Hochschule für Technik Wirtschaft und Kultur Leipzig

Fakultät Informatik und Medien
Bachelorstudiengang Medieninformatik

Einsatz der Loci-Methode in VR zur Steigerung der Gedächtnisleistung

Bachelorarbeit
zur Erlangung des akademischen Grades
Bachelor of Science (B.Sc)

von

Jonas Gwozdz
(Matrikelnummer: 73054)

Erstprüfer: Prof. Dr. Kiran Varanasi
Zweitprüferin: Dr. Felicitas Kluger

Leipzig, den 4. November 2022

HTWK
Hochschule für Technik,
Wirtschaft und Kultur Leipzig

Kurzfassung

Diese Bachelorarbeit befasst sich mit der Erforschung der Loci-Methode in der virtuellen Realität. Die Loci-Methode ist ein Gedächtnisgerüst, bei dem die zu merkenden Inhalte gedanklich entlang einer Route in einer bekannten Umgebung platziert werden. Beim Erinnern laufen die Anwendenden diese Route erneut ab und sammeln auf dem Weg die Informationen wieder ein. Dies ist eine Vorgehensweise, die Menschen bereits seit der Antike nutzen, um sich Dinge zuverlässiger zu merken.

Für das Virtual-Reality-Experiment, welches im Rahmen dieser Bachelorarbeit konzipiert und mit 15 Teilnehmenden durchgeführt wurde, wurden die Teilnehmenden in drei Gruppen eingeteilt, in denen jeweils eine andere Variante der VR-Loci-Methode genutzt werden sollte. Die drei Varianten hatten gemeinsam, dass die Umgebung einer gewöhnlichen Wohnung nachempfunden war und dass die Anzahl der Begriffe auf 15 pro Durchgang festgelegt wurde. Teilnehmende der Variante 1 sahen in der virtuellen Umgebung lediglich die Begriffe als Text an zufälligen, aber festen Orten. In Variante 2 mussten die Teilnehmenden die Begriffe selbstständig in der virtuellen Umgebung platzieren und in Variante 3 waren die Begriffe wiederum an zufälligen aber festen Orten, jedoch waren die Begriffe diesmal zusätzlich durch Bilder visualisiert, die von einer künstlichen Intelligenz erstellt wurden. Zur Referenzwertfeststellung durchliefen alle Teilnehmenden zusätzlich drei Kontrolldurchgänge ohne die Verwendung einer Gedächtnismethode.

Die Arbeit behandelt den aktuellen Stand der relevanten Forschung, den Entwicklungsprozess der Anwendung, den verwendeten Versuchsaufbau und zuletzt die Ergebnisse und deren Diskussion.

Die Ergebnisse zeigen, dass alle VR-Varianten im Durchschnitt einen Vorteil gegenüber den Kontrolldurchgängen haben. Im direkten Vergleich der Ergebnisse liegt Variante 2 auf dem ersten Platz, gefolgt von Variante 3 auf dem zweiten Platz und zuletzt, nur mit einem geringen Vorteil gegenüber den Kontrollgruppen, Variante 1 auf Platz drei. Durch die geringe Stichprobengröße sind die Ergebnisse nicht stichhaltig und bilden vorerst nur eine Tendenz ab. Es bieten sich aber nichtsdestotrotz interessante Einblicke in die Wirkungsweise des VR-Gedächtnitrainings und den potenziellen Nutzen von künstlicher Intelligenz im Bereich der Gedächtnisforschung.

Besonderer Dank geht an Prof. Dr. Kiran Varanasi und Dr. Felicitas Kluger für ihre Zeit und Unterstützung bei der Erstellung dieser Arbeit. Ebenfalls vielen Dank an die freiwilligen Teilnehmenden, die sich die Zeit genommen haben, an meinem Experiment teilzunehmen und an Ariane Stolterfoht für die Berichterstattung über das Experiment.

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit selbstständig verfasst und nicht anderweitig zu Prüfungszwecken vorgelegt habe. Es wurden nur die in der Arbeit ausdrücklich benannten Quellen und Hilfsmittel benutzt. Wörtlich oder sinngemäß übernommenes Gedankengut habe ich als solches kenntlich gemacht.

Ort, Datum: _____ Unterschrift: _____

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis **IV**

Abbildungsverzeichnis **V**

Tabellenverzeichnis **VI**

1. Einleitung **1**
1.1. Gedächtnisgerüste 2
1.2. Lernziele und Ausblick auf das Experiment 5

2. Stand der Forschung **6**
2.1. Gedächtnisforschung 6
2.2. Virtuelle Realität 8
2.3. Medienerzeugung mittels künstlicher Intelligenz 10

3. Experiment **14**
3.1. Idee 14
3.2. Entwicklung 16
3.3. Hypothesen 20

4. Methoden **21**
4.1. Teilnehmende 21
4.2. Materialien 21
4.3. Prozedur 22
4.4. Datenanalyse 24

5. Ergebnisse **25**
5.1. Vergleich der Erfolgsquoten der VR-Durchgänge 25
5.2. Analyse der Dauer der Durchgänge 27

6. Diskussion **31**
6.1. Hypothesenbetrachtung 31
6.2. Beschränkungen des Experiment-Designs 34
6.3. Ideen für zukünftige Forschung 36

7. Fazit **38**

Literaturverzeichnis **I**

A. Anhang **VIII**

A.1. Vordruck der Einwillgungserklärung VIII

A.2. Verwendete DALL-E Bilder IX

Abbildungsverzeichnis

1.1. Illustration von einem Gedächtnispalast 3
1.2. Illustration eines Schülern in der virtuellen Realität 4

2.1. Rangfolge der Gedächtnisstrategien 7
2.2. Lernerfolg der Loci-Methode in konventionellen und virtuellen Umgebungen . 8
2.3. Beispieleingabe und Ausgabe für DALL-E 12
2.4. Vergleich der unterschiedlichen Modellgrößen von Google Parti 13

3.1. Begriffe an festen Orten 15
3.2. Begriffe werden von der Testperson platziert 15
3.3. Begriffe an festen Orten mit Bild 16
3.4. Grundriss der virtuellen Wohnung 17
3.5. Ansicht der virtuellen Umgebung während der Entwicklung 18
3.6. Klassendiagramm zur Begriffsverteilung 19

4.1. Bewegungslinie eines Probanden 23

5.1. Analyse der Erfolgsquoten je Variante 25
5.2. Verteilung der Differenz zwischen Kontroll- und VR-Durchgängen 26
5.3. Analyse der Kontroll- und VR-Durchgängen 27
5.4. Durchschnittliche Dauer der Durchgänge 28
5.5. Heatmap für Aufenthalt der Testpersonen 29

6.1. VR-Vertrautheit der Teilnehmenden 32

A.1. Von DALL-E generierte Bilder - erster Durchgang IX
A.2. Von DALL-E generierte Bilder - zweiter Durchgang X
A.3. Von DALL-E generierte Bilder - dritter Durchgang XI

Tabellenverzeichnis

2.1. Auswahl aktueller Produkte und Forschungsprojekte 11

3.1. Zimmeraufteilung und Einrichtungsgegenstände 17

4.1. Klassifizierung der Experimentvarianten 22
4.2. Protokolltabelle eines Durchgangs mit VR-Variante 1 24

5.1. Werte des Analysediagramms 5.1 26
5.2. Werte des Diagramm 5.4 28

6.1. Einordnungsskala der Teilnehmenden nach ihrer VR-Vertrautheit 32

1. Einleitung

Seit der Erfindung des Smartphones ist die Verwendung des eigenen Gedächtnisses stetig unattraktiver geworden, da wir unser sogenanntes „second brain“ immer an unserer Seite haben, welches sich viel zuverlässiger und mit weniger Aufwand an alle möglichen Informationen wie Telefonnummern, Geburtstage, Einkaufslisten und Weiteres erinnern kann (Liebherr u. a., 2020). Doch was, wenn der Schreckensfall eintritt und das Smartphone den Dienst verweigert? In diesem Fall ist es von Vorteil, das eigene Gedächtnis trainiert und wichtige Informationen im Kopf parat zu haben. Um dies zu bewerkstelligen, sind Gedächtnisgerüste ein bewährtes Hilfsmittel, mit dem sich Menschen bereits seit Jahrtausenden den Alltag erleichtern und ihre Merkfähigkeit trainieren (Yates, 1966). Die Loci-Methode ist eine dieser Gedächtnismethoden und wird im Anschluss genauer erläutert. Durch die Zuhilfenahme dieser und anderer Methoden kann man erwiesenermaßen die eigene Gedächtnisleistung um ein erstaunliches Maß erhöhen (Ericsson u. a., 1980; Twomey, 2021).

Ziel dieser Bachelorarbeit ist die Erforschung der Loci-Methode in der virtuellen Realität.

Dabei stelle ich zwei Forschungsfragen:

- Bietet es eine Gedächtnisleistungssteigerung, die zu merkenden Begriffe selbstständig in der virtuellen Umgebung zu platzieren?
- Bietet es eine Gedächtnisleistungssteigerung, wenn die zu merkenden Begriffe mit computergenerierten Bildern visualisiert sind?

Um dies zu erforschen, durchlaufen die Testpersonen jeweils einen Kontrolldurchgang, bei dem sie sich, ausdrücklich ohne den Einsatz einer Gedächtnismethode, nacheinander 3 Listen von je 15 Wörtern einprägen sollen. Danach werden die Teilnehmenden nach dem Prinzip des Between-Subjects Designs in eine von drei Gruppen eingeteilt (Charness u. a., 2012). Diese drei Gruppen werden verschiedene Umsetzungen der Loci-Methode in einer VR-Umgebung anwenden, die einer gewöhnlichen Wohnung nachempfunden ist, um sich erneut in drei Durchgängen jeweils 15 Wörter zu merken. Nach jedem Durchgang wird der Teilnehmende aufgefordert, 45 Sekunden zu warten und anschließend die gemerkten Begriffe zu notieren.

Die unterschiedlichen Versuchsentwürfe in der virtuellen Umgebung werden in Kapitel 3 genauer erläutert.

1.1. Gedächtnisgerüste

Ein Gedächtnisgerüst ist eine Struktur, die aus Informationen besteht, die den Anwendenden bereits bekannt ist. Die Informationen dienen als Verknüpfungsgrundlage für die neuen Informationen, welche die Anwendenden sich einprägen möchten. Bei der Verwendung werden die neuen Lerninhalte dann gedanklich mit diesen mentalen Ankern verknüpft, was dazu führt, dass beim Erinnern die Anker jene neuen Informationen bei sich tragen (Kluger u. a., 2022).

Dies macht es ohne viel Mühe möglich, sich an die neuen Informationen zu erinnern. Fallstudien von Ericsson u. a. (1980) und Staszewski (1990) haben gezeigt, dass sich die Gedächtnisleistung nach Training und Anwendung dieser Techniken um mehr als den Faktor 10 steigern lässt.

Gedächtnisstrategien wie diese können in vielen Lebenslagen von großer Hilfe sein. Von der Grundschule an kann man sich durch sie zum Beispiel das Auswendiglernen von Vokabeln oder historischen Fakten erleichtern. Im Studium ist das Wissen um die Anwendung dieser Methoden ebenfalls von großem Vorteil, wie man als Student, der diese Methoden nutzt, besonders zur Prüfungsvorbereitung feststellen kann. Auch im höheren Alter verlieren diese Gedächtnisgerüste nicht an Bedeutung. Hochbetagte Menschen können von den Methoden profitieren, indem sie versuchen, damit dem natürlichen Verfall des Gedächtnis entgegenzuwirken (Anschutz u. a., 1987; Kaye u. a., 1997).

Auch in den regelmäßig stattfindenden Gedächtnismeisterschaften kann man die beachtliche Leistung dieser Methoden in Aktion erleben (Foer, 2011). Erstaunlicherweise sind die Ergebnisse, die sich mit diesen Methoden erzielen lassen, nicht von neurologischen und kognitiven Besonderheiten der Anwendenden abhängig (Chase u. Ericsson, 1981; Ericsson u. Staszewski, 1989; Maguire u. a., 2003; Wilding u. Valentine, 2006), sondern können durch Training von annähernd jeder Person erlernt werden (Ericsson, 2003). Zu den bekanntesten Gedächtnisgerüsten zählt der sog. Gedächtnispalast, auch bekannt als Loci-Methode (Foer, 2011; Kluger u. a., 2022; Spence, 1984), der in dieser Arbeit untersucht werden soll.

Die Loci-Methode

Laut Überlieferungen fand die Loci-Methode bereits im 5. Jahrhundert vor Christus ihren Ursprung bei dem antiken griechischen Philosophen Simonides von Keos (Yates, 1966). Bei dieser Methode benutzt man eine Umgebung, in der man sich gut auskennt, als Gedächtnisgerüst (Worthen u. Hunt, 2011).

Die zu merkenden Informationen werden gedanklich entlang einer Route in dieser Umgebung platziert. Will man sich nun an die neuen Informationen erinnern, so muss man sich nur vorstellen, wie man die Umgebung abläuft und die platzierten Begriffe auf entlang des Weges wieder „aufsammelt“ (Caplan u. a., 2019). Mithilfe dieser Methode konnte die Gedächtnis-

leistung der Versuchsteilnehmenden bereits nach einer kurzen Einweisung deutlich gesteigert werden (Caplan u. a., 2019; Kluger u. a., 2022).

Abb. 1.1.: Der Gedächtnispalast

Möchte man sich zum Beispiel einen Einkaufszettel einprägen, stellt man sich vor, wie man das eigene Zuhause Raum für Raum durchgeht und auf dem Weg die zu kaufenden Dinge platziert. Beispiele für das Lernen eines Einkaufszettels:

- **Spaghetti, Wohnzimmer**: Die Spaghetti hängen im Wohnzimmer von der Deckenlampe.
- **Haferflocken, Badezimmer**: Die Badewanne ist gefüllt mit Haferflocken.
- **Pizzateig, Korridor**: Der Boden des Flures ist mit Pizzateig ausgelegt.

Je skurriler, lustiger oder anstößiger die Vorstellungen, umso besser lassen sich die Verknüpfungen, laut dem Autor und *Grand Master of Memory*[1] Ed Cooke[2], merken. Wenn man nun diese Räume erneut gedanklich durchläuft, sollte es einem leicht fallen, sich auch an die darin platzierten Lebensmittel zu erinnern.

Auch im Vergleich mit anderen Gedächtnisstrategien, wie der Körpermethode oder der Autobiografischen Methode, schneidet die Loci-Methode sehr gut ab. Im direkten Vergleich der Strategien erreicht sie, gemeinsam mit der ebenfalls vielversprechenden Körpermethode, das beste Ergebnis (Kluger u. a., 2022).

Gedächtnistraining in VR

Für gewöhnlich wird die Loci-Methode ausschließlich mental ausgeführt. Moderne Technik bietet uns nun die Möglichkeit, auch virtuelle Gedächtnispaläste zur Steigerung unserer Merkleistung zu verwenden. VR wird bereits in anderen wissenschaftlichen Bereichen wie der Chemie verwendet, um den Studierenden das Lernen der dreidimensionalen Molekülstrukturen zu vereinfachen (Won u. a., 2019), oder in der Mechatronik, um den Aufbau bestimmter Maschinen besser zu verstehen (Kucera u. a., 2018). Der Vorteil dieser räumlichen Dimension kann auch für Gedächtnistraining verwendet werden. Bisherige Untersuchungen zu diesem Thema beschränkten sich auf ein bereits 2012 veröffentlichtes Experiment, in dem die Teilnehmenden auf einem Computermonitor drei verschiedene, der echten Welt nachempfundene

[1] Dieser Titel wird von der International Association of Memory verliehen. Voraussetzungen dafür sind: Man kann sich 1000 zufällige Ziffern in einer Stunde merken, man kann sich die Reihenfolge von 10 Kartendecks in einer Stunde merken, und die Reihenfolge eines Kartendecks in unter zwei Minuten merken. (https://artofmemory.com/wiki/Grand_Master_of_Memory/, zuletzt aufgerufen am 01.11.2022 11:13Uhr)

[2] Ed Cooke im Gespräch mit Joshua Foer, Foer J. Moonwalking with Einstein : The Art and Science of Remembering Everything. New York: Penguin Press; 2011.

Umgebungen als Gedächtnisgerüst nutzten. Dort wurde festgestellt, dass die Loci-Methode in der virtuellen Umgebung genauso gut funktioniert wie in der persönlichen Umgebung (Legge u. a., 2012). Seitdem wurde die Technologie rasant weiterentwickelt und die modernen VR Headsets wie die Oculus Quest, die für das folgende Experiment verwendet wurde, bieten viele neue Möglichkeiten. Eine dieser Möglichkeiten wäre die Erschaffung virtueller Umgebungen zur Verwendung mit der Loci-Methode.

Die virtuelle Realität bietet ein intensiveres und realistischeres Erlebnis als traditionelle Gedächtnisstützen wie Karteikarten oder rein mentale Gedächtnispaläste (Slater u. Sanchez-Vives, 2016). Dadurch kann es leichter sein, wirksame mentale Verknüpfungen zwischen den zu erinnernden Elementen und den virtuellen Orten herzustellen. Der Einsatz der virtuellen Realität bietet auch eine flexiblere Möglichkeit, Gedächtnisstützen zu erstellen und anzupassen. Diese Flexibilität kann für Menschen wichtig sein, die aufgrund von Lernschwierigkeiten oder anderen körperlichen oder mentalen Beeinträchtigungen Schwierigkeiten haben, herkömmliche Gedächtnisstützen zu benutzen (Slater u. Sanchez-Vives, 2016). Dass Gedächtnisstrategien bei Menschen mit Gedächtnisschwächen, die in Folge einer Hirnverletzung oder Krankheit auftreten, einen positiven Effekt zeigen können, wurde von Richardson (1995) untersucht. Der Einsatz der virtuellen Realität zur Verbesserung der Gedächtnisleistung ist ein vielversprechender Forschungsbereich, der das Leben von Menschen mit Gedächtnisstörungen oder Schwächen verbessern kann. Vor allem in der Schullaufbahn könnte die Nutzung von VR zum Lernen einen Vorteil bieten, der bisher nicht genutzt wird (Wolfartsberger u. a., 2022).

Abb. 1.2.: Lernen in VR

1.2. Lernziele und Ausblick auf das Experiment

In dem Experiment dieser Bachelorarbeit wird, anstatt einer 3D-Anwendung auf einem zweidimensionalen Bildschirm, eine interaktive VR-Umgebung verwendet, welche den Teilnehmenden ein immersives Erlebnis bietet. Die Teilnehmenden können sich innerhalb einer virtuellen Wohnung mithilfe von zwei Controllern frei bewegen. Die detailreiche Einrichtung dieser Wohnung bietet viele mentale Anker für die Verwendung der Loci-Methode. Sofern die Ergebnisse des Experiments den im Kapitel 3.3 gestellten Hypothesen entsprechen, kann man davon ausgehen, dass die Welt der virtuellen Realität noch viel Potenzial für die volle Entfaltung des menschlichen Gedächtnis bieten kann, welches in Folgestudien untersucht werden sollte. Somit ist die Motivation hinter dieser Bachelorarbeit, den ersten Schritt in die Richtung der Gedächtnisforschung in Verbindung mit VR sowie künstlicher Intelligenz zu gehen, auf dem weitere Forschung aufbauen kann.

Die Ziele dieser Bachelorarbeit sind:

- Konzeption und Entwicklung einer VR-Umgebung, die die Verwendung der Loci-Methode ermöglicht
- Entwicklung der verschiedenen Varianten der VR-Loci-Methode
- Evaluieren, ob die Verwendung der Loci-Methode in VR einen Vorteil gegenüber dem Einprägen von Wörtern ohne Anwendung einer Gedächtnismethode bietet
- Herausfinden, wie man die Loci-Methode in VR optimieren kann, um die bestmögliche Merkleistung zu ermöglichen und welche Faktoren dazu am meisten beitragen.

Diese Ziele werden in dem im Anschluss erläuterten Experiment bearbeitet und untersucht.

2. Stand der Forschung

2.1. Gedächtnisforschung

Neben der bereits erläuterten Loci-Methode gibt es noch weitere erfolgversprechende Gedächtnismethoden. Diese wurden bereits miteinander verglichen, um festzustellen, welche der Methoden am wirksamsten sind (Roediger, 1980). Des Weiteren wurde bereits untersucht, wie gut die Loci-Methode in virtuellen Umgebungen funktioniert (Legge u. a., 2012). Diese beiden Studien legen eine gute Grundlage für die weitere Erforschung dieses Themenkomplexes.

Vergleich verschiedener Gedächtnisgerüste

In diesem Experiment von Kluger u. a. (2022) wurden die 226 Studierenden, die sich als Probanden zur Verfügung stellten, in vier Gruppen eingeteilt. Diese mussten sich anschließend mit der ihnen zugewiesenen Strategie 10 Listen mit je 10 Wörtern merken.

Die vier verglichenen Gedächtnisgerüste waren:

- **Loci-Methode**: Bei dieser Methode dient eine Umgebung oder ein Ort als Gedächtnisgerüst. Neue Lerninhalte werden dabei mit Orten entlang einer Route verknüpft.
- **Autobiografische Methode**: Durch die autobiografische Methode werden Lerninhalte in Geschichten aus dem eigenen Leben verankert. Dies ist für ältere Menschen im Vergleich zu den räumlich-visuellen Gedächtnisstrategien besonders interessant, da sie auf ihre persönlichen Erinnerungen zurückgreifen können.
- **Körpermethode**: Die Körpermethode ist eine Gedächtnisstrategie, bei der man die zu lernenden Inhalte gedanklich mit Stellen auf dem eigenen Körper in einer festen Reihenfolge verknüpft.
- **Aktivitäts-Methode**: Bei der Aktivitäts-Methode untergliedert man eine Aktivität aus dem Alltag, wie zum Beispiel eine Morgenroutine, in ihre einzelnen Schritte und benutzt diese als Anker für zu lernende Inhalte.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigen, dass die Körpermethode und die Loci-Methode vergleichbar gute Ergebnisse liefern. Die autobiografische Methode konnte ebenfalls die Gedächtnisleistung der Studierenden deutlich steigern. Bei der Aktivitäts-Methode war keine signifikante Gedächtnisleistungssteigerung feststellbar, anders als bei den anderen Methoden.

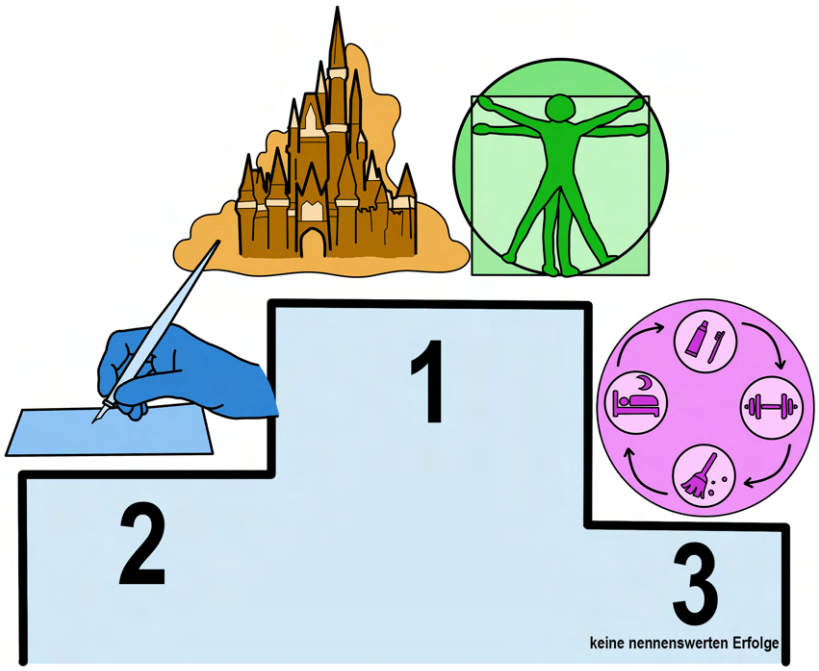


Abb. 2.1.: Rangfolge der Gedächtnisstrategien: Die Loci-Methode teilt sich mit der Körpermethode den ersten Platz, gefolgt von der autobiografischen Methode. Die Aktivitäten-Methode hat in diesem Vergleich am schlechtesten abgeschnitten.

Anwendung der Loci-Methode in virtuellen Umgebungen

In einer 2012 veröffentlichten Studie wurde untersucht, ob virtuelle Umgebungen, in diesem Fall eine 3D Umgebung auf 2D Computermonitor, für die Loci-Methode genauso gut verwendbar sind wie vertraute Umgebungen im Kopf der Anwendenden. An dieser Studie nahmen 142 Personen teil. Die Probanden waren im Alter von 17 bis 27 Jahren und wurden in drei Gruppen eingeteilt (Legge u. a., 2012).

- **Kontrollgruppe**: Diese Gruppe erhielt keine Einführung in die Nutzung der Gedächtnismethode
- **Konventionelle Loci-Gruppe**: Diese Gruppe verwendete ihnen bekannte, persönliche Umgebungen als Gedächtnisgerüst für die Loci-Methode
- **virtuelle Loci-Gruppe**: Diese Gruppe verwendete eine virtuelle Umgebung als Gedächtnisgerüst, welche sie kurz zuvor erkundet hatten.

Diese Gruppen mussten sich, mit der Ihnen zugeteilten Methode, 10 Listen mit je 11 Begriffen einprägen und wiedergeben.

Die Ergebnisse belegen, dass die virtuelle Loci-Gruppe nach nur fünf Minuten Training dieselben Gedächtnisleistungen wie die konventionelle Gruppe erzielte. Des Weiteren waren auch beide Methoden effektiv, wenn die Reihenfolge der Begriffe in die Bewertung mit einfloss.

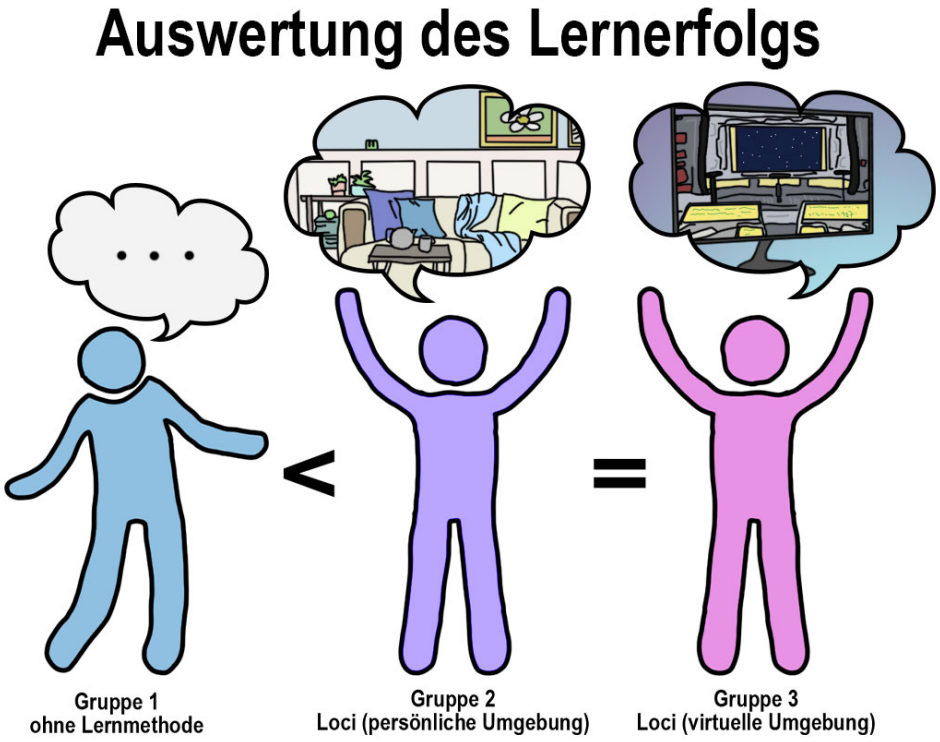


Abb. 2.2.: Die beiden Loci-Gruppen schnitten besser ab als die Gruppe ohne Gedächtnismethode, egal ob in einem virtuellen oder konventionellen Setting

Besondere Relevanz für diese Bachelorarbeit erhält diese Studie dadurch, dass sie beweist, dass virtuelle Umgebungen gut für die Anwendung der Loci-Methode genutzt werden können.

2.2. Virtuelle Realität

Im Bereich der virtuellen Realität gibt es häufig neue Erkenntnisse und Produkte, die stets neue Möglichkeiten und Verbesserungen mit sich bringen. Auch in der VR-Forschung werden stetig neue Publikationen veröffentlicht, welche die virtuelle Realität auf ihre Eigenschaften und ihren möglichen Nutzen untersuchen.

Einige für diese Bachelorarbeit interessante Erkenntnisse im Bereich der VR sind:

- **Bedeutung des sichtbaren Bereiches (FOV)**: Diese systematische Untersuchung hat ergeben, dass ein größeres Sichtfeld von 65° in der VR die Orientierung und das Navigieren im Vergleich zu einem engeren Sichtfeld von 32,5° deutlich erleichtern (Grinyer u. Teather, 2022). Dies ist eine wichtige Information für die Konfiguration der Gedächtnisanwendung, die für diese Bachelorarbeit entwickelt wurde und sich an dem Wert von 65° Blickfeld orientiert.

- **Einfluss eines Beobachters auf VR-Nutzende**: In einer weiteren Studie wurde festgestellt, dass es die kognitive Belastung eines VR-Anwendenden erhöht, wenn er von einer anderen Person beobachtet wird (Rettinger u. a., 2022). Dies lässt schlussfolgern, dass auch bei dem Experiment dieser Bachelorarbeit die Anwesenheit des Experimentleiters einen Einfluss auf die Teilnehmenden hat, welcher in der Auswertung gegebenenfalls berücksichtigt werden muss.

- **Erhöhte Anzahl visueller Elemente zur besseren Orientierung**: Diese Anfang 2021 veröffentlichte Arbeit hat untersucht, wie das Hinzufügen visueller Elemente zu einer VR-Umgebung den Menschen helfen kann, sich besser in dem virtuellen Raum zu orientieren. Die Forscher entwickelten eine Umgebung, die bereits einige Orientierungspunkte enthielt, und baten die Menschen dann, zu versuchen, sich darin zurechtzufinden. Die Ergebnisse zeigen, dass das Hinzufügen einer Karte oder von 3D-Gebäuden die Orientierung erleichterte, dass aber beides zusammen nur eine kleine Verbesserung darstellte (Handali u. a., 2021). In der Umgebung, die für diese Bachelorarbeit angefertigt wurde, gibt es bereits zahlreiche visuelle Orientierungspunkte, welche die Teilnehmenden als Gedächtnisstütze nutzen können. Somit ist das Hinzufügen weiterer optischer Hilfsmittel für die Anwendenden, wie zum Beispiel einer Übersichtskarte, nicht notwendig.

Ein ebenfalls wichtiger Aspekt der virtuellen Realität ist, dass immer mehr Menschen selbst eine VR-Brille besitzen (Kelly u. a., 2021) und somit schon Erfahrung mit der Technik gesammelt haben, was den Einstieg in die experimentelle Benutzung dieser Geräte vereinfacht, da keine Einarbeitungszeit mehr nötig ist. Zudem könnten die Besitzer solcher Headsets diese auch zu Hause verwenden, um Lern- oder Gedächtnistrainingssoftware zu nutzen.

Visualisierung

In der Wissenschaft ist die Fähigkeit, Informationen zu verarbeiten und zu visualisieren, von entscheidender Bedeutung. Dies ist besonders wichtig, wenn es darum geht, komplexe

Konzepte zu verstehen oder neue Ideen zu entwickeln. Die Visualisierung ist auch ein wesentlicher Bestandteil der Wissenschaftskommunikation, da sie uns ermöglicht, anderen unsere Gedanken mitzuteilen (van Wijk, 2005).

In der Auswertung dieses VR-Gedächtnisexperiments ist die Visualisierung ein wesentlicher Bestandteil, um die Ergebnisse des Experiments verständlich darzustellen und zu analysieren. Die Visualisierungen können in Form von Diagrammen, Tabellen, Grafiken oder Bildern erstellt werden und sollten so gestaltet sein, dass sie sowohl für den Autor als auch für die Lesenden leicht zu verstehen sind (Healey u. Enns, 2012).

Aktuelle Forschung im Bereich der Visualisierung hat zu der Idee beigetragen, die Experimente so aufzuzeichnen, dass man die Bewegung der Teilnehmenden einfach nachvollziehen kann. Der Artikel von Ajdadilish u. a. (2022) verdeutlicht, wie wichtig die Perspektive bei der Auswertung eines VR-Versuches ist. Sieht man den Vorgang nur durch die Augen des Teilnehmenden, der das VR-Headset auf dem Kopf trägt, sind Informationen wie der Bewegungsverlauf im Nachhinein nur noch schwer nachzuvollziehen. Deshalb empfiehlt sich eine Top-Down Ansicht zuzüglich zu der Frist-Person-View der Teilnehmenden.

Zudem wurde von Wagner u. a. (2021) untersucht, ob die Interaktion mit Daten in VR besser funktioniert, wenn die Nutzer virtuelle Hände sehen, oder ob es besser ist, wenn sie einen Raypointer benutzen, der eine gerade Linie von der Position der Hand aus zieht, mit dem man auf Elemente auch aus der Ferne zugreifen kann. Das Ergebnis zeigte, dass eine Kombination aus beiden Varianten bei 60% der Teilnehmenden am beliebtesten war. Durch die Kombination konnten die Testaufgaben in 23% weniger Zeit abgeschlossen werden und die Fehlerrate stieg lediglich um 5%. In dem Experiment dieser Bachelorarbeit werden die Teilnehmenden der Variante 2 ebenfalls mit der Umwelt interagieren. Für die Umsetzung dieser Funktion nutzt die Experiment-Software virtuelle Hände in Form der Controller, da man dadurch tatsächlich zu der Stelle im Raum greifen muss, mit der man interagieren will. Dies bietet eventuell einen Vorteil für die Einprägsamkeit der Begriffe im Vergleich zur Platzierung per Raycasting, bei der man nur auf die gewünschte Stelle zeigen muss, ohne viel Bewegung zu benötigen.

2.3. Medienerzeugung mittels künstlicher Intelligenz

In den letzten Monaten hat sich kein Feld der Computerwissenschaft so rasant entwickelt wie der der generativen Netzwerke. Diese Netzwerke können Nutzereingaben in Medien transformieren, indem sie auf große Trainingsdatensätze zurückgreifen. Zu den Arten der erzeugten Medien gehören zum Stand der Fertigstellung dieser Bachelorarbeit Text, Bilder, Audio, Video, 3D-Modelle, sowie auch Kombinationen aus den Genannten (Ho u. a., 2022; Singer u. a., 2022). Besonders kreative Anwendungen dieser Technik sind unter anderem die automatische

Verschönerung von Blogbeiträgen durch KI-generierte Bilder, oder die Erzeugung von Animationen aus mehreren generierten Bildern, welche in einem weiteren KI-Arbeitsschritt durch flüssige Bewegungen ineinander übergeführt werden. Der Recherche zufolge wurde der Einsatz von KI-generierten Bildern für die Gedächtnisleistungssteigerung noch nicht untersucht.

Tabelle 2.1.: Auswahl aktueller Produkte und Forschungsprojekte

Medium	Produktname
Text	GPT-3[1] (OpenAI)
Bild	DALL-E[2] (OpenAI), Midjourney [3], StableDiffusion[4] (stability.ai), Imagen[5] (Google)
Audio	Uberduck[6], Resemble.AI[7]
Video	Make-A-Video[8] (Meta), Imagen Video[9] (Google)

Computergenerierte Bilder

DALL-E 2, oder auch kurz DALL-E genannt, ist eine künstliche Intelligenz, die von OpenAI entwickelt wurde. Mithilfe von DALL-E können die Anwendenden Bilder erstellen, die auf Textbeschreibungen basieren (Ramesh u. a., 2021). So kann man beispielsweise eine Beschreibung wie „ein Hund, der einen Ball apportiert“ in ein Bild umwandeln lassen. DALL-E verwendet ein neuartiges neuronales Netz, das auf dem 12-Mrd.-Parameter-Modell GPT-3 aufbaut in Verbindung mit dem Zero-Shot-Lernmodell CLIP, das mit 400 Millionen Bildpaaren mit Textbeschriftungen aus dem Internet trainiert wurde (Ramesh u. a., 2021). Zur Erzeugung eines Bildes beginnt DALL-E mit einem zufällig generiertem Rauschen, welches es dann, stark vereinfacht ausgedrückt, Stück für Stück modifiziert und dabei nach jedem Schritt wieder überprüft, ob das erzeugte Bild dem geforderten Text entspricht. Wird dies oft genug wiederholt, ca. 50 bis 100 mal, erhält man ein visuell stimmiges Bild, das den Inhalt der Texteingabe widerspiegelt.

Nutzen für das Gedächtnistraining

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, das Merken von Begriffen durch computergenerierte Bilder zu erleichtern. Eine Möglichkeit besteht darin, ein Bild mit dem zu lernenden Begriff zu

[1] GPT-3 Demonstration unter: https://openai.com/api/
[2] DALL-E selbst Ausprobieren unter: https://labs.openai.com/
[3] Midjourney-Website, über die der Zugriff auf möglich ist: https://www.midjourney.com/home/
[4] StableDiffusion Website: https://stability.ai/blog/stable-diffusion-public-release
[5] Blogbeitrag zu Google Imagen: https://imagen.research.google/
[6] Sprachgenerator Uberduck hier selbst ausprobieren: https://uberduck.ai/
[7] Website von Resemble.ai: https://www.resemble.ai/
[8] Projektwebsite von Metas Make-A-Video: https://makeavideo.studio/
[9] Forschungswebsite zu Googles Imagen Video: https://imagen.research.google/video/
Die Links der Fußnoten 1 bis 9 wurden zuletzt am 02.11.2022 um 12:01 aufgerufen.

verknüpfen. So kann man sich beispielsweise ein Bild einer Katze generieren, wenn man das Wort „Katze“ lernen möchte. Eine andere Möglichkeit besteht darin, ein Bild mit einem bestimmten Merkmal des zu lernenden Begriffs zu verknüpfen. So kann man sich beispielsweise ein Bild eines schwarzen Katers verwenden, wenn man das Wort „schwarz“ lernen möchte. Diese Methode ist besonders hilfreich, wenn man sich mehrere Begriffe gleichzeitig merken möchte (Sahadevan u. a., 2021).

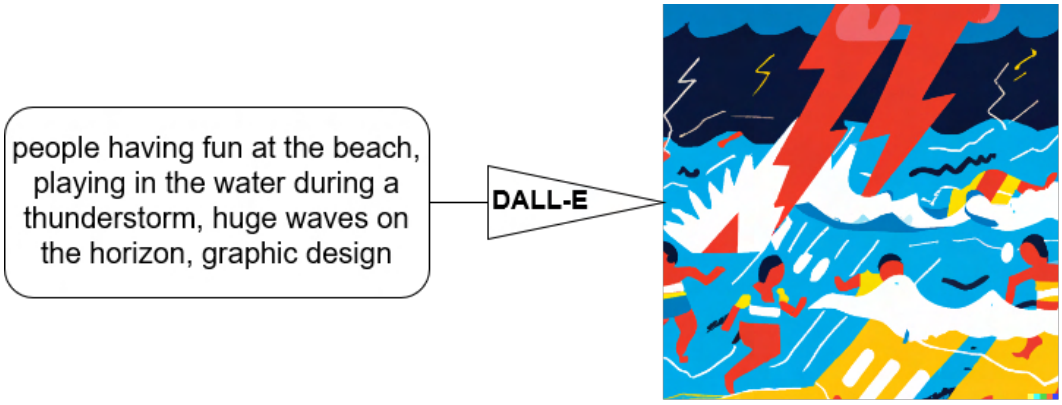


Abb. 2.3.: links: Text, der vom Nutzenden eingegeben wurde; rechts: Bild, das DALL-E auf Basis des Textes generiert hat

Die besondere Agilität, die diese computergenerierten Bilder mit sich bringen, kann genutzt werden, um besonders einprägsame Bilder zu erzeugen, indem man auch angibt, in welchem Stil das Bild gestaltet sein soll. Beispiele für mögliche Stile sind abstrakte Kunst, Expressionismus, Futurismus, Realismus oder Minimalismus. Der Kreativität sind hierbei keine Grenzen gesetzt (Yu u. a., 2022). Für eine beispielhafte Umsetzung dieser Stile finden Sie im Anhang eine Galerie der hier verwendeten DALL-E Bilder.

Limitationen der Technik

Die Technologie der computergenerierten Bilder ist bei Weitem noch nicht perfekt. Besondere Schwierigkeiten hat zum Beispiel DALL-E 2 damit, Text abzubilden und Attribute wie Farben oder Anzahlen korrekt auf Objekte zuzuweisen (Ramesh u. a., 2021). Ein Beispiel für die Textprobleme liefert das Bild A.2(k), in dem der Text vermutlich „Rabbit Dog“ lauten sollte, aber als „Rabtar bobog“ visualisiert wurde. Weitere bekannte Probleme sind unter anderem Objektverzerrung, unlogische Objektplatzierung oder unnatürliche Übergänge zwischen dem Vorder- und Hintergrund des Bildes (Ramesh u. a., 2021). Ein erst Ende Juni 2022 erschienenes Paper, welches in Zusammenarbeit verschiedener Google Research Team entstanden ist, scheint diese Probleme gelöst zu haben. Sie nennen ihr generatives Modell „Parti“ (Pathways Autoregressive Text-to-Image model). Dieses Modell nutzt einen anderen

Ansatz als DALL-E, der sich „autoregressive image generation“ nennt (Vaswani u. a., 2017). Ein autoregressives Deep-Learning-Modell ist ein Modell, das Deep-Learning-Algorithmen verwendet, um den zukünftigen Zustand eines Systems anhand seines aktuellen Zustands vorherzusagen. Das Modell wird anhand eines Datensatzes vergangener Systemzustände trainiert, und die Vorhersagen des Modells beruhen auf der Annahme, dass der künftige Zustand des Systems seinen vergangenen Zuständen ähnlich sein wird (Graves, 2013). Das Parti Modell kann beliebig von 350 Millionen bis zu 20 Milliarden Parametern skaliert werden. Dabei wurde von einem unabhängigen Publikum bestätigt, dass im Vergleich eines 3 Millionen und 20 Milliarden Parameter Modells das Größere in 63.2% der Fälle bevorzugt wird, wenn die Bildqualität und der Realismus bewertet wird, und in 75.9%, wenn die Ähnlichkeit des Bildes zu dem eingegebenem Text bewertet wird (Yu u. a., 2022).

Abb. 2.4.: Der Vergleich der unterschiedlichen Modellgrößen von Google Parti zeigt, dass die Qualität der Bilder in direktem Verhältnis zu der Größe des Modells steht (Yu u. a., 2022).

Der Ansatz der autoregressiven Generierung hat viel Potenzial, wenn es um die Erzeugung von Medien geht. Es gibt aktuell, neben den Bildern (Chen u. a., 2020), auch beeindruckende Ergebnisse im Bereich der Text- (Radford u. a., 2019) und der Audioerzeugung (Dhariwal u. a., 2020) mittels autoregressiven Modellen.

3. Experiment

Dass die Loci-Methode auch in virtuellen Umgebungen eine deutliche Steigerung der Merkleistung nach sich zieht, konnte bereits experimentell nachgewiesen werden (Legge u. a., 2012). Das Experiment dieser Bachelorarbeit untersucht nun drei verschiedene Ansätze der Loci-Methode in VR und vergleicht diese miteinander.

3.1. Idee

Die zu Grunde liegende Idee dieses Experiments ist, eine virtuelle Umgebung zur Verfügung zu stellen, die als räumliche Gedächtnisstütze dient. Diese ist einer gewöhnlichen Wohnung nachempfunden, damit die Teilnehmenden sich schnell an das gegebene Umfeld gewöhnen. Die drei verschiedenen Ansätze, die hier untersucht werden, unterscheiden sich sowohl durch die Interaktivität als auch in der visuellen Darstellung der zu merkenden Inhalte. In jeder der drei Varianten haben die Teilnehmenden absolute Bewegungsfreiheit innerhalb der virtuellen Testumgebung und der Versuch wird dreimal mit variierenden Orten, an denen die Begriffe verteilt sind und mit verschiedenen, zufällig ausgewählten Wörtern wiederholt. Das maximale Zeitlimit pro Durchgang sind 5 Minuten.
Diese drei Versuchsanordnungen wurden jeweils in Verbindung mit einer experimentellen Feststellung des Referenzwertes ohne bestimmte Gedächtnismethode wie folgt umgesetzt.

Referenzwertfeststellung: ohne VR, Begriffe auf Bildschirm angeordnet

Zur Ermittlung des Referenzwertes durchlaufen die Teilnehmenden zuerst drei Durchgänge eines Gedächtnistests ohne die Verwendung von VR-Technik. Die 15 zu merkenden Begriffe werden in drei Spalten mit je 5 Begriffen vor einem schwarzen Hintergrund präsentiert. Die minimalistische Gestaltung dient dazu, dem Teilnehmenden ein ablenkungsfreies Umfeld zu bieten und den Fokus auf den Wörtern zu halten. Vor der Durchführung dieser Versuche erfolgt keinerlei Einweisung in eine Gedächtnisstrategie, und die Teilnehmenden werden darauf hingewiesen, dass falls sie bereits eine Gedächtnisstrategie kennen sollten, diese nicht anzuwenden. Nachdem 5 Minuten vergangen sind oder der Teilnehmende das Zeichen gibt, dass er die Begriffe nicht länger betrachteten möchte, wartet er 45 Sekunden und darf die Begriffe dann notieren.

Variante 1: Begriffe bereits verteilt, ohne Visualisierung

Testpersonen, die diese Variante zugeteilt bekommen, finden sich in der virtuellen Wohnung wieder, in der die 15 zu merkenden Wörter bereits platziert wurden. Die Aufgabe lautet nun, die Begriffe möglichst mit gut vorstellbaren Eselsbrücken mit dem Ort, an dem sie sich befinden, zu verknüpfen. Diese Variante ist die simpelste der drei untersuchten Methoden. Die Teilnehmenden müssen nicht selbst mit der Welt interagieren und bekommen zu dem Begriff keine zusätzliche visuelle Repräsentation. Allein der Ort, an dem sich der Begriff befindet, muss als Gedächtnisstütze dienen.

Abb. 3.1.: Begriffe an festen Orten

Variante 2: Begriffe von Testperson platziert, ohne Visualisierung

Die zweite Variante reizt die Funktionen des verwendeten VR-Headsets am meisten aus, da sie der Testperson ermöglicht, die zu merkenden Begriffe selbstständig in der Wohnung zu verteilen. Dieser Ansatz erhöht die Interaktivität des Versuches deutlich und macht aus dem eher passiven Ansatz der Variante 1 eine aktive Erfahrung. Die Hoffnung ist, dass diese Selbstbeteiligung den Teilnehmenden ermöglicht, passendere Orte für die jeweiligen Begriffe zu finden, an denen man sich bessere Eselsbrücken als Gedächtnisstütze ausdenken kann, als wenn die Begriffe an zufälligen Orten vorplatziert sind. Sollte die Testperson mit der getroffenen Platzwahl eines Wortes nicht zufrieden sein, kann sie beliebig viele Schritte rückgängig machen und die Wörter erneut platzieren.

Abb. 3.2.: Begriffe werden von der Testperson platziert

Variante 3: Begriffe bereits verteilt, mit Visualisierung

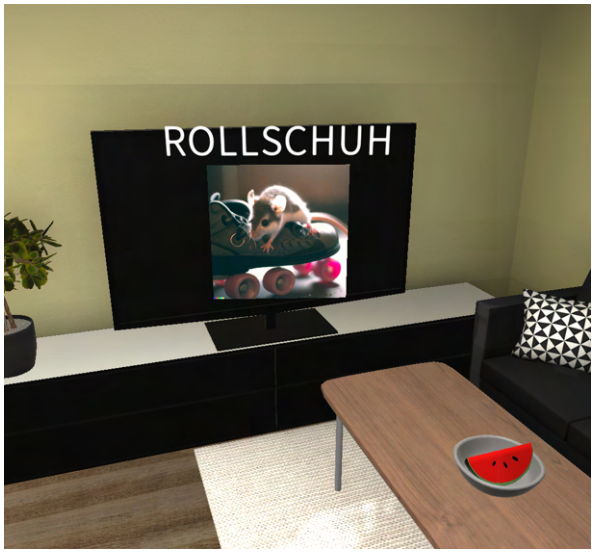


Abb. 3.3.: Begriffe an festen Orten mit Bild

In der dritten und letzten Variante des Experimentes werden die zu merkenden Begriffe wie in der ersten Variante an zufälligen Orten platziert, allerdings werden sie nun von Bildern begleitet, die von der künstlichen Intelligenz DALL-E erstellt wurden. Die Visualisierung der Wörter liefert möglicherweise einen zusätzlichen Anker, der in Verbindung mit dem Ort eine signifikante Gedächtnisleistungssteigerung ermöglichen könnte. Die Begriffe werden in diesem Durchgang nicht zufällig zugeteilt. Es gibt insgesamt 45 Begriff-Bild Paare, von denen je Durchgang 15 platziert werden. Diese Verkleinerung der verfügbaren Begriffe ist dadurch entstanden, dass das generieren von 477 Begriffen (gesamter Word-Pool) als KI Bilder zum Zeitpunkt der Anwendungsentwicklung im Juli 2022 noch zu zeit- und kostenaufwendig gewesen wäre. Da sich für die Teilnehmenden allerdings keiner der Begriffe wiederholt, wird dies die Ergebnisse nicht beeinträchtigen.

3.2. Entwicklung

Bei der Entwicklung der VR-Anwendung orientierte ich mich an dem Vorgehen, dass bereits in meinen vorherigen VR-Projekten[1] gut funktioniert hat.

Begonnen wurde mit dem Entwurf der Umgebung in der 3D Software Blender. Danach wurde ein System mit der Spiele Engine Unity entwickelt, welches die Begriffe aus einer .csv Datei ausließt und sie zufällig auf Elemente in der virtuellen Welt zuweist, welche die Informationen zu den Begriffen speichert und ermöglicht, die Wörter in der Umgebung an bestimmten Orten darzustellen. Zuletzt wurde die Interaktivität der Teilnehmenden mit der Umgebung implementiert, was besonders für die zweite Variante des Experiments essenziell war. Die einzelnen Schritte werden nun näher erläutert.

[1] Bisherige Projekte:
2021 - VR Disco, in der Nutzer während des Corona-Lockdowns in VR mit virtuellen Avataren tanzen konnten, im Rahmen des Moduls „Einführung in die virtuelle und erweiterte Realität (VR/AR)“
2022 - VR-Sprach-Lernsoftware für medizinisches Personal aus dem Ausland, im Rahmen des Praktikums bei Inlingua Halle

Modellierung

Bei dem Entwurf der Umgebung, die als Gedächtnispalast dienen soll, orientierte ich mich am Aufbau einer gewöhnlichen mitteleuropäischen Wohnung. Ich begann damit, den Grundriss als 2D Fläche zu modellieren, welche ich dann nach oben extrudiert habe, um einheitliche Wände zu erhalten. Im Anschluss habe ich das Mesh der Wände in kleinere Bereiche unterteilt, um die Fenster und Türrahmen hineinschneiden zu können. Die Wohnung ist wie folgt strukturiert.

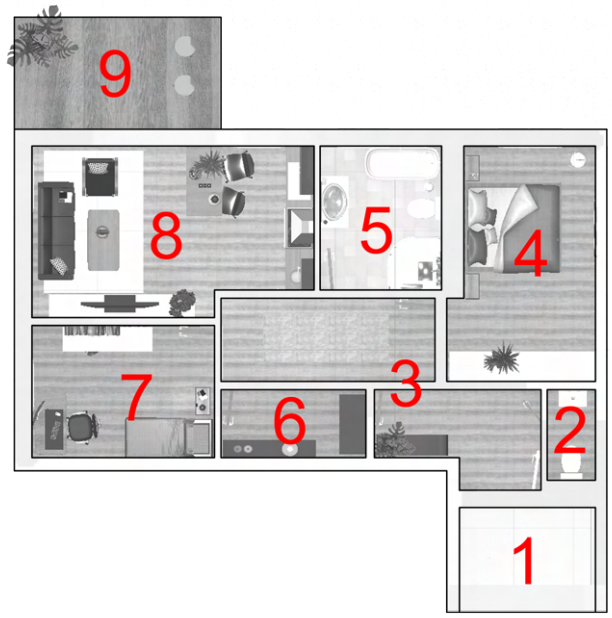


Abb. 3.4.: Grundriss der virtuellen Wohnung

Nr.	Raum	Einrichtungsgegenstände
1	Eingang	Fahrstuhl
2	Gästebad	Toilette, Waschbecken, Spiegel
3	Flur	Sitzbank, Topfpflanze, Käsestück, Leinwand
4	Schlafzimmer	Nachttische, Leinwand, Kleiderschrank, Doppelbett, Stehlampe
5	Badezimmer	Waschbecken, Spiegel, Toilette, Duschkabine, Handtuchhalter
6	Abstellkammer	Schuhschrank mit Dekoration, 3 Wandbilder, Kleiderschrank
7	Kinderzimmer	Bett, Nachttisch, Regale, Bücher, Computertisch, Poster
8	Wohnzimmer und Küche	Sitzecke, TV, Esstisch, Küchenzeile, Essensschalen
9	Veranda	Hocker, große Pflanze, Gartenbereich

Tabelle 3.1.: Zimmeraufteilung und Einrichtungsgegenstände

Da sich an einer realen Wohnung orientiert wurde, war es wichtig, auch einige Details einzubauen, die eine gewöhnliche Wohnung ausmachen. So wurden zum Beispiel zahlreiche Möbelstücke hinzugefügt, um die Umgebung realistischer wirken zu lassen. Die Einrichtungsgegenstände wurden anfangs von Hand modelliert, dann aber teilweise durch kostenfreie Modelle aus dem Unity Asset Store[2] ersetzt, da diese hochwertiger aussahen und mit passenden Materialien angeboten wurden, was die grafische Qualität der Umgebung deutlich verbesserte. Die Bilder, die in der Wohnung verteilt als Dekoration hängen, wurden ebenfalls mithilfe von DALL-E generiert. Als die Modellierung, UV-Anpassung und die Materialien der Objekte fertiggestellt waren, wurden sämtliche Modelle von Blender im .fbx Dateiformat exportiert und in Unity eingepflegt.

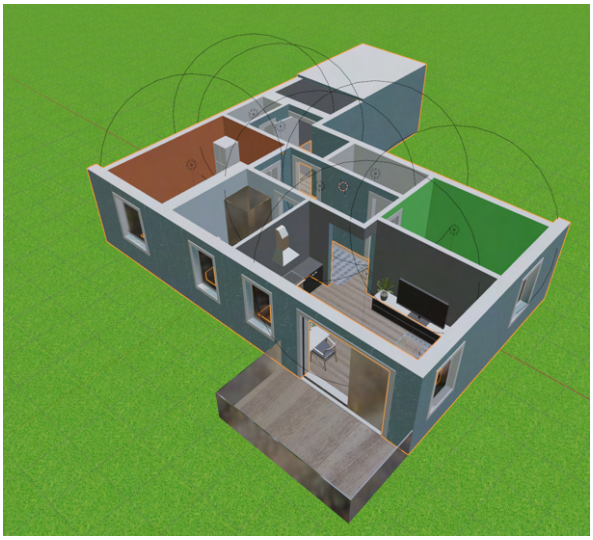


Abb. 3.5.: zu diesem Zeitpunkt war die Umgebung noch im Entstehungsprozess. Der Grundriss sowie Teile des Mobiliars sind bereits modelliert.

Beleuchtung

Die Umgebung erhält durch den Einsatz von sogenannten Lightmaps ein noch realistischeres Aussehen. Für die Erzeugung der Lightmaps in Unity muss man virtuelle Lichter in der Umgebung platzieren und diese auf ihre Lichtfarbe, die Strahlungsstärke und den Lichtkegel konfigurieren. Danach wird einem rechenaufwendigen Schritt von dem Programm berechnet, wie die Lichtstrahlen in der Umgebung fallen würden und es werden Reflexionen und Schatten berechnet. Diese Beleuchtungsdaten werden dann in eine 2D Textur gespeichert, welche anschließend als Lightmap verwendet werden kann. Somit hat man eine realistische Beleuchtung, ohne dass man diese in Echtzeit während der Ausführung des Programms berechnen muss. Eine realistische Optik ist ein wichtiger Bestandteil der Illusion, dass man sich wirklich in der Umgebung befindet. Licht und Schatten spielen dabei eine besonders große Rolle (Adams u. a., 2021).

[2]Unity Asset Store: https://assetstore.unity.com/, zuletzt aufgerufen am 03.11.2022 17:37

Programmierung

Für die Implementierung der Funktionen, von der Zuordnung der Wörter bis hin zur Bewegung des körperlosen Avatar, nutzte ich die Programmiersprache C# in der Entwicklungsoberfläche Visual Studio Code, welche sehr gut in Zusammenarbeit mit Unity funktioniert.

Wortliste

Die Datengrundlage der Begriffe liefert der sog. Toronto Noun Pool[3]. Dies ist eine Liste aus 477 häufig verwendeten Substantiven, die aus dem noch umfangreicheren Toronto Word Pool entnommen wurden, der wiederum nicht nur Substantive enthält. Diese Substantive wurden in Vorbereitung des Experiments vom Englischen ins Deutsche übersetzt und im .csv Format abgespeichert. In der Unity Umgebung, in der das Experiment abläuft, existieren mehrere miteinander kommunizierende Objekte, welche für die Zuordnung der Begriffe auf die Spielobjekte zuständig sind.

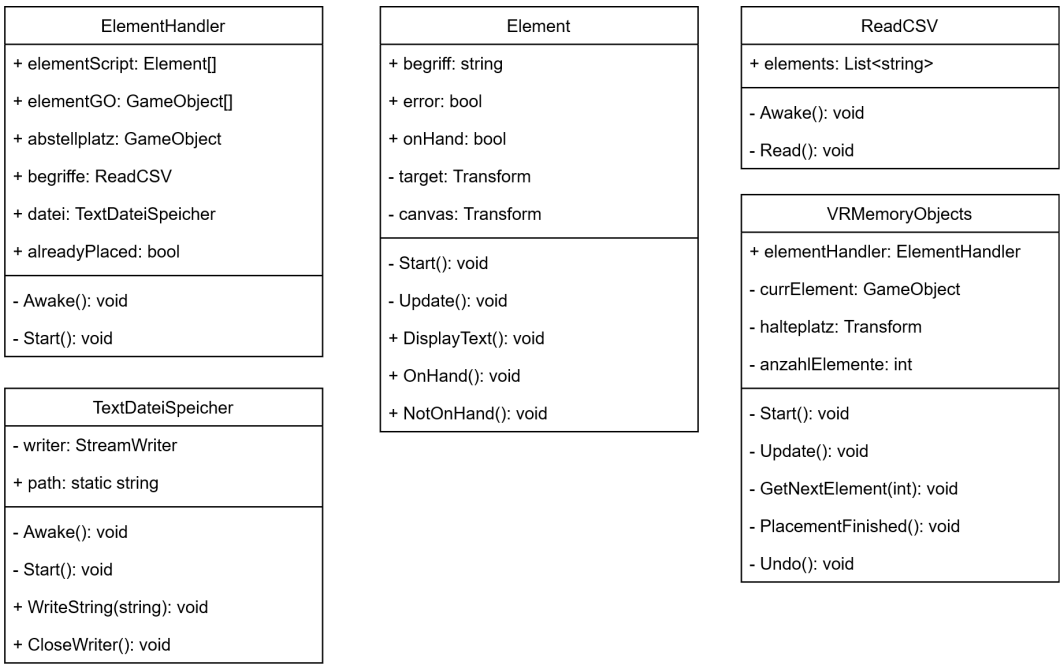


Abb. 3.6.: Klassendiagramm zur Begriffsverteilung

Zu Programmstart wird die Liste der Wörter in das Objekt *ReadCSV* als Liste von String-Variablen abgespeichert. Der *ElementHandler* sucht zeitgleich alle im Programm befindlichen Elemente, die jeweils mit einem Wort zu belegen sind und sammelt diese in einem Array. Der *ElementHandler* greift nun auf die in *ReadCSV* gespeicherte Wortliste zu und verteilt diese

[3] https://memory.psych.upenn.edu/Word_Pools, zuletzt am 02.11.2022 um 20:49 aufgerufen.

Wörter zufällig auf die gefundenen Elemente und löscht sie aus der Liste, damit es keine Doppelzuweisungen geben kann. Die Klasse *TextDateiSpeicher* dient dazu, automatisiert den Start- und Endzeitpunkt des Durchgangs sowie die zugewiesenen Wörter in einer Textdatei zu dokumentieren.

VR Funktionalität

Die Klasse *VRMemoryObjects* beinhaltet die für Experimentvariante 2 benötigten Funktionen zum freien Platzieren der Begriffe. Das Objekt greift auf den *ElementHandler* zu und bietet die Möglichkeit, durch die 15 zugewiesenen Wörter durchzuwechseln. Sobald ein Wort in der Umgebung platziert wurde, wird die Anzahl der verfügbaren Begriffe verringert und der nächste Begriff wird automatisch ausgewählt und ist bereit zum Platzieren. Teilnehmende des Experiments können jederzeit alle Schritte nacheinander rückgängig machen und die Platzierung der Begriffe wiederholen, falls sie sich umentscheiden sollten. Die Bewegung des VR-Avatars wurde mithilfe der SteamVR Integration für Unity umgesetzt. Die Steuerung und Navigation ist so simpel wie möglich gestaltet, um VR-unerfahrenen Teilnehmenden einen schnellen Zugang zu ermöglichen.

3.3. Hypothesen

- **H1**: Die Varianten der Loci-Methode in VR bieten einen Vorteil gegenüber den Kontrolldurchläufen, die ohne Anwendung einer Gedächtnisstrategie durchgeführt werden.
- **H2**: Die VR-Variante 1 bietet den geringsten Vorteil gegenüber den Kontrolldurchläufen.
- **H3**: VR-Variante 2 wird die besten Ergebnisse erzielen, da die Teilnehmenden hier aktiv mit der Umgebung interagieren müssen und die Eselsbrücken deutlich leichter zu bilden sind, wenn man die volle Kontrolle darüber hat, wo man die zugewiesenen Elemente platziert.
- **H4**: VR-Variante 3 wird einen moderaten Vorteil gegenüber der Variante 1 bieten, da die Visualisierung der Begriffe eine weitere Gedächtnisstütze bietet.
- **H5**: Die Dauer der Durchgänge korreliert positiv mit dem Ergebnis der Kontroll- sowie VR-Durchgänge.

4. Methoden

4.1. Teilnehmende

Für die Durchführung des Experiments wurden Testpersonen (N = 15; 9 männlich, 6 weiblich) verwendet, die keine bisherige Erfahrung mit der Loci-Methode oder anderen vergleichbaren Gedächtnisstrategien hatten. Diese Teilnehmenden wurden in drei Gruppen eingeteilt, die jeweils den Kontrolldurchgang ohne Lernstrategie dreimal und im Anschluss das Experiment in der ihnen zugewiesenen Variante der Loci-Methode in VR dreimal wiederholten. Das durchschnittliche Alter (Median) der teilnehmenden Personen war 23 Jahre. Alle Versuchsteilnehmenden mussten vor Beginn des Experiments eine Einwilligungserklärung unterschreiben, welche im Anhang abgebildet ist. Zudem wurde bei jeder teilnehmenden Person in den Ergebnisprotokollen vermerkt, wie viel Erfahrung sie schon mit VR gemacht haben sowie welche Aspekte und Methoden ihnen besonders beim Merken der Begriffe geholfen haben.

Rekrutierung der Teilnehmenden Die Teilnehmenden dieses Experimentes stammen zum großen Teil aus meinem persönlichen Umfeld. Dies ist dadurch bedingt, dass diese Bachelorarbeit während der Semesterferien 2022 angefertigt wurde und daher keine Studierenden als Teilnehmende zur Verfügung standen.

Die Deutschen Gedächtnismeisterschaften 2022 In Bremen fanden am 16. und 17. September 2022 die Deutschen Gedächtnismeisterschaften statt. Zusammen mit den Betreuenden dieser Bachelorarbeit habe ich diese Meisterschaften besucht und hatte dabei auch die Gelegenheit, das Experiment einem breiten Publikum bekannt zu machen. Die Reporterin Ariane Stolterfoht vom Bayerischen Rundfunk nahm an dem Experiment teil und interviewte mich und die Betreuenden der Arbeit zu dem erhofften Nutzen der VR-Anwendung und zu Gedächtnisgerüsten im Allgemeinen. Der daraus entstehende Radiobeitrag leistet mit Gewissheit seinen Beitrag dazu, die Gedächtnisforschung dem interessierten Publikum näherzubringen.

4.2. Materialien

Die Liste der zu merkenden Wörter wurde für die Varianten 1 (bereits platziert, ohne Bilder) und 2 (selbst platziert, ohne Bilder) bei jedem Programmstart neu generiert. Dopplungen der Wörter waren nicht möglich. Die Länge der Wortlisten betrug zu Beginn lediglich 10 Wörter, wurde dann nach den ersten Testläufen aber auf 15 erhöht. Die Teilnehmenden, die alle bereits wussten, dass es sich um ein Gedächtnisexperiment handelt, konnten sich die Liste von 10 Begriffen oft schon im Testdurchgang vollständig und fehlerfrei merken. Das Experiment

so mit zukünftigen Teilnehmenden fortzusetzen, hätte zu weniger aussagekräftigen Daten geführt. Für die dritte Variante des Experiments wurden 45 Begriffe gewählt, die in 15 Begriffe je Durchgang aufgeteilt wurden. Das Experiment wurde in einer störungsfreien Umgebung durchgeführt. Für die Testdurchgänge wurde ein gewöhnlicher Fernseher verwendet, für die Durchgänge in VR benutzten die Teilnehmenden ein Oculus Quest VR Headset, das mit einem Computer verbunden war, auf dem das Programm ausgeführt wurde. Die Oculus Quest bietet guten Bewegungsfreiraum und ist anfängerfreundlich, was für den Einsatz mit in VR-unerfahrenen Teilnehmenden sehr von Vorteil ist.

4.3. Prozedur

Kontrolldurchgänge Die 3 Kontrolldurchgänge werden so durchgeführt, dass die Teilnehmenden auf einer Couch Platz nehmen und die 15 Begriffe auf einem Bildschirm ansehen. Nun haben sie maximal 5 Minuten Zeit, um sich die Begriffe einzuprägen. Wenn die Teilnehmenden das Zeichen geben, dass sie fertig sind, müssen sie 45 Sekunden warten, bis die Wörter aufgeschrieben werden dürfen. Dies soll verhindern, dass die Teilnehmenden die Begriffe lediglich aus ihrem Kurzzeitgedächtnis wiedergeben.

VR-Durchgänge Nach Beendigung der Testdurchgänge zur Bestimmung der grundlegenden Gedächtnisleistung der Teilnehmenden folgt die Einweisung in die VR und eine Erklärung der Loci-Methode. Die Experimente in VR werden im Sitzen durchgeführt. Dies ist der Enge des Raumes geschuldet, in dem das Experiment durchgeführt wird. Diese Limitation sollte aber kein Hindernis für den Erfolg der Loci-Methode in VR darstellen (Kuhrt u. a., 2021). Die Teilnehmenden können vor dem Start der weiteren Gedächtnisexperimente die virtuelle Wohnung frei erkunden, um sich mit der Umgebung und vor allem mit der Steuerung vertraut zu machen. Nachdem die Teilnehmenden das Zeichen geben, beginnt die zweite Testphase. Die drei Varianten des Experiments mit der Loci-Methode in VR wurden bereits in Kapitel 3 beschrieben. Sie Unterscheiden sich darin, wie interaktiv die Umgebung ist und darin, wie viele visuelle Anreize als Gedächtnisstütze zur Verfügung stehen.

	Interaktiv	Bebildert
Variante 1	nein	nein
Variante 2	ja	nein
Variante 3	nein	ja

Tabelle 4.1.: Klassifizierung der Experimentvarianten

Bei den folgenden Testdurchläufen haben die Teilnehmenden wieder maximal 5 Minuten Zeit, sich die Begriffe einzuprägen und notieren dann nach 45 Sekunden die Begriffe, die sie sich gemerkt haben. Während der Tests übernimmt der Versuchsleiter die angezeigten Begriffe in eine Auswertungstabelle, um anschließend die korrekt Erinnerten zu markieren und das Feedback der Teilnehmenden zu protokollieren. Außerdem wird bei jedem Durchgang die Zeit gemessen und das Bildschirmaufnahmeprogramm OBS nimmt den Durchgang auf. In dem dabei entstandenen Video kann man auf der linken Bildhälfte die VR Sicht des Teilnehmenden sehen, rechts daneben befindet sich eine Vogelperspektive auf die Versuchsumgebung. In dieser Top-Down Ansicht können die zu merkenden Begriffe gelesen werden und die Bewegung, die der Proband in der Wohnung vornimmt, wird mittels einer blauen Linie visualisiert.

Abb. 4.1.: Die Bewegungslinie eines Probanden als blaue Linie dargestellt.

In der Grafik 4.1 lässt sich erkennen, wo der Teilnehmende zuletzt war, da die blaue Linie dort dicker und farbintensiver erscheint als an Stellen, von denen er sich bereits wieder entfernt hat. Die Begriffe wurden in diesem Beispiel von dem Teilnehmenden der Variante 2 selbst platziert und sind ebenfalls in der Übersicht gut zu erkennen.

4.4. Datenanalyse

Im Laufe des Experiments werden eine Vielzahl von auszuwertenden Daten erhoben. Neben den Informationen, welche Begriffe sich die Versuchsperson gemerkt hat, wird ebenfalls die Versuchsdauer pro Durchgang und die Bewegung durch die virtuelle Umgebung aufgezeichnet, wie in der Grafik 4.1 gezeigt wurde. Die Informationen für die Versuchsabläufe werden in einer Tabelle gespeichert, die wie folgt strukturiert ist und die Grundlage der nachfolgenden Ergebnisanalyse bildet:

Variante	Nr.	Probe 1		Probe 2		Probe 3	
Bereits platziert	1	Autor		Vorstellung	x	Dorf	x
Keine Bilder	2	Scheffel		Gewehr	x	Union	
V1	3	Tunnel	x	Baumwolle	x	Brauch	x
	4	Führer	x	Ehemann	x	Waffe	
P07	5	Mut	x	Holz	x	Abend	x
23 Jahre	6	Verräter	x	Anwesen		Verräter	x
	7	Banner	x	Seemann	x	Berg	
	8	Salon	x	Satz	x	Gelehrte	x
	9	Anwalt	x	Oper	x	Vieh	x
	10	Geld		Sommer		Modell	x
	11	Ort	x	Geschäft	x	Künstler	
	12	Muskel	x	Becken	x	Rivale	x
	13	Dusche	x	Schäfer	x	Winter	x
	14	Feuchtigkeit	x	Auster	x	Zwiebel	x
	15	Donner		Tisch		Dusche	x
		00:02:55.000		00:02:45.000		00:02:21.000	
Genauigkeit:		0.7333		0.8		0.7333	
Loci-VR V1		0.7556					

Tabelle 4.2.: Protokolltabelle eines Durchgangs mit VR-Variante 1

In der ersten Spalte von links befinden sich allgemeine Informationen über den Versuch, wie zum Beispiel die angewendete Variante, die zugeordnete Teilnehmendennummer und das Alter des Teilnehmenden. In den Spalten rechts daneben sind nun die 3 Durchgänge des Experimentes protokolliert. Die Begriffe sind in keiner spezifischen Reihenfolge zu nennen und werden mit einem „x“ markiert, falls der Teilnehmende sich korrekt an den Begriff erinnert hat. Fehler in der Groß- und Kleinschreibung sowie Rechtschreibfehler werden nicht als Fehler gewertet, solang das Wort eindeutig zu erkennen ist. Zudem wird jeder Proband nach persönlichem Feedback und dessen Empfindungen während der Durchgänge gefragt, was ebenfalls in die Auswertungen der Ergebnisse mit einfließt.

5. Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse des Experiments präsentiert und analysiert. Zu Beginn betrachten wir den allgemeinen Erfolg der VR-Varianten im Vergleich zu den Kontrolldurchgängen. Des Weiteren wird die Dauer der Durchgänge für die einzelnen Varianten ausgewertet und es wird untersucht, ob ein Zusammenhang zwischen der Dauer der Durchgänge und deren Erinnerungsquote besteht. Zuletzt wird anhand einer Heatmap betrachtet, wie die Teilnehmenden die zur Verfügung gestellte virtuelle Umgebung genutzt haben und welche Rückschlüsse sich daraus ziehen lassen.

5.1. Vergleich der Erfolgsquoten der VR-Durchgänge

In den 45 Durchgängen, welche die Teilnehmenden dieses Experimentes durchlaufen haben, konnte festgestellt werden, dass alle VR-Varianten einen Vorteil gegenüber den Kontrolldurchgängen vorweisen können.

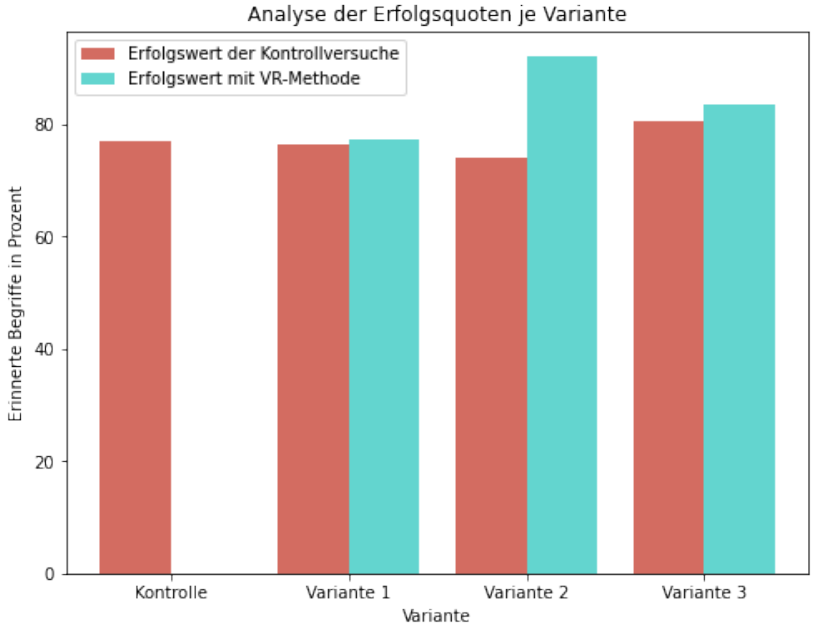


Abb. 5.1.: Die VR-Varianten 2 und 3 haben einen erheblichen Vorteil gegenüber der ersten Variante. Variante 1 und die Kontrolldurchgänge haben in etwa den gleichen Wert erzielt.

In der Tabelle 5.1 und dem dazugehörigen Diagramm 5.1 lässt sich erkennen, dass die VR-Variante 1 allerdings nur einen vernachlässigbar kleinen Vorteil zu den Kontrolldurchgängen hatte. Die Verbesserung betrug lediglich 0.89%. Besser sieht das Ergebnis der Varianten 2 und 3 aus. Die zweite Variante, in der die Teilnehmenden die Begriffe selbst platzieren mussten, hat die dazugehörigen Kontrolldurchgänge um ganze 18% übertroffen. Die Variante 3 hat ebenfalls eine Verbesserung zu den Kontrolldurchgängen von 2.89% bewirkt. Damit liegt sie im Vergleich der drei Varianten auf dem zweiten Platz.

Variante	Erfolgswert
Kontrolldurchgänge Gesamt	76.89%
Kontrolldurchgänge der Variante 1	76.22%
VR-Variante 1	77.11%
Kontrolldurchgänge der Variante 2	74%
VR-Variante 2	92%
Kontrolldurchgänge der Variante 3	80.44%
VR-Variante 3	83.33%

Tabelle 5.1.: Werte des Analysediagramms 5.1

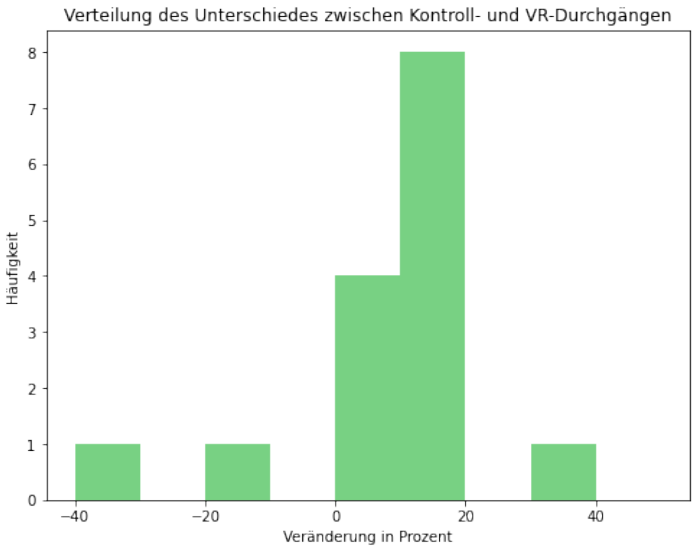


Abb. 5.2.: Es lässt sich erkennen, dass der durchschnittliche Erfolg der VR-Loci-Methoden im positiven Bereich liegt. Die Werte wurden ermittelt, indem für jeden Teilnehmenden der Erfolgswert der Kontrolldurchgänge von dem Erfolgswert der VR-Durchgänge subtrahiert wurde.

Die durchschnittlich positive Auswirkung der VR-Durchgänge auf die Merkleistung ist ein Indiz für den Nutzen, den die Loci-Methode in VR bietet. Der Vorteil der VR-Loci-Methode gegenüber den Kontrolldurchgängen liegt bei 7.26%.
Wie die Funktion der Loci-Methode in virtueller Realität weiter verbessert werden kann, wird im Anschluss diskutiert.

5.2. Analyse der Dauer der Durchgänge

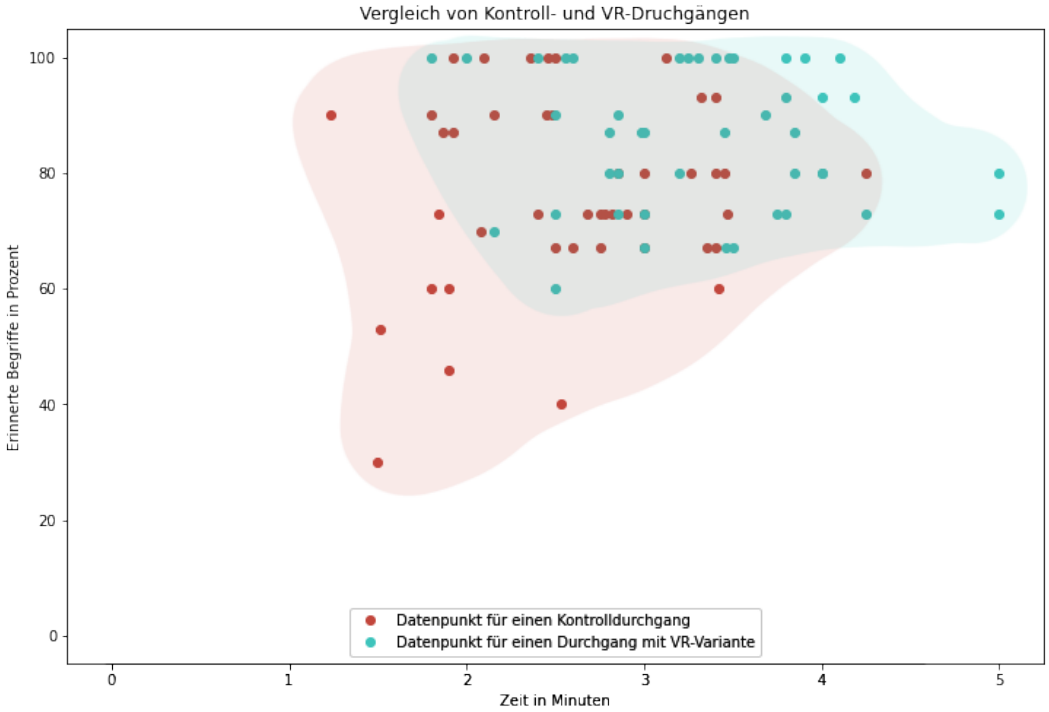


Abb. 5.3.: In diesem Diagramm sieht man die einzelnen Ergebnisse der Kontroll- und VR-Durchgänge jeweils durch einen farbigen Punkt gekennzeichnet. Auf der x-Achse lässt sich ablesen, wie lang der jeweilige Durchgang dauerte. Die y-Achse zeigt den Prozentanteil der Begriffe, an die sich der Teilnehmende korrekt erinnert hat. Im direkten Vergleich der Werte wird deutlich, dass die Kontrolldurchgänge durchschnittlich von kürzerer Dauer waren, aber auch eine deutlich geringere Mindesterfolgsquote hatten als die VR-Durchgänge. Diese dauerten zwar länger, haben aber im Durchschnitt größere Erfolge erzielt.

Dauer der Kontrolldurchgänge

Die Dauer der Experiment-Durchgänge war auf maximal 5 Minuten beschränkt. Der kürzeste Durchgang war ein Kontrolldurchgang mit einer Länge von 1:32 min. Die Versuchsperson konnte sich in dieser kurzen bereits Zeit 13 der 15 Begriffe einprägen. Die beiden nächstkürzesten Durchgänge dauerten beide 1:30 min und hatten eine Erfolgsquote von jeweils 30% und 53%. Je länger sich die Teilnehmenden für die Kontrolldurchgänge Zeit nahmen, desto besser haben sie sich an die Begriffe erinnern können. Der längste Kontrolldurchgang hatte eine Dauer von 4:13 min und eine Erfolgsquote von 80%.

Dauer der VR-Durchgänge

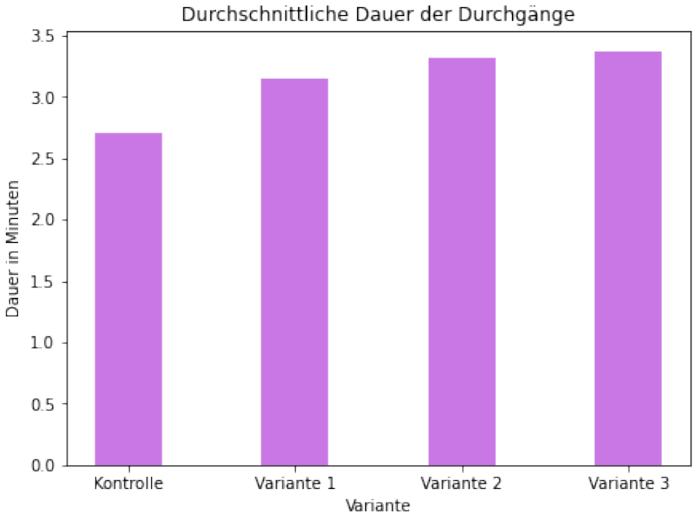


Abb. 5.4.: Die Kontrolldurchgänge waren mit Abstand am kürzesten, gefolgt von den VR-Varianten 1, 2 und 3 in dieser Reihenfolge.

Variante	Durchschnittliche Dauer
Kontrolldurchgang	02:42 min
VR-Variante 1	03:09 min
VR-Variante 2	03:19 min
VR-Variante 3	03:22 min

Tabelle 5.2.: Werte des Diagramm 5.4

Die Dauer der VR-Durchgänge war im Durchschnitt 33 Sekunden länger als die Kontrolldurchgänge, was durch die erhöhte visuelle Komplexität und Interaktivität der VR-Umgebung im Vergleich zu den Kontrolldurchgängen, welche lediglich auf einem schwarzen Bildschirm mit weißem Text durchgeführt wurden, erklärt werden kann. Der kürzeste VR-Durchgang dauerte 1:45 min und hatte trotz der kurzen Dauer eine 100-prozentige Erfolgsquote. Die Maximaldauer von 5 Minuten wurde nur zweimal voll ausgenutzt. Dies ist dadurch zu begründen, dass die teilnehmende Person in diesem Fall sehr große Schwierigkeiten hatte, sich in der virtuellen Umgebung zu orientieren und deshalb die zusätzliche Zeit benötigte.

Die Teilnehmenden der Variante 1 verbrachten im Durchschnitt 3 Minuten und 9 Sekunden in der virtuellen Umgebung. Dies ist der kürzeste Durchschnittswert der VR-Varianten. Dies liegt vermutlich daran, dass die Teilnehmenden dieser Gruppe weder selbst mit der Umgebung interagieren mussten, noch Bilder sahen, die sie als Gedächtnisstütze betrachten konnten. Dadurch gab es für die Teilnehmenden der Variante 1 weniger Anreize, viel Zeit in der VR-Umgebung zu verbringen. Aus den genannten Gründen dauerten die Durchgänge der Varianten 2 (3:19 min) und 3 (3:22 min) durchschnittlich etwas länger.

Bewegungsverhalten der Teilnehmenden

Wie die Teilnehmenden sich durch die Umgebung bewegten, wurde mittels Bildschirmaufnahme festgehalten und konnte nachträglich analysiert werden. Die erhobenen Daten lassen Rückschlüsse darauf ziehen, inwiefern die Bewegungsabläufe den Erfolg der Loci-Methode bedingten.

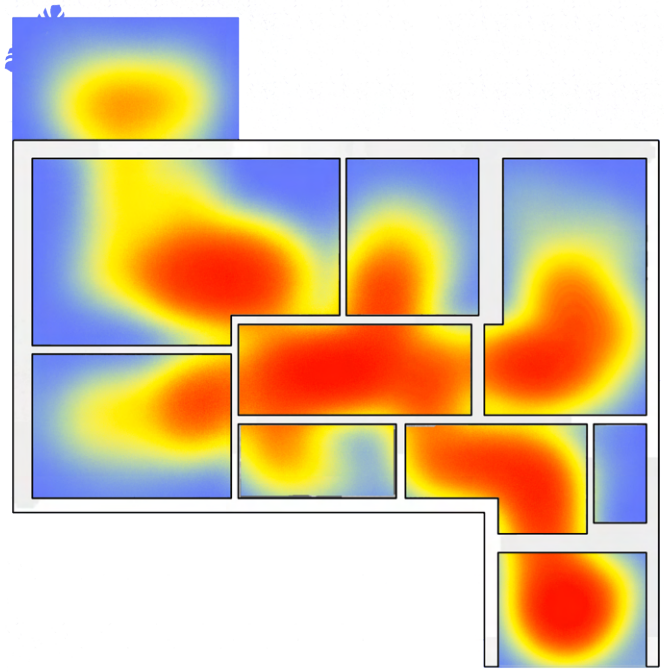


Abb. 5.5.: Diese sogenannte Heatmap veranschaulicht, wo sich die Teilnehmenden in der virtuellen Umgebung wie oft aufgehalten haben. Die Skala bildet einen Bereich von **blau**(nie) bis **rot**(immer) ab.

Wie sich aus der Grafik 5.5 erkennen lässt, haben die Teilnehmenden nicht alle Stellen der VR-Wohnung betreten müssen, um sie vollständig zu erkunden. Der Blick in die Räume, insbesondere das kleine Badezimmer direkt neben dem Eingang (Raum 2, zu sehen in Grafik 3.4), wurde von keinem der Teilnehmenden betreten und von einigen sogar komplett übersehen. In diesem Fall wurden sie von der Experimentleitung darauf hingewiesen, damit die Erinnerungsquote nicht dadurch verfälscht wird, dass der Teilnehmende einen oder mehrere Begriffe überhaupt nicht gesehen hat. Auch im Falle der anderen Räume hat es meist gereicht, wenn die Teilnehmenden den Raum nicht komplett durchlaufen, sonder lediglich von der Tür aus hineinschauen. Dies lässt vermuten, dass der komplette Bewegungsfreiraum in der VR-Umgebung nicht zwingend für den Erfolg der Loci-Methode notwendig ist. Alternativ könnte man auch feste Orte in der Umgebung festlegen, zwischen denen man hin und her

springen kann. Ob der Verlust der Kontinuität in der Bewegung, der mit diese Alternative einhergehen würde, die Wirksamkeit der Loci-Methode verringert, könnte in einem Folgeexperiment untersucht werden.

Bei der Auswertung der Experimentaufzeichnungen und Protokolle ist außerdem Folgendes aufgefallen:

- **Wiederholtes Durchlaufen**: Alle Teilnehmenden durchliefen die Wohnung mindestens zweimal, um sich die Begriffe besser einzuprägen.
- **Selbstgespräche**: Einige Teilnehmende redeten während des Experimentes mit sich selbst. Dies war im Experiment nicht ausdrücklich untersagt und half laut der Aussage der betroffenen Teilnehmenden beim Bilden von Eselsbrücken.
- **Verteilung der Begriffe**: Die Verteilung der Begriffe war in den Varianten 1 und 3 festgelegt. Die Begriffe wurden gleichmäßig in der Umgebung verteilt und die Erkundung der gesamten Wohnung war nötig, um alle Begriffe zu sehen. Teilnehmende, welche die Variante 2 benutzten und damit frei über die Platzierung der Begriffe bestimmen konnten, entschieden sich für eine dichtere Platzierung der Begriffe. Besonders das Wohnzimmer war von großer Beliebtheit und es wurden bis zu 6 Begriffe in diesem Raum verteilt. Räume, wie zum Beispiel die Abstellkammer oder das kleine Badezimmer, wurden wiederum in den meisten Fällen überhaupt nicht genutzt.
- **Die Methoden der Teilnehmenden**: Jede der Testpersonen hatte eigene gedankliche Hilfsmittel, die ihnen dabei halfen, sich besser an die Begriffe zu erinnern. 6 Teilnehmende berichteten, dass sie sich die Begriffe in der virtuellen Umgebung dadurch besser merken konnten, dass sie sich darauf konzentrierten, wie viele Begriffe sich in jedem der Räume befand. Es wurde ebenfalls angemerkt, dass sich die VR-Welt beim Erinnern wieder vor dem geistigen Auge aufbaute. Ein Teilnehmer der Variante 2 bemerkte zudem, dass es bei dieser Methode keine Möglichkeit gibt, Begriffe zu verpassen. Er nutzte bei jedem seiner drei Durchgänge eine ähnliche Platzierung der Wörter und platzierte die Begriffe auch auf verschiedenen Höhen, um bessere Eselsbrücken bilden zu können[1].

[1] Ein Beispiel hierfür ist, dass der Teilnehmer den Begriff „Drache“ weit oben im Raum platziert hat, als würde der Drache in der Luft fliegen.

6. Diskussion

Dass die Wirkung der Loci-Methode auch in VR feststellbar ist, wurde von den Ergebnissen im vorherigen Kapitel gezeigt. Die gesammelten Daten der 15 Personen, die am Experiment teilnahmen, wurden gründlich protokolliert und ausgewertet. Die zu Anfang aufgestellten Hypothesen werden in diesem Kapitel erneut unter Berücksichtigung der qualitativen und quantitativen Daten eingeordnet. Im Anschluss der Hypothesenbetrachtung wird diskutiert, wie der Experimentaufbau weiter verbessert und die Methodik weiter verfeinert werden könnte, um die Erhebung von noch aussagekräftigeren Daten zu ermöglichen.

6.1. Hypothesenbetrachtung

H1 *Die Varianten der Loci-Methode in VR bieten einen Vorteil gegenüber den Kontrolldurchläufen, die ohne Anwendung einer Gedächtnisstrategie durchgeführt werden.*

Der Hypothese H1 kann teilweise zugestimmt werden. In dem Diagramm 5.1 ist erkenntlich, dass die Loci-Methode in VR im Durchschnitt eine Verbesserung der Gedächtnisleistung um 7.26% bewirkt hat. Dies ist allerdings nur der Fall, wenn man alle drei Varianten der VR-Loci-Methode zusammenfasst. Zu den Unterschieden zwischen den Varianten wird in der Analyse der weiteren Hypothesen eingegangen.

H2 *Die VR-Variante 1 bietet den geringsten Vorteil gegenüber den Kontrolldurchläufen.*

Dieser Hypothese kann uneingeschränkt zugestimmt werden. Die Ergebnisse zeigen, dass die Variante 1 der VR-Loci-Methode 10.6% hinter dem Durchschnitt der anderen beiden Varianten liegt. Dies liegt vermutlich daran, dass die Begriffe lediglich als Text gegeben waren. Die Teilnehmenden dieser Gruppe mussten sich somit für das zufällig vom Programm ausgewählte und platzierte Wort eine Eselsbrücke bilden. Dies ist durch die Zufälligkeit der Begriffe meist nicht intuitiv und benötigt viel Kreativität sowie mentale Bemühung. Die Kontrolle über die Platzierung der Begriffe, die die Variante 2 bietet, als auch die visuelle Hilfestellung durch die KI-generierten Bilder in Variante 3 waren somit erwiesenermaßen sinnvolle Ergänzungen.

H3 *VR-Variante 2 wird die besten Ergebnisse erzielen, da die Teilnehmenden hier aktiv mit der Umgebung interagieren müssen und die Eselsbrücken deutlich leichter zu bilden sind, wenn man die volle Kontrolle darüber hat, wo man die zugewiesenen Elemente platziert.*

Auch der Hypothese 3 kann man bei der vorliegenden Informationslage zustimmen. Mit einer Erfolgsquote von im Durchschnitt 92% war die Variante 2, mit 8.7% Abstand zur nächstbesten Variante 3, die effektivste Variante. Wenn die Teilnehmenden die Elemente selbstbestimmt an die Orte setzen, die sich für sie sinnvoll anfühlen und gute Eselsbrücken bieten, fällt ihnen das Erinnern deutlich leichter, als wenn sie die Platzierung der Wörter nicht selbst kontrollieren können.
Auch die einfache und intuitive Steuerung mithilfe der Oculus Controller hat wahrscheinlich zu dem guten Ergebnis beigetragen, da ein kompliziertes Steuerungsschema vor allem auf die VR-unerfahrenen Probanden überfordernd wirkend kann.

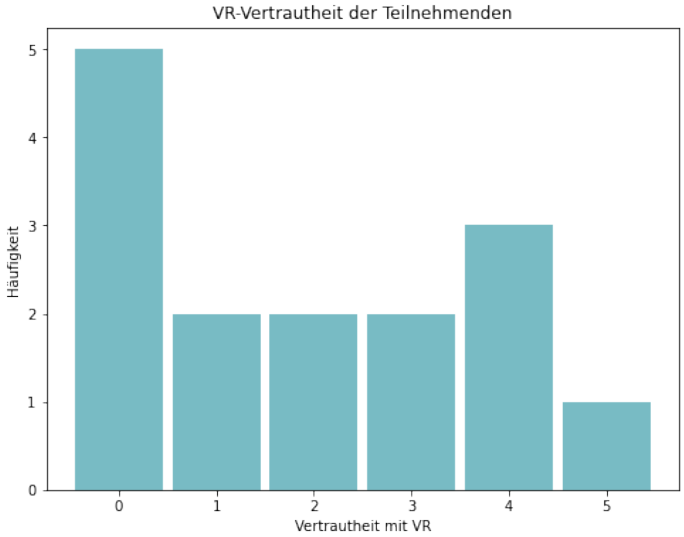


Abb. 6.1.: Dieses Diagramm bildet die Vertrautheit der Teilnehmenden mit der virtuellen Realität auf einer Skala von 1 bis 5 ab.

Tabelle 6.1.: Einordnungsskala der Teilnehmenden nach ihrer VR-Vertrautheit

Skalenwert	Einordnung	Beispiel
0	Keine Erfahrungen mit VR	Kennt VR bisher nur aus den Medien, hatte noch nie ein VR-Headset auf dem Kopf
1	Minimale Erfahrungen mit VR	Einmalige Nutzung vor langer Zeit, mit der Steuerung unvertraut
2	Geringe Erfahrungen mit VR	Seltene Nutzung für z.B. Unterhaltungszwecke, mit der Steuerung einigermaßen vertraut
3	Mittlere Erfahrungen mit VR	Gelegentliche Nutzung für z.B. Unterhaltungszwecke, mit der Steuerung vertraut
4	Viele Erfahrungen mit VR	Regelmäßige Nutzung für z.B. Videospiele, mit der Steuerung gut vertraut
5	Sehr viele Erfahrungen mit VR	Intensive Nutzung für z.B. Berufliche Zwecke, Entwicklung von Software oder Videospiele

Wie man in dem Diagramm 6.1 erkennen kann, hatten ein Drittel der Teilnehmenden keinerlei bisherige Erfahrung mit virtueller Realität. Diese Teilnehmenden erzielten aber trotzdem in 3 von 5 Fällen ein besseres Ergebnis mit der VR-Methode als in ihren Kontrolldurchgängen.

H4 *VR-Variante 3 wird einen moderaten Vorteil gegenüber der Variante 1 bieten, da die Visualisierung der Begriffe eine weitere Gedächtnisstütze bietet.*

Die Variante 3, in der die Begriffe mittels DALL-E visualisiert wurden, liegt nach der Auswertung zwischen der ersten und zweiten Loci-VR-Variante. Diese Hypothese ist somit ebenfalls zutreffend. Die Ergebnisse der dritten Variante liegen im Durchschnitt 6.2% über denen der Variante 1. Damit ist gezeigt, dass die visuelle Hilfestellung, welche die Bilder bieten, einen erkennbaren Effekt auf die Merkleistung der Teilnehmenden hat. Dieser Vorteil ist allerdings nicht so groß wie der, den die Interaktivität der Variante 2 bietet. Es bleibt zu erforschen, ob die Kombination der beiden Varianten, in der die Besonderheiten vereinigt wären, einen nochmals größeren Vorteil bieten würde. Diese neue Variante würde die Begriffe mit Bildern versehen und den Teilnehmenden gleichzeitig erlauben, die Begriffe selbstständig zu platzieren.

H5 *Die Dauer der Durchgänge korreliert positiv mit dem Ergebnis der Kontroll- sowie VR-Durchgänge.*

Die Hypothese ist teilweise zutreffend. Für die Kontrolldurchgänge ist der Trend, dass mit längerer Dauer des Durchgangs auch die Erinnerungsquote steigt, deutlich in dem Diagramm 5.3 zu erkennen. Die Ergebnisse, die eine Erinnerungsquote über 60% haben, treten sehr gehäuft nach der dritten Minute auf. Alle Ergebnisse mit einem Erfolg unter 60% traten bei Durchgängen auf, die kürzer als 3 Minuten waren.

Für die Durchgänge in der VR-Loci-Methode ist diese Korrelation nicht zu erkennen, weshalb die Hypothese für die VR-Durchgänge verworfen werden muss. Die Teilnehmenden hatten in den VR-Durchgängen durchgehend Erfolgswerte von über 60%. Die Dauer der Experimentdurchgänge hat darauf nur einen vernachlässigbaren Einfluss gezeigt.

6.2. Beschränkungen des Experiment-Designs

In diesem Abschnitt werden mögliche Verbesserungen am Studiendesign diskutiert. Der Experimentaufbau hatte mehrere Einschränkungen, die beachtet werden sollten. Zunächst war die Stichprobengröße relativ klein, was die Aussagekraft der Ergebnisse möglicherweise beeinflusst hat. Zweitens waren ein Großteil der teilnehmenden Personen (80%) junge Erwachsene im Alter von 21 bis 28, sodass nicht klar ist, ob die Ergebnisse auf andere Altersgruppen übertragbar wären.

Anzahl der Teilnehmenden

Die mit 15 sehr geringe Zahl der Teilnehmenden ist dem Zeitpunkt der Anfertigung der Bachelorarbeit geschuldet. Die Bearbeitung der Arbeit begann im Juli 2022 und verlief über die Semesterferien, weshalb keine Studierenden der HTWK Leipzig angeworben werden konnten. Die 15 Personen, die an dem Experiment teilgenommen haben, stammen aus meinem persönlichen Umfeld und waren zum Großteil auch Studierende. Aber selbst wenn die Arbeit im laufenden Studienbetrieb entstanden wäre, wären höchstwahrscheinlich nicht genügend Teilnehmende erschienen, um signifikante Ergebnisse zu erhalten. Die Anzahl an Teilnehmenden, die dafür nötig gewesen wäre, liegt bei 145[1]. Die Ergebnisse des durchgeführten Experiments bilden also vorerst, mit den 5 Teilnehmenden pro Gruppe, nur Tendenzen ab. Für eine publizierbare Forschungsarbeit müsste man das Experiment mit einer deutlich größeren Stichprobe wiederholen.

Alter der Teilnehmenden

Die Ergebnisse dieser Bachelorarbeit deuten, aufgrund der Tatsache, dass das Durchschnittsalter der Teilnehmenden 23 Jahre ist, darauf hin, dass VR-Gedächtnistraining für junge Erwachsene ein wertvolles Werkzeug sein könnte. Es wäre aber ebenso interessant, den Nutzen für andere Altersgruppen zu erforschen. Bei Menschen schrumpft mit steigendem Alter der Hippocampus, eine Hirnregion, die eine sehr große Rolle für die Navigation spielt (Diersch u. a., 2021; Wiener u. a., 2020). In diesem Zusammenhang wäre es interessant, zu untersuchen, ob die Loci-Methode in VR für ältere Menschen einen ähnlichen Nutzen bringt, wie für die jüngeren Teilnehmenden dieses Experimentes. Ebenfalls zu bedenken gibt es in diesem Zusammenhang, dass die älteren Teilnehmenden mit Sicherheit eine deutlich längere Einarbeitungszeit in die VR bräuchten, als die videospielerfahrenen Teilnehmenden meines Experimentes.

[1] Die Zahl der für signifikante Ergebnisse benötigten Teilnehmenden wurde von der externen Betreuerin dieser Arbeit, Dr. Felicitas Kluger, ermittelt.

Geschlecht der Teilnehmenden

Auch zwischen den Geschlechtern wurden verschieden ausgeprägte Navigationsfähigkeiten nachgewiesen. Laut (Chai u. Jacobs, 2010) sind Männer abhängiger von Richtungshinweisen und Frauen von Positionshinweisen. Dies bedeutet, dass der Erinnerungsprozess bei Männern und Frauen von unterschiedlichen Faktoren abhängen könnte. Diese Unterschiede sind für die Betrachtung der Ergebnisse dieser Bachelorarbeit allerdings nicht ausschlaggebend und können vernachlässigt werden, da es auch zwischen Individuen, unabhängig vom Geschlecht, eine große Spanne in der Ausprägung der Navigationsfähigkeiten gibt (Blajenkova u. a., 2005; Ishikawa u. Montello, 2006; Weisberg u. a., 2014; Wen u. a., 2011).

Reihenfolge der Begriffe

In diesem Experimentaufbau wurde nicht berücksichtigt, in welcher Reihenfolge die Begriffe gemerkt wurden. In vergleichbaren Gedächtnisexperimenten ist oft eine feste Reihenfolge gegeben. Deshalb sind die untersuchten Gedächtnisstrategien bisher meist speziell auf das serielle Erinnern der Begriffe untersucht worden. Da die Begriffe in der für diese Bachelorarbeit erstellten virtuellen Umgebung in keiner bestimmten Reihenfolge gegeben waren, konnte auch keine Korrektheit der Begriff-Reihenfolge in den Ergebnissen überprüft werden.

Um die Begriffe in einem Experiment, das dem dieser Bachelorarbeit ähnelt, seriell abfragen zu können, wäre es nötig, die Teilnehmenden nur auf festen Bahnen durch die Umgebung laufen zu lassen. Dies wäre eine angepasste Versuchsanordnung, die man in einem Folgeexperiment untersuchen könnte.

Ermittlung der Referenzwerte

Der Referenzwert der Gedächtnisleistung der Teilnehmenden wurde in diesem Experiment mithilfe von drei Kontrolldurchgängen bestimmt, in denen die Teilnehmenden ausdrücklich keine Gedächtnismethode benutzen sollten. Dieser Wert hätte ebenso durch drei Testdurchgänge festgestellt werden können, in denen die Teilnehmenden die Loci-Methode ohne VR verwenden. Somit wären die Ergebnisse ein besserer Indikator für den eventuellen Vorteil, den VR für die Verwendung der Loci-Methode hat, anstatt für den Vorteil der VR-Loci-Methode gegenüber dem Merken ohne Gedächtnismethode, was in dieser Bachelorarbeit gezeigt wurde.

Negative Folgen der VR-Nutzung

Von den 15 Teilnehmenden, die am Experiment teilnahmen, beklagten sich vier über körperliches Unwohlsein während des Aufenthaltes in der virtuellen Umgebung. Alle vier beschrieben Gefühle des Schwindels und der Desorientierung, die nach dem Beenden des Experimentes auch schnell wieder verschwanden. Es ist auffällig, dass drei der vier Betroffenen zu den

Teilnehmenden gehörten, die angaben, noch absolut keine Erfahrung in VR gesammelt zu haben. Eventuell gibt es einen Gewöhnungseffekt, der bei regelmäßiger Benutzung von VR eintritt und die Resilienz gegenüber der sogenannten *VR-Motion Sickness* erhöht (Chattha u. a., 2020). Bei zwei der Teilnehmenden traten zudem Kopfschmerzen auf, die auch nach dem Experiment noch für ungefähr eine halbe Stunde andauerten. In jedem der Fälle wurde den Teilnehmenden vorgeschlagen, das Experiment zu unterbrechen, aber es entschieden sich alle dafür, die Durchführung zu beenden.

6.3. Ideen für zukünftige Forschung

In diesem Abschnitt werden abschließende Ideen zusammengefasst, in welche Richtungen sich die Erforschung des Gedächtnisses in Verbindung mit VR und KI entwickeln kann.

- **Ausbau des vorliegenden Experimentes**: Es wäre von großem wissenschaftlichem Wert, den in dieser Bachelorarbeit vorgestellten Experimentaufbau noch einmal in angepasster Form und mit deutlich mehr Teilnehmenden verschiedener Altersklassen durchzuführen. Man könnte dafür eine vierte Variante der VR-Loci-Methode einführen, in der die Teilnehmenden die Begriffe selbst platzieren und diese auch bebildert sind. Zudem kann man den Referenzwert der Teilnehmenden mit der traditionellen Loci-Methode ermitteln, um Ergebnisse zu erhalten, die spezifischer auf den Unterschied zu den VR-Varianten eingehen.

- **Neue KI-Möglichkeiten betrachten**: Die KI-Forschung macht zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Bachelorarbeit sehr rasant Fortschritte, die selbstverständlich auch für Gedächtnisforschung interessant sein können. So kann man zum Beispiel in die Sprach-KI GPT-3, die bereits in der Tabelle 2.1 erwähnt wurde, Begriffe eingeben und die KI damit beauftragen, aus diesen Begriffen eine Geschichte zu bilden. In den Tests, die mit dieser Methode durchgeführt wurden, sind die Geschichten meist sehr skurril und oft zusammenhanglos, bieten aber eine gute Grundlage für eine Eselsbrücke, welche die Begriffe miteinander in Verbindung setzt. Ein Problem ist aktuell noch, dass GPT-3 des Öfteren Begriffe vergisst und diese nicht in der Geschichte auftauchen. Es ist davon auszugehen, dass die nächste Version von GPT, oder ähnlicher Sprachmodelle, in nicht allzu ferner Zukunft vorgestellt wird und damit der Einsatz dieser Methode noch zuverlässiger möglich ist.

- **Wechsel von VR zu AR**: Ein Weg, auf dem die Teilnehmenden einen barrierefreieren Einstieg in die Gedächtnismethoden erhalten könnten, wäre mittels Augmented Reality. Eine solche Anwendung könnte zum Beispiel auch auf dem Smartphone der Teilnehmenden laufen. Innerhalb dieser Anwendung können sie die Begriffe in der realen Umgebung

platzieren, und das Smartphone stellt die Begriffe auf dem Display so dar, als wären sie tatsächlich im Raum. Wieder wäre hier zu erforschen, ob dies einen Vorteil gegenüber der traditionellen Loci-Methode bringt.

- **Gedächtnistraining als VR-Videospiel**: Eine interessante Idee für die Weiterentwicklung und Verbreitung des VR-Gedächtnistrainings ist die Einführung einer kompetitiven Ebene. Dies könnte zu bewerkstelligen sein, indem man das Programm für die Öffentlichkeit zugänglich macht und den Nutzenden erlaubt, ihre Ergebnisse mit anderen Nutzenden in einer Rangliste zu vergleichen. Diese Art der Gamification steigert erwiesenermaßen die Motivation der Teilnehmenden und sorgt für ein Umfeld, in dem die Nutzenden das Üben der Gedächtnismethode nicht als Arbeit, sondern als Spaß ansehen (Sailer, 2016; Sailer u. a., 2013). Dafür müssten Systeme zur Kontrolle der Nutzereingabe implementiert werden, damit kein Mensch die Auswertung manuell vornehmen muss. Steigern ließe sich der Effekt der Motivation noch zusätzlich dadurch die Veröffentlichung verschiedener Umgebungen, die man für die Loci-Methode in VR nutzen kann, sowie die frei wählbare Anzahl an Begriffen, mit denen die Nutzenden ihr Gedächtnis auf die Probe stellen können. Ein zu beachtender Aspekt ist, dass die Nutzenden sehr einfach Betrügen können, was in dem kontrollierten Umfeld eines wissenschaftlichen Experimentes nicht der Fall ist.

  Diese Möglichkeit der Verbreitung von Gedächtnistraining ist deshalb so interessant, weil die von wissenschaftlichen Erkenntnissen untermauerten Gedächtnismethoden so spielerisch einem potenziell großen Publikum nahegebracht werden könnten, das ansonsten wahrscheinlich nie von diesen Methoden erfahren hätte.

7. Fazit

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wurde eine VR-Anwendung entwickelt, welche die Grundlage für ein Experiment zur Feststellung des Nutzens der Loci-Methode in VR bietet. Die virtuelle Umgebung der Anwendung wurde von Grund auf selbstständig entworfen und war darauf ausgelegt, eine gewöhnliche Wohnung darzustellen.
Es wurden drei Varianten dieser VR-Loci-Methode untersucht und die Ergebnisse zeigen, dass die Variante 2, in der die Teilnehmenden die Begriffe eigenständig platzieren mussten, den größten positiven Effekt auf die Erfolgsquote der Durchgänge hatte. Die gestellten Hypothesen waren alle mindestens teilweise zutreffend, aber es ist nicht gesichert, dass diese Hypothesen auch bei einer größeren Stichprobe noch standhalten werden. Die geringe Teilnehmenden-Anzahl von 15 bietet leider bei Weitem keine ausreichende Datengrundlage für signifikante Ergebnisse und ist somit die größte Limitation dieser Bachelorarbeit. Neben den quantitativen Daten, wie den Daten aus den Auswertungstabellen, war auch die Analyse der qualitativen Daten in Form von Feedback der Teilnehmenden überwiegend positiv. Die Teilnehmenden berichteten, dass sie merken, wie sich die Umgebung beim Erinnern wieder in ihrem Kopf aufbaut und eine teilnehmende Person sagte, dass sie vermutet, dass sie mit weiteren Durchgängen stetig bessere Ergebnisse erzielen könnte. Es ist überraschend, dass auch Teilnehmende, die bisher absolut keine Erfahrung mit VR hatten, in dem Experiment teils großartige Ergebnisse von 100% Erinnerungsquote erzielten. Dies ist ein gutes Indiz dafür, dass die VR-Loci-Methode auch bei einer breiter gefassten Zielgruppe, die nicht nur die typischen VR-Nutzer umfasst, erstaunliche Ergebnisse hervorbringen kann. Die Tendenz, die sich aus den Ergebnissen dieses Experiments ableiten lässt, ist, dass die VR-Loci-Methode den Teilnehmenden im Vergleich zu den Kontrolldurchgängen einen positiven Nutzen brachte. Dies stellt eine gute Grundlage zur weiteren Erforschung von Gedächtnistrainigsmethoden in der virtuellen Realität dar.

Die Bemühungen der Gedächtnisforschung müssen allerdings auch außerhalb von dem wissenschaftlichen Umfeld, in dem die Forschung stattfindet, ihren berechtigten Platz finden. Die Forschungsergebnisse müssen für den Durchschnittsbürger verständlich formuliert und publiziert werden. Nur so kann jeder von den erstaunlichen Auswirkungen erfahren, die diese Gedächtnismethoden mit sich bringen und sich bei geweckтem Interesse auch selbstständig an der Nutzung dieser Gedächtnismethoden ausprobieren. Die Wissenschaftskommunikation ist in diesem Fall die fehlende Brücke zwischen Forschung und dem Nutzen, den sie der realen Welt bieten kann. Diese Lücke sollte dringend geschlossen werden.

Literaturverzeichnis

[Adams u. a. 2021] Adams, Haley ; Stefanucci, Jeanine ; Creem-Regehr, Sarah H. ; Pointon, Grant ; Thompson, William B. ; Bodenheimer, Bobby: Shedding Light on Cast Shadows: An Investigation of Perceived Ground Contact in AR and VR. In: *IEEE transactions on visualization and computer graphics* PP (2021), Juli. http://dx.doi.org/10.1109/TVCG.2021.3097978. – DOI 10.1109/TVCG.2021.3097978. – ISSN 1941–0506

[Ajdadilish u. a. 2022] Ajdadilish, Batoul ; Kohl, Steffi ; Schröder, Kay: Enhancing Evaluation of Room Scale VR Studies to POI Visualizations in Minimaps. In: Krone, Michael (Hrsg.) ; Lenti, Simone (Hrsg.) ; Schmidt, Johanna (Hrsg.): *EuroVis 2022 - Posters*, The Eurographics Association, 2022. – ISBN 978–3–03868–185–4

[Anschutz u. a. 1987] Anschutz, Lucy ; Camp, Cameron J. ; Markley & Jack, Robert P. ; Kramer, J J.: Remembering mnemonics: A three-year follow-up on the effects of mnemonics training in elderly adults. In: *Experimental Aging Research* 13 (1987), Nr. 3, 141–143. http://dx.doi.org/10.1080/03610738708259315. – DOI 10.1080/03610738708259315. – ISSN 1096–4657

[Blajenkova u. a. 2005] Blajenkova, Olessia ; Motes, Michael A. ; Kozhevnikov, Maria: Individual differences in the representations of novel environments. In: *Journal of Environmental Psychology* 25 (2005), Nr. 1, S. 97–109. http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvp.2004.12.003. – DOI 10.1016/j.jenvp.2004.12.003. – ISSN 02724944

[Caplan u. a. 2019] Caplan, J B. ; Legge, E L G. ; Cheng, B ; Madan, C R.: Effectiveness of the method of loci is only minimally related to factors that should influence imagined navigation. In: *Quarterly Journal of Experimental Psychology* (2019), Nr. 1, S. 61–64

[Chai u. Jacobs 2010] Chai, Xiaoqian J. ; Jacobs, Lucia F.: Effects of cue types on sex differences in human spatial memory. In: *Behavioural Brain Research* 208 (2010), Nr. 2, 336–342. http://dx.doi.org/10.1016/j.bbr.2009.11.039. – DOI 10.1016/j.bbr.2009.11.039. – ISSN 01664328

[Charness u. a. 2012] Charness, Gary ; Gneezy, Uri ; Kuhn, Michael A.: Experimental methods: Between-subject and within-subject design. In: *Journal of Economic Behavior & Organization* 81 (2012), Nr. 1, 1-8. http://dx.doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jebo.2011.08.009. – DOI https://doi.org/10.1016/j.jebo.2011.08.009. – ISSN 0167–2681

[Chase u. Ericsson 1981] Chase, William G. ; Ericsson, K A.: Skilled memory. In: *Cognitive skills and their acquisition* (1981), S. 141–189

[Chattha u. a. 2020] Chattha, Umer A. ; Janjua, Uzair I. ; Anwar, Fozia ; Madni, Tahir M. ; Cheema, Muhammad F. ; Janjua, Sana I.: Motion Sickness in Virtual Reality: An Empirical Evaluation. In: *IEEE Access* 8 (2020), S. 130486–130499. http://dx.doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3007076. – DOI 10.1109/ACCESS.2020.3007076

[Chen u. a. 2020] Chen, Mark ; Radford, Alec ; Child, Rewon ; Wu, Jeffrey ; Jun, Heewoo ; Luan, David ; Sutskever, Ilya: Generative Pretraining From Pixels. In: III, Hal D. (Hrsg.) ; Singh, Aarti (Hrsg.): *Proceedings of the 37th International Conference on Machine Learning* Bd. 119, PMLR, 13–18 Jul 2020 (Proceedings of Machine Learning Research), 1691–1703

[Dhariwal u. a. 2020] Dhariwal, Prafulla ; Jun, Heewoo ; Payne, Christine ; Kim, Jong W. ; Radford, Alec ; Sutskever, Ilya: *Jukebox: A Generative Model for Music*. http://dx.doi.org/10.48550/ARXIV.2005.00341. Version: 2020

[Diersch u. a. 2021] Diersch, Nadine ; Valdes-Herrera, Jose P. ; Tempelmann, Claus ; Wolbers, Thomas: Increased Hippocampal Excitability and Altered Learning Dynamics Mediate Cognitive Mapping Deficits in Human Aging. In: *Journal of Neuroscience* 41 (2021), April, Nr. 14, 3204–3221. http://dx.doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0528-20.2021. – DOI 10.1523/JNEUROSCI.0528–20.2021. – ISSN 0270–6474, 1529–2401. – Publisher: Society for Neuroscience Section: Research Articles

[Ericsson u. a. 1980] Ericsson, K A. ; Chase, W G. ; Faloon, S ; Ericcson, K A. ; Chase, W G. ; Faloon, S: Acquisition of a memory skill. In: *Science (New York, N.Y.)* 208 (1980), Nr. 4448, S. 1181–2. http://dx.doi.org/10.1126/SCIENCE.7375930. – DOI 10.1126/SCIENCE.7375930. – ISSN 0036–8075

[Ericsson u. Staszewski 1989] Ericsson, K. A. ; Staszewski, J. J.: Skilled memory and expertise: Mechanisms of exceptional performance. In: Klahr, D (Hrsg.) ; Kotovsky, D (Hrsg.): *Complex information processing: The impact of Herbert A. Siomon*. Lawrence Erlbaum Associates, Inc., 1989, S. 235–267

[Ericsson 2003] Ericsson, K A.: Exceptional memorizers: made, not born. In: *TRENDS in Cognitive Sciences* 7 (2003), Nr. 6, 233–235. http://dx.doi.org/10.1016/S1364-6613(03)00103-7. – DOI 10.1016/S1364–6613(03)00103–7

[Foer 2011] Foer, J.: *Moonwalking with Einstein: The art and science ofremembering everything*. New York, NY : Penguin Press, 2011

[Graves 2013] Graves, Alex: *Generating Sequences With Recurrent Neural Networks*. http://dx.doi.org/10.48550/ARXIV.1308.0850. Version: 2013

[Grinyer u. Teather 2022] Grinyer, Kristen ; Teather, Robert J.: Effects of Field of View on Dynamic Out-of-View Target Search in Virtual Reality. In: *2022 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, 2022, S. 139–148. – ISSN: 2642-5254

[Handali u. a. 2021] Handali, Joshua P. ; Schneider, Johannes ; Gau, Michael ; Holzwarth, Valentin ; Brocke, Jan v.: Visual Complexity and Scene Recognition: How Low Can You Go? In: *2021 IEEE Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, 2021, S. 286–295. – ISSN: 2642-5254

[Healey u. Enns 2012] Healey, Christopher ; Enns, James: Attention and Visual Memory in Visualization and Computer Graphics. In: *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 18 (2012), Juli, Nr. 7, S. 1170–1188. http://dx.doi.org/10.1109/TVCG.2011.127. – DOI 10.1109/TVCG.2011.127. – ISSN 1941–0506. – Conference Name: IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics

[Ho u. a. 2022] Ho, Jonathan ; Chan, William ; Saharia, Chitwan ; Whang, Jay ; Gao, Ruiqi ; Gritsenko, Alexey ; Kingma, Diederik P. ; Poole, Ben ; Norouzi, Mohammad ; Fleet, David J. ; Salimans, Tim: *IMAGEN VIDEO: HIGH DEFINITION VIDEO GENERATION WITH DIFFUSION MODELS*. 2022

[Ishikawa u. Montello 2006] Ishikawa, Toru ; Montello, Daniel R.: Spatial knowledge acquisition from direct experience in the environment: Individual differences in the development of metric knowledge and the integration of separately learned places. In: *Cognitive Psychology* 52 (2006), Nr. 2, S. 93–129. http://dx.doi.org/10.1016/j.cogpsych.2005.08.003. – DOI 10.1016/j.cogpsych.2005.08.003. – ISSN 00100285

[Kaye u. a. 1997] Kaye, Jeffrey A. ; Swihart, T. ; Howieson, D. ; Dame, A. ; Moore, M. M. ; Karnos, T. ; Camicioli, R. ; Ball, M. ; Oken, B. ; Sexton, G.: Volume loss of the hippocampus and temporal lobe in healthy elderly persons destined to develop dementia. In: *Neurology* 48 (1997), 5, Nr. 5, 1297–1304. http://dx.doi.org/10.1212/WNL.48.5.1297. – DOI 10.1212/WNL.48.5.1297. – ISSN 00283878

[Kelly u. a. 2021] Kelly, Jonathan ; Cherep, Lucia ; Lim, Alex ; Doty, Taylor ; Gilbert, Stephen: *Who Are Virtual Reality Headset Owners? A Survey and Comparison of Headset Owners and Non-Owners*. 2021. http://dx.doi.org/10.31234/osf.io/edzbk. http://dx.doi.org/10.31234/osf.io/edzbk

[Kluger u. a. 2022] Kluger, Felicitas E. ; Oladimeji, Debby M. ; Tan, Yuwei ; Brown, Norman R. ; Caplan, Jeremy B.: Mnemonic scaffolds vary in effectiveness for serial recall. In: *Memory* 30 (2022), August, Nr. 7, 869–894. http://dx.doi.org/10.1080/09658211.

2022.2052322. – DOI 10.1080/09658211.2022.2052322. – ISSN 0965–8211. – Publisher: Routledge _eprint: https://doi.org/10.1080/09658211.2022.2052322

[Kucera u. a. 2018] Kucera, Erik ; Haffner, Oto ; Leskovský, Roman: *Interactive and virtual/mixed reality applications for mechatronics education developed in unity engine*

[Kuhrt u. a. 2021] Kuhrt, Doerte ; St. John, Natalie R. ; Bellmund, Jacob L. S. ; Kaplan, Raphael ; Doeller, Christian F.: An immersive first-person navigation task for abstract knowledge acquisition. In: *Scientific Reports* 11 (2021), Dezember, Nr. 1, 5612. http://dx.doi.org/10.1038/s41598-021-84599-7. – DOI 10.1038/s41598–021–84599–7. – ISSN 2045–2322

[Legge u. a. 2012] Legge, Eric L G. ; Madan, Christopher R. ; Ng, Enoch T. ; Caplan, Jeremy B.: Building a memory palace in minutes: Equivalent memory performance using virtual versus conventional environments with the Method of Loci. In: *Acta Psychologica* 141 (2012), S. 380–390. http://dx.doi.org/10.1016/j.actpsy.2012.09.002. – DOI 10.1016/j.actpsy.2012.09.002

[Liebherr u. a. 2020] Liebherr, Magnus ; Schubert, Patric ; Antons, Stephanie ; Montag, Christian ; Brand, Matthias: Smartphones and attention, curse or blessing? - A review on the effects of smartphone usage on attention, inhibition, and working memory. In: *Computers in Human Behavior Reports* 1 (2020), 100005. http://dx.doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chbr.2020.100005. – DOI https://doi.org/10.1016/j.chbr.2020.100005. – ISSN 2451–9588

[Maguire u. a. 2003] Maguire, Eleanor A. ; Valentine, Elizabeth R. ; Wilding, John M. ; Kapur, Narinder: Routes to remembering: The brains behind superior memory. In: *Nature Neuroscience* 6 (2003), Nr. 1, S. 90–95. http://dx.doi.org/10.1038/nn988. – DOI 10.1038/nn988. – ISSN 10976256

[Radford u. a. 2019] Radford, Alec ; Wu, Jeffrey ; Child, Rewon ; Luan, David ; Amodei, Dario ; Sutskever, Ilya: *Language Models are Unsupervised Multitask Learners*. 2019

[Ramesh u. a. 2021] Ramesh, Aditya ; Pavlov, Mikhail ; Goh, Gabriel ; Gray, Scott ; Voss, Chelsea ; Radford, Alec ; Chen, Mark ; Sutskever, Ilya: *Zero-Shot Text-to-Image Generation*. http://dx.doi.org/10.48550/arXiv.2102.12092. Version: Februar 2021. – arXiv:2102.12092 [cs]

[Rettinger u. a. 2022] Rettinger, Maximilian ; Schmaderer, Christoph ; Rigoll, Gerhard: Do You Notice Me? How Bystanders Affect the Cognitive Load in Virtual Reality. In: *2022 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, 2022, S. 77–82. – ISSN: 2642-5254

[Richardson 1995] Richardson, John: The efficacy of imagery mnemonics in memory remediation. In: *Neuropsychologia* 33 (1995), Nr. 11, S. 1345–1357. http://dx.doi.org/10.1016/0028-3932(95)00068-E. – DOI 10.1016/0028–3932(95)00068–E. – ISSN 00283932

[Roediger 1980] Roediger, Henry L.: The Effectiveness of Four Mnemonics in Ordering Recall. In: *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory* 6 (1980), Nr. 5, S. 558–567

[Sahadevan u. a. 2021] Sahadevan, S. S. ; Chen, Y. Y. ; Caplan, J. B.: Imagery-based strategies for memory for associations. In: *Memory* 20 (2021), Nr. 10, S. 1275–1295

[Sailer 2016] *Kapitel* 4. In: Sailer, Michael: *Wirkung von Gamification auf Motivation*. Wiesbaden : Springer Fachmedien Wiesbaden, 2016. – ISBN 978–3–658–14309–1, 97–126

[Sailer u. a. 2013] Sailer, Michael ; Hense, Jan ; Mandl, Heinz ; Klevers, Markus: Psychological Perspectives on Motivation through Gamification. (2013), S. 10

[Singer u. a. 2022] Singer, Uriel ; Polyak, Adam ; Hayes, Thomas ; Yin, Xi ; An, Jie ; Zhang, Songyang ; Hu, Qiyuan ; Yang, Harry ; Ashual, Oron ; Gafni, Oran ; Parikh, Devi ; Gupta, Sonal ; Taigman, Yaniv: *Make-A-Video: Text-to-Video Generation without Text-Video Data*. http://dx.doi.org/10.48550/ARXIV.2209.14792. Version: 2022

[Slater u. Sanchez-Vives 2016] Slater, Mel ; Sanchez-Vives, Maria V.: Enhancing Our Lives with Immersive Virtual Reality. In: *Frontiers in Robotics and AI* 3 (2016). http://dx.doi.org/10.3389/frobt.2016.00074. – DOI 10.3389/frobt.2016.00074. – ISSN 2296–9144

[Spence 1984] Spence, Jonathan D.: *The memory palace of Matteo Ricci*. New York, NY : Viking Penguin, 1984. – 350 S.

[Staszewski 1990] Staszewski, James J.: Exceptional Memory: The Influence of Practice and Knowledge on the Development of Elaborative Encoding Strategies. Version: 1990. http://dx.doi.org/10.5860/choice.27-6027. In: Schneider, W. (Hrsg.) ; Weinert, F.E. (Hrsg.): *Interactions Among Aptitudes, Strategies, and Knowledge in Cognitive Performance* Bd. 27. New York, NY : Springer, 1990. – DOI 10.5860/choice.27–6027. – ISBN 9781461232681, S. 252–286

[Twomey 2021] Twomey, Conal: The effectiveness of the loci method as a mnemonic device : Meta-analysis. In: *Quarterly Journal of Experimental Psychology 1* (2021), S. 1–10. http://dx.doi.org/10.1177/1747021821993457. – DOI 10.1177/1747021821993457

[Vaswani u. a. 2017] Vaswani, Ashish ; Shazeer, Noam ; Parmar, Niki ; Uszkoreit, Jakob ; Jones, Llion ; Gomez, Aidan N. ; Kaiser, Lukasz ; Polosukhin, Illia: Attention Is All You Need. In: *CoRR* abs/1706.03762 (2017). http://arxiv.org/abs/1706.03762

[Wagner u. a. 2021] Wagner, Jorge ; Stuerzlinger, Wolfgang ; Nedel, Luciana: Comparing and Combining Virtual Hand and Virtual Ray Pointer Interactions for Data Manipulation in Immersive Analytics. In: *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 27 (2021), Mai, Nr. 5, S. 2513–2523. http://dx.doi.org/10.1109/TVCG.2021.3067759. – DOI 10.1109/TVCG.2021.3067759. – ISSN 1941–0506. – Conference Name: IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics

[Weisberg u. a. 2014] Weisberg, Steven M. ; Schinazi, Victor R. ; Newcombe, Nora S. ; Shipley, Thomas F. ; Epstein, Russell A.: Variations in cognitive maps: Understanding individual differences in navigation. In: *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition* 40 (2014), Nr. 3, S. 669–682. http://dx.doi.org/10.1037/a0035261. – DOI 10.1037/a0035261. – ISSN 02787393

[Wen u. a. 2011] Wen, Wen ; Ishikawa, Toru ; Sato, Takao: Working memory in spatial knowledge acquisition: Differences in encoding processes and sense of direction. In: *Applied Cognitive Psychology* 25 (2011), 7, Nr. 4, 654–662. http://dx.doi.org/10.1002/acp.1737. – DOI 10.1002/acp.1737. – ISSN 08884080

[Wiener u. a. 2020] Wiener, Jan M. ; Carroll, Denise ; Moeller, Stacey ; Bibi, Iram ; Ivanova, Dima ; Allen, Peter ; Wolbers, Thomas: A novel virtual-reality-based route-learning test suite: Assessing the effects of cognitive aging on navigation. In: *Behavior Research Methods* 52 (2020), April, Nr. 2, 630–640. http://dx.doi.org/10.3758/s13428-019-01264-8. – DOI 10.3758/s13428–019–01264–8. – ISSN 1554–3528

[van Wijk 2005] Wijk, J.J. van: The value of visualization. In: *VIS 05. IEEE Visualization, 2005.*, 2005, S. 79–86

[Wilding u. Valentine 2006] Wilding, J. ; Valentine, E.: Exceptional memory. In: Ericsson, K. A. (Hrsg.) ; Charness, N. (Hrsg.) ; Feltovich, P. J. (Hrsg.) ; Hoffman, R. R. (Hrsg.): *Cambridge handbook of expertise and expert performance*. Cambridge, UK : Cambridge University Press, 2006, S. 539–552

[Wolfartsberger u. a. 2022] Wolfartsberger, Josef ; Riedl, René ; Jodlbauer, Herbert ; Haslinger, Niklas ; Hlibchuk, Andrii ; Kirisits, Alexander ; Schuh, Stefan: Virtual Reality als Trainingsmethode: Eine Laborstudie aus dem Industriebereich. In: *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik* 59 (2022), Februar, Nr. 1, 295–308. http://dx.doi.org/10.1365/s40702-021-00819-8. – DOI 10.1365/s40702–021–00819–8. – ISSN 2198–2775

[Won u. a. 2019] Won, Mihye ; Mocerino, Mauro ; Tang, Kok-Sing ; Treagust, David F. ; Tasker, Roy: Interactive Immersive Virtual Reality to Enhance Students' Visualisation of Complex Molecules. Version: 2019. http://dx.doi.org/10.1007/978-981-13-6998-8_4. In: Schultz, Madeleine (Hrsg.) ; Schmid, Siegbert (Hrsg.) ; Lawrie, Gwendolyn A. (Hrsg.): *Research and Practice in Chemistry Education: Advances from the 25th IUPAC International Conference on Chemistry Education 2018*. Singapore : Springer, 2019. – DOI 10.1007/978–981–13–6998–8_4. – ISBN 9789811369988, 51–64

[Worthen u. Hunt 2011] Worthen, J B. ; Hunt, R: Mnemonology: Mnemonics for the 21st century. In: *Mnemonology: Mnemonics for the 21st Century* (2011), S. 1–161. http://dx.doi.org/10.4324/9780203834107. – DOI 10.4324/9780203834107

[Yates 1966] Yates, Frances: *The art of memory*. Lancet Publishing Group, 1966. http://dx.doi.org/10.1016/S1474-4422(18)30430-7. http://dx.doi.org/10.1016/S1474-4422(18)30430-7. ISSN 14744465

[Yu u. a. 2022] Yu, Jiahui ; Xu, Yuanzhong ; Koh, Jing Y. ; Luong, Thang ; Baid, Gunjan ; Wang, Zirui ; Vasudevan, Vijay ; Ku, Alexander ; Yang, Yinfei ; Ayan, Burcu K. ; Hutchinson, Ben ; Han, Wei ; Parekh, Zarana ; Li, Xin ; Zhang, Han ; Baldridge, Jason ; Wu, Yonghui: *Scaling Autoregressive Models for Content-Rich Text-to-Image Generation*. http://dx.doi.org/10.48550/ARXIV.2206.10789. Version: 2022

A. Anhang

A.1. Vordruck der Einwillgungserklärung

Einwilligungserklärung

Gedächtnistraining in VR Umgebung

Zweck des Experimentes ist, im Rahmen einer Bachelorarbeit zu erforschen, ob eine Steigerung der Effektivität der Loci-Methode in VR festgestellt werden kann, wenn der Anwender die zu lernenden Begriffe selbst in der Welt platzieren muss, im Vergleich zu einem Durchgang, bei dem die Begriffe bereits an festen Orten platziert wurden. (siehe Experimentdurchführung)

Die hierbei erhobenen Daten sind:

- Alter und Geschlecht der Versuchsperson (anonymisiert)
- Dauer der Versuchsabschnitte
- Genauigkeit der Merkleistung
- Orientierungsfähigkeit in der Testumgebung
- Persönliches Feedback zum Experiment und der Lernerfahrung

Die erhobenen Daten werden ausschließlich für diese Bachelorarbeit und die daraus resultierende Forschung verwendet. Die Daten werden lokal auf dem Rechner des Experimentleiters Jonas Gwozdz gespeichert und verarbeitet.

Ein möglicher Vorteil, den die Teilnahme zur Folge haben kann, ist anwendbares Wissen um die Verwendung der Loci-Methode zum Einprägen von Informationen und Listen im alltäglichen Leben.

Die Verwendung des VR Headset kann vereinzelt zu Symptomen der Übelkeit, Kopfschmerzen, Schwindel oder generellem Unwohlsein führen. Falls dies während des Experiments bei Ihnen der Fall sein sollte, teilen Sie sich bitte mit. Das Experiment wird in diesem Fall selbstverständlich abgebrochen.

Vom Experiment ausgeschlossen sind Personen, die an lichtempfindlicher Epilepsie leiden.

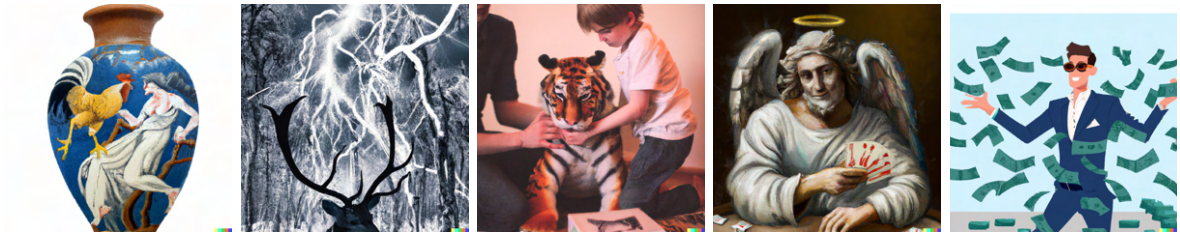
Mit meiner Unterschrift erkläre ich, dass ich das Vorhaben und die Information verstanden habe und freiwillig an der Studie teilnehme. Ich habe verstanden, dass ich jederzeit ohne Angabe von Gründen aus der Studie ausscheiden kann, ohne dass mir persönliche Nachteile entstehen. Auch der Versuchsleiter oder die Versuchsleiterin kann die Studie jederzeit beenden. Ich hatte ausreichend Gelegenheit, mich bei dem Versuchsleiter über die Studie zu informieren, sowie auftretende Fragen zu stellen. Diese wurden mir von der Versuchsleitung verständlich beantwortet

Name, Vorname:

Unterschrift:

A.2. Verwendete DALL-E Bilder

(a) Statue (b) Essen (c) Pizza (d) Insel (e) Krankheit



(f) Vase (g) Geweih (h) Tiger (i) Engel (j) Million

(k) Regen (l) Helm (m) Abbruch (n) Duplikat (o) Kopfschmuck

Abb. A.1.: Von DALL-E generierte Bilder - erster Durchgang

(a) 200m tall statue of winnie the poo with chinese flags surrounding it, beijing in the background, photography
(b) person eating a pain inducing energy bar, screaming in pain, wide awake, painting by Francisco de Goya
(c) the battle for the deep dish pizza, large scale combat, historical battle painting
(d) tiny island with only a few palmtrees and a shop on it, person on a raft swimming towards it, photography, dusk
(e) kylo ren lying in a hospital bed, doctors look worried, award winning photography, star wars aesthetics
(f) greek gods taking over the world , zeus hunting a chicken, greek mythology, pottery, painting on a vase
(g) lightning striking into a deers antlers in front of a white forrest, norse mythology art
(h) toddler gets a full grown alive tiger for its birthday, real tiger, polaroid,living room, muted colors
(i) biblical angel playing poker, painting by michelangelo
(j) millionaire throwing with money, money stacks background, expensive suit, illustration, minimalist graphic design
(k) a Couple eating a pizza from a viewpoint while rain pours down, digital art
(l) a rusty snow-covered Viking helmet
(m) young man standing in the middle of a cornfield, by Gustave Courbet
(n) a repeating pattern made of burgers, form the top, photorealistic
(o) cat with a frog on its head, closeup photography

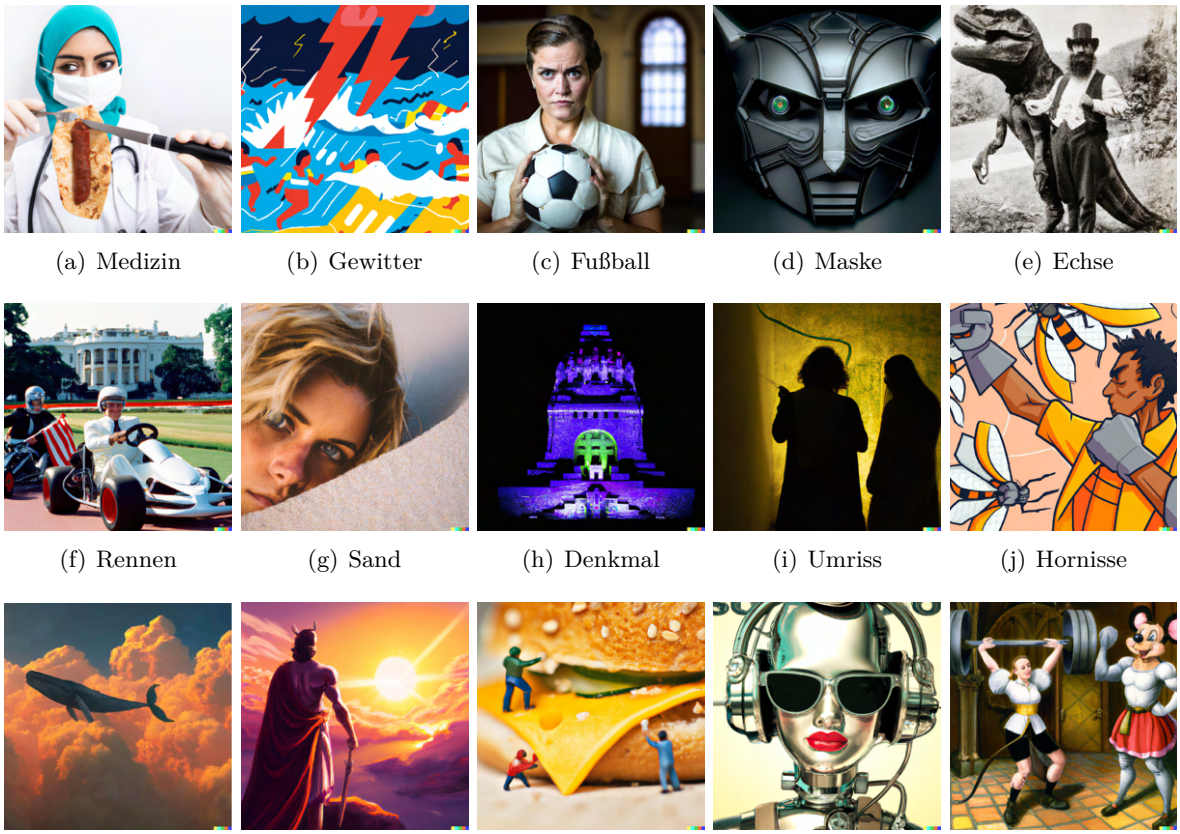
(a) Schiff (b) Ballon (c) Ringfinger (d) Inferno (e) Süßigkeit

(f) Erleuchtung (g) Rollschuh (h) Obstgarten (i) Schlange (j) Lokomotive

(k) Anatomie (l) Akustik (m) Pfeife (n) Gedanke (o) Idylle

Abb. A.2.: Von DALL-E generierte Bilder - zweiter Durchgang

(a) vaporwave pirate crew with epic pirate ship in the background, parrots flying through the sky, vaporwave art
(b) hot air balloon landing on street in city with only pink houses, photography out of window, interesting background
(c) ring with way too big diamond on it, black background, on hand, photography
(d) at a beach at midnight, a single blazingly flaming conifer is standing in the sand, people in robes standing around it, high contrast, absurd art, com
(e) child sitting on a enormous throne of candy, photography, soft pastel colors
(f) young man sitting on a toilet and praying to get into heaven, christmas decorations in the bathroom, heavenly light from above, monumental
(g) mouse in a roller skate, 1.8f 50mm photography, light leak, in a storage room
(h) idyllic and sunny fuit garden. graphic design, illustration made of sharp angled geometric curves, color scheme is bold
(i) giant snake monster carwling in a mud river under a light metal structure, lonely scared person is watching the monster snake, geaphic design, serigra
(j) train in t-rex shape, sharp teeth, steam powered, prehistoric train, color painting
(k) diagram explaining the anatomy of a robotic dog rabbit
(l) Man playing the saxophone in the rain in the style of Leonid Afremov
(m) Photo of a baby smoking a pipe
(n) Socrates looks puzzled in a modern city, by Gustave Dore
(o) sprawling landscape, a valley of flowers, drone shot, colourful, art by Vincent Van Gogh



(a) Medizin (b) Gewitter (c) Fußball (d) Maske (e) Echse

(f) Rennen (g) Sand (h) Denkmal (i) Umriss (j) Hornisse

(k) Freiheit (l) Aussicht (m) Miniatur (n) Android (o) Stärke

Abb. A.3.: Von DALL-E generierte Bilder - dritter Durchgang

(a) Döner Kabap being tested for an Illness with a plastic stick, Kebap in a medical facility, Infection Test
(b) people having fun at the beach, playing in the water during a thunderstorm, huge waves on the horizon, graphic design
(c) stern looking woman holding a football, soccer ball, character portrait, eyes far apart, shallow depth of field
(d) A realistic image of a shiny black metal robotic Batman head with pointy ears against a dark background. The image displays stunning eyes
(e) T-Rex with a full beard, dinosaur with facial hair, wearing a traditional bavarian outfit, 1910 photography
(f) billionaires in go-carts racing on a go-cart racetrack around the white house, presidential racing team, white house
(g) This portrait photography features a sideways view of a woman's face half submerged in a sand dune in the desert. She has shoulder-length blonde hair
(h) RGB gaming monument to the battle of the nations on top of a mountain range, monument to the battle of the nations leipzig, rgb lighting strips
(i) The nurse leads the man into the darkness, her faceless features betraying no emotion. He feels as though he is being led into an abyss
(j) A man is shooting bees from his arm in an action hero illustration. color scheme is bold, man standing out
(k) painting of a whale flying through the clouds at dawn
(l) greek god staring at the sunset on top of a mountain, digital art
(m) miniature plactic men holding together a giant burger, shallow DOP
(n) robot girl, vintage style and realistic
(o) Very realistic painting of Joan of Arc and Mickey Mouse lifting weights in a gym