

## **Eine empirische Untersuchung der individuellen Simulatorkrankheit bei einem virtuellen Hubschrauberflug mit Head-Mounted Display (HMD)**

Mara KAUFELD, Thomas ALEXANDER

*Fraunhofer-Institut für Kommunikation,  
Informationsverarbeitung und Ergonomie FKIE  
Zanderstraße 5, D-53177 Bonn*

**Kurzfassung:** Die rasante technologische Entwicklung von Virtual Reality (VR)-HMDs begünstigt das realitätsnahe und kostengünstige Trainieren von komplexen Szenarien. Die vorliegende Arbeit fokussiert das Training von Hubschrauberbesatzungen und thematisiert das weiterhin vorherrschende Problem der Simulatorkrankheit. Hierzu wurde ein System von VR-HMD und Bewegungsplattform bezüglich dessen Einfluss auf die Simulatorkrankheit evaluiert. 30 flugunerfahrene Probanden durchliefen eine 30-minütige VR-Exposition. Hierbei befand sich der Proband als Teil der Besatzung im hinteren Bereich des Hubschraubers. Die Analysen zeigten, dass direkt nach der VR-Exposition Symptome der Simulatorkrankheit auftraten, welche eine Stunde nach der Exposition einem Normalzustand glichen. Des Weiteren konnten keine Hinweise darauf gefunden werden, dass eine aktivierte Bewegungsplattform die Simulatorkrankheit verringert. Allerdings war eine klare Präferenz der Probanden zu erkennen, welche die Nutzung von aktivierten Bewegungsplattformen im Training nahelegt.

**Schlüsselwörter:** Virtuelle Realität, virtuelles Training, Hubschrauber, Simulatorkrankheit, Bewegungsplattform

### **1. Einleitung**

Moderne Technologien der Virtual Reality (VR) bieten neue Möglichkeiten für die Arbeit und Ausbildung der Zukunft. Besonders schwer zugängliche und kostspielige Ausbildungsinhalte können mithilfe von VR-HMDs (Head-Mounted Displays) effektiv und effizient vermittelt werden. Ein Bereich in dem dies relevant ist, ist das Training von Hubschrauberbesatzungen. Rettungseinsätze erfordern von den Besatzungen besonders ausgeprägte Kompetenzen bei der Einschätzung und Identifikation von kritischen Situationen. VR-HMDs bieten hierbei ein natürliches Eintauchen in eine computer-generierte Umgebung und eine enge Verknüpfung zu den Lerninhalten, aber auch negative Nebeneffekte wie Simulatorkrankheit.

Bei der Simulatorkrankheit werden beim Benutzer Symptome wie Desorientierung, Kopfschmerz, Übelkeit oder Probleme im Bereich der Okulomotorik hervorgerufen. Nach der Sinneskonflikttheorie (engl. sensory conflict theory) entsteht Simulatorkrankheit durch eine Diskrepanz der Sinneseindrücke zwischen optisch wahrgenommener Sinneseindrücke und der Bewegung des Körpers innerhalb einer simulierten Umgebung. Dies entspricht einem Konflikt der vestibulären und visuellen Sinne und führt wiederum zu Beschwerden (LaViola Jr, 2000). Um Technologien virtueller Umgebungen zu etablieren, ist es von Bedeutung, die Krankheitssymptome zu redu-

zieren. Die Simulatorkrankheit kann zu maßgeblichen Einschränkungen der Sicherheit der Nutzer, der Verwendungshäufigkeit sowie der Trainings- und Lerneffektivität führen. Um die subjektiv empfundenen Auswirkungen der Simulatorkrankheit zu ermitteln, hat sich der Simulator Sickness Questionnaire (SSQ) von Kennedy, Lane, Berbaum und Lilienthal (1993) etabliert, welcher die Symptome der Simulatorkrankheit erfasst und ein Maß für die Stärke liefert.

Um VR-Systeme in der Anwendung zu etablieren, sind Maßnahmen zur Reduzierung von Simulatorkrankheit zu treffen. Entsprechend der Sinneskonflikttheorie sollte dazu der Konflikt zwischen visuellen und vestibulären Sinnesmodalitäten reduziert werden. Ein möglicher Ansatz hierfür ist die Nutzung von Bewegungsplattformen, welche das vestibuläre System analog zum visuellen System stimulieren. Leider zeigten Probanden in vergangenen Studien, trotz Einsatz von Bewegungsplattformen, Symptome der Simulatorkrankheit (siehe z.B. Sharkey & McCauley, 1992). Eine mögliche Begründung hierfür ist, dass die Bewegung der Plattform nicht exakt den visuell angezeigten Bewegungen entspricht. Wenn Bewegung und visueller Input synchronisiert sind, besteht zudem die Möglichkeit, dass es sich um echte Bewegungskrankheit handelt (LaViola Jr, 2000). In einer Studie von Stein und Robinski (2012) wurden verschiedene Flugsimulatoren verglichen und gezeigt, dass Simulatoren, welche Bewegungsplattformen nutzen, wahrscheinlicher Simulatorkrankheit hervorrufen. Es gibt wenig empirische Evidenz für die Reduzierung von simulationsinduzierten Symptomen durch Bewegungsplattformen. Anekdotische Evidenz für die Hypothese liefern beispielsweise die Mitarbeiter an einem Flugsimulator des US-Militärs. Ihrer Erfahrung nach sei Simulatorkrankheit häufiger, wenn die Bewegungsplattform abgeschaltet war (Gower Jr & Fowlkes, 1989a, 1989b). McCauley (1984) berichtete, dass in einer Studie 75 Prozent erfahrener Piloten ohne aktivierte Bewegungsplattform an Symptomen litten, mit Bewegungsplattform waren es hingegen 10 Prozent. Der Autor merkte allerdings auch an, dass dieser Effekt möglicherweise nur bei erfahrenen Piloten detektiert werden kann, da diese, im Gegensatz zu einer flugunerfahrenen Stichprobe, an Bewegungen gewöhnt sind. Die geringe Evidenz und die fortschreitende technische Entwicklung verdeutlichen den Bedarf an aktueller Forschung über die Auswirkung von realer Bewegung auf Simulatorkrankheit.

Ziel der vorliegenden Studie ist es, unter Anwendung von moderner Technologie festzustellen, ob reale Bewegung, welche durch eine Bewegungsplattform vermittelt wird, Simulatorkrankheit bei Verwendung von VR-HMDs reduzieren kann.

## 2. Methode

Im Rahmen einer experimentellen Probandenuntersuchung wurde der Einfluss von echter Bewegung auf Simulatorkrankheit untersucht. Die Stichprobe, die Variablen, der Versuchsaufbau, die technische Umsetzung sowie die (statistische) Auswertung werden im Folgenden erläutert.

### 2.1 Stichprobe

An der Studie nahmen 30 Probanden teil, welche keine Flugerfahrung und wenig VR-Erfahrung hatten. Da es sich größtenteils um Auszubildende handelte, war das durchschnittliche Alter mit 19.3 ( $SD=4.02$ ) Jahren im Vergleich zu tatsächlichen Pilo-

ten jung. Von den 30 Probanden waren 28 männlich. Voraussetzung zur Teilnahme war eine Normalsicht oder eine korrigierte Sehstärke, welche vorab getestet wurde.

## 2.2 Variablen und Versuchsaufbau

Wie eingangs beschrieben, ist in der vorliegenden Studie der Einfluss der unabhängigen Variable *Bewegung* auf die abhängige Variable *Simulatorkrankheit* relevant. Um diesem Forschungsgegenstand gerecht zu werden, wurde der Versuch in zwei experimentelle Blöcke aufgeteilt, in denen Aufgaben einmal mit aktivierter und einmal mit deaktivierter Bewegungsplattform absolviert wurden. Um Reihenfolgeeffekte zu vermeiden, wurden die Stufen „Bewegung“ und „keine Bewegung“ permutiert. Die Symptome der Simulatorkrankheit wurden mithilfe des SSQ ermittelt.

An zwei verschiedenen Tagen wurde ein experimenteller Durchgang à 30 Minuten durchgeführt, in dem Versuchspersonen Aufgaben in VR absolvierten, wobei vorab die Voraussetzungen (Sehtest) geprüft und die Demografie sowie Erfahrung in Computerspielen und im Führen von Flugfahrzeugen mittels Fragebögen erfasst wurden. Vor dem eigentlichen experimentellen Durchgang fand ein Training statt, in dem die Aufgaben und Eingabemethoden erklärt wurden. Innerhalb eines experimentellen Durchgangs nahm der Proband die Position eines Besatzungsmitgliedes ein und kniete herausblickend am hinteren rechten Fenster des virtuellen Hubschraubers. Hierbei wurden Aufgaben zur visuellen Suche als auch zum Arbeitsgedächtnis in der VR absolviert. Währenddessen wurde der Proband im Autopilot-Modus des Hubschraubers eine bestimmte Route entlang geflogen, welche für jeden Probanden in beiden Versuchsdurchläufen gleich war.

Um den Ausgangszustand zu erfassen, wurde von den Probanden bereits vor dem Training der SSQ (Simulatorkrankheit) ausgefüllt. Direkt nach dem experimentellen Durchgang wurde ein zweites Mal der SSQ ausgefüllt und eine Stunde nach der Exposition mit der VR ein letztes Mal. Am Ende der zweiten Sitzung wurden die Probanden gefragt, ob Ihnen die Bedingung mit oder ohne Bewegung besser gefallen hätte.

## 2.3 Technische Umsetzung

Für den oben beschriebenen Versuchsaufbau wurde ein Experimentalsystem genutzt, welches aus einer Bewegungsplattform inklusive Aufbau, einem VR-HMD sowie der dazugehörigen Software (VBS3) für die virtuelle Darstellung bestand (siehe *Abbildung 1*).

Die Bewegungsplattform 6 DoF Electrical Motion System der Firma Brunner wurde verwendet, um echte Bewegung entsprechend virtueller Simulation darzustellen. Bewegungsinformationen werden von der Simulation an die Bewegungsplattform mit einer Frequenz von 60 Hz versandt. Unsere Tests bezüglich der Grenzen von Geschwindigkeit und Beschleunigung haben gezeigt, dass die Bewegungsplattform physikalisch in der Lage war zwischen 97% und 99,5% aller übermittelten Bewegungen während unserer Simulation korrekt auszuführen. In Vortests haben Nutzer keine sensorischen Konflikte von visuellem und vestibulären Input detektieren können.

Der Aufbau wurde von einem externen Partner angefertigt. Als VR-HMD wurde die Oculus Rift CV1 genutzt, welche durch ein outside-in Tracking bewegungsunabhängige Sensorik bietet und somit durch die Bewegung der Bewegungsplattform nicht beeinflusst werden sollte.



**Abbildung 1:** Foto des Experimentalaufbaus mit Probanden

## 2.4 (Statistische) Auswertung

Der SSQ wurde gemäß der Anleitung von Kennedy et al. (1993) ausgewertet. 16 verschiedene körperliche Symptome (Items) mussten vierstufig als „nicht vorhanden“, „leicht“, „mittel“ oder „stark“ bewertet werden. Die Einzelergebnisse (0, 1, 2, 3) werden der Zugehörigkeit der Symptomgruppen (nausea/Übelkeit, oculomotor/Okulomotorik und disorientation/Desorientierung) nach gewichtet und für jede Gruppe (N, O, D) aufsummiert. Die Punktzahl der Symptomgruppe entsteht durch Multiplikation der gewichteten Summenwerte mit einem festgelegten Faktor pro Gruppe. Aus den aufaddierten und mit 3.74 multiplizierten Gruppensummen ergibt sich der Gesamtwert der Simulatorkrankheit.

Berechnet wurde mithilfe von SPSS 25 (IBM) eine 2x3 ANOVA mit Messwiederholung. Der erste Faktor ist 2-stufig und enthält die Stufen *Bewegung* und *Keine Bewegung*. Auf dem zweiten Faktor befinden sich die drei Messzeitpunkte (vorher, nachher und eine Stunde danach). Trotz fehlendem Vorliegen von Normalverteilung, wurden parametrische Verfahren genutzt, da sich ANOVAs bei Verletzung der Normalverteilung weitestgehend robust verhalten, insbesondere wenn die Versuchspersonenanzahlen, wie hier gegeben, der Bedingungen gleich sind (Rasch, Friese, Hofmann & Naumann, 2010). In Diagrammen werden statistisch signifikante Werte entsprechend der  $p$ -Werte durchgehend wie folgt gekennzeichnet: \* für  $p < .05$ , \*\* für  $p < .01$ , \*\*\* für  $p < .001$ . Für die Erstellung von Grafiken wurden die Mittelwerte genutzt und Fehlerbalken stellen deren Standardfehler dar.

## 3. Ergebnisse

Die ANOVA mit Messwiederholung zeigte einen signifikanten Haupteffekt des Faktors Zeitpunkt für den Gesamtscore des SSQ,  $F(2,56) = 19.00$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .40$ , für die Skala Nausea,  $F(2,56) = 11.91$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .30$ , für die Skala Okulomotori-

sches Unwohlsein,  $F(2,56) = 16.06$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .36$  sowie für die Skala Desorientierung,  $F(2,56) = 11.61$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .29$ .

Abbildung 2 zeigt, dass direkt nach der Exposition sich eine erwartungsgemäße signifikante Steigerung der Symptome der Simulatorkrankheit einstellt. Eine Stunde nach der Exposition lassen sich keine Unterschiede in der Symptomatik zu vor der Exposition feststellen. Dies bedeutet, dass eine Stunde nach der Exposition die gezeigten Symptome wieder auf einem Normallevel sind. Abbildung 2 zeigt die gemittelten Werte der Bedingungen Bewegung und keine Bewegung.

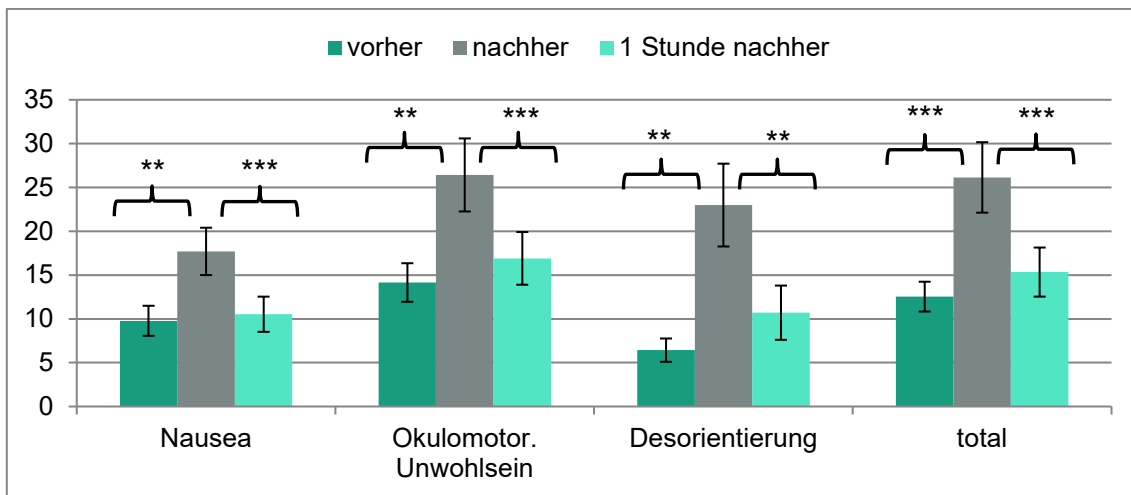


Abbildung 2: Symptome der Simulatorkrankheit zu drei Messzeitpunkten

Ein Haupteffekt für den Faktor Bewegung oder eine Interaktion der beiden Faktoren konnte nicht detektiert werden. Dies bedeutet, dass es zwischen Bewegung und keine Bewegung keine signifikanten Unterschiede für alle Skalen des SSQs (N, O, D) sowie den Gesamtscore gibt (siehe Abbildung 3). Eine aktivierte Bewegungsplattform führt demnach weder zu einer Verbesserung noch zu einer Verschlechterung von Symptomen der Simulatorkrankheit.

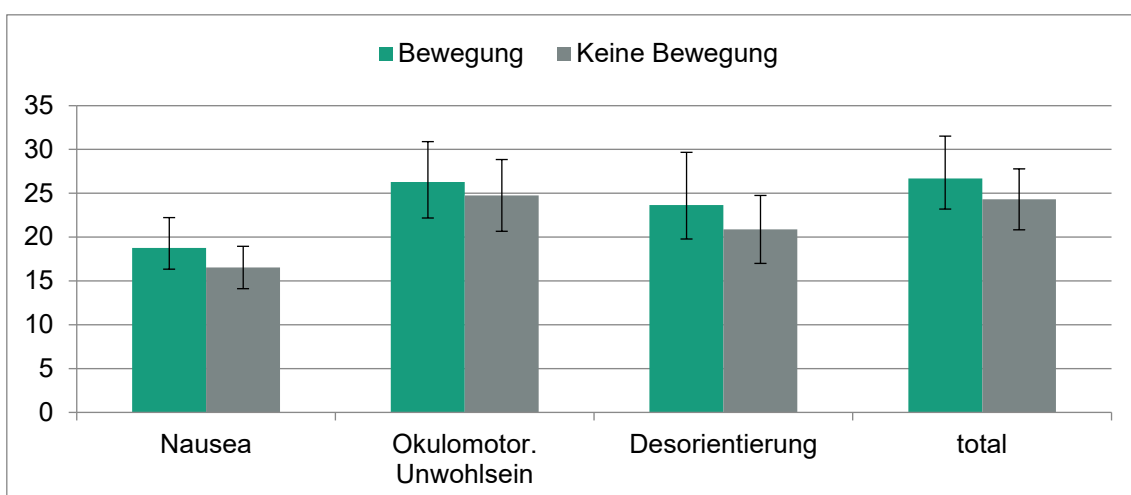


Abbildung 3: Symptome der Simulatorkrankheit unterschieden nach Bewegung und keine Bewegung

Bei der abschließenden Abfrage, welche Bedingung den Probanden besser gefallen hätte, zeigte sich eine klare Tendenz, insofern als 26 der Probanden (87 %) sich

für das Training mit aktivierter Bewegungsplattform aussprachen. Der Großteil der Probanden begründete dies damit, dass sich die Simulation kombiniert mit Bewegung realistischer anfühle.

#### 4. Diskussion

Die Evaluation eines Systems von VR kombiniert mit Bewegungsplattform hat ergeben, dass sich Symptome der Simulatorekrankheit direkt nach der Exposition zeigen. Eine Stunde nach der Exposition sind die Symptome wieder auf einem Normallevel. Entsprechend der Sinneskonflikttheorie sollte eine aktivierte Bewegungsplattform Diskrepanzen zwischen visuellem und vestibulärem System ausgleichen und somit Simulatorekrankheit verringern. Für diese Annahme konnte die vorliegende Studie keine Indizien liefern. Eine Erklärung könnte sein, dass die Bewegungsplattform nicht mit dem visuellen Input von dem VR-HMD synchronisiert war. Wie in Abschnitt 2.2 erläutert wurde, sollte dies nicht auf unsere Simulation zutreffen. Eine weitere Erklärung hierfür liefert LaViola Jr (2000), welche davon ausgeht, dass Bewegungsplattformen zwar den Sinneskonflikt reduzieren, allerdings das Auftreten von *wahrer* Bewegungskrankheit fördern. Um diese Erklärung zu prüfen, sollten zukünftig Hubschrauberbesatzungen einbezogen werden, da diese an reale Hubschrauberbewegungen gewöhnt sind und möglicherweise weniger an Bewegungskrankheit leiden. Hervorzuheben ist dennoch, dass die reale Bewegung durch die Bewegungsplattform keine negativen Effekte auf die Simulatorekrankheit der Probanden hatte. Zudem spricht die Probandenpräferenz klar für die Nutzung von Bewegungsplattformen im Training. Der Einsatz des hier getesteten Systems ist mit aktivierter Bewegungsplattform zu empfehlen, da in der vorliegenden Studie keine Hinweise dafür geliefert wurden, dass Bewegung zu höherer Simulatorekrankheit führe und die Probanden Bewegung präferieren.

#### 5. Literatur

- Gower Jr, D. W. & Fowlkes, J. (1989a). Simulator sickness in the AH-1S (Cobra) flight simulator. Fort Rucker, AL: Army Aeromedical Research Laboratory.
- Gower Jr, D. W. & Fowlkes, J. (1989b). Simulator sickness in the UH-60 (Black Hawk) flight simulator. Fort Rucker, AL: Army Aeromedical Research Laboratory.
- Kennedy, R. S., Lane, N. E., Berbaum, K. S. & Lilienthal, M. G. (1993). Simulator sickness questionnaire. An enhanced method for quantifying simulator sickness. *The international journal of aviation psychology*, 3 (3), 203–220.
- LaViola Jr, J. J. (2000). A discussion of cybersickness in virtual environments. *ACM SIGCHI Bulletin*, 32 (1), 47–56.
- McCauley, M. E. (1984). Research issues in simulator sickness. *Proceedings of a workshop: National Academies*.
- McCauley, M. E. & Sharkey, T. J. (1992). Cybersickness. Perception of self-motion in virtual environments. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 1 (3), 311–318.
- Rasch, B., Friese, M., Hofmann, W. & Naumann, E. (2010). *Quantitative Methoden 2. Einführung in die Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler (3. erweiterte Auflage)*: Berlin: Springer.
- Sharkey, T. J. & McCauley, M. E. (1992). Does a motion base prevent simulator sickness? In: *Flight Simulation Technologies Conference*.
- Stein, M. & Robinski, M. (2012). Simulator sickness in flight simulators of the German armed forces. *Aviation Psychology and Applied Human Factors*.



Gesellschaft für  
Arbeitswissenschaft e.V.

## **Arbeit interdisziplinär analysieren – bewerten – gestalten**

65. Kongress der  
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

Professur Arbeitswissenschaft  
Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme  
Technische Universität Dresden

Institut für Arbeit und Gesundheit  
Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung

27. Februar – 1. März 2019

---

## **GfA-Press**

---

**Bericht zum 65. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 27. Februar – 1. März 2019**

**Professur Arbeitswissenschaft, Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme,  
Technische Universität Dresden;  
Institut für Arbeit und Gesundheit, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Dresden**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.  
Dortmund: GfA-Press, 2019  
ISBN 978-3-936804-25-6

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 Konferenzband oder Teile daraus in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) zu vervielfältigen,
- den Konferenzband 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**

© 2019 fröse multimedia, Frank Fröse

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