

Sensorisches Zusammenspiel des visuellen und vestibulären Systems in Virtual Reality

Nils Henrik Seitz*
Universität Rostock

ZUSAMMENFASSUNG

Durch die zunehmende Digitalisierung der Gesellschaft, sinkende Kosten und gleichzeitig steigende Leistungsfähigkeit der erforderlichen Hardware erfreut sich Virtual Reality immer größerer Beliebtheit.

Die multisensorische Integration ist ein evolutionäres Wunder, das viele Male innerhalb einer Sekunde geschieht: Unser Gehirn führt unbemerkt und scheinbar mühelos die Informationen verschiedener Sinne zu einem für uns konsistenten Gesamtbild zusammen. Dass diese Verarbeitung überhaupt stattfindet, bemerken wir eigentlich nur, sobald es dabei zu Komplikationen kommt.

Die multisensorische Integration ist ein evolutionäres Wunder, das viele Male innerhalb einer Sekunde geschieht: Unser Gehirn führt unbemerkt und scheinbar mühelos die Informationen verschiedener Sinne zu einem für uns konsistenten Gesamtbild zusammen. Dass diese Verarbeitung überhaupt stattfindet, bemerken wir eigentlich nur, sobald es dabei zu Komplikationen kommt.

Keywords: Virtual Reality, Human Factors, Visual-Vestibular Conflict, Motion Sickness, Cyber Sickness

Index Terms: H.1.2 [Models and Principles]: User/Machine Systems—Human factors, Human information processing; H.5.1 [Information Interfaces and Presentation (e.g., HCI)]: Multimedia Information Systems—Artificial, augmented, and virtual realities

1 EINLEITUNG

Die multisensorische Integration ist ein evolutionäres Wunder, das viele Male innerhalb einer Sekunde geschieht: Unser Gehirn führt unbemerkt und scheinbar mühelos die Informationen verschiedener Sinne zu einem für uns konsistenten Gesamtbild zusammen. Dass diese Verarbeitung überhaupt stattfindet, bemerken wir eigentlich nur, sobald es dabei zu Komplikationen kommt.

2 MOTION SICKNESS UND CYBER SICKNESS

In diesem Abschnitt sollen vorrangig grundlegende Arten von Motion Sickness erklärt und gegenüber gestellt sowie Theorien zur Entstehung dieser vorgestellt werden. Außerdem soll darauf verwiesen werden, welche Probleme das für Virtual Reality impliziert.

Das gravierendste Problem, welches bei der Nutzung von Virtual Reality auftreten kann, sind die Symptome der Cyber Sickness. Diese ähneln denen der klassischen Motion Sickness und umfassen eine Vielzahl unangenehmer Empfindungen und Reaktionen durch den betroffenen Organismus: Kopfschmerzen, Schweißausbrüche, Orientierungslosigkeit, Schwindelanfälle, Ataxia und Übelkeit bis hin zum Erbrechen [9, 10].

Durch die Ähnlichkeit in den körperlichen Reaktionen zur klassischen Motion Sickness, die beispielsweise von Auto- oder Schiffsfahrten bekannt ist, versucht man auch, denselben Erklärungsansatz zu verwenden: die *Sensory Conflict Theory* [7, 9]. Diese postuliert,

dass die eben genannten Symptome auftreten, wenn bei der multi-modalen, sensorischen Integration¹ bezüglich der Selbstbewegung inkongruente Reize festgestellt wurden und intensiviert sich, wenn die aktuelle Wahrnehmung im Widerspruch mit vorherigen Lernerfahrung in ähnlichen Situationen steht [13].

Ein möglicher Grund, warum manche der Symptome auftreten, könnte laut Treisman [16] ein evolutionärer Schutzmechanismus vor Vergiftung sein. Leider bietet diese Theorie wenig Möglichkeiten zur Prädiktion.

Für die Wahrnehmung von Bewegung ist die Propriozeption, vor allem aber der Gleichgewichtssinn und Sehsinn zuständig. Bei klassischer Motion Sickness besteht das Problem darin, dass keine visuellen Reize vorhanden sind, wie auf der Innenkabine eines Schiffes bei starkem Wellengang, was bekanntermaßen zu Seekrankheit, eine Form der Motion Sickness, führt.

Im Gegensatz dazu entsteht bei Virtual Reality *Vection*² allein durch visuelle Stimuli, ohne das Vorhandensein von vestibulären Reizen. Zwar ist es Ziel der Virtual Reality, eine Vection zu erzeugen, sodass sie immersiv ist und ein Entstehen von Presence gelingt, jedoch ist das mit Virtual Reality Sickness³ negativ korreliert, wie Weech et al. [17] in ihrer Metaanalyse herausfanden (Abbildung 1).

Bei beiden, klassischer Motion und Cyber Sickness, liegt der *visuell-vestibuläre Konflikt* zu Grunde, jedoch ist die Art, wie dieser entsteht, ebenso wie einige Symptome der beiden, unterschiedlich [14]. Deswegen wird die Sensory Conflict Theory auch teils als Erklärung für die Symptome der Virtual Reality Sickness angezweifelt [9]. Dennoch lässt sich ihrer Hilfe gut erklären, warum die Maßnahmen gegen Cyber Sickness in Abschnitt 3 helfen.

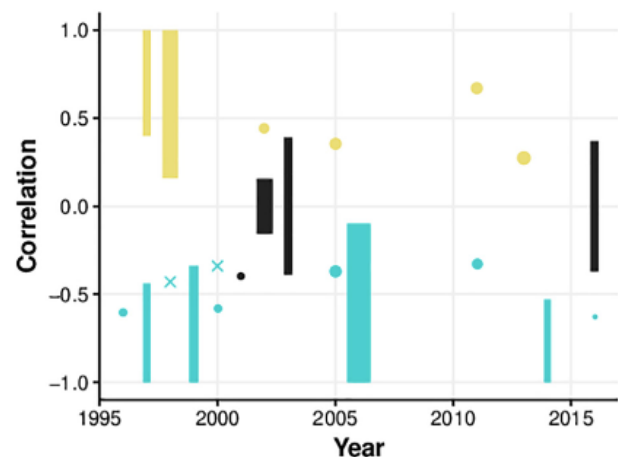


Abbildung 1: Weech et al. [17] erklären in ihrem Review, dass die meisten der früheren Studien nicht aussagekräftig sind.

*e-mail: nils.seitz@uni-rostock.de

¹ Verarbeitung der Reize verschiedener Sinneskanäle auf höheren kognitiven Ebenen

² Illusion in der Wahrnehmung der Eigenbewegung

³ Synonym für Cyber Sickness

Durch die Symptome kann sich eine Aversion gegenüber Virtual Reality entwickeln und im Falle von Trainingsszenarien in virtueller Umgebung, wenn die Teilnehmer das Szenario nicht freiwillig beenden können, kann es vorkommen, dass ein unerwünschtes Vermeidungsverhalten, wie Passivität, gefestigt wird [3], welches sich kontraproduktiv auswirken könnte, wenn der Realfall des Trainingsszenario eintritt.

Daher gilt es sich zu überlegen, mit welchen Mitteln man Virtual Reality Sickness kontrollieren und somit die entstehenden Symptome reduzieren kann, um das große Potential von Virtual Reality effektiv nutzen zu können.

3 METHODEN GEGEN CYBER SICKNESS

In diesem Abschnitt sollen verschiedene Maßnahmen gegen Cyber Sickness vorgestellt werden. Darüberhinaus soll erklärt werden, warum diese wirkungsvoll sind und was mögliche Nachteile bei der Nutzung entsprechender Maßnahmen sein könnten.

Die Maßnahmen lassen sich in auf Grund der Sensory Conflict Theory in drei Kategorien einteilen: Reduktion der Inkongruenz der visuellen Reize entgegen der Erfahrung, indem diese optimiert werden (Unterabschnitt 3.1), Generation von kongruenten, vestibulären Stimuli entsprechend der Erwartung durch die visuellen Reize (Unterabschnitt 3.2) und Adaptation durch den Organismus selbst (Unterabschnitt 3.3). Eine generell zu erkennende Tendenz besteht darin, dass diese Methoden versuchen, eine gewohnte **Natürlichkeit** in der virtuellen Umgebung zu erzeugen.

3.1 Anpassung der visuellen Reize

Eine Vection passiert dann, wenn ein **statischer Referenzpunkt** fehlt, an dem man sich optisch fixieren und somit seine Lage relativ dazu sicher feststellen kann. Dies passiert beispielsweise, wenn man aus einem Zug auf einen anderen schaut, ohne den Himmel sehen zu können. Wenn der andere Zug sich in Bewegung setzt, erlebt man kurzzeitig Vection, da hier der Himmel als statische Referenz fehlte.

Daher kann ein unabhängiger Hintergrund, vorrangig bei CAVE Displays, nach Duh et al. [5] helfen. Natürlich ist die Methoden beispielsweise bei Head-Mounted Displays nicht nutzbar, da diese die visuelle Wahrnehmung der tatsächlichen Umgebung vollständig ersetzen. Eine Methode dennoch einen bekannten Fixpunkt in die virtuelle Umgebung zu integrieren ist die virtuelle Nase wie in Abbildung 2, die laut Wienrich et al. [19] die Intensität von Cyber Sickness bei Nutzung von Head-Mounted-Displays reduzieren kann.

Desweiteren ist es für die Reduktion von Cyber Sickness ratsam, wenn die graphische Darstellung und Design der virtuellen Umgebung sich dadurch auszeichnen, dass sie natürlich wirken und ruhige, weite Szenen ohne schnellwechselnde Bewegungen nachbildet. Die Parameter der Graphik sollten wie folgt umgesetzt werden:

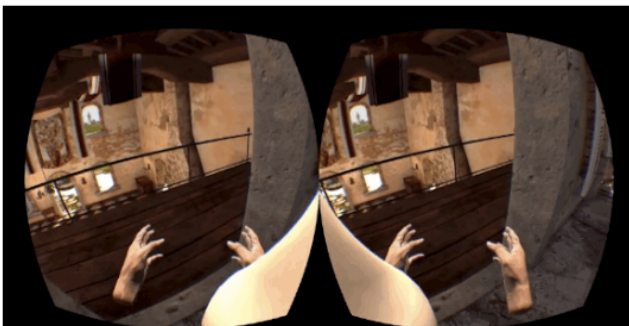


Abbildung 2: Virtuelle Nase zur Reduktion von Cyber Sickness bei Head-Mounted Displays. Bild von WIRED [15], letzter Zugriff: 03.05.2020

Die Auflösung und Wiederholungsrate⁴ sollten angemessen hoch sein [8], das *Field of View* sollte sich nach Fernandes et al. [6] dynamisch anpassen und tendenziell eher klein sein und hoch über dem Boden ansetzen, sofern der Kontext, für den die virtuelle Umgebung genutzt wird, das zulässt. Geringe Latenz führte nach Meehan et al. [11] zu mehr wahrgenommener Presence und laut Simon et al. [4] auch zu Cyber Sickness, ebenso wie durch Flickern in der Darstellung der virtuellen Umgebung. Bei all diesen Punkten stellt sich immer die Frage des Aufwandes und der Umsetzbarkeit durch die verfügbare Hardware.

Es scheint, als verursachen realistischere Graphik bzw. Animationen stärkere Cyber Sickness [12]. In Anbetracht der beiden Punkte, statische Referenz und Natürlichkeit, empfehlen sich weite Landschaften in virtuellen Umgebungen und im Sinne der Sensory Conflict Theory, Fortbewegung in Virtual Reality möglichst zu reduzieren⁵, wobei sich hier erneut das Problem aufwirft, dass diese Methoden nicht in jedem Kontext der Virtual Reality einsetzbar sind.

Obwohl mit den genannten Anpassung der visuellen Komponente die Vection schon wesentlich angenehmer und weniger gestört durch Cyber Sickness sein kann, sodass auch eine Immersion in die virtuelle Umgebung stattfindet, ist es immer möglich zusätzlich kongruente, vestibuläre Stimuli zu erzeugen, sodass die Vection keine Illusion mehr ist, sondern nahe an das tatsächliche Bewegungserlebnis herankommt.

3.2 Erzeugen kongruenter Stimuli

Zu den visuellen Reizen der virtuellen Umgebung können die verschiedenen Sinneskanäle kongruente Stimuli ergänzen, auch durch auditive oder haptische, um die Orientierung im virtuellen Raum zu erhöhen. Vorrangig lässt sich Cyber Sickness aber reduzieren, indem man eine entsprechende Möglichkeit der Bewegung einräumt, während man in der virtuellen Umgebung ist. Dies ist vor allem durch sogenannte VRN-Chairs und Treadmills möglich.

VRN-Chairs sind Rollstühle, die mit magnetischen Sensoren ausgestattet werden, sodass die Bewegung der Räder des Rollstuhls passend in die Virtual Reality übertragen werden kann. Durch gleichgerichtete Drehung der Räder kann eine Vor- oder Rückwärtsbewegung, durch entgegengesetzte Drehung eine Rotation in die jeweilige Richtung erzeugt werden. Durch das unterschiedlich starkes Drehen können Kurven gefahren werden. Laut Byagowi [2] reduzieren VRN-Chairs Cyber Sickness und haben den Vorteil, dass sie barrierefrei sind, sodass sie auch in speziellen medizinischen Szenarien genutzt werden können. Generell treten im Sitzen in Virtual Reality weniger Symptome von Cyber Sickness auf. VRN-Chairs haben jedoch Nachteile in virtuellen Umgebung, die die dritte Dimension stark beanspruchen und sind somit nicht in allen Kontexten nutzbar.

Eine weitere Möglichkeit der Bewegung während man in der virtuellen Realität ist, sind Treadmills. Diese sind in der Regel omnidirektional, sodass sich frei in alle Richtungen bewegen kann. Nach Aldaba und Moussavi [1] sind VRN Chairs aber gegenüber Treadmills effektiver, da sie den Reizen der natürlichen Bewegung eher entsprechen und dadurch die Symptome der Cyber Sickness weniger intensiv sind wie in Abbildung 3 zu sehen ist. Desweiteren beanspruchen Treadmills oft viel Raum. Außerdem sind sie gegenüber VRN-Chairs nicht barrierefrei und wesentlich kostenintensiver.

Ohne eine tatsächlich stattfindende Bewegung, die dann durch die Trägheit der Flüssigkeit in den Bogengängen des Innenohrs einen Reiz erzeugt, funktioniert die *galvanische Vestibulärstimulation*, bei der das Gleichgewichtsorgan nicht-invasiv direkt stimuliert wird. Nach Weech et al. [18] kann sie kurzzeitig Cyber Sickness reduzieren, während und kurz nach der Reizung.

⁴ 50-60 Hz, nach Simon et al. [4]

⁵ In Computerspielen zum Beispiel Teleportation nutzen

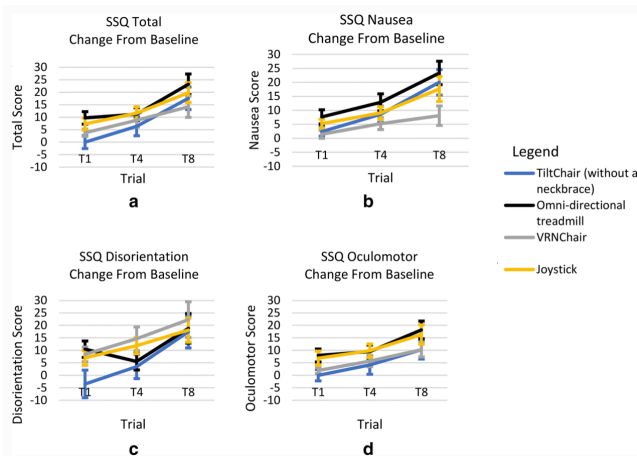


Abbildung 3: Vergleich verschiedener Methoden bezüglich Cyber Sickness von Aldaba und Moussavi [1]. Niedrige SSQ-Scores bedeuten weniger Cyber Sickness.

Galvanischen Vestibulärstimulation scheint effektiv zu sein, weil der Organismus in der virtuellen Umgebung die Gewichtung der Sinneskanäle neu bestimmt. Vestibuläre Reize werden als unzuverlässig empfunden und es finden ein *Down-Weighing* statt, wogegen sich mehr auf die visuellen Stimuli verlassen wird und diese stärker gewichtet werden. Der Nachteil der galvanischen Vestibulärstimulation ist, dass dieses Verfahren noch relativ unerforscht ist, und bis jetzt nicht bekannt ist, wie es sich auf höhere kognitiven Schichten auswirken kann.

Wenn ein Organismus sich in kurzen Zeitfenstern, schon anpassen beginnt, stellt sich die Frage, wie die Adaptation auf längere Zeit mit regelmäßiger Nutzung virtueller Realitäten aussieht und welche weiteren Faktoren das Auftreten von Cyber Sickness noch beeinflussen können.

3.3 Adaptation und interindividuelle Faktoren

langfristige Adaptation

Equipement/Passform

Age simon et al. Gender Illness Posture

Control Duration Aldaba

4 FAZIT

test Benennung unklar Mehr Forschung

DANKSAGUNG

Der Autor möchte Amon Ties Uerckwitz für die Zusammenarbeit im Themengebiet „Human Factors and Perception“ danken.

LITERATUR

- [1] C. N. Aldaba and Z. Moussavi. Effects of virtual reality technology locomotive multi-sensory motion stimuli on a user simulator sickness and controller intuitiveness during a navigation task. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 58(1):143–154, Nov 2019. doi: 10.1007/s11517-019-02070-2
- [2] A. Byagowi, D. Mohaddes, and Z. Moussavi. Design and application of a novel virtual reality navigational technology (vrnchair). *Journal of Experimental Neuroscience*, 8:JEN.S13448, Jan 2014. doi: 10.4137/jen.s13448
- [3] J. Crowley. Simulator sickness: a problem for army aviation. *Aviation, space, and environmental medicine*, 58(4):355357, April 1987.
- [4] S. Davis, K. Nesbitt, and E. Nalivaiko. A systematic review of cybersickness. In *Proceedings of the 2014 Conference on Interactive Entertainment*, IE2014, p. 19. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 2014. doi: 10.1145/2677758.2677780
- [5] H. Duh and D. Parker. Does a peripheral independent visual background reduce scene-motion-induced balance disturbance in an immersive environment? 05 2001.
- [6] A. S. Fernandes and S. K. Feiner. Combating vr sickness through subtle dynamic field-of-view modification. In *2016 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI)*, 2016. doi: 10.1109/3DUI.2016.7460053
- [7] D. M. Johnson. Introduction to and review of simulator sickness research. 2005.
- [8] R. Kirolos. *Visual-Vestibular Sensory Integration During Congruent and Incongruent Self-Motion Percepts*. PhD thesis, Carleton University, 2019.
- [9] E. M. Kolasinski and R. D. Gilson. Simulator sickness and related findings in a virtual environment. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 42(21):1511–1515, Oct 1998. doi: 10.1177/154193129804202110
- [10] J. J. LaViola. A discussion of cybersickness in virtual environments. *ACM SIGCHI Bulletin*, 32(1):47–56, Jan 2000. doi: 10.1145/333329.333344
- [11] M. Meehan, S. Razzaque, M. C. Whitton, and F. P. Brooks. Effect of latency on presence in stressful virtual environments. In *IEEE Virtual Reality, 2003. Proceedings.*, pp. 141–148, 2003. doi: 10.1109/VR.2003.1191132
- [12] M. Pouke, A. Tiirio, S. M. LaValle, and T. Ojala. Effects of visual realism and moving detail on cybersickness. In *2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, pp. 665–666, 2018.
- [13] J. Reason and J. Brand. *Motion Sickness*. Academic Press, 1975.
- [14] K. M. Stanney, R. S. Kennedy, and J. M. Drexler. Cybersickness is not simulator sickness. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 41(2):1138–1142, Oct 1997. doi: 10.1177/107118139704100292
- [15] L. Stinson. How to reduce vr sickness? just add a virtual nose.
- [16] M. Treisman. Motion sickness: an evolutionary hypothesis. *Science*, 197(4302):493–495, 1977. doi: 10.1126/science.301659
- [17] S. Weech, S. Kenny, and M. Barnett-Cowan. Presence and cybersickness in virtual reality are negatively related: A review. *Frontiers in Psychology*, 10, Feb 2019. doi: 10.3389/fpsyg.2019.00158
- [18] S. Weech, T. Wall, and M. Barnett-Cowan. Reduction of cybersickness during and immediately following noisy galvanic vestibular stimulation. *Experimental Brain Research*, 238(2):427–437, Jan 2020. doi: 10.1007/s00221-019-05718-5
- [19] C. Wienrich, C. K. Weidner, C. Schatto, D. Obrenski, and J. H. Israel. A virtual nose as a rest-frame - the impact on simulator sickness and game experience. In *2018 10th International Conference on Virtual Worlds and Games for Serious Applications (VS-Games)*, 2018. doi: 10.1109/VS-Games.2018.8493408