

# Lernen in Virtual Reality: Eine Analyse der kognitiven Belastung unter Berücksichtigung der Redundanzhypothese

Lilly Kaninski <sup>1</sup>, Miriam Mulders <sup>2</sup>, Lara Rahner <sup>3</sup>, David Wiesche <sup>4</sup>


**Abstract:** Virtual Reality (VR) eröffnet neue didaktische Möglichkeiten, die über den traditionellen Unterricht hinausgehen. Damit das Potenzial dieser Technologie jedoch lernwirksam ausgeschöpft werden kann, ist eine fundierte empirische Grundlage zur Verarbeitung virtueller Lerninhalte erforderlich. Besonders die Forschung zur kognitiven Belastung im Sinne der Cognitive Load Theory sowie zur Cognitive Theory of Multimedia Learning liefert zentrale Anhaltspunkte für eine lernförderliche Gestaltung immersiver Lernumgebungen. Vor diesem Hintergrund untersucht die vorliegende Studie den Einfluss der Redundanzhypothese auf den Lernerfolg und die kognitive Belastung in einer VR-Umgebung. 48 Schüler:innen der Mittelstufe erkundeten in einem experimentellen Design virtuell das Versteck von Anne Frank und zwar entweder in einer rein auditiven oder in einer auditiv-visuellen Bedingung. Die Ergebnisse zeigen, entgegen der theoretischen Annahme, dass redundante Informationsdarstellung in VR lernförderlich wirken. Weitere Forschung ist nötig, um diesen Befund zu veri- oder falsifizieren.


**Keywords:** Virtual Reality, Cognitive Load Theory, Cognitive Theory of Multimedia Learning, Redundanzeffekt, Anne Frank House VR


## 1 Einleitung


Virtual Reality (VR) hat sich in den letzten Jahren als innovative Bildungstechnologie etabliert, deren immersive Umgebungen Lernende befähigen, sich komplexe Inhalte anschaulich und erfahrungsbasiert zu erschließen. So lassen sich beispielsweise chemische Experimente visualisieren, die im Präsenzunterricht aus Sicherheits- oder Kostengründen nicht realisierbar wären [Ze24; Wi22], handwerkliche Fertigkeiten trainieren, welche im

---

<sup>1</sup> Universität Duisburg-Essen, Lehrstuhl für Mediendidakik und Wissensmanagement, Universitätsstraße 2, 45141 Essen, lilly.kaninski@stud.uni-due.de,  <https://orcid.org/0009-0009-3174-2318>

<sup>2</sup> Universität Duisburg-Essen, Lehrstuhl für Mediendidakik und Wissensmanagement, Universitätsstraße 2, 45141 Essen, miriam.mulders@uni-due.de,  <https://orcid.org/0000-0003-0683-2310>

<sup>3</sup> Universität Duisburg-Essen, Lehrstuhl für Mediendidakik und Wissensmanagement, Universitätsstraße 2, 45141 Essen, kirner@learninglab.de,  <https://orcid.org/0009-0000-1298-8640>

<sup>4</sup> Universität Duisburg-Essen, AG Digitales Lehren und Lernen im Schulkontext, Institut für Sport- und Bewegungswissenschaften, Gladbeckerstraße 182, 45141 Essen, david.wiesche@uni-due.de,  <https://orcid.org/0000-0002-6086-1406>

Ausbildungsalltag zu selten und ohne ausreichend Feedback eingeübt werden [Mu23] oder fremde sonst nicht zu erreichende Orte in interaktiven 3D-Räumen erlebbar machen [BB20]. Trotz dieses didaktischen Potenzials ergeben sich auch Herausforderungen [Ze22]: Eine inadäquate didaktische Gestaltung von VR-Lernumgebungen kann beispielsweise die kognitive Belastung der Lernenden erhöhen, was mit einer reduzierten Lernwirksamkeit und einer potenziellen Beeinträchtigung des Lernerfolgs einhergehen kann [HB22]. Entscheidend ist daher eine lernförderliche Präsentation der Inhalte, um eine kognitive Überlastung der Lernenden zu vermeiden. Die vorliegende Arbeit greift zur Analyse dieses Spannungsfeldes auf die Cognitive Load Theory (CLT) nach Sweller [SAK11] sowie die Cognitive Theory of Multimedia Learning (CTML) nach Mayer [Ma05] zurück. Beide Theorien beschreiben die Verarbeitung multimodaler Inhalte im Arbeitsgedächtnis und leiten daraus zentrale Prinzipien für die Gestaltung von Lerneinheiten ab. Ein wesentlicher Aspekt ist dabei die Redundanzhypothese. Diese besagt, dass die gleichzeitige Präsentation auditiver und visueller, jedoch inhaltsgleicher Informationen zu einer Überlastung kognitiver Kapazitäten führen und den Lernprozess dadurch beeinträchtigen kann. Eine aktuelle Literaturübersicht von Trypke et al. [TSW23] dazu zeigt, dass redundante Darbietungen gleicher Inhalte über mehrere Modalitäten die kognitive Belastung erhöhen und die Lernleistung mindern können. Während dieser Effekt für bestimmte multimediale Lernumgebungen bereits empirisch belegt ist [TSW23], bleibt bislang offen, inwiefern redundante Informationsdarstellungen auch in immersiven VR-Szenarien zu vergleichbaren Effekten führen. Die vorliegende Studie geht daher der Frage nach, ob und in welchem Ausmaß sich die Redundanzhypothese auf VR-basierte Lernsettings übertragen lässt. Im Mittelpunkt steht die Analyse des Einflusses redundanter Text- und Audioinformationen in VR auf die kognitive Belastung sowie den Lernerfolg. Zu diesem Zweck wurde ein experimentelles Studiendesign mit Lernenden der Jahrgangsstufen 9/10 an einem Gymnasium realisiert. Virtuell erkundeten diese das Versteck von Anne Frank unter verschiedenen Bedingungen der Informationsdarbietung.

## 2 Theoretischer Hintergrund

VR-Lernumgebungen bieten durch ihre immersive, multimodale und interaktive Gestaltung spezifische Affordanzen für Lehr- und Lernprozesse, etwa zur Förderung von Anschaulichkeit, Perspektivübernahme und Exploration [BA20]. Nutzer:innen können mittels Head-Mounted Displays (HMDs) vollständig in solche eintauchen [Ra20]. Trotz dieser Vorteile stellt der Einsatz von VR spezifische Anforderungen an die kognitiven Verarbeitungsprozesse von Lernenden. Zur theoretischen Analyse der beschriebenen Herausforderungen wird auf die CLT [SAK11] zurückgegriffen, die die kognitive Belastung während des Lernens in den Mittelpunkt stellt. Ausgangspunkt der Theorie ist die begrenzte Verarbeitungskapazität des Arbeitsgedächtnisses. Ziel ist es, kognitive Überlastung zu vermeiden, indem lernrelevante Einflussfaktoren gezielt aufeinander abgestimmt werden. Analog zur CLT richtet auch die CTML [Ma05] den Fokus auf die Effizienz der Informationsverarbeitung. Ein zentrales Konzept ist der Modalitätseffekt, demzufolge Lernprozesse dann besonders förderlich verlaufen, wenn unterschiedliche

Informationen parallel über unterschiedliche Kanäle – auditiv und visuell – vermittelt werden. Ein weiterer Bestandteil der CTML ist die Redundanzhypothese, die besagt, dass die gleichzeitige Präsentation identischer Informationen über mehrere Modalitäten zu einer Überlastung kognitiver Ressourcen führen kann [Sw05]. Ergänzend verweist die Dual Coding Theory [Pa91] darauf, dass Informationen, die sowohl verbal als auch bildlich repräsentiert werden, in zwei separaten kognitiven Systemen verarbeitet werden und dadurch einen Lernvorteil bieten können. Gerade in immersiven VR-Umgebungen, die durch ihre multisensorische Reizfülle und hohe Interaktivität potenziell mit einer erhöhten kognitiven Grundlast einhergehen [HB22], ist eine sorgfältige mediale Gestaltung bedeutsam. Die redundante Darbietung inhaltsgleicher Informationen über mehrere Kanäle kann in diesem Kontext die kognitive Belastung zusätzlich erhöhen und die Verarbeitung lernrelevanter Inhalte beeinträchtigen [SAK11]. Vor diesem Hintergrund untersucht die vorliegende Studie, ob und inwiefern sich der Redundanzeffekt auch in VR-basierten Lernanwendungen nachweisen lässt. In einem experimentellen Setting wird folgende Hypothese überprüft: Schüler:innen, die in einer VR-Umgebung redundante Text- und Audioinformationen erhalten, zeigen im Vergleich zu einer rein auditiven Bedingung eine höhere kognitive Belastung und einen geringeren Lernerfolg.

### 3 Methode

An der vorliegenden Studie nahmen im September 2024 insgesamt 48 Schüler:innen teil. Die Stichprobe wurde randomisiert und gleichmäßig auf zwei experimentelle Bedingungen verteilt. In der auditiven Bedingung wurden die Lerninhalte ausschließlich über gesprochene Sprache vermittelt. In der auditiv-visuellen Bedingung erhielten die Teilnehmenden den identischen Text zusätzlich als eingeblendete Schriftinformation innerhalb der VR-Umgebung (Redundanzbedingung). Zur Datenerhebung wurden zwei Fragebögen zu unterschiedlichen Messzeitpunkten eingesetzt. Im Präfragebogen wurden neben soziodemografischen Angaben das fachliche Vorwissen über Anne Frank sowie die Vorerfahrungen mit der Technologie VR erhoben. Im Anschluss erfolgte eine historische Einordnung sowie eine Einführung in die Nutzung des HMDs, bevor die Teilnehmenden die VR erkundeten. Zur Erfassung des Wissenserwerbs wurden vier offene Wissensfragen eingesetzt [Mu20]. Eine Frage lautete: „*Wohin möchte Anne nach dem Krieg gehen?*“. Die Fragen wurden nach einem Erwartungshorizont bewertet (max. 9 Punkte). Ferner wurde die subjektiv empfundene kognitive Belastung erfasst. Hierzu kam die NASA-TLX Skala zum Einsatz, anhand derer mentale und körperliche Anforderungen, Zeitdruck, Anstrengung, Frustration sowie die wahrgenommene Leistung gemessen wurden (Beispielitem Leistung: „*Was denkst du, wie gut du dir alle Elemente und Informationen in Annes Zimmer merken konntest?*“). Bei allen Items der Skala konnten die Proband:innen anhand der Verschiebung eines Zeigers zwischen 1 („*sehr wenig*“) und 20 („*sehr viel*“) wählen. Zwei abschließende Fragen betrafen eine Bewertung der Lernerfahrung. Dabei konnten die Schüler:innen auf vierstufigen Likertskalen (z.B. „*sehr unklar*“ bis „*sehr klar*“) angeben, wie verständlich sie die Inhalte zu Anne Frank fanden und wie sie diese

im Vergleich zu anderen Unterrichtsmaterialien bewerten. Zur statistischen Auswertung der Daten wurden deskriptive Kennwerte und t-Tests berechnet.

### 3.1 VR-Umgebung

Im Rahmen der Studie hatten die Schüler:innen die Möglichkeit, einen Teil des Hinterhauses in Amsterdam virtuell zu erkunden. Die zugrunde liegende Anwendung wurde von der Anne Frank Stiftung in Kooperation mit *Force Field VR* entwickelt und ist kostenlos verfügbar. Obwohl die Anwendung einen virtuellen Zugang zum gesamten Hinterhaus ermöglicht, wurde in der vorliegenden Untersuchung ausschließlich das Zimmer von Anne Frank einbezogen. Je nach experimenteller Bedingung konnten die Teilnehmenden in diesem Raum Informationen über Annes Leben entweder nur anhören oder zusätzlich als eingeblendeten Text wahrnehmen (siehe Abb. 1). In beiden Bedingungen wurde das Zimmer visuell erkundbar. Der Unterschied zwischen den Gruppen lag ausschließlich in der zusätzlichen Einblendung von Textinformationen.



Abbildung 1: links auditive Versuchsbedingung, rechts auditiv-visuelle Versuchsbedingung

## 4 Ergebnisse

Schüler:innen im Alter zwischen 13 und 15 Jahren ( $M = 14.08$ ,  $SD = 0.42$ ) nahmen teil. Ihr fachliches Vorwissen ( $M = 3.69$ ,  $SD = 2.09$ ) schätzten die Schüler:innen auf einer zehnstufigen Skala recht gering und unterschiedlich ein. Ähnliches gilt für die Vorerfahrungen mit VR auf einer vierstufigen Skala ( $M = 1.59$ ,  $SD = .50$ ). Im Folgenden werden die zentralen Ergebnisse der Studie dargestellt: 4.1 analysiert den objektiven Lernerfolg anhand der Wissensitems, 4.2 befasst sich mit der wahrgenommenen kognitiven Belastung. In 4.3 folgen zusätzliche Kennwerte zur Bewertung der VR seitens der Schüler:innen.

## 4.1 Lernerfolg

In der auditiven Versuchsbedingung erhielten die Schüler:innen durchschnittlich 3.65 Punkte ( $SD = 2.12$ ) im Wissenstest, wohingegen die Schüler:innen in der auditiv-visuellen Bedingung 4.32 Punkte ( $SD = 2.48$ ) erreichten. Inferenzstatistische Analysen deckten signifikante Unterschiede zwischen den Bedingungen auf: Schüler:innen in der auditiv-visuellen Versuchsbedingungen beantworteten bedeutsam mehr Wissensfragen korrekt als die rein auditive Gruppe. Beim Item „Wozu benutzt Anne ihr Fernglas?“ beispielsweise ergab sich ein  $t$ -Wert von 2.23 ( $df = 46, p = .03$ ) und eine mittlere Effektstärke von  $d = 0.64$ . Auch beim Item „Wie sieht Annes Tagebuch aus?“ konnte ein hochsignifikanter Unterschied festgestellt werden ( $t(46) = 2.88, p = 0.006, d = 0.83$ ). Die Befunde widersprechen der ursprünglichen Annahme, dass redundante Informationen in der auditiv-visuellen Bedingung zu einer Lernbeeinträchtigung führen würden.

## 4.2 Kognitive Belastung

Deskriptive Statistiken zu den sechs Items der NASA-TLX Skala sind in Tabelle 1 abgebildet. Hinsichtlich der ersten fünf Items zeichnet sich zumindest numerisch ab, dass die wahrgenommene kognitive Belastung in der auditiven Bedingung eher höher war als in der auditiv-visuellen Bedingung.

NASA-TLX Items	$M$	$SD$
1. Mentale Anforderungen		
Auditiv	6.70	3.87
Auditiv-visuell	6.62	4.60
2. Körperliche Anforderungen		
Auditiv	4.14	3.55
Auditiv-visuell	4.09	3.60
3. Zeitdruck		
Auditiv	4.14	3.06
Auditiv-visuell	4.86	5.57
4. Anstrengung		
Auditiv	6.09	5.26
Auditiv-visuell	4.22	3.44
5. Frustration		
Auditiv	2.89	3.82
Auditiv-visuell	2.54	1.76
6. Leistung		
Auditiv	12.13	4.72
Auditiv-visuell	14.93	3.25

Tab. 1: Ergebnisse NASA-TLX

Inferenzstatistische Unterschiede zeigten sich lediglich beim letzten Item: In der auditiv-visuellen Bedingung schätzen Schüler:innen ihre Leistung höher ein als in der auditiven Bedingung ( $t(46) = 2.25, p = 0.03, d = 0.65$ ).

### 4.3 Bewertung der VR-Umgebung

Unabhängig von der Bedingung bewerteten die Schüler:innen die VR-Umgebung insgesamt positiv: 44% stuften die vermittelten Informationen als „klar“, 56 % sogar als „sehr klar“ ein. 87,5 % empfanden das Lernen in VR als „viel hilfreicher“ oder „etwas hilfreicher“ als mit klassischen Unterrichtsmaterialien. Inferenzstatistische Unterschiede zwischen den Gruppen konnten nicht aufgedeckt werden.

## 5 Diskussion

Die vorliegende Studie untersuchte den Einfluss redundanter Informationsdarstellungen in einer immersiven VR-Lernumgebung auf kognitive Belastung und Lernerfolg. Ausgangspunkt war die Redundanzhypothese im Rahmen der CTL [Sw05; SAK11] und CTML [Ma05]. Entgegen der aufgestellten Hypothese waren die Testergebnisse bei denjenigen Schüler:innen besser, die die Informationen sowohl textuell als auch auditiv erhielten. Gleichzeitig ergaben sich keine bedeutsamen Gruppenunterschiede hinsichtlich der kognitiven Belastung. Numerische Unterschiede deuten jedoch auf eine höhere Belastung in der rein auditiven Bedingung hin. Ihre Leistung schätzten die Schüler:innen in der auditiv-visuellen Bedingung ebenfalls signifikant besser ein. Die Studienergebnisse deuten darauf hin, dass die Redundanzhypothese im Kontext immersiver VR-Lernumgebungen nicht ohne Weiteres bestätigt werden kann. Stattdessen legen sie nahe, dass redundante Darbietungen – zumindest in der hier untersuchten Kombination aus auditiven und textuellen Informationen – förderlich für den Wissenserwerb sein können. Diese Erkenntnis widerspricht zwar der Übersichtsarbeit von Trypke et al. [TSW23], ist aber beispielsweise konform mit einer Studie von Mayer selbst, in welcher positive Effekte von Redundanzen in gesprochenem und geschriebenem Text auf das Lernen mit Präsentationen nachgewiesen werden konnten [MJ08]. Den Befunden der vorliegenden Studie folgend sollten für eine lernwirksame Integration insbesondere VR-Anwendungen gewählt werden, die sowohl den visuellen als auch den auditiven Kanal des Arbeitsgedächtnisses ansprechen und Informationen repetitiv präsentieren. Eine mögliche Erklärung liegt in den Besonderheiten immersiver Technologien: Präsenz, Multimodalität und Interaktivität erzeugen andere kognitive Verarbeitungsbedingungen als andere multimediale Darstellungen [Ra20]. Bei der Ergebnisinterpretation ist darüber hinaus zu berücksichtigen, dass der Text als schwebende Schrift eingeblendet wurde. Dieses Design könnte die Informationsaufnahme erleichtert, aber das Präsenzerleben eingeschränkt haben. Künftige Studien sollten deshalb alternative Darstellungsformen (z. B. verankerte Untertitel, variierende Positionen) untersuchen. Unsere Ergebnisse lassen sich auch im Rahmen der Caption-Forschung interpretieren, die konsistent lernförderliche Effekte nachweist [Ge15]. Vor diesem Hintergrund können die gefundenen Effekte weniger als Widerlegung der Redundanzhypothese verstanden werden, sondern vielmehr als Hinweis auf die spezifische Wirksamkeit von Untertiteln im VR-Kontext. Insgesamt scheint weitere Forschung notwendig, um die Befunde dieser Studie zu untermauern oder zu widerlegen.

## Literaturverzeichnis

- [BA20] Buchner, J.; Aretz, D.: Lernen mit immersiver Virtual Reality: Didaktisches Design und Lessons Learned. *MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung*, 17 (Jahrbuch Medienpädagogik), 2020.
- [BB20] Bürki, R.; Buchner, J.: Immersive Virtuelle Realität mit VR-Brillen im Geographieunterricht: Potentiale und Herausforderungen. *Progress in Science Education (PriSE)*, 3(2), pp. 49-53, 2020.
- [Co13] Cohen, J.: *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Hillsdale, NY, Lawrence Erlbaum Associates, 2013.
- [De20] Devos, H.; Gustafson, K.; Ahmadnezhad, P.; Liao, K.; Mahnken, J. D.; Brooks, W. M.; Burns, J. M.: Psychometric Properties of NASA-TLX and Index of Cognitive Activity as Measures of Cognitive Workload in Older Adults. *Brain Sciences*, 10/12, pp. 994, 2020.
- [Ge15] Gernsbacher, M. A.: Video captions benefit everyone. *Policy insights from the behavioral and brain sciences*, 2(1), pp. 195-202; 2015.
- [HB22] Hartmann, C.; Bannert, M.: Lernen in virtuellen Räumen: Konzeptuelle Grundlagen und Implikationen für künftige Forschung. *MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung*, 47(AR/VR – Part 1), pp. 373–391, 2022.
- [Ma05] Mayer, R. E.: *Cognitive Theory of Multimedia Learning*. In (Mayer, R. E., Hrsg.): *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*, Cambridge University Press, pp. 31–48, 2005.
- [MJ08] Mayer, R. E.; Johnson, C. I.: Revising the redundancy principle in multimedia learning. *Journal of Educational Psychology*, 100(2), pp. 380–386, 2008.
- [Mu22] Mulders, M.: *Jenseits von Medienvergleichen: Komplexe Zusammenhänge des Lernens in Virtual Reality am Beispiel des Anne Frank VR House, 2022*, [https://duepublico2.uni-due.de/receive/duepublico\\_mods\\_00076929](https://duepublico2.uni-due.de/receive/duepublico_mods_00076929), accessed: 01/07/2025.
- [Mu23] Mulders, M.; Weise, M.; Schmitz, A.; Zender, R.; Kerres, M.; Lucke, U.: *Handwerkliches Lackieren mit Virtual Reality (HandLeVR): VR-basierter Kompetenzerwerb in der beruflichen Ausbildung*. *MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie Und Praxis Der Medienbildung*, 51, pp. 214-245, 2023.
- [Pa91] Paivio, A.: Dual coding theory: Retrospect and current status. *Canadian Journal of Psychology/Revue canadienne de psychologie*, 45(3), pp. 255, 1991.
- [Ra20] Radianti, J.; Majchrzak, T. A.; Fromm, J.; Wohlgenannt, I.: A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda. *Computers & Education*, 147, pp. 103778, 2020.
- [SAK11] Sweller, J.; Ayres, P.; Kalyuga, S.: *Cognitive Load Theory*. New York, NY, Springer, 2011.
- [TSW23] Trypke, M.; Stebner, F.; Wirth, J.: Two types of redundancy in multimedia learning: a literature review. *Frontiers in Psychology*, 14, pp. 1148035, 2023.

- [Sw05] Sweller, J.: The Redundancy Principle in Multimedia Learning. In (Mayer, R. E., Hrsg.): The Cambridge Handbook of Multimedia Learning. 1. Aufl.: Cambridge University Press, pp. 159-168, 2005.
- [Wi22] Wiepke, A.; Hildebrandt, C.; Hagen, N.; Krüger, A. S.; Lucke, U.; Banerji, A.: Das VR-Labor-Klassenzimmer zur Professionalisierung von Lehramtsstudierenden der Chemie. In: 20. Fachtagung Bildungstechnologien (DELFI) (pp. 177-182). Gesellschaft für Informatik eV., 2022.
- [Ze22] Zender, R.; Buchner, J.; Schäfer, C., Wiesche, D., Kelly, K.; Tüshaus, L.: Virtual Reality für Schüler: innen: Ein «Beipackzettel» für die Durchführung immersiver Lernszenarien im schulischen Kontext. MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung, 47, pp. 26-52, 2022.
- [Ze24] Zeller, D.; Bohrmann-Linde, C.; Mack, N.; Diekmann, C.; Schrader, C.: Virtual Reality für den Chemieunterricht. Nachrichten aus der Chemie, 72(6), pp. 15-20, 2024.