

Untersuchung der Tiefenwahrnehmung bei älteren und jungen Nutzern von Head-Mounted-Displays (HMD)

Thorsten PLEWAN, Gerhard RINKENAUER

*Leibniz-Institut für Arbeitsforschung an der TU Dortmund (IfADo),
Ardeystraße 67, D-44139 Dortmund*

Kurzfassung: Head-Mounted-Displays (HMD) wurden eingesetzt um die räumliche (Tiefen-)Verarbeitung bei alten und jungen Versuchspersonen zu untersuchen. In zwei Experimenten war die überwiegende Anzahl der Teilnehmer sehr gut in der Lage auch kleinste Unterschiede in der räumlichen Tiefe zu diskriminieren, wobei bereits sehr kurze Darbietungszeiten ausreichend waren, um die Positionen der Reize verlässlich zu bestimmen. In beiden Altersgruppen gab es allerdings große interindividuelle Leistungs-schwankungen, jedoch waren die Schwankungen bei älteren Versuchs-teilnehmern größer. Es erscheint daher ratsam beim Einsatz von HMD-Systemen individuelle Kompetenzen der Benutzer zu berücksichtigen und auf Ambiguitäten bei der Darbietung von visuellem Material nach Möglichkeit zu verzichten.

Schlüsselwörter: Head-Mounted Displays, HMD, Tiefenwahrnehmung, Altern, Peripheres Sehen

1. Einleitung

Das visuelle System des Menschen verfügt im Wesentlichen über drei Informationsquellen zur Tiefenwahrnehmung: Monokulare Hinweisreize sind zum Beispiel die Position/Höhe eines Objektes im Blickfeld, Perspektive, Verdeckung oder relative Größe von Objekten. Die Stellung der Augen (Konvergenz auf ein Objekt) sowie die Brechkraft der Linse (Akkommodation) verändern sich in Abhängigkeit von der räumlichen Lokalisation von (visuellen) Objekten. Ferner gilt insbesondere stereoskopisches Sehen (binokularer Hinweisreize) als besonders starke Informationsquelle für Tiefenwahrnehmung (Goldstein 2002).

Eine etablierte Methode zur Darstellung dreidimensionaler (3D) Information im Raum sind Head-Mounted-Displays (HMD). Bei diesen Systemen werden zwei kleine Bildschirme unmittelbar vor den Augen der Nutzer platziert. Durch Simulation der natürlichen Disparität erreichen beide Augen leicht unterschiedliche Bilder, die dann zu einer dreidimensionalen Repräsentation integriert werden.

Hinsichtlich technischer Aspekte sowie des Tragekomforts von HMD-Systemen gibt es bereits relativ umfangreiche Untersuchungen (z.B. Peli 1998; Shibata 2002; Kooi & Toet 2004; Cakmakci & Rolland 2006). Außerdem gibt es zunehmend Evidenz dafür, dass sich Wahrnehmung in virtuellen 3D Umgebungen deutlich von der Wahrnehmung in der realen Welt unterscheidet. So kommen beispielsweise Renner und Kollegen in einem Überblicksartikel zu dem Schluss, dass Versuchspersonen die egozentrierten Distanzen in 3D Umgebungen deutlich unterschätzen. Den Autoren zufolge beträgt die wahrgenommene Distanz in 3D

Umgebungen nur 74% der realen Distanz (Renner et al. 2013). Insgesamt ist jedoch bisher wenig über die grundlegenden kognitiven Verarbeitungsmechanismen bei der Interaktion mit HMD-Systemen bekannt. In konventionellen Experimentalumgebungen konnte zum Beispiel gezeigt werden, dass - insbesondere ältere - Versuchspersonen häufig Probleme haben, wenn die visuelle Reizdarbietung nicht auf den einen zentralen Fokus beschränkt ist, sondern wenn auch in der Peripherie zusätzliche Reize dargeboten werden (Sekuler & Ball 1986; Sekuler et al. 2000). Einige Befunde legen sogar nahe, dass die Fähigkeit zentrale und periphere Reize gleichzeitig zu integrieren mit der Unfallhäufigkeit im Straßenverkehr im Zusammenhang steht (Ball et al. 1993; Owsley et al. 1998).

In der vorliegenden Untersuchung wurden daher zwei Experimente durchgeführt, um zu festzustellen, wie sich zentrale und periphere visuelle Reizdarbietung auf die Tiefenwahrnehmung von virtuellen 3D Objekten auswirkt. Aufgrund der oben erwähnten Literatur kann angenommen werden, dass zentral präsentierte Reize relativ gut wahrgenommen und im Hinblick auf räumliche Tiefenvariationen gut diskriminiert werden können. Durch das Hinzufügen von verhaltensrelevanten, peripheren Reizen hingegen, wird vermutlich die Wahrnehmungsfähigkeit insgesamt herabgesetzt. Dabei sind stärkere Leistungseinbußen im Zusammenhang mit einem höheren Alter der Versuchspersonen zu erwarten.

2. Methode

Insgesamt nahmen 18 junge (9 weiblich, Durchschnittsalter 25) und 14 ältere Versuchspersonen (8 weiblich, Durchschnittsalter 65) an zwei Experimenten zur räumlichen (Tiefen-)Verarbeitung teil. Das Reizmaterial wurde den Versuchspersonen mittels HMD dargeboten.

Es wurden 24 virtuelle Kugeln kontinuierlich präsentiert und bildeten dadurch eine Referenzebene. Eine zentrale Kugel stellte den Zielreiz dar und erschien gleichzeitig mit 12 zusätzlichen (peripheren) Kugeln (Abbildung 1). Der Durchmesser der Kugeln variierte in Abhängigkeit von der räumlichen Position zwischen $1,61^\circ$ und 2° Sehwinkel ($1,79^\circ$ in der Referenzebene), der Radius der peripheren Ringe betrug etwa 8° , 12° oder 16° . Die wahrgenommene Distanz der Objekte wurde in einem Bereich zwischen 1,14m und 1,42m moduliert (Referenzebene: 1,28m). Im ersten Experiment wurde der Zielreiz in jedem Versuchsdurchgang für 1000 ms dargeboten. Die Versuchspersonen hatten dabei die Aufgabe zu beurteilen, ob sich der Zielreiz vor oder hinter der Referenzebene befindet. Die Position des Zielreizes wurde durch einen adaptiven Algorithmus determiniert ("parameter estimation by sequential testing" (PEST); Taylor & Creelman 1967; Macmillan & Creelman 1991) und konvergierte bei korrekten Antworten der Versuchspersonen auf die Referenzebene. Im zweiten Teil der Aufgabe wurde zusätzlich eine Kugel aus dem dritten Ring (peripherer Zielreiz) räumlich versetzt dargeboten (Abbildung 1). Die Versuchspersonen mussten dann sequenziell entscheiden wo der zentrale bzw. der periphere Reiz gezeigt wurde. In beiden Teilen des Experiments absolvierte jede Versuchsperson 4 Blöcke, wobei jeweils die initiale Position der Zielreize variierte.

Das zweite Experiment war ähnlich aufgebaut, jedoch wurden hier die Darbietungszeiten des Zielreizes moduliert. Erneut mussten die Probanden die räumliche Position der Zielreize im Verhältnis zur Referenzebene beurteilen. Der Zielreiz wurde entweder vor (1,14m) oder hinter (1,42m) der Referenzebene erzeugt. Bei korrekten Antworten reduzierte sich im Folgenden die Darbietungsdauer, bei

falschen Antworten wurde sie erhöht. Vor jedem Versuchsdurchgang wurde die entsprechende Darbietungszeit durch den PEST Algorithmus festgelegt (Taylor & Creelman 1967; Macmillan & Creelman 1991), wobei die minimale Darbietungsdauer ~16 ms (= 1 Bildschirmwiederholung) betrug. Erneut wurde im ersten Teil des Experiments nur die Dauer des zentralen Reizes, im zweiten Teil die Dauer des zentralen und peripheren Reizes variiert. Für beide Aufgaben absolvierten die Probanden jeweils 4 Blöcke.

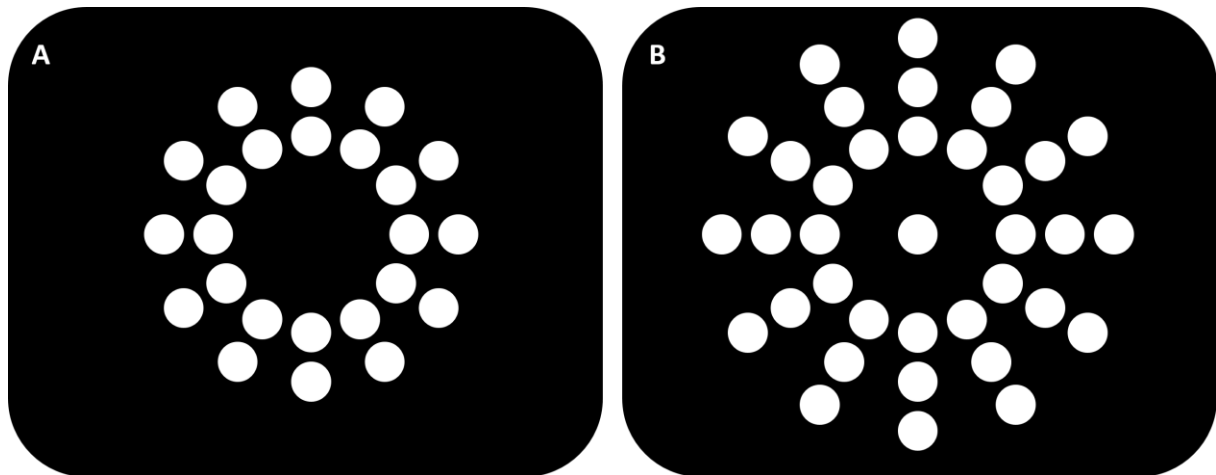


Abbildung 1: Die Ringe in Abbildung A wurden in beiden Experimenten kontinuierlich präsentiert. Die zentrale Kugel in Abbildung B wurde gleichzeitig mit dem äußeren Ring dargeboten und fungierte als Zielreiz. Die Darbietungszeit des Zielreizes, sowie dessen räumliche Position (nah/fern) variierte. Zudem diente in jeweils einer Versuchsbedingung auch eine Kugel im äußeren Ring als (peripherer) Zielreiz.

3. Ergebnisse

Es zeigte sich im ersten Experiment, dass sowohl alte als auch junge Versuchspersonen sehr gut in der Lage sind sogar kleinste Unterschiede in der räumlichen Tiefe zu diskriminieren, solange sich der Zielreiz in zentraler Position befindet. Die Einschätzung von peripheren Reizen war hingegen deutlich schwieriger für die Probanden (Abbildung 2) und wich teilweise erheblich von der präsentierten Position des Zielreizes ab. Um die Leistung der Versuchspersonen einschätzen zu können, wurden der konstante und der variable Fehler der Versuchspersonen bestimmt (Schmidt & Lee 1988). Bei der Beurteilung des zentralen Reizes gab es weder hinsichtlich der Variabilität des Antwortmusters (variabler Fehler: $t(30) = 1.41$, $p = .17$), noch der Güte der Distanzeinschätzung Unterschiede zwischen den beiden Gruppen (konstanter Fehler: $t(30) = 0.60$, $p = .56$). Gleichermaßen unterschied sich die Variabilität der Einschätzung des peripheren Zielreizes in beiden Populationen nicht (variabler Fehler: $t(30) = -1.37$, $p = .18$), obgleich jüngere Versuchsperson zu einer genaueren Einschätzung in der Lage waren (konstanter Fehler: $t(30) = 2.30$, $p = .028$).

Im zweiten Experiment zeigte sich, dass vielfach bereits sehr kurze Darbietungszeiten (16 ms) ausreichend sind, um die Positionen der Kugeln verlässlich zu bestimmen. Dies gilt jedoch nur für einzeln dargebotene, zentral präsentierte Zielreize. In diesem Fall konnten auch keine signifikanten Unterschiede zwischen

alten und jungen Probanden festgestellt werden (jung: 19 ms, alt: 36 ms; $t(30) = 1.97$, $p = .06$). Sobald gleichzeitig der zentrale und zusätzlich ein peripherer Zielreiz dargeboten wurden, benötigten die Versuchsteilnehmer in beiden Gruppen deutlich mehr Zeit, um die Positionen korrekt zu detektieren (jung: 122 ms, alt: 239 ms). Der Unterschied zwischen den Gruppen war statistisch bedeutsam ($t(30) = 2.31$, $p = .028$).

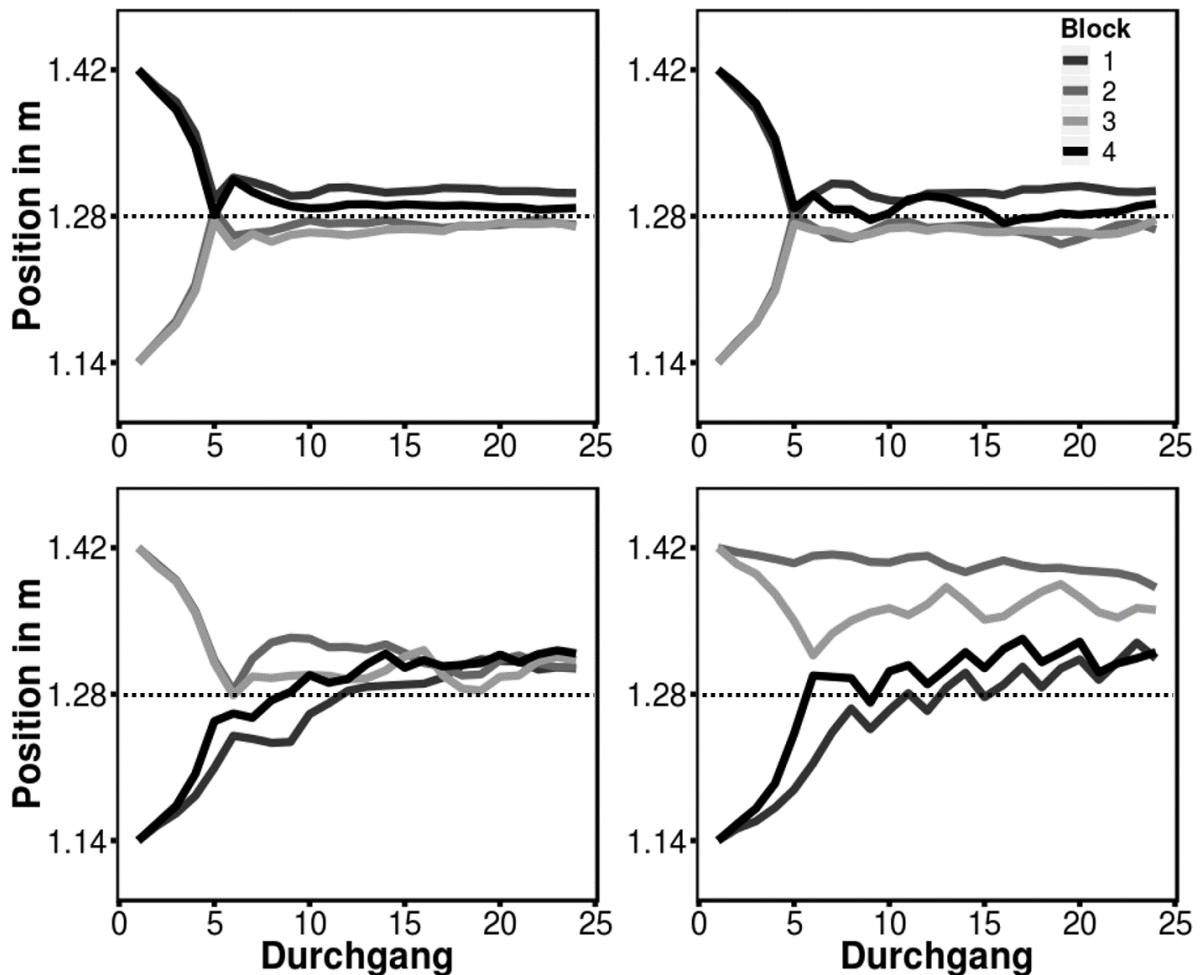


Abbildung 2: Die oberen Grafiken zeigen die Tiefeneinschätzungen von jungen (links) und alten (rechts) Versuchspersonen für den zentralen Zielreiz. Die unteren Grafiken geben die gleiche Information für die peripheren Zielreize. Die gepunktete Linie repräsentiert jeweils die Position der Referenzebene.

4. Diskussion

Zusammengenommen weisen die Ergebnisse der dargestellten Experimente darauf hin, dass es beim Einsatz von HMD-Systemen leicht zu Problemen auf einer niedrigen Ebene der Informationsverarbeitung kommen kann. Insbesondere beim Einsatz von wenig salienten Reizen, das heißt periphere Reize, die sich nur wenig von der Umgebung unterscheiden (Experiment 1) oder nur kurz dargeboten wurden (Experiment 2). Vor allem die Ergebnisse der älteren Versuchspersonen deuten auf eine schlechtere Diskriminierungsleistung von virtuell erzeugten 3D Objekten hin. Dies steht im Einklang mit Ergebnissen zum peripheren Sehen (Sekuler & Ball 1986;

Ball et al. 1993; Owsley et al. 1998). Allerdings gab es in beiden Altersgruppen große interindividuelle Leistungsschwankungen. So waren beispielsweise die Leistungen einzelner Versuchspersonen aus der älteren Stichprobe durchaus mit der von jüngeren Probanden vergleichbar. Gleichzeitig muss aber ebenfalls festgehalten werden, dass in der älteren Versuchsgruppe deutlich mehr Personen über Probleme mit dem HMD-System geklagt haben. Zum Beispiel wurde vor allem von älteren Versuchspersonen das Gewicht des HMD-Systems bemängelt. Außerdem mussten einige ältere Probanden von den Versuchen ausgeschlossen werden, weil sie deutliche Schwierigkeiten mit der Reizdarstellung hatten. Beim Einsatz von HMD-Systemen sollten also individuelle Kompetenzen der Benutzer berücksichtigt werden. Zudem erscheint es ratsam visuelles Reizmaterial ausreichend lange und ohne Ambiguitäten zu präsentieren.

5. Literatur

- Ball K, Owsley C, Sloane ME, et al (1993) Visual attention problems as a predictor of vehicle crashes in older drivers. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 34:3110–3123.
- Cakmakci O, Rolland J (2006) Head-worn displays: a review. *J Disp Technol* 2:199–216.
- Goldstein EB (2002) *Wahrnehmungspsychologie*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin
- Kooi FL, Toet A (2004) Visual comfort of binocular and 3D displays. *Displays* 25:99–108.
- Macmillan NA, Creelman CD (1991) *Detection theory: A user's guide*. Cambridge University Press, Cambridge
- Owsley C, Ball K, McGwin G, et al (1998) Visual processing impairment and risk of motor vehicle crash among older adults. *JAMA* 279:1083–1088.
- Peli E (1998) The visual effects of head-mounted display (HMD) are not distinguishable from those of desk-top computer display. *Vision Res* 38:2053–2066.
- Renner RS, Velichkovsky BM, Helmert JR (2013) The Perception of Egocentric Distances in Virtual Environments - A Review. *ACM Comput Surv* 46:23:1–23:40.
- Schmidt RA, Lee T (1988) *Motor Control and Learning*, 5th edn. Human Kinetics, Champaign, IL
- Sekuler AB, Bennett PJ, Mamelak M (2000) Effects of aging on the useful field of view. *Exp Aging Res* 26:103–120.
- Sekuler R, Ball K (1986) Visual localization: age and practice. *J Opt Soc Am A* 3:864–867.
- Shibata T (2002) Head mounted display. *Displays* 23:57–64.
- Taylor MM, Creelman CD (1967) PEST: Efficient Estimates on Probability Functions. *J Acoust Soc Am* 41:782–787.

Danksagung: Ein besonderer Dank gilt Herrn Martin Behrendt für die Unterstützung bei der Datenerhebung.