

## Vergleich der Beanspruchung bei Erledigung grundlegender Arbeitsaufgaben in VR und in Realität

Simon SIEBERS, Florentin SANNWALDT, Claus BACKHAUS

*Zentrum für Ergonomie und Medizintechnik,  
FH Münster  
Bürgerkamp 3, D-48565 Steinfurt*

**Kurzfassung:** In einer Pilotstudie wurde die Beanspruchung bei der Erledigung einer Arbeitsaufgabe in der VR und in Realität verglichen. 15 Versuchspersonen haben zwei Puzzles in Realität und in der VR gelöst. Als Leistungskenngröße wurde die benötigte Zeit erfasst und die Beanspruchung per NASA Raw TLX abgefragt. Die Untersuchungen zeigten, dass die Aufgabe in der VR signifikant mehr Zeit benötigte. Die Auswertung der NASA Raw TLX-Fragebögen zeigte zudem eine signifikant höhere Beanspruchung in der VR mit höheren Scores in fast allen Teilkategorien. Als Hauptursachen werden die fehlende Feinmotorik durch das VR-System und technische Einschränkungen gesehen.

**Schlüsselwörter:** Virtual Reality, Beanspruchung, kognitive Aufgaben, Feinmotorik

### 1. Situation

Aufgrund stetig gestiegener Rechenleistung von Computerhardware und deutlich gesunkener Kosten für „Head Mounted Displays“ (HMD) sind Systeme für die „Virtual Reality“ (VR) inzwischen sowohl im Unterhaltungsbereich als auch für professionelle Anwendungen einfach verfügbar. Damit werden sie zunehmend für unterschiedliche Anwendungsbereiche wie etwa Trainingssimulationen interessant. Hierbei können in der VR Arbeitsaufgaben oder Szenen nachgestellt werden, deren Durchführung in der Realität zu teuer, zu aufwendig oder zu gefährlich wären (Chapman 2018). Im medizinischen Bereich etwa sollen angehende Chirurgen mit Hilfe von Operationssimulatoren Fertigkeiten ohne die Notwendigkeit eines Präparates erlernen oder verbessern können (Shane et al. 2008).

Wichtig für den Einsatz von VR-Systemen ist die Kenntnis über deren Besonderheiten und Nebeneffekte. Die Darstellung kann zu Unterschieden in der räumlichen Navigationsfähigkeit und damit verbundenen neuronalen Aktivität führen (Slobounov et al. 2015). Die dreidimensionale Darstellungsform mittels HMD erlaubt zudem eine bessere Tiefenwahrnehmung und das bessere Ausblenden störender Einflüsse (Kim et al. 2017). Das Lesen und Beantworten von geschriebenen Fragen mit VR-Systemen kann hingegen mehr Zeit in Anspruch nehmen als mit Desktop-Systemen (Rau et al. 2018). Die Interaktion mit der VR erfolgt außerdem zumeist über speziell für das VR-System gestaltete Controller. Diese Form der Interaktion weicht von der realen deutlich ab, da Feinmotorik und Haptik realer Werkzeuge durch diese Controller aktuell nicht ausreichend abgebildet werden können.

Es besteht die Motivation herauszufinden, welchen Einfluss diese Unterschiede in der Motorik auf die Aufgabenbewältigung und die Beanspruchung in der VR haben.

Die Untersuchung der Unterschiede bei der Bewältigung einer grundlegenden Arbeitsaufgabe ist Gegenstand dieser Arbeit.

## 2. Methode

Als grundlegende Arbeitsaufgabe mit einfachen kognitiven sowie motorischen Fertigkeiten mussten in der Realität und in der VR je ein Puzzle mit unterschiedlichen Motiven gelöst werden. Die Reihenfolge der beiden Bedingungen (VR und Realität) erfolgte dabei randomisiert. Die Leistungskenngrößen waren die Zeiten bis zum korrekten Lösen der Puzzles in der Realität und der VR sowie die Anzahl korrekter Antworten auf inhaltliche Fragen. Nach absolvierter Aufgabe wurden Fragebögen zur Erhebung der empfundenen Beanspruchung ausgefüllt.

### 2.1 Versuchsdurchführung

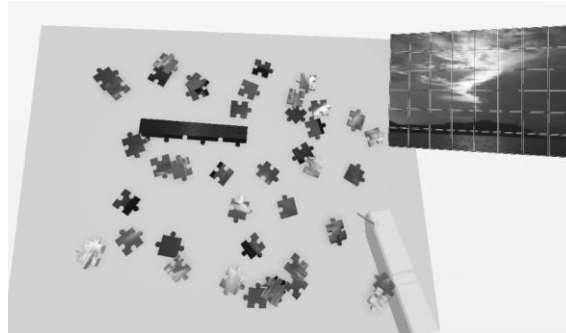
Zu Beginn der Untersuchung wurde den Probanden in einem kurzen Gespräch die Aufgabe erklärt und auf den späteren inhaltlichen Fragebogen hingewiesen. Anschließend füllten die Probanden einen allgemeinen Aufnahmebogen aus. Die Probanden wurden dann, abhängig von der Startbedingung, in einen Raum mit Tisch und Puzzle oder in einen Raum mit dem VR-System geführt. In letzterem Fall wurde die Steuerung in der VR erklärt und einige Minuten Zeit gewährt, um diese in der Software zu üben und den virtuellen Raum bei Bedarf anzupassen. Danach führten die Probanden die Aufgabe durch. Ihnen wurde hierzu ein vermeintliches Zeitlimit von 10 Minuten kommuniziert. Während der Aufgabe hatten die Probanden keine Einsicht in die Zeitmessung. Im Anschluss an ein Puzzle füllten die Probanden den inhaltlichen Fragebogen und den Beanspruchungsfragebogen aus. Danach wurden die Probanden in den jeweils anderen Raum geführt, um dort die Aufgabe der entsprechend anderen Bedingung durchzuführen.

### 2.2 Probanden und Ausrüstung

Als Versuchspersonen (VP) wurden insgesamt 15 Probanden mit einem Durchschnittsalter von  $24 \pm 1$  Jahren in Form einer willkürlichen Stichprobe ausgewählt. Zwei Probanden hatten keine Vorerfahrung mit VR-Systemen.

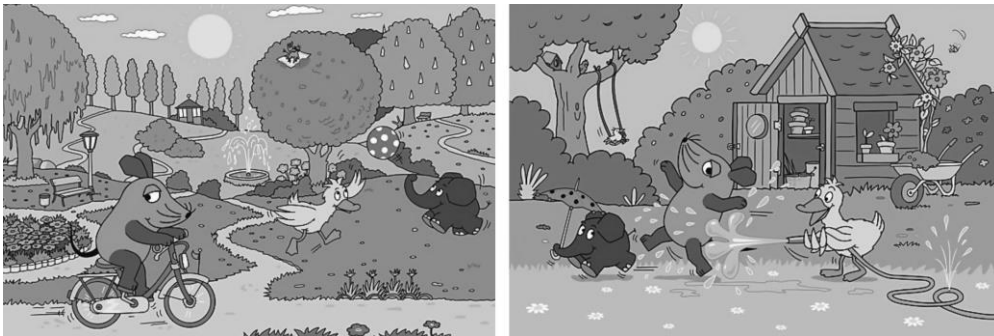
Als HMD für die VR kam die „Vive“ (Fa. HTC, Version 99HAHZ046-00) mit Originalzubehör zum Einsatz. Der verbundene PC nutzte als Betriebssystem Windows 7 in der zum Versuchszeitpunkt aktuellen Version.

Für die Simulation der Puzzles wurde die Software "Make a Jigsaw Puzzle" (Fa. waci11, Version 1.1) genutzt. Sie ermöglichte die Verwendung eigener Motive und die Anpassung der Verbindungen aller Puzzleteile. Als Arbeitsfläche dient in der Software eine frei platzier- und schwenkbare virtuelle Unterlage (siehe Abbildung 1). Mit den Vive-Standardcontrollern konnten die Puzzleteile in der Software einzeln oder im Verbund gefasst, gedreht und bewegt werden. Ein Klick-Geräusch signalisierte das erfolgreiche Zusammensetzen zweier Teile.



**Abbildung 1:** Virtuelle Arbeitsumgebung in der Software „Make a Jigsaw Puzzle“ mit einem Testbild. Die Arbeitsunterlage kann vom Anwender frei in Höhe und Position angepasst werden. Die Vorlage im Bild oben rechts ist für den Anwender stets sichtbar, verbirgt aber die Form der Verbindungen zwischen den Teilen.

Vorversuche zeigten, dass das eingesetzte HMD für detaillierte Motive nicht geeignet war. Somit fiel die Wahl auf zwei Puzzles mit gezeichneten Motiven aus der Serie "Die Sendung mit der Maus" (siehe Abbildung 2). Beide Motive waren gleich groß, besaßen einfache Strukturen und bestanden aus je 48 Teilen.



**Abbildung 2:** Motiv „Park“ (links) und Motiv „Garten“ (rechts) der verwendeten Puzzles. Beide Puzzles bestanden aus 48 Teilen und wurden in der Software in digitaler Form nachgebaut. Die Form der Teile wurde dabei, so weit möglich, berücksichtigt.

Auf dem Fragebogen, den die Probanden nach dem Lösen eines Puzzles erhielten, wurden fünf offene, inhaltliche Fragen zu den Motiven gestellt, durch deren Beantwortung ein Proband maximal 5 Punkte erreichen konnte. Es handelte sich hierbei um keine validierten Fragebögen. Für die anschließende Erfassung der empfundenen Beanspruchung kam der NASA Raw TLX zum Einsatz (Hart 1986).

### 2.3 Auswertung und Statistik

Die Verteilungen der Zeiten wurden mittels Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest auf Normalverteilung überprüft. Bei gegebener Normalverteilung wurden aus den Lösungszeiten die arithmetischen Mittelwerte und die Standardabweichungen mittels der Statistiksoftware SPSS Statistics (Fa. IBM, Version 24) berechnet. Die gleichen Schritte erfolgten für die Auswertung des NASA Raw TLX für die Subskalen sowie die Gesamtwerte. Die statistische Auswertung erfolgte über Students t-Tests mit einem Konfidenzintervall von 95% ( $\sigma = 0,05$ ). Für signifikante Unterschiede wurde die Effektstärke nach Cohens d berechnet. Da die inhaltlichen Fragebögen nicht validiert sind, wurden hier nur arithmetischen Mittelwerte und darauf basierend qualitative Aussagen getroffen.

Die folgenden Hypothesen wurden zur Untersuchung aufgestellt:

H<sub>1</sub>: Die Lösungszeit für die Puzzles in der VR ist höher als in der Realität.

mit H<sub>0</sub>: Die Lösungszeiten unterscheiden sich zwischen den Bedingungen nicht.

H<sub>2</sub>: Zu Inhalten von in der VR gelösten Puzzles können weniger Fragen korrekt beantwortet werden.

mit H<sub>0</sub>: Die Anzahl korrekt beantworteter Fragen unterscheidet sich zwischen den Bedingungen nicht.

H<sub>3</sub>: Die Gesamtbeanspruchung ist in der VR höher als in der Realität.

mit H<sub>0</sub>: Die Gesamtbeanspruchung unterscheidet sich zwischen den Bedingungen nicht.

### 3. Ergebnisse

Von den 15 Versuchspersonen musste eine die Aufgabe in der VR aufgrund von Anzeichen einer Cybersickness abbrechen und wurde für die Auswertung nicht weiter berücksichtigt.

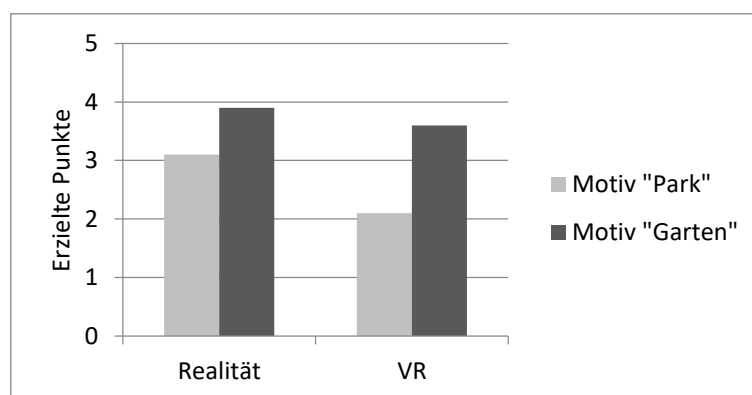
Die Überprüfung mit dem Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest ergab eine Normalverteilung der Lösungszeiten. Tabelle 1 enthält die durchschnittlichen Lösungszeiten und Standardabweichungen für die Bedingungen „Realität“ und „VR“.

**Tabelle 1:** Lösungszeiten für die Puzzles, sortiert nach den Bedingungen.

Bedingung	„Realität“ (M ± SD)	„VR“ (M ± SD)
<b>Lösungszeit</b>	4:03 ± 1:18 min	11:10 ± 3:59 min

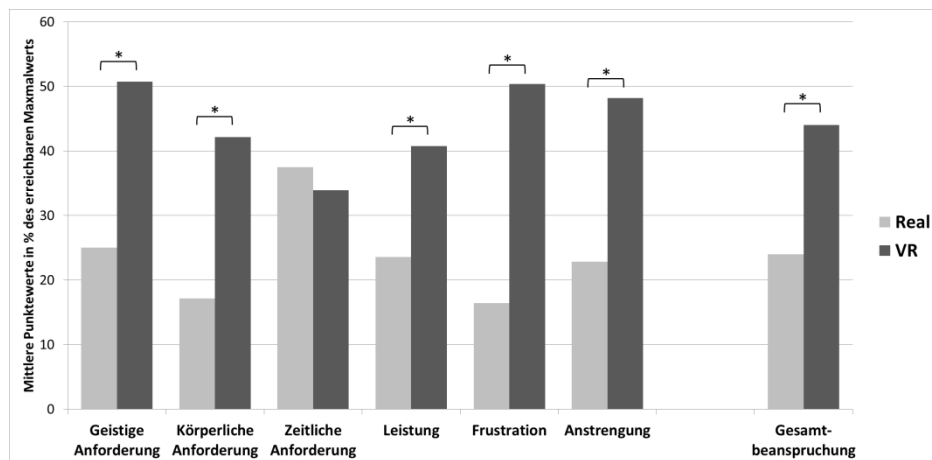
Die Bewältigung der Puzzles in der VR benötigte im Durchschnitt mehr als die 2,5-fache Zeit. Der t-Test ergab, dass die Puzzles in der Realität signifikant schneller gelöst wurden als in der VR ( $p < .05$ ;  $d = 2.30$ ). Eine Unterscheidung der Lösungszeiten nach Motiven ergab für das Motiv „Garten“  $M = 4:24$  min,  $SD = 1:30$  min in Realität und  $M = 11:22$  min,  $SD = 5:17$  min in der VR sowie für das Motiv „Park“  $M = 3:42$  min,  $SD = 1:02$  min in Realität und  $M = 10:57$  min,  $SD = 2:29$  min in der VR. Diese Unterschiede waren statistisch nicht signifikant ( $p > .05$ ).

Abbildung 3 stellt die arithmetischen Mittelwerte der inhaltlichen Fragebögen getrennt nach Bedingung und Motiv dar.



**Abbildung 3:** Arithmetische Mittelwerte der inhaltlichen Fragebögen. Maximal konnten 5 Punkte erreicht werden. Bei dem Motiv „Park“ wurden unabhängig von der Bedingung weniger Punkte erzielt als bei dem Motiv „Garten“, in der Bedingung „VR“ unabhängig vom Motiv weniger als in der Bedingung „Realität“.

Insgesamt wurden in der Realität durchschnittlich 3,5 Punkte erzielt, in der VR nur 2,9 Punkte. Der Unterschied fällt bei dem Motiv „Park“ dabei deutlicher aus als bei dem Motiv „Garten“. Bei letzterem wurden generell mehr Fragen korrekt beantwortet.



**Abbildung 4:** Ergebnisse der Subskalen sowie der Gesamtbeanspruchung des NASA Raw TLX. Die Werte sind prozentual auf den jeweils erreichbaren Maximalwert angegeben.

Abbildung 4 zeigt die Mittelwerte der Subskalen des NASA Raw TLX und die daraus resultierende Gesamtbeanspruchung. Auch hier zeigt der Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest eine Normalverteilung der Daten. Der t-Test bei gepaarten Stichproben zeigt signifikant höhere Werte in der VR für die geistige Anforderung ( $p < .05$ ;  $d = 1.10$ ) und für die körperliche Anforderung ( $p < .05$ ;  $d = 0.99$ ). Auch die Frustration ( $p < .05$ ;  $d = 1.50$ ) und die Anstrengung ( $p < .05$ ;  $d = 1.43$ ) sind in der VR signifikant stärker ausgefallen. Die erbrachte Leistung ( $p < .05$ ;  $d = 0.80$ ) wurde in der VR signifikant schlechter wahrgenommen. Bei der zeitlichen Anforderung konnte keine Signifikanz nachgewiesen werden ( $p > .05$ ). Daraus folgt auch eine signifikant höhere Gesamtbeanspruchung ( $p < .05$ ,  $d = 1.40$ ) in der VR. Die Mittelwerte betragen hier  $24 \pm 15$  % (Realität) und  $44 \pm 17$  % (VR).

#### 4. Diskussion

Die Hypothese  $H_1$  zu der benötigten Zeitdauer für die Lösung der Puzzles lässt sich bestätigen. Dabei spielte die Reihenfolge der Bedingungen „Realität“ und „VR“ keine Rolle. Schwierigkeiten in der VR entstehen neben der verringerten Feinmotorik aufgrund der Controller auch durch technische Details. Die Formen der Puzzleteile in der VR waren einfacher als in der Realität. Zusammen mit dem fehlenden haptischen Feedback konnten falsche Verbindungen somit nur anhand des Motivs erkannt werden. Es fiel zudem auf, dass viele Probanden in der VR nur einen der beiden Controller benutzten, wohingegen sie in der Realität mit beiden Händen puzzelten. Lagen in der VR einzelne Puzzleteile unter bereits zusammengefügtten Puzzleteilen, konnten daraus Probleme wie das versehentliche Wegstoßen und Umdrehen des Puzzles resultieren. Dies kann die höheren Ergebnisse im Bereich „Frustration“ des NASA Raw TLX erklären.

Die längere Bearbeitungszeit der Puzzles in der VR führte nicht zu besseren Ergebnissen bei den inhaltlichen Fragen. Zu vermuten ist, dass die höhere geistige Anforderung für die Erfüllung der Aufgabe das Einprägen der Motive störte. Die geringere empfundene Sehschärfe muss als zusätzlicher Störfaktor betrachtet werden. Die deutlich

geringeren erzielten Punkte für das Motiv „Park“ werden auf die unterschiedlich schwierigen und mitunter weniger eindeutigen Fragen zurückgeführt. Hypothese H<sub>2</sub> lässt sich somit nicht final beantworten. Es zeigt sich in den Daten eine Tendenz zur Bestätigung der Hypothese. Ein ähnliches Ergebnis zeigte sich auch in Untersuchungen, in denen die Erinnerung an Markenlogos in der VR geringer ausfiel als in 2D- und 3D-Setups (Roettl & Terlutter 2018).

Die Gesamtbeanspruchung in der VR wurde als signifikant höher bewertet als in der Realität. Somit wird Hypothese H<sub>3</sub> durch die Ergebnisse des NASA Raw TLX bestätigt. Die höhere geistige Anforderung in der VR kann auf die veränderte Motorik und die ungewohnte Umgebung zurückgeführt werden. Die höhere körperliche Anforderung lässt sich durch die freie Bewegung der Arme in der Luft erklären. Zusätzlich sagten einige Probanden nach der Durchführung des Tests, dass die VR anstrengender für die Augen sei. Ein Erklärungsansatz besagt, dass in der VR größere Bereiche des Gehirns für kognitive und motorische Aufgaben benötigt werden könnten (Slobounov et al. 2015). Obwohl alle Probanden in der Realität deutlich weniger Zeit zur Erfüllung der Aufgabe benötigten als in der VR, wurde der Zeitdruck minimal höher empfunden. Hier werden Unterschiede in der Erwartungshaltung vermutet.

Die fehlende Feinmotorik in der VR wird als Hauptursache für die höhere Gesamtbeanspruchung gesehen. Optische Bewegungserkennungssysteme oder Datenhandschuhe würden eine detailliertere Aufnahme der Hand- und Fingermotorik ermöglichen und können dazu führen, dass Probanden eine Aufgabe signifikant schneller lösen können als mit Standardcontrollern (Pfeiffer & Meyer 2017).

## 5. Literatur

- Chapman P (2018) Immersive environments: Real problems, virtual solutions. *Chinese Journal of Design* Zhuangshi, (306):23–29.
- Hart SG (1986) NASA Task Load Index (TLX). Volume 1.0; Paper and Pencil Package. Moffett Field: NASA Ames Research Center.
- Kim S, May A, Ryan H, Mohsin A, Tsuda S (2017) Distraction and proficiency in laparoscopy: 2D versus robotic console 3D immersion. *Surgical Endoscopy*, 11:4625–4630.
- Pfeiffer T, Meyer L. (2017) Vergleich von Leap Motion Hand-Interaktion mit den HTC-Vive MotionControllern in einer VR-Trainingssimulation für manuelle Arbeiten. In Dörner R, Kruse R, Mohler B, Weller R (Eds.) *Berichte aus der Informatik. Virtuelle und Erweiterte Realität – 14. Workshop der GI-Fachgruppe VR/AR*. Aachen Shaker Verlag, 91 – 102.
- Rau PLP, Zheng J, Guo Z, Li J (2018) Speed reading on virtual reality and augmented reality. *Computers & Education*, 125:240–245.
- Roettl J, Terlutter R (2018) The same video game in 2D, 3D or virtual reality – How does technology impact game evaluation and brand placements? *PLoS ONE* 13(7): e0200724. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200724>.
- Shane MD, Pettitt BJ, Morgenthal CB, Smith CD (2008) Should surgical novices trade their retractors for joysticks? Videogame experience decreases the time needed to acquire surgical skills. *Surgical Endoscopy*, 22(5):1294–1297.
- Slobounov SM, Ray W, Johnson B, Slobounov E, Newell KM (2015) Modulation of cortical activity in 2D versus 3D virtual reality environments: An EEG study. *International Journal of Psychophysiology*, 95(3):254–260.

**Danksagung:** Unser Dank geht an die beteiligten Studierenden des Studiengangs Biomedizinische Technik an der FH Münster für ihren Beitrag zur Umsetzung der Versuchsreihen.



Gesellschaft für  
Arbeitswissenschaft e.V.

## **Digitale Arbeit, digitaler Wandel, digitaler Mensch?**

66. Kongress der  
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

TU Berlin  
Fachgebiet Mensch-Maschine-Systeme

HU Berlin  
Professur Ingenieurpsychologie

16. – 18. März 2020, Berlin

---

## **GfA-Press**

---

**Bericht zum 66. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 16. – 18. März 2020**

**TU Berlin, Fachgebiet Mensch-Maschine-Systeme  
HU Berlin, Professur Ingenieurpsychologie**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.  
Dortmund: GfA-Press, 2020  
ISBN 978-3-936804-27-0

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Jahresdokumentation

Als Manuskript zusammengestellt. Diese Jahresdokumentation ist nur in der Geschäftsstelle erhältlich.  
Alle Rechte vorbehalten.

© **GfA-Press, Dortmund**  
**Schriftleitung: Matthias Jäger**

im Auftrag der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Ohne ausdrückliche Genehmigung der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. ist es nicht gestattet:

- den Kongressband oder Teile daraus in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) zu vervielfältigen,
- den Kongressband oder Teile daraus in Print- und/oder Nonprint-Medien (Webseiten, Blog, Social Media) zu verbreiten.

Die Verantwortung für die Inhalte der Beiträge tragen alleine die jeweiligen Verfasser; die GfA haftet nicht für die weitere Verwendung der darin enthaltenen Angaben.

**Screen design und Umsetzung**

© 2020 fröse multimedia, Frank Fröse

[office@internetkundenservice.de](mailto:office@internetkundenservice.de) · [www.internetkundenservice.de](http://www.internetkundenservice.de)