normalverteilung ist. Dazu wurde der Kolgomorov-Smirnov-Test eingesetzt. Um empirisch nachzuweisen, dass die Annahme der Normalverteilung nicht verletzt ist, sollte die Abweichung nicht signifikant sein. Wie in Tabelle 24 dargestellt, ist die Annahme der Normalverteilung jedoch bei diversen Maßen verletzt. Da diese Annahme zur Durchführung einer MANOVA bei großen Stichproben jedoch zu streng ist und die Tests bei großen Gruppen ($N > 25$) recht robust sind (Eid et al., 2010; Tabachnick & Fidell, 2013), wurde trotz der Verletzung auf Datentransformationen oder den Einsatz nicht-parametrischer Verfahren (z.B. Kruskal-Wallis-Test) verzichtet. Generell gilt die MANOVA als relativ robust gegenüber Verletzungen der Normalverteilung (Finch, 2005). Daher darf mit der Analyse fortgefahren werden, ohne Gegenmaßnahmen durchzuführen.

Tabelle 24

Überprüfung der Normalverteilung mit dem Kolgomorov-Smirnov-Test

	Statistik	df	p
Wissen Prä-Post-Vergleich			
Visualisierungstechnologie: HMD	.12	69	.02
Visualisierungstechnologie: Laptop	.13	54	.02
Didaktische Methode: Exposition	.12	61	.02
Didaktische Methode: Exploration	.11	62	.05
Diskriminierungserfahrung vorhanden	.18	31	.01**
Diskriminierungserfahrung nicht vorhanden	.111	92	.01**
Perspektive Prä-Post-Vergleich			
Visualisierungstechnologie: HMD	.19	69	.00***
Visualisierungstechnologie: Laptop	.12	54	.06
Didaktische Methode: Exposition	.14	61	.01**
Didaktische Methode: Exploration	.15	62	.00***

Diskriminierungserfahrung vorhanden	.19	31	.01**
Diskriminierungserfahrung nicht vorhanden	.13	92	.00***
Zufriedenheit			
Visualisierungstechnologie: HMD	.41	69	.00***
Visualisierungstechnologie: Laptop	.21	54	.00***
Didaktische Methode: Exposition	.28	61	.00***
Didaktische Methode: Exploration	.36	62	.00***
Diskriminierungserfahrung vorhanden	.29	31	.00***
Diskriminierungserfahrung nicht vorhanden	.40	92	.00***
Weiterempfehlung			
Visualisierungstechnologie: HMD	.42	69	.00***
Visualisierungstechnologie: Laptop	.25	54	.00***
Didaktische Methode: Exposition	.30	61	.00***
Didaktische Methode: Exploration	.39	62	.00***
Diskriminierungserfahrung vorhanden	.27	31	.00***
Diskriminierungserfahrung nicht vorhanden	.42	92	.00***
Historische Perspektivenübernahme			
Visualisierungstechnologie: HMD	.11	69	.06
Visualisierungstechnologie: Laptop	.11	54	.12
Didaktische Methode: Exposition	.10	61	.17
Didaktische Methode: Exploration	.11	62	.08
Diskriminierungserfahrung vorhanden	.13	31	.18
Diskriminierungserfahrung nicht vorhanden	.10	92	.03*
Wissenstest			
Visualisierungstechnologie: HMD	.06	69	.20
Visualisierungstechnologie: Laptop	.11	54	.09
Didaktische Methode: Exposition	.06	61	.20
Didaktische Methode: Exploration	.09	62	.20
Diskriminierungserfahrung vorhanden	.10	31	.20
Diskriminierungserfahrung nicht vorhanden	.08	92	.20
Transferaufgabe Isolation			
Visualisierungstechnologie: HMD	.33	69	.00***

Visualisierungstechnologie: Laptop	.32	54	.00***
Didaktische Methode: Exposition	.32	61	.00***
Didaktische Methode: Exploration	.30	62	.00***
Diskriminierungserfahrung vorhanden	.30	31	.00***
Diskriminierungserfahrung nicht vorhanden	.32	92	.00***
Transferaufgabe Verhaltensregeln			
Visualisierungstechnologie: HMD	.21	69	.00***
Visualisierungstechnologie: Laptop	.24	54	.00***
Didaktische Methode: Exposition	.24	61	.00***
Didaktische Methode: Exploration	.20	62	.00***
Diskriminierungserfahrung vorhanden	.19	31	.01**
Diskriminierungserfahrung nicht vorhanden	.23	92	.00***

Anmerkungen. Signifikanzniveau * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$.

Wenn $p < .05$, dann ist die Normalverteilungsannahme verletzt.

- Keine univariaten oder multivariaten Ausreißer

Zunächst wurde untersucht, ob es univariate Ausreißer im Datensatz gibt. Dazu wurde im Rahmen einer explorativen Datenanalyse für jede der drei unabhängigen Variablen in jeder Faktorstufe ein separater Box-Plot erstellt. Die Abbildungen 43 bis 45 beinhalten die Box-Plots. Jeder Datenpunkt, der mehr als das Anderthalbfache des Interquartilsabstands ist, wird durch einen Kreis, zusammen mit der Fallnummer, markiert. Diese Kreise gelten als leichte Ausreißer. Werte, die mehr als das Dreifache des Interquartilsabstands sind, werden mit einem Sternchen markiert. Solche Ausreißer gelten als extreme Ausreißer. Der vorliegende Datensatz enthält auf allen abhängigen Variablen wenige leichte Ausreißer. Lediglich bei der Transferaufgabe Isolation sowie bei der Skala zur Erfassung der historischen Perspektivenübernahme sind vereinzelt extreme Ausreißer zu finden. Die Auswertung dieser Skalen ist daher mit Vorsicht zu betrachten.

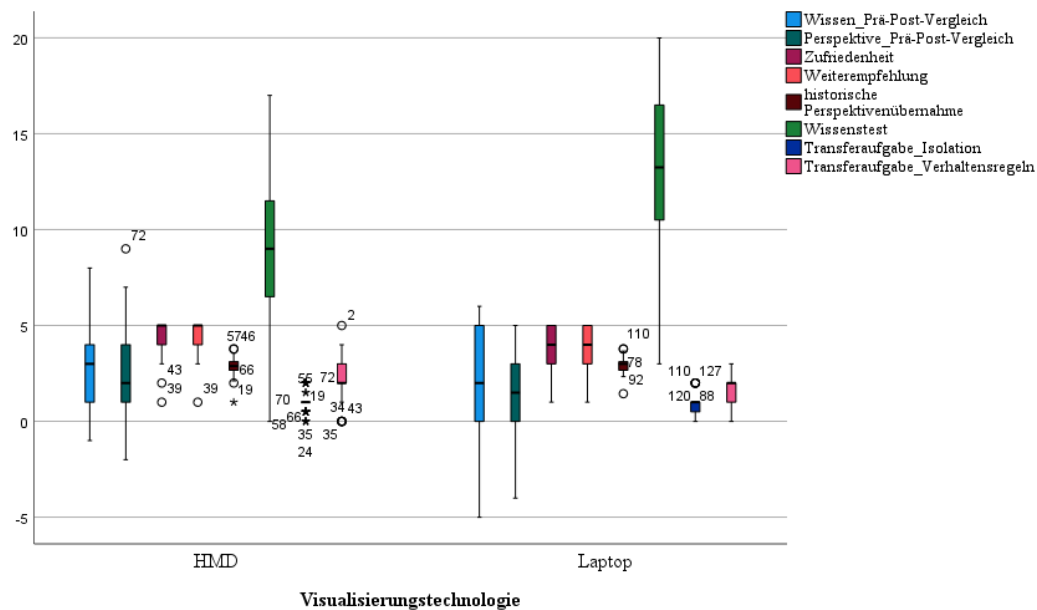
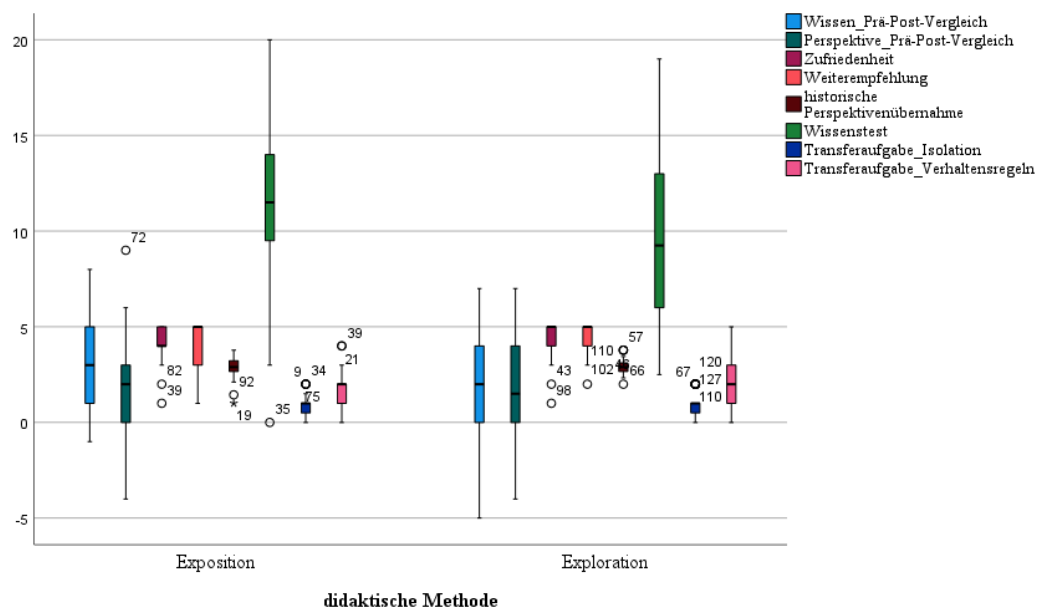
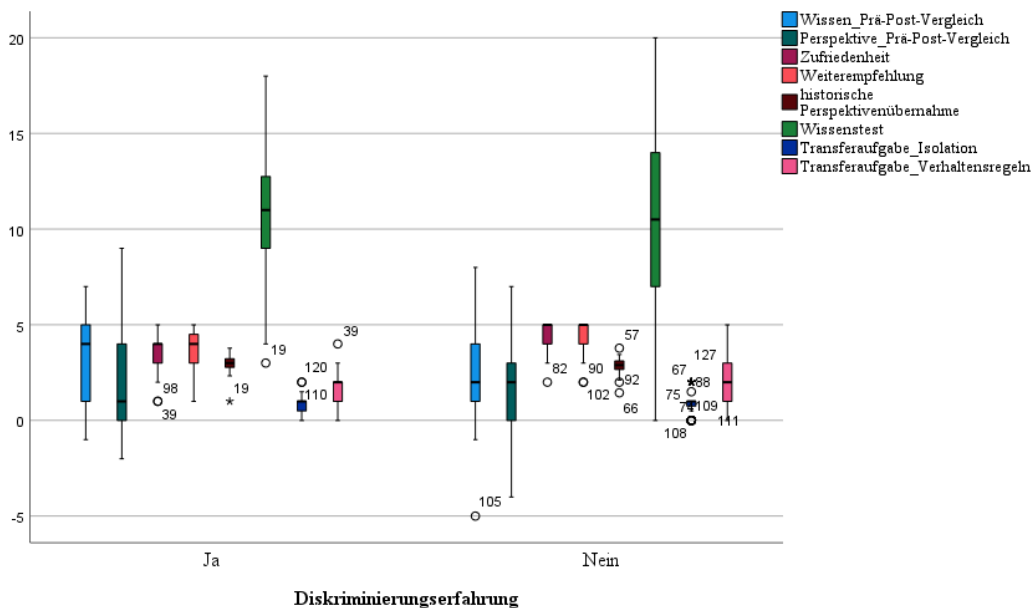
Abbildung 43*Box-Plot für die unabhängige Variable Visualisierungstechnologie***Abbildung 44***Box-Plot für die unabhängige Variable didaktische Methode*

Abbildung 45

Box-Plot für die unabhängige Variable Diskriminierungserfahrungen



Neben univariaten Ausreißern muss der Datensatz auf multivariate Ausreißer hin untersucht werden. Dies ist eine spezielle Voraussetzung von verschiedenen multivariaten statistischen Verfahren, wie der MANOVA. Im Gegensatz zu univariaten Ausreißern sind multivariate Ausreißer nicht unbedingt durch extrem hohe oder niedrige Werte entlang einzelner Variablen gekennzeichnet. Um sie zu erkennen, muss man alle abhängigen Variablen zusammen betrachten. Eine Option, multivariate Ausreißer in SPSS zu bestimmen, ist die Mahalanobis Distanz (Eid et al., 2010). Diese Distanz muss für jede der drei unabhängigen Variablen der MANOVA bestimmt werden. Dazu wurde je einmal pro unabhängiger Variable eine lineare Regression mit den acht abhängigen Variablen als Prädiktoren durchgeführt. Die Mahalanobis-Distanz wurde jeweils als neue Variable gespeichert. Cut-Off-Werte wurden über die Chi-Quadrat-Verteilung berechnet, wobei die Anzahl der abhängigen Variablen in der MANOVA (hier: acht) der Anzahl der Freiheitsgrade in der Chi-Quadrat-Verteilung entspricht. Für die unabhängige Variable Visualisierungstechnologie liegt die höchste Mahalanobis-Distanz bei 24.38 und damit unter dem Cut-Off-Wert ($p > .001$). Für die unabhängige Variable didaktische Methode liegt die höchste Mahalanobis-Distanz bei 26.70 und damit auch unter dem Cut-Off-Wert ($p > .001$). Für die unabhängige Variable Diskriminierungserfahrung liegt die höchste Mahalanobis-Distanz bei 24.37 und damit ebenfalls unter dem Cut-Off-Wert ($p > .001$). Insgesamt wurden folglich, gemessen durch die Mahalanobis-Distanz, keine multivariaten Ausreißer gefunden.

Alle Voraussetzungen für die Durchführung einer MANOVA wurden hinreichend überprüft und gelten als größtenteils erfüllt. Vereinzelt univariate Ausreißer sowie Verletzung der multivariaten Normalverteilung liegen vor. Da die Untersuchung jedoch über eine ausreichend hohe Stichprobengröße verfügt und die MANOVA ein robustes statistisches Verfahren (z.B. Eid et al., 2010) darstellt, wurde dieses parametrische Verfahren weiterhin durchgeführt.

Anhang Q: Überprüfung der Voraussetzungen der Moderationsanalyse

Die Voraussetzungen sind ähnlich denen, die auch für multiple Regressionsanalysen gelten (Baltes-Götz, 2018; Eid et al., 2010). Hayes (2013) benennt vier Voraussetzungen, empfiehlt aber gleichzeitig, diese Voraussetzungen aufgrund der hohen Robustheit des Verfahrens nicht zu dogmatisch zu betrachten:

- Normalverteilung der Residuen
- Homoskedastizität
- Unabhängigkeit der Residuen
- Linearität

Da das Makro von Hayes (2013) Bootstrapping als Methode nutzt, sind Analysen unabhängig von den Verteilungseigenschaften eines Datensatzes (Preacher, Rucker & Hayes, 2007) und liefern auch bei nicht-normalverteilten Daten, wie teilweise in dieser Untersuchung der Fall (siehe Anhang P), zuverlässige Ergebnisse (Kelley, 2005). Daher wurde die Voraussetzung der Normalverteilung der Residuen nicht weiter geprüft.

Indem innerhalb der Analyse ein robuster Standardfehler (HC3; Davidson & MacKinnon, 1993) angefordert wurde, konnte Heteroskedastizität kontrolliert werden.

Die Unabhängigkeit der Residuen kann durch das vorliegende Studiendesign gewährleistet werden. Es wurden nur voneinander unabhängige Beobachtungen untersucht.

Die Voraussetzung der Linearität wurde genauer überprüft. Moderationsanalysen basieren auf dem Verfahren der linearen Regression. Entsprechend sollten nur lineare Beziehungen zwischen den einzelnen Variablen untersucht werden. Um die Linearität der Daten zu kontrollieren, wurde für jede der acht abhängigen Variablen eine lineare Regression mit den unabhängigen Variablen und den möglichen beiden Moderatoren als Prädiktoren durchgeführt. Die Linearität wurde visuell anhand von Plots der standardisierten Residuen gegen die standardisierten vorhergesagten Werte überprüft. In diese Streudiagramme wurde eine LOESS-Anpassungslinie eingezeichnet. Nach visueller Inspektion der Streudiagramme (siehe Abbildungen 46 und 47) kann davon ausgegangen werden, dass das Verhältnis zwischen den meisten Variablen linear ist. Die LOESS-Linie entspricht größtenteils einer Geraden. Bei den abhängigen Variablen Zufriedenheit und Weiterempfehlung ist zu beobachten, dass die Linien in den Randregionen rechts stark von den anderen Punkten abweichen. Dies ist vor allem der Fall, wenn in diesen Regionen nur wenige Punkte vorhanden sind. Da die LOESS-Linien nur den Randregionen vom Muster der Linearität abweichen, kann weiterhin von Linearität ausgegangen werden. Bei der Variable Transferaufgabe Isolation ist die Linearität jedoch in Frage zu stellen. Daher wird diese Variable aus den Moderationsanalysen ausgeschlossen.

Abbildung 46

Diagramme zur Überprüfung der Linearität für die Moderationsanalysen – Teil 1

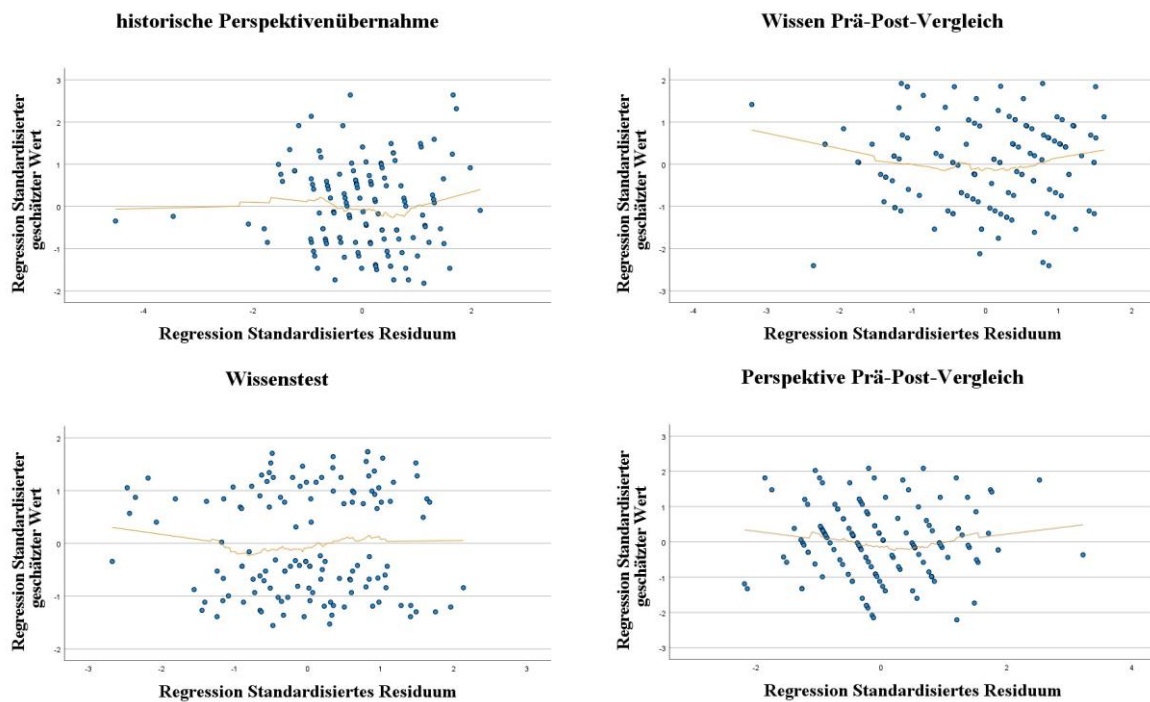
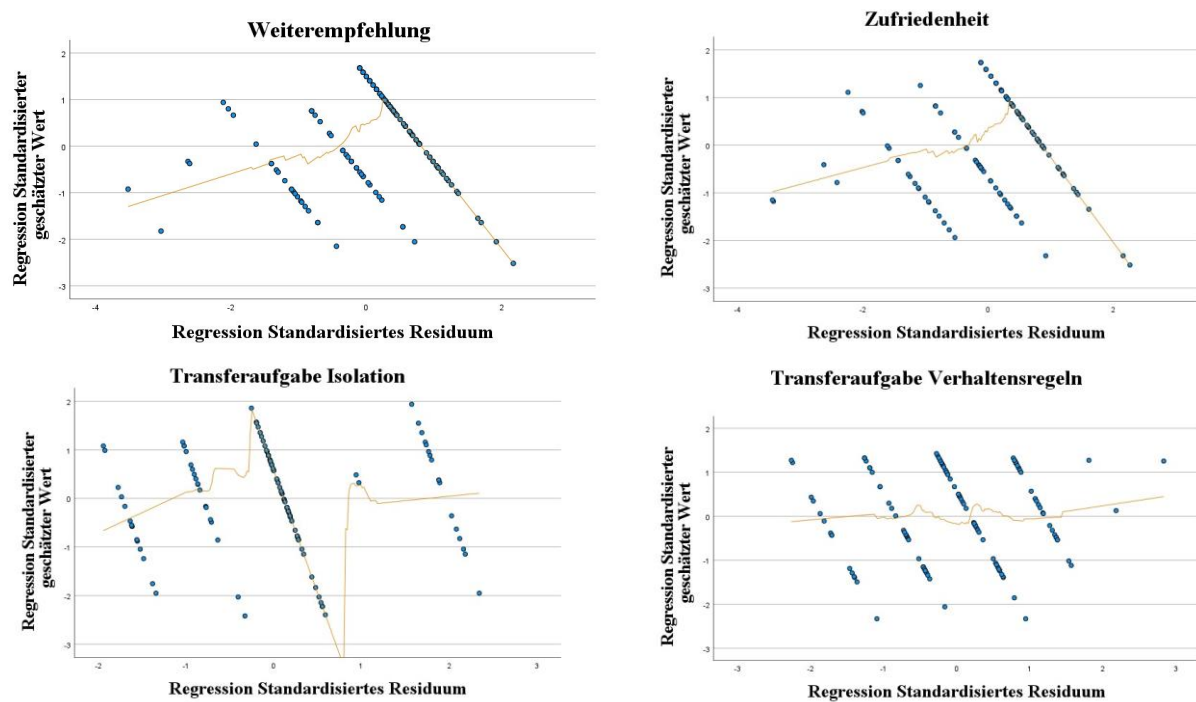


Abbildung 47

Diagramme zur Überprüfung der Linearität für die Moderationsanalysen – Teil 2



Das Makro PROCESS erlaubt nur Rechnungen mit Items, die mit maximal acht Zeichen benannt wurden. Da dies im ursprünglichen Datensatz nicht berücksichtigt worden ist, wurde nachträglich eine Kopie des Datensatzes erstellt und die ursprünglichen Variablen-

bezeichnungen durch kürzere Bezeichnungen ersetzt. Mit diesem ansonsten identischen Datensatz wurden sowohl die Moderator- als auch die Mediationsanalysen berechnet. Des Weiteren lässt sich beim PROCESS Makro, anders als bei gewöhnlichen SPSS-Dialogen, die Einfügen-Funktion nicht anwenden. Daher finden sich im digitalen Anhang dieser Arbeit zu diesen Analysen nur Ausgabe- und keine Syntax-Dateien.

Anhang R: Überprüfung der Voraussetzungen der t-Tests für unabhängige Stichproben

Mehrere t-Tests für unabhängige Stichproben wurden berechnet. Voraussetzungen für das Verfahren sind (Eid et al., 2010; Schäfer & Schöttker-Königer, 2015):

- Die Teilstichproben müssen zufällig gezogen und voneinander unabhängig sein.
- Die abhängige Variable sollte mindestens intervallskaliert sein.
- Die unabhängige Variable ist nominalskaliert und hat zwei Ausprägungen.
- Normalverteilung sollte vorliegen.
- Ausreißer sollten kontrolliert werden.
- Homoskedastizität sollte vorliegen.

Die ersten drei Voraussetzungen beziehen sich auf das Design der Studie und können als erfüllt betrachtet werden.

Gegenüber Verletzungen der Normalverteilung ist der t-Test bei hinreichend großem Stichprobenumfang ($N > 30$) robust, da in diesem Fall die Verteilung der Mittelwerte der Messwertdifferenzen approximativ in eine Normalverteilung übergeht (Eid et al., 2010). Daher kann auf eine Überprüfung der Normalverteilung verzichtet werden (Stone, 2010).

Mit Hilfe von Box-Plots wurde nach Ausreißern auf den Lernprozessvariablen gesucht. Sowohl hinsichtlich der Visualisierungstechnologie als auch hinsichtlich der didaktischen Methode finden sich extreme Ausreißer (d.h. mehr als das Dreifache des Interquartilsabstands) auf den beiden Indikatoren des Unwohlseins. Daher wurden diese beiden Variablen bei den t-Tests und bei den darauffolgenden Mediationsanalysen ausgeschlossen. Hinsichtlich aller anderen Variablen finden sich kaum und wenn nur leichte Ausreißer (d.h. mehr als das Anderthalbfache des Interquartilsabstands).

Homoskedastizität wurde mit dem Levene-Test der Varianzgleichheit nachgeprüft. Für einige der abhängigen Variablen war keine Varianzhomogenität gegeben. Dementsprechend wurde in diesen Fällen die Statistik aus dem Welch-Test berichtet.

Anhang S: Überprüfung der Voraussetzungen für die Korrelationsanalysen

Zwischen den Lernprozessvariablen und den Lernindikatoren sollten Zusammenhangsmaße berechnet werden. Wie in Anhang P bereits ermittelt, ist die Normalverteilungsannahme hinsichtlich einiger Lernindikatoren verletzt. Weil Korrelationsanalysen nicht so robuste

Verfahren wie MANOVAs sind, wurde auf Korrelationskoeffizienten für ordinale Daten zurückgegriffen, deren statistische Prüfung die Normalverteilung nicht voraussetzt (Eid et al., 2010; Finch, 2005). Ein häufig verwendetes Verfahren ist die Rangkorrelation nach Spearman. Nach Schäfer und Schöttker-Königer (2015) ist das nicht-parametrische Verfahren an die Voraussetzung gebunden, dass für die Variablen mindestens Ordinalskalenniveau vorliegen muss. Für die Lernindikatoren wurde diese Voraussetzung bereits in Anhang P geprüft. Bei den Lernprozessvariablen ist ebenfalls von Intervallskalenniveau auszugehen, da bereits in der Literatur verwendete Skalen mit zugrundeliegenden Likert-Skalen verwendet wurden.

Anhang T: Überprüfung der Voraussetzungen der Mediationsanalyse

Hayes (2013) benennt die identischen vier Voraussetzungen für Mediationsanalysen, welche er auch für Moderationsanalysen aufgeführt hat, und ergänzt eine weitere:

- Normalverteilung der Residuen
- Homoskedastizität
- Unabhängigkeit der Residuen
- Linearität
- Zeitliche Präzedenz

Wie in Anhang Q bereits erläutert, können die Voraussetzungen eins bis drei in der vorliegenden Untersuchung als erfüllt betrachtet werden.

Die vierte Voraussetzung der Linearität wurde genauer überprüft. Mediations- ebenso wie Moderationsanalysen basieren auf dem Prinzip der linearen Regression. Dementsprechend dürfen nur lineare Beziehungen zwischen den einzelnen Variablen betrachtet werden. Um die Linearität der Daten zu begutachten, wurde für jede der acht abhängigen Variablen eine lineare Regression mit den unabhängigen Variablen und den möglichen Mediatoren als Prädiktoren berechnet. Die Linearität wurde visuell anhand von Plots der standardisierten Residuen gegen die standardisierten vorhergesagten Werte überprüft. Eine LOESS-Anpassungslinie wurde in die Streudiagramme eingezeichnet. Nach visueller Inspektion der Diagramme (siehe Abbildungen 48 und 49) kann angenommen werden, dass das Verhältnis zwischen einem Großteil der Variablen linear ist. Die LOESS-Linie entspricht meistens einer Geraden. Bei den abhängigen Variablen Zufriedenheit und Weiterempfehlung ist erneut zu beobachten, dass die Linien in den Randregionen rechts stark von den anderen Punkten abweichen. Dies ist vor allem der Fall, wenn in diesen Regionen nur wenige Punkte vorhanden sind. Da die LOESS-Linien nur den Randregionen vom Muster der Linearität abweichen, kann weiterhin von Linearität ausgegangen werden.

Die fünfte Voraussetzung der zeitlichen Präzedenz beinhaltet, dass die Variablen einer bestimmten zeitlichen Abfolge (zuerst unabhängige Variable, dann Mediator, dann abhängige Variable) unterliegen. In der vorliegenden Untersuchung fand die experimentelle Manipulation zuerst statt. Die Lernprozesse liefen während der Testung ab und wurden retrospektiv im Fragebogen erfasst. Die Lernindikatoren wurden ebenfalls im Fragebogen erhoben. Demnach kann die fünfte Voraussetzung als erfüllt betrachtet werden.

Abbildung 48

Diagramme zur Überprüfung der Linearität für die Mediationsanalysen – Teil 1

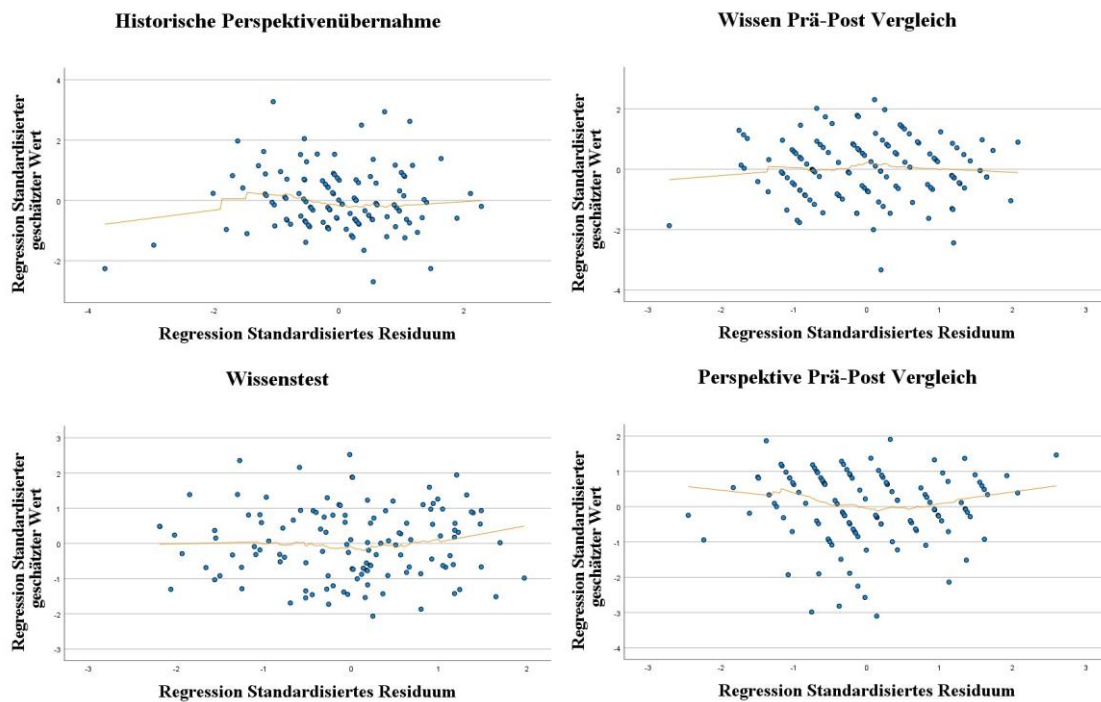
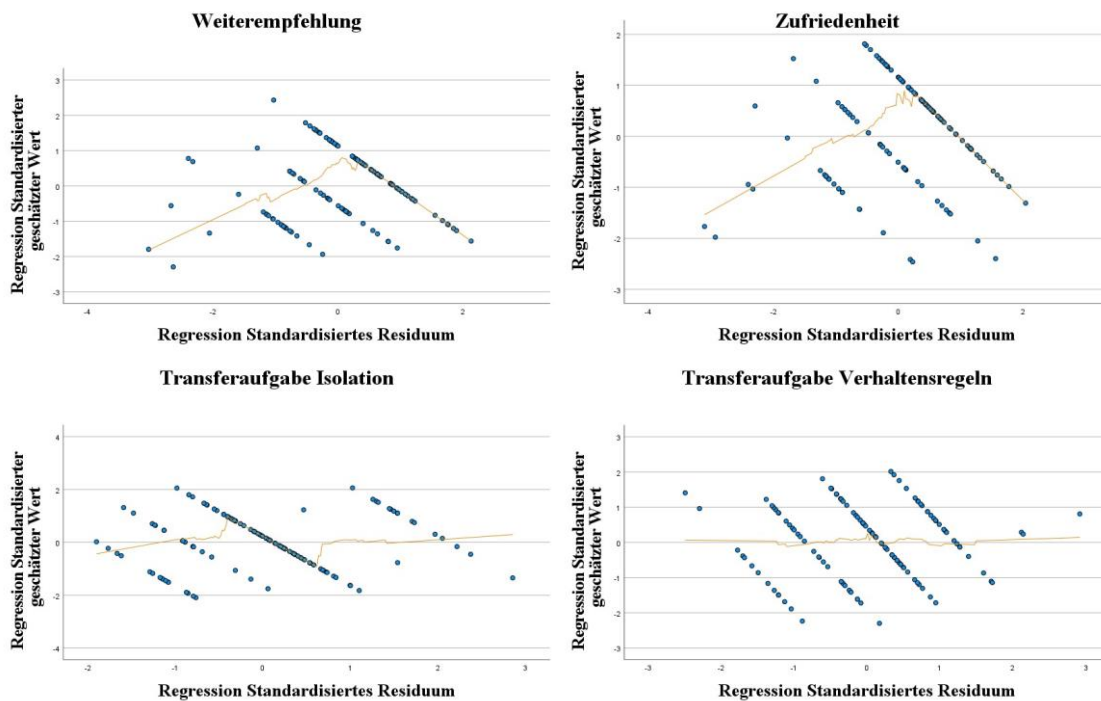


Abbildung 49

Diagramme zur Überprüfung der Linearität für die Mediationsanalysen – Teil 2



Eidesstaatliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, Miriam Mulders, dass ich diese Doktorarbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken als solche kenntlich gemacht habe.

Die Arbeit habe ich bisher keinem anderen Prüfungsamt in gleicher oder vergleichbarer Form vorgelegt. Sie wurde bisher nicht veröffentlicht.

Essen, den 21. September 2022

Unterschrift: M. Mulders