

# A Virtual Memory Palace: Engagement improves the Long-term Memory

## Ein Virtueller Gedächtnispalast: Engagement verbessert das Langzeitgedächtnis

Jan-Paul Huttner<sup>\*</sup>, David Schilgen<sup>†</sup>, Susanne Robra-Bissantz<sup>‡</sup>

Lehrstuhl für Informationsmanagement, Technische Universität Braunschweig  
Braunschweig, Deutschland, {<sup>\*</sup>j-p.huttner; <sup>†</sup>d.schilgen; <sup>‡</sup>s.robra-bissantz}@tu-braunschweig.de

**Abstract** — The loci method (also known as memory palace) is the most powerful mnemonic technique and has been researched interdisciplinary over the last twenty years. Especially the approach to combine this old learning method with modern technology became more and more the focus of this interdisciplinary research community. Researchers presented virtual environments to their students on normal computer screens or in virtual reality glasses, instructing them to use these virtual worlds as a template for a memorial palace. At the moment, however, there is no research on whether and how a user's involvement in this virtual world has an impact on how successfully the method works. This study addresses this research gap through an experiment and a correlation and regression analysis. The results show significant correlations between user engagement and their long-term learning success.

**Zusammenfassung** — Die Loci-Methode (auch bekannt als *Gedächtnispalast*) ist die mächtigste Mnemotechnik und wurde in den letzten zwanzig Jahren interdisziplinär erforscht. Insbesondere der Ansatz, diese alte Lernmethode mit moderner Technologie zu kombinieren, rückte immer mehr und mehr in den Fokus dieser interdisziplinären Forschungsgemeinschaft. Forscher präsentierten ihren Schülern und Studenten virtuelle Umgebungen auf normalen Computerbildschirmen oder in Virtual Reality Brillen, wiesen sie an, diese virtuellen Welten als Vorlage für einen Gedächtnispalast zu verwenden. Aktuell fehlt jedoch eine Untersuchung dazu, ob und wie das Engagement eines Nutzers in dieser virtuellen Welt einen Einfluss darauf hat, wie erfolgreich die Methode funktioniert. Diese Studie befasst sich mit dieser Forschungslücke durch ein Experiment und eine Korrelations- und Regressionsanalyse. Die Ergebnisse zeigen signifikante Zusammenhänge zwischen dem Engagement der Nutzer und dem langfristigen Lernerfolg.

### I. EINLEITUNG

Diese Studie richtet sich an Forscher und Praktiker im Bereich der Lern- und Lehrtechnologien. Im Fokus dieser Arbeit steht die antike Lernstrategie namens Loci-Methode (LM, auch Gedächtnispalast genannt). Dabei handelt es sich um eine Lernstrategie, die darauf basiert Lerninhalte mental mit räumlichen Eigenschaften zu verbinden. Yates (1999) erklärte, wie bei dieser Lernmethode die Assoziation zwischen Lerninhalt und räumlichen Gegebenheiten das Erinnern an ebendiese Informationen wesentlich vereinfacht [1]. Betrachtet man diesbezüglich Krathwohls überarbeiteten Vorschlag [2] von Blooms Taxonomie des Lernens [3], so wird ersichtlich, dass die erste Stufe des Lernprozesses („Erinnern“) mithilfe von Mnemotechniken adressiert werden kann.

Der Ansatz, generell Mnemotechniken in den Schulalltag zu integrieren wurde bereits von mehreren Forschern vorgeschlagen. Zum Beispiel beschrieben Hartwig, Dunlosky und McCabe das Potenzial, welches in diesen Methoden steckt, und wie diese die Erfolgchancen der SchülerInnen steigern können [4], [5]. Darüber hinaus beschrieb Putnam 2015 den positiven Zusammenhang zwischen dem Einsatz von Mnemotechniken und der Lernmotivation von Schülern. Er legte dar, dass die Zeit, die durch das Erlernen der Grundlagen mithilfe der Mnemotechniken eingespart wird, genutzt werden kann, um sich auf das Lernen komplexerer Inhalte zu konzentrieren.

Dennoch sind Gedächtnisstrategien noch nicht vollständig in das Bildungssystem integriert [6].

### A. Die Loci - Methode

Wie bereits erwähnt, ist die LM das Grundprinzip eines Gedächtnispalastes. Die Idee ist es, deklarative Informationen mental mit räumlichen Gegebenheiten und Eigenschaften zu verbinden, bzw. zu assoziieren. Wenn man beispielsweise die LM anwenden oder einen Gedächtnispalast „bauen“ will, muss man die Lerninhalte an verschiedenen und bekannten Orten platzieren (Ort = lat. *locus*, pl. *loci*). Diese Orte dienen dann als Navigationspunkte beim Durchqueren des Gedächtnispalastes.

Angenommen man möchte sich eine Liste von Hardwarekomponenten eines Computers merken. Dann geht man mental durch seine Wohnung oder sein Haus und stellt die CPU in die Spüle, das Motherboard in den Ofen, die Tastatur auf den Küchentisch und so weiter. Wenn sich dann der Anwender später an diese Hardwarekomponenten erinnern möchte, geht er mental wieder den gleichen Weg ab und „sammelt“ die Gegenstände nacheinander ein.

Dieses einfache Prinzip der mentalen Assoziation von Informationen mit räumlichen Eigenschaften führt zu einer deutlich stärkeren, bzw. nachhaltigeren Erinnerung im Vergleich zu traditionellem Auswendiglernen. Dennoch ist für die erfolgreiche Anwendung der LM, bzw. für die Errichtung eines Gedächtnispalastes eine gewisse Trainingszeit erforderlich. Die Trainingszeit hängt stark von der Menge der Lerninhalte ab. Bisherige Studien berichteten von unterschiedlich konzipierten Trainingsphasen, die zwischen einigen Stunden und mehreren Tagen andauerten [7], [8].

Es zeigt sich, dass Gedächtnispaläste und die LM von einer interdisziplinären Forschungsgemeinschaft untersucht werden, die sich vom Bereich Bildung und Lernen über Computerwissenschaften bis hin zu neurowissenschaftlichen Studien erstreckt [9], [10].

## II. VIRTUELLER GEDÄCHTNISPALAST

Ende der 90er Jahre begannen Forscher aus dem Bereich der Informatik und Psychologie, moderne Technologie mit den alten Prinzipien der Gedächtnisstrategien zu verbinden. Im Zuge dessen wurde die traditionelle LM (bzw. der Gedächtnispalast) um der Idee erweitert, eine virtuell präsentierte Umgebung als Vorlage für die mentale Repräsentation des eigenen Gedächtnispalastes zu verwenden. Im Folgenden wird dieses Konzept der virtuellen Umgebung, die dann als Gedächtnispalast genutzt werden soll, als virtueller Gedächtnispalast (VGP) bezeichnet.

Wie im nächsten Abschnitt beschrieben, birgt das Konzept eines VGP ein interessantes Potenzial für Bildungszwecke, insbesondere im Hinblick auf den steigenden Trend der virtuellen Realität.

## III. THEORIE UND FORSCHUNGSFRAGE

Wie bereits erwähnt, sind Gedächtnispaläste, sowohl in traditioneller als auch in der modernen Variante, in mehreren Studien bereits intensiv erforscht worden [11]–[18]. Zusammengefasst stellt sich häufig die Frage nach der optimalen Gestaltung eines VGP, also welche Eigenschaften ein VGP haben sollte, damit z.B. der Lernerfolg oder die Nutzungsabsicht des Anwenders gesteigert wird. Um diese Frage zu beantworten, muss geklärt sein, welche Faktoren einen positiven oder negativen Einfluss auf z.B. den Lernerfolg haben. So wurde beispielsweise untersucht welchen Einfluss die Immersion auf den Lernerfolg hat [11], [13]. Die Immersion beschreibt das Gefühl an einem anderen Ort zu sein als man tatsächlich ist [19]. Huttner et al. konnten 2019 zeigen, dass die Stärke der Immersion in einem Gedächtnispalast in der virtuellen Realität mitbestimmt, wie hoch der Lernerfolg am Ende ist [13]. Dede erklärte 2009 wie Immersion einen positiven Einfluss auch auf das Engagement und den Lernerfolg der Nutzerin oder des Nutzers hat [20]. Laut Jacques (1995) spielt Engagement in Multimedia-Lern-Systemen eine wichtige Rolle für die intrinsische Motivation des Lernenden [21]. Engagement beschreibt nach Webster und Ahuja (2006) den Zustand wenn ein System die Aufmerksamkeit der/des AnwenderIn erregt und er/sie intrinsisch zur Nutzung motiviert ist [22].

Darauf aufbauend wird in dieser Studie nun untersucht, ob und wenn ja wie stark der Faktor Engagement einen Einfluss auf den Lernerfolg in einem VGP hat. Der Lernerfolg wird in diesem Fall als Gedächtnisleistung gemessen. Das hier verwendete Messverfahren orientiert sich an einer Methode, die 2012 von Legge et al. vorgeschlagen wurde [15]. Dabei wurde ein Experiment durchgeführt, bei dem die Teilnehmer in Gruppen eingeteilt wurden und dann entweder anhand der traditionellen LM oder mithilfe eines VGP (auf einem Bildschirm präsentiert) eine bestimmte Menge an Wörtern auswendig lernen sollte. Der VGP konnte in der Ego-Perspektive (ähnlich zu einem Videospiel) durchlaufen werden: Der Nutzer oder die Nutzerin konnte sich mit der Tastatur durch die virtuelle Welt bewegen. Danach wurden die Probanden nach den Wörtern gefragt. Dabei erhoben Legge et al. zwei verschiedene Bewertungen: den „*lenient score*“ und den „*strict score*“. Der *lenient score* misst den prozentualen

Anteil an Wörtern, den sich der oder die Teilnehmerin merken konnte. Der *strict score* misst dazu noch wie gut die Wörter in der richtigen Reihenfolge wiedergegeben werden konnten.

Die untersuchten Hypothesen lauten wie folgt:

**H1:** *Höheres Engagement hat einen signifikanten, positiven Einfluss auf den lenient score.*

**H2:** *Höheres Engagement hat einen signifikanten, positiven Einfluss auf den strict score.*

## IV. EXPERIMENT

Um die Hypothesen zu überprüfen, wurde ein Experiment durchgeführt. Die Teilnehmer wurden dafür mit einer Virtual Reality Brille und einem Playstation - Controller ausgestattet. Wie bereits vorher beschrieben, hat die Immersion einen positiven Einfluss auf die Lernleistung in einem VGP. Daher wurde der VGP für die virtuelle Realität implementiert, da diese das den Grad der Immersion steigert [23], [24]. Außerdem wurden die Probanden auf einen Drehstuhl gesetzt, um das Umherschauen und damit die Navigation einfacher zu gestalten. Abbildung 1 illustriert die aufeinanderfolgenden Phasen des Experiments.

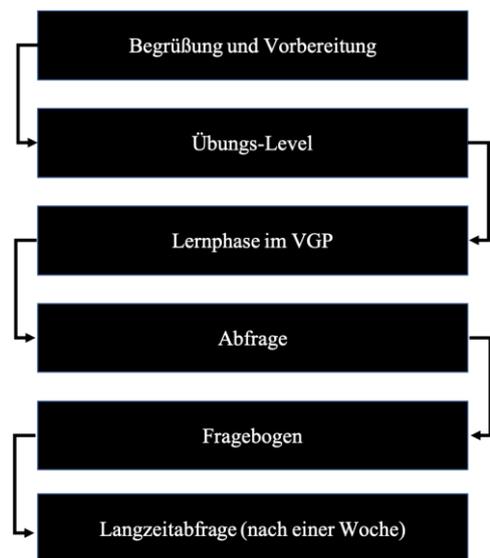


Abb. 1. Phasen des Experiments.

Danach bekamen die Teilnehmer zunächst eine kurze Erläuterung dazu, wie ein VGP funktioniert. Daraufhin absolvierten sie ein Übungs-Level, um sich mit der Navigation vertraut zu machen. Im Anschluss daran gelangten die Teilnehmer in den VGP. Die Orte, an denen die Wörter platziert waren, wurden mit einem schwebenden Stern markiert. Dann konnten die Probanden per Knopfdruck auf dem Controller das Wort anzeigen lassen. Jedes Wort wurde nur für fünf Sekunden angezeigt (analog zu Legge et al. 2012[15]) und verschwand dann wieder. Erst danach konnte das nächste Wort aktiviert werden. Dadurch wurde eine bestimmte Reihenfolge definiert, die für jeden Probanden gleich ist (insgesamt 40 Worte, analog zu Belleza 1981 [25]). Dabei wurde jedes Wort zusammen mit einem passenden Bild präsentiert; also z.B. der Term „Löffel“ wurde mit einem Bild von einem Löffel zusammen im Raum platziert. Dies erleichtert nach der *Dual Coding* Theorie das Memorieren von Lerninhalten [27]–[29] und wurde auch im Kontext mit einem

VGP bereits als sinnvoll beschrieben [30]. Die präsentierten Wörter wurden nicht zufällig ausgewählt, sondern entstammen einer Liste von Worten die Kanske et al., die in einer Umfrage nach bestimmten Kriterien bewertet wurden (n=64)[26]. Die gewählten Terme für den VGP in diesem Experiment sind laut dieser Liste einfach zu visualisieren (hohes Maß an Konkretheit). Abbildung 2 zeigt den Grundriss des VGP und die Route, die die Probanden abgelaufen sind, um alle Wörter nacheinander „einzusammeln“. Im Anschluss wurden die Probanden gebeten, die Begriffe an einem Rechner nacheinander in der gleichen Reihenfolge einzugeben. Dabei wurde jedes Wort in ein Textfeld eingetragen und bestätigt. Danach wurde das gleiche Textfeld für die nächste Eingabe verwendet. Damit wurde sichergestellt, dass die Probanden nicht sehen konnten, wie viele Worte sie schon eingegeben hatten oder an welcher Position sie sind (siehe Legge et al. 2012[15]). Im Anschluss an diese Phase wurde den Teilnehmern ein Fragebogen ausgehändigt, um die nötigen Informationen zu erheben, also beispielsweise das Alter, das Geschlecht und unter anderem auch ein Konstrukt zur latenten Variable „Engagement“. Dieses besteht aus sieben Aussagen, welche mit einer fünfstufigen Likert-Skala beantwortet bewertet sollte (Quelle des Konstrukts: Webster und Ahuja (2006) [22]).

Eine Woche nach dem Experiment wurden die Probanden per Mail kontaktiert und gebeten die Worte erneut einzugeben (inklusive Web-Adresse für das Abfrage-Tool), um das Langzeitgedächtnis zu testen. Dies wurde den Teilnehmern nicht vorab mitgeteilt, damit sich niemand darauf vorbereiten konnte.



Abb. 2. Vogelperspektive auf den VGP.

## V. DATENANALYSE

Insgesamt nahmen 37 Personen am Experiment teil. Die Teilnehmer waren zwischen 18 und 45 Jahre alt (Mittelwert=26,24, Median = 22). 25 waren männlich, 9 weiblich und drei gaben als Geschlecht divers an. 28 von ihnen waren Studierende, neun berufstätig. Von den 37 Probanden mussten sechs aufgrund von Übelkeit aus der Analyse ausgeschlossen werden. 20 Probanden nahmen an der Langzeitabfrage teil.

Um sicherzustellen, dass das Konstrukt „Engagement“ eine ausreichende Reliabilität aufweist, wurde Cronbachs Alpha ermittelt. Dieses beträgt 0,817, sodass die erhobenen Daten gut für die weitere Analyse geeignet sind [31]. Eine Prüfung auf Normalverteilung ergab, dass weder der *lenient*

noch der *strict score* normalverteilt sind. Tabelle 1 gibt einen deskriptiven Überblick zu den *scores*.

TABELLE I. DESKRIPTIVE STATISTIK ZUM LERNERFOLG

	Lenient	Lenient (lz)	Strict	Strict (lz)
<i>Mittelwert</i>	,76693548	,71309524	,66854839	,60000000
<i>Median</i>	,87500000	,82500000	,75000000	,75000000
<i>Std.abw.</i>	,2174077	,24844756	,29783718	,31819805
<i>N</i>	31	20	31	20

lz = langzeit

Die Ergebnisse zeigen, dass die *lenient scores* jeweils höher als die *strict scores* sind, was aufgrund der Definition der Werte zu erwarten war. Dass diese Erwartung erfüllt wurde, befürwortet die Validität der Erhebung. Gleichzeitig ist zu erkennen, dass die Langzeitergebnisse bei beiden Messungen (*strict* und *lenient*) niedriger sind, was ebenfalls erwartet werden konnte [32]. Die Standardabweichung ist beim *strict score* höher und nimmt in der Langzeitmessung zu. Dies könnte darin begründet liegen, dass die Teilnehmer eine unterschiedlich gute Gedächtnisleistung abrufen können, welche über die Zeit noch stärker variiert, abhängig davon wie gut der VGP im Experiment funktioniert hat.

Zur Überprüfung der Hypothesen wurde eine Korrelationsanalyse durchgeführt (nach Spearman). Diese ergab keine signifikanten Ergebnisse für die Messungen des *Engagements* und die *strict* und *lenient scores* bezogen auf die Abfrage direkt nach dem Experiment. Dennoch zeigten sich signifikante Korrelationen für die Abfrage nach einer Woche, beziehungsweise bezogen auf die Messungen, die auf das Langzeitgedächtnis abzielten (*Engagement & strict score* = 0,499 mit  $p < .05$ ; *Engagement & lenient score* = 0,538 mit  $p < .05$ ). Zur weiteren statistischen Beschreibung dieser Korrelation wurden zwei lineare Modelle gerechnet (siehe Tabelle 2 und 3). Man beachte an dieser Stelle, dass für diese Analyse nur noch 20 Teilnehmer zur Verfügung standen, da die restlichen Probanden nicht an der Langzeit – Abfrage teilgenommen hatten.

TABELLE II. LINEARES MODELL 1

M1 UV = Engagement, AV = Strict Score (lz)			
<i>Beta 0</i>	<i>Beta 1</i>	<i>F(1,20)</i>	<i>Adj. R<sup>2</sup></i>
3,1858*** ( $\sigma_n$ : 0,2520)	0,9468* ( $\sigma_n$ : 0,4070)	5,412	0,1736
Signifikanz: * $p < .05$ , ** $p < .01$ , *** $p < .001$ UV = unabhängige Variable, AV = abhängige Variable, lz = langzeit, $\sigma$ = Standardfehler			

TABELLE III: LINEARES MODELL 2

M2 UV = Engagement, AV = Lenient Score (lz)			
<i>Beta 0</i>	<i>Beta 1</i>	<i>F(1,20)</i>	<i>Adj. R<sup>2</sup></i>
2,9307*** ( $\sigma_n$ : 0,3234)	1,1596* ( $\sigma_n$ : 0,456)	6,466	0,2065
Signifikanz: * $p < .05$ , ** $p < .01$ , *** $p < .001$ UV = unabhängige Variable, AV = abhängige Variable, lz = langzeit, $\sigma$ = Standardfehler			

Die Modelle erklären sowohl den *strict score*, als auch den *lenient score* signifikant mit dem „Engagement“ der Teilnehmer, bezogen auf das Langzeitgedächtnis. Der p-Wert liegt bei beiden Regressionen unterhalb des üblichen Niveaus von 0,05. Vergleicht man die Koeffizienten beider Modelle, fällt auf, dass sowohl die Steigungen als auch die Achsenschnittpunkte dicht beieinander liegen. Die geringen Differenzen könnten durch die Abhängigkeit der beiden *scores* bedingt sein, da der *lenient score* aufgrund seiner Definition immer größer oder gleich dem *strict score* sein muss. Darüber hinaus ist in beiden Modellen zu erkennen, dass die

geschätzten Fehler deutlich unterhalb ihrer Koeffizienten liegen, was für die Güte des Modells spricht. Zudem wird deutlich, dass sich der Lernerfolgswachstums (die Veränderung der *scores*) in beiden Modellen nahezu proportional zum Engagement verhält (siehe Beta 1 in M1 und M2). Die Erklärungsbeiträge (M1: 17,36% und M2: 20,65%) sind unter Berücksichtigung der Komplexität des Lernprozesses [2], [3] erwähnenswert und zeigen laut Cohen (1992) eine mittlere Effektstärke [33].

## VI. DISKUSSION

In dieser Studie wurde untersucht inwieweit sich das Engagement der Nutzer eines VGP auf die Lernleistung auswirkt. Für die Kurzzeitabfrage, welche direkt nach dem Experiment durchgeführt wurde, zeigte sich in der Korrelationsanalyse kein signifikanter Zusammenhang. Im Gegensatz dazu, wurde für die Langzeitabfrage ein signifikantes Ergebnis gefunden und der Einfluss des Engagements auf die Lernleistung als lineares Modell gerechnet. Die Erklärungsbeiträge der Regressionen sind mit ca. 20% auf einem Niveau, welches weitere Forschung zur Steigerung des Engagements im Kontext eines VGP begründet.

Dennoch müssen im Rahmen dieser Studie auf Limitationen erwähnt werden. Die Anzahl der Teilnehmer sollte für ein belastbareres Ergebnis noch erhöht werden. Darüber hinaus sollte eine höhere Diversität ebenfalls angestrebt werden, da hier überwiegend Studierende teilgenommen haben. Auf diese Weise wären die Resultate besser auf die Allgemeinheit übertragbar.

Zusammengefasst wird aufgrund der Ergebnisse dieser Studie empfohlen, den Faktor Engagement als zentrales Element in der Gestaltung eines VGP – Konzepts mit einzubeziehen und sich zu überlegen welche Eigenschaften und Elemente mehr Engagement beim Nutzer hervorbringen können. Beispielsweise könnten Ansätze aus dem Bereich *Gamification* dafür geeignet sein [34]. Die Vergabe von Punkten oder die Möglichkeit seine eigene Lernleistung über die Dauer nachvollzuziehen zu können, könnte bereits ein gesteigertes Engagement zur Folge haben.

## REFERENCES

[1] F. A. Yates, *The art of memory*. London ; New York: Routledge, 1999.

[2] D. R. Krathwohl, „A Revision of Bloom’s Taxonomy: An Overview“, *Theory Into Practice*, Bd. 41, Nr. 4, S. 212–218, Nov. 2002.

[3] B. S. Bloom, M. D. Engelhart, E. J. Furst, W. H. Hill, und D. R. Krathwohl, *Taxonomy of Educational Objectives, Handbook I: The Cognitive Domain*. New York: David McKay Co Inc., 1956.

[4] M. K. Hartwig und J. Dunlosky, „Study strategies of college students“, *Psych. Bulletin & Review*, Bd. 19, Nr. 1, S. 126–134, 2012.

[5] J. A. McCabe, „Location, Location, Location! Demonstrating the Mnemonic Benefit of the Method of Loci“, *Teaching of Psychology*, Bd. 42, Nr. 2, S. 169–173, Apr. 2015.

[6] A. L. Putnam, „Mnemonics in education: Current research and applications.“, *Translational Issues in Psychological Science*, Bd. 1, Nr. 2, S. 130–139, 2015.

[7] Y. Brehmer, S.-C. Li, V. Mueller, T. von Oertzen, und U. Lindenberger, „Memory plasticity across the life span: Uncovering children’s latent potential.“, *Developmental Psychology*, Bd. 43, Nr. 2, S. 465–478, 2007.

[8] H. L. Roediger, „The effectiveness of four mnemonics in ordering recall.“, *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, Bd. 6, Nr. 5, S. 558, 1980.

[9] E. A. Maguire, E. R. Valentine, J. M. Wilding, und N. Kapur, „Routes to remembering: the brains behind superior memory“, *Nature Neuroscience*, Bd. 6, Nr. 1, S. 90–95, Dez. 2002.

[10] M. Dresler u. a., „Mnemonic Training Reshapes Brain Networks to Support Superior Memory“, *Neuron*, Bd. 93, Nr. 5, S. 1227–1235.e6, März 2017.

[11] J.-P. Huttner und S. Robra-Bissantz, „An Immersive Memory Palace: Supporting the Method of Loci with Virtual Reality“, in *Americas Conference on Information Systems. 2017. Proceedings*, 2017.

[12] J.-P. Huttner und K. Robbert, „The Role of Mental Factors for the Design of a Virtual Memory Palace“, in *Americas Conference on Information Systems. 2018. Proceedings*, 2018, S. 5.

[13] J.-P. Huttner, K. Robbert, und S. Robra-Bissantz, „Immersive Ars Memoria: Evaluating the Usefulness of a Virtual Memory Palace“, in *Proceedings of the 52nd Hawaii International Conference on System Sciences*, 2019.

[14] J.-P. Huttner, Z. Qian, und S. Robra-Bissantz, „A Virtual Memory Palace And The User’s Awareness Of The Method Of Loci“, In *Proceedings of the 27th European Conference on Information Systems (ECIS)*, Stockholm & Uppsala, Sweden, June 8-14, 2019.

[15] E. L. G. Legge, C. R. Madan, E. T. Ng, und J. B. Caplan, „Building a memory palace in minutes: equivalent memory performance using virtual versus conventional environments with the Method of Loci“, *Acta Psychol (Amst)*, Bd. 141, Nr. 3, S. 380–390, Nov. 2012.

[16] T. Jund, A. Capobianco and F. Larue, "Impact of Frame of Reference on Memorization in Virtual Environments," *2016 IEEE 16th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)*, Austin, TX, 2016, pp. 533-537.

[17] E. Fassbender und W. Heiden, „The virtual memory palace“, *Journal of Computational Information Systems*, Bd. 2, Nr. 1, S. 457–464, 2006.

[18] A. Hedman und P. Bäckström, „Rediscovering the Art of Memory in Computer Based Learning—An Example Application“, *Proceedings of The 1st International Workshop on 3D Virtual Heritage*, Geneva, Switzerland, 2000.

[19] B. G. Witmer und M. J. Singer, „Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire“, *Teleoperators and Virtual Environments*, Bd. 7, Nr. 3, S. 225–240, 1998.

[20] C. Dede, „Immersive Interfaces for Engagement and Learning“, *Science*, Bd. 323, Nr. 5910, S. 66–69, Jan. 2009.

[21] R. Jacques, „Engagement as a design concept for multimedia“, *Canadian Journal of Educational Communication*, Bd. 24, Nr. 1, S. 49–59, 1995.

[22] J. Webster und J. S. Ahuja, „Enhancing the design of web navigation systems: The influence of user disorientation on engagement and performance“, *Mis Quarterly*, S. 661–678, 2006.

[23] J. N. Bailenson, N. Yee, J. Blascovich, A. C. Beall, N. Lundblad, und M. Jin, „The Use of Immersive Virtual Reality in the Learning Sciences: Digital Transformations of Teachers, Students, and Social Context“, *Journal of the Learning Sciences*, Bd. 17, Nr. 1, S. 102–141, Feb. 2008.

[24] J. Bailey, J. N. Bailenson, A. S. Won, J. Flora, und K. C. Armel, „Presence and Memory: Immersive Virtual Reality Effects on Cued Recall“, *Proceedings of the International Society for Presence Research Annual Conference*. October 24-26, Philadelphia, Pennsylvania, USA.

[25] F. S. Bellezza, „Mnemonic devices: Classification, characteristics, and criteria“, *Review of Educational Research*, Bd. 51, Nr. 2, S. 247–275, 1981.

[26] P. Kanske und S. A. Kotz, „Leipzig Affective Norms for German: A reliability study“, *Behavior Research Methods*, Bd. 42, Nr. 4, S. 987–991, Nov. 2010.

[27] A. Paivio, „The Empirical Case For Dual Coding“, in *Imagery, Memory and Cognition*, 1983, S. 307–332.

[28] A. Paivio und W. Lambert, „Dual coding and bilingual memory“, *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, Bd. 20, Nr. 5, S. 532–539, 1981.

[29] A. Paivio und J. M. Clark, „Dual Coding Theory and Education“, *Educational Psychology Review*, Bd. 3, Nr. 3, S. 149–210, 1991.

[30] J.-P. Huttner, D. Pfeiffer, und S. Robra-Bissantz, „Imaginary Versus Virtual Loci: Evaluating the Memorization Accuracy in a Virtual Memory Palace“, in *Proceedings of the 51st Hawaii International Conference on System Sciences*, 2018.

[31] J. F. Hair, W. C. Black, B. J. Babin, und R. E. Anderson, *Multivariate Data Analysis*. Harlow, Essex: Pearson, 2013.

[32] H. Ebbinghaus, *Über das Gedächtnis. Untersuchungen zur experimentellen Psychologie*. Leipzig: Duncker & Humblot, 1885.

[33] J. Cohen, „Quantitative Methods In Psychology“, *Psychological Bulletin*, Bd. 112, Nr. 1, S. 155–159, 1992.

[34] S. Nicholson, „A Recipe for Meaningful Gamification“, In: Reiners T., Wood L. (eds) *Gamification in Education and Business*. Springer, Cham 2015.