

Bewertung mobiler Displays zur Darstellung von Karten für geografische Orientierungsaufgaben

· *Head-Mounted Display* · *Beanspruchung* · *Simulatorkrankheit* · *Visuelle Ermüdung* · *Nebenaufgabe*

Zusammenfassung

Zwei Head-Mounted Displays (HMDs) und ein Hand-Held Display (HHD) mit elektronischen Karten wurden in einer Simulation bei einer geografischen Orientierungsaufgabe in Bezug auf subjektive und objektive Variablen miteinander verglichen. Im Allgemeinen wurden beim LCD-HMD die höchsten Leistungen und beim HHD die günstigsten subjektiven Bewertungen beobachtet. Die Unterschiede sind allerdings nicht signifikant.

Praktische Relevanz

Die Untersuchung soll praktische Empfehlungen für die Verwendung von mobilen elektronischen Displays bei geografischen Orientierungsaufgaben geben, jedoch weist keines der untersuchten Displays eindeutige Vorteile auf. Tendenziell wird empfohlen, wenn die Leistung optimiert werden soll, eher konventionelle HMDs zu verwenden, und wenn die Beanspruchung optimiert werden soll, eher HHDs zu benutzen.

Évaluation d'écrans mobiles différents présentant des cartes électroniques pour l'orientation géographique

· *Écran monté sur tête* · *Charge de travail* · *Maladie du simulateur* · *Fatigue visuelle* · *Tâche secondaire*

Résumé

Dans une simulation deux écrans montés sur tête et un écran tenu dans la main présentant des cartes ont été comparés dans une tâche pour l'orientation géographique concernant des variables subjectives et objectives. En général, la meilleure performance a été observée chez l'écran monté sur tête conventionnel, cependant que l'écran tenu dans la main a obtenu la meilleure évaluation subjective. Cependant, les écrans ne se distinguent pas significativement..

Importance Pratique

L'expérience devait donner des recommandations pratiques pour l'utilisation des écrans mobiles dans des tâches d'orientation géographique, mais aucun des écrans montrait des avantages clairs. Tendanciellement il est recommandé d'utiliser un écran monté sur tête conventionnel, si la performance doit être optimisée et d'utiliser un écran tenu dans la main, si la charge de travail doit être optimisée.

Evaluation of different mobile map displays for geographic orientation tasks

· *Head-Mounted Display* · *Workload* · *Simulator Sickness* · *Visual Fatigue* · *Secondary Task*

Summary

Practical relevance

For geographic orientation civilian and military forces use more and more mobile electronic map displays, while it is still not clear, which are suited best for this purpose. In the following experiment three map displays were compared in an extended geographic orientation task. Subjects had to cross a simulated virtual urban environment consisting of an interactive 3D scenario projected on a screen in front of them. With a joystick the direction and speed of locomotion could be controlled. The 2D maps showing the path which had to be followed were presented on a monocular head-mounted LCD-display (HMD), a monocular head-mounted virtual retinal-display with laser technology (RD) or on a hand-held LCD-display (HHD). The HMD and the HHD were polychrome, whereas the RD was monochrome red. On all maps the actual position in the city was indicated by a moving dot. The dependent variable was time to complete the task (about 1.2 hours on average).

Furthermore, peripheral attention was measured with a secondary task in which subjects had to detect digits in the periphery of the visual simulation. Reaction times as well as percentage of errors, hits, and omissions were measured as dependent variables. Primary and secondary task performance was assumed to be higher with the HMD and RD as all relevant information is permanently present in the visual field, whereas the HHD requires extensive eye and head movements. Workload was registered with the NASA Task Load Index (Hart & Staveland, 1988). As simulator sickness might be a problem with HMDs, the Simulator Sickness Questionnaire (SSQ) of Kennedy et al. (1993) was also utilized, registering Nausea, oculomotor symptoms and Disorientation as well as total simulator sickness. Furthermore, the Visual Fatigue Questionnaire (VFQ) of Bangor (2000) was completed by the subjects. The SSQ and VFQ were administered before and after the experiment, so that difference scores could be computed. Finally, subjects also completed a questionnaire addressing experience with PCs, video games and joysticks. These data were correlated with the experimental results.

48 male subjects (mostly students) were randomly assigned to three independent experimental groups (HMD, HHD, RD). Data analysis was based on single factor ANOVAs (between factor=display with three levels: HMD, HHD, RD).

Although no significant differences between the displays could be found, a series of trends was observed, which are

consistent with the hypotheses. In this respect the HMD showed the shortest completion times for the orientation task as well as the fastest reaction times, the lowest percentage of omissions and the highest percentage of correct responses in the secondary task. The average completion time with the HMD was about 10% shorter than with the HHD. Obviously attention profits from the advantage that all relevant information is presented in a single visual area, so that extensive eye and head movements could be avoided. In contrast, the HHD showed the lowest levels of workload, simulator sickness and visual fatigue. The results can be tentatively interpreted as supporting the hypotheses of performance advantages of the HMD at the expense of workload, simulator sickness and visual fatigue. The RD is usually worst in all variables. Obviously it is more difficult to discern the own position on the map from the other details of the map as they all have the same colour.

With all displays workload was high, demonstrating that the effort invested in the task was high. Also simulator sickness was high, regardless of the displays. Obviously two factors have contributed to simulator sickness: The simulation and the visual displays. The first contribution might result from inconsistencies in the simulation like time delays between the locomotion of the own position on the map and in the visual scenario. Such factors seem to contribute more to simulator sickness than the displays, as also strong symptoms were associated with the HHD, which should not produce simulator sickness. In contrast to the other subjective data, visual fatigue was low in most aspects. Furthermore, significant correlations between questionnaire data and experimental results show that subjects experienced with video games have a better performance in the primary and secondary task and rate the task lower in respect to mental demands and effort.

Finally it must be pointed out that the conclusions have to be supported by further experiments with more sophisticated methods. E.g., instead of the present secondary task it is intended to measure peripheral attention based on recognition thresholds.

Practical Relevance

The investigation should give practical recommendations for the use of mobile electronic map displays with geographic orientation tasks. However, none of the displays clearly shows advantages. It is tentatively recommended to use conventional HMDs, when performance shall be optimized and HHDs, when workload shall be optimized.

1 Einleitung und Fragestellung

Probleme hinsichtlich der geografischen Orientierung können bei allen Arten von Navigationsaufgaben und in den verschiedensten Umgebungen auftreten: in unbewohnten Gebieten, Städten, großen Gebäudekomplexen wie Flughäfen, Fabrikanlagen usw. Vorteile bieten dann mobile elektronische Displays mit Karten, die auch die eigene Position anzeigen. Ist z. B. eine rasche Orientierung notwendig, die gleichzeitig die Beachtung von kritischen Reizen in der Außensicht erforderlich macht, könnte ein Head-Mounted Display (HMD), das die Karte auf einem Miniaturdisplay direkt vor dem Auge abbildet, vorteilhaft sein. Allerdings ist es bisher empirisch nicht geklärt, welche Art von elektronischen Displays sich für solche geografische Orientierungsaufgaben am besten eignen.

Zur Beantwortung der Fragestellung sollten deshalb in der vorliegenden Untersuchung verschiedene Arten von mobilen elektronischen Displays bei der geografischen Orientierung im Hinblick auf objektive Variablen (Leistung) und subjektive Variablen (Beanspruchung, Simulatorkrankheit, visuelle Ermüdung) verglichen werden.

Bereits aufgrund der technischen Merkmale lassen sich einige Vor- und Nachteile der einzelnen Displayarten bei der Verwendung für geografische Orientierungsaufgaben aufzeigen. So können Landkarten u. a. auf Hand-Held Displays (HHDs) und auf HMDs abgebildet werden. Bei HMDs sind im Vergleich zu HHDs kürzere Augenbewegungen und keine Kopfbewegungen zwischen Sicht und Karte erforderlich, was bei zeitkritischen Aufgaben (z. B. Flugzeugbewegungen auf dem Rollfeld mit Hilfe von Karten) von Vorteil sein kann. Die Aufmerksamkeit muss bei HMDs also nicht zwischen zwei Bereichen geteilt werden. Allerdings kann die Information im HMD die Außensicht auch teilweise verdecken, so dass Objekte u.U. übersehen werden, wenn keine Kopfbewegungen durchgeführt werden.

Flüssigkristall (LCD)-Displays differieren z. B. hinsichtlich der Größe des Sektors um den Bildschirm, in dem die In-

formation wahrgenommen werden kann. Außerhalb dieses Sektors, der bei manchen Displays sehr eingeschränkt ist, kann die Information kaum erkannt werden. Für HMDs werden Kathodenstrahlröhren (CRT) oder Flüssigkristallbildschirme (LCD) verwendet und die Information auf einen halbtransparenten Spiegel vor dem Auge projiziert. Bei beiden ist die Helligkeit der Abbildung begrenzt, so dass bei hellem Umfeld die Information kaum mehr erkannt werden kann. Bei einer weiteren Gruppe von HMDs, den Retinal Displays, wird die Information mit Hilfe eines Laserstrahls direkt auf der Retina abgebildet. Hiermit wird eine wesentlich höhere Leuchtdichte erzielt, so dass die Information wegen der größeren Helligkeit auch noch bei hoher Umgebungsleuchtdichte erkannt wird. Außerdem können Spiegel mit einer größeren Transparenz zur Reflexion des Lasers ins Auge verwendet werden, wodurch die Außensicht weniger beeinträchtigt wird. Während jedoch LCD- und CRT-HMDs polychrome Bilder liefern, sind diese bei Retinal Displays vorwiegend monochrom (Rotlicht), was die Informationskodierung wesentlich einschränkt. Besonders bei komplexen Kartendarstellungen mit umfangreicher Informationskodierung kann dies ein entscheidender Nachteil sein, da Farbkodierung häufig der Formkodierung überlegen ist (Widdel & Post 1992).

Empirische Untersuchungen über den Einfluss von Displays auf objektive und subjektive Variablen bei der geografischen Orientierung und über verwandte Themenbereiche liegen nur wenige vor. Einen Vergleich von Displays für elektronische Karten im mobilen Einsatz führte Pfendler (2005) durch. Dabei mussten die Vpn in einer simulierten geografischen Orientierungsaufgabe verschiedene Labyrinth mit Hilfe von Karten durchqueren, die entweder auf einem Retinal Display, einem LCD Display (beides HMDs), einem Hand-Held Display oder auf Papier abgebildet waren. Die Sichtsituation, die nur den Abschnitt des Labyrinths zeigte, in dem sich die Vpn gerade befanden, wurde auf eine Leinwand vor den Vpn projiziert. Die Vpn konnten sich mit Hilfe eines Steuerknüppels durch das simulierte Labyrinth bewegen. Bei der Papierkarte war im Vergleich zu den elektronischen Dis-

plays die Fortbewegungsgeschwindigkeit am niedrigsten und die erlebte Aufgabenschwierigkeit am höchsten, während zwischen den elektronischen Displays keine signifikanten Unterschiede im Hinblick auf diese Variablen bestanden. Ein Grund für das bessere Abschneiden der elektronischen Karten war, dass diese eine Positionsanzeige enthielten, die die Vpn fortlaufend über ihre momentane Position informierten. Ansonsten unterschieden sich alle Kartendarstellungen nicht wesentlich in Bezug auf die visuelle Ermüdung und die Simulatorkrankheit, deren Werte sich im untersten Messbereich bewegten. Allerdings gilt diese Aussage nur für eine relativ kurze Aufgabendauer (ca. 20 Minuten).

Während einer zweistündigen Zielerkennungsaufgabe wurden dagegen bei einem HMD signifikant stärkere Symptome der Simulatorkrankheit, der Ermüdung und der psychischen Anspannung als bei einem HHD beobachtet (Pfendler & Widdel 2004). Als Ursache für die Simulatorkrankheit wurden dabei Divergenzen zwischen der visuellen und der vestibulären Bewegungsrückmeldung vermutet, die entstehen, wenn bei ruhenden Bildern im HMD Kopfbewegungen auftreten.

Über andere Beeinträchtigungen bei der Benutzung von monokularen HMDs durch Hubschrauberpiloten berichten Rash et al. (2002), die dazu eine Befragung durchführten. Häufigstes Problem während des Fluges war „Visual Discomfort“ (81%). Nach dem Flug trat „Visual Discomfort“ bei 74% der Befragten auf. Als zweithäufigstes Symptom während oder nach dem Flug wurden Kopfschmerzen genannt. Andere Probleme waren statische Wahrnehmungstäuschungen (z. B. falsche Entfernungswahrnehmung, falsche Schätzung des Nickwinkels, der Höhe) und dynamische Wahrnehmungstäuschungen (z. B. Bewegungswahrnehmungen bei fehlender Bewegung; übersehene Driftbewegungen) während des Fluges.

Weiterhin beobachteten auch Howarth & Costello (1996) in einem Experiment, bei dem Vpn ein Schachspiel gegen einen Rechner durchführten, bei einer Gruppe mit einem HMD eine signifikant höhere Häufigkeit von Symptomen der Simulatorkrankheit als bei einer Ver-



Bild 1: Versuchsaufbau mit Retinal Display und Sichtsimulation

Figure 1: Experimental setup with retinal display and visual simulation

Illustration 1: Montage expérimental avec écran retinal et simulation visuelle

gleichsgruppe mit einem konventionellen Bildschirm

Leistungsunterschiede zwischen drei HMDs und einem Standardmonitor konnte Kooi (1997) bei einer Lese- und einer Akkommodationsaufgabe feststellen. In beiden Aufgaben wurden mit dem Standardmonitor die besten Ergebnisse erzielt.

Im Gegensatz zu anderen Untersuchungen wurden in der geografischen Orientierungsaufgabe von Pfendler (2005) keine signifikanten Unterschiede zwischen den HMDs und dem HHD in Bezug auf die Simulatorkrankheit festgestellt. Grund dafür könnte die relativ kurze Versuchsdauer gewesen sein, weshalb diese im vorliegenden Versuch verlängert wurde. Davon abgesehen wurden im vorliegenden Versuch die selben Displays wie im vorausgegangenen Versuch verwendet (HMD, HHD, RD). Papierkarten wurde nicht in die Untersuchung mit einbezogen, da sich diese eindeutig als weniger geeignet erwiesen hatten. Zur Messung der displayspezifischen Auswirkungen wurden wie im vorherigen Experiment die Leistung, Beanspruchung, Symptome der Simulatorkrankheit und die visuelle Ermüdung erfasst. Zusätzlich wurde eine Nebenaufgabe verwendet, die die periphere Aufmerksamkeit in der Außensicht messen sollte. Beim HMD und RD wurde eine höhere Leistung in dieser Variablen als beim HHD erwartet (siehe unten).

Folgende Hypothesen wurden formuliert:

1. Geografischen Orientierungsaufgabe: Es wird angenommen, dass bei der geografischen Orientierung die Zeit für die Durchführung der Aufgabe von der Art der benutzten Displays beeinflusst wird. Beim HMD und beim RD wird eine kürzere Aufgabendauer als beim HHD erwartet. Begründung: Die für die Haupt- und Nebenaufgabe relevante Information liegt beim HMD und RD immer im Blickfeld. Beim HHD dagegen kann die Aufmerksamkeit jeweils nur auf die Außensicht oder das Display fokussiert werden und es sind ständig größere Blickbewegungen zwischen beiden Bereichen erforderlich. Beides erschwert die Informationsaufnahme.

2. Nebenaufgabe: Beim HMD und RD wird im Vergleich zum HHD eine höhere Leistung in der Nebenaufgabe erwartet. Begründung wie in 1.

3. Beanspruchung: Beim HMD und RD wird eine geringere Beanspruchung als beim HHD erwartet. Begründung wie in 1.

4. Simulatorkrankheit: Auf dem HMD und RD können ruhende Bilder auftreten, während Kopfbewegungen stattfinden. Dadurch entstehen inkonsistente vestibuläre und visuelle Bewegungsrückmeldungen, die gegenüber dem HHD zu stärkeren Symptomen der Simulatorkrankheit führen.

5. Visuelle Ermüdung: Beim HMD und RD wird eine geringere visuelle Ermüdung als beim HHD erwartet. Begründung wie in 1.

2 Methode

2.1 Stichprobe

Am Versuch nahmen 48 männliche Versuchspersonen (Vpn) im Alter von 15-37 Jahren teil ($M=26$; $s=4.3$), wovon über 80% Studenten waren. Die Vpn wurden nach Zufall in drei gleich große Gruppen eingeteilt und den drei Versuchsbedingungen (RD, HMD, HHD) zugeordnet. Weibliche Vpn nahmen am Versuch nicht teil, da ihre räumliche Vorstellung, die bei der geografischen Orientierungsaufgabe vermutlich eine Rolle spielt, im Allgemeinen

schlechtere Werte aufweist (Zvariková & Juscaková 2005).

2.2 Geografische Orientierungsaufgabe

Bei der Aufgabe mussten die Vpn in einer Sichtsimulation, die auf eine Leinwand projiziert wurde, eine perspektivisch dargestellte Stadt durchqueren, die in vereinfachter Form nachgebildet war. Die Stadtpläne mit dem zu verfolgenden Kurs wurden entweder auf dem HHD, HMD oder RD abgebildet, auf denen die eigene Position durch einen beweglichen Punkt gekennzeichnet war. Mit Hilfe eines Steuerknüppels konnte die Fahrriichtung und die Geschwindigkeit bestimmt werden. Vor Durchführung der Hauptversuche wurde die Aufgabe zunächst trainiert.

Das Szenario der Sichtsimulation wurde auf einer Fläche von $1,7 \times 1,3$ m von hinten auf die Leinwand projiziert (Projektor: Projection Design F1). Die Entfernung zwischen der Vp und der Leinwand betrug 3 m. Der virtuelle Kamerastandpunkt lag etwa in Augenhöhe, so dass die Vp in der Außensicht nur ihre unmittelbare Umgebung aus der Perspektive eines Fußgängers sehen konnte (Bild 1).

Als abhängige Variable für die Leistung der Vpn wurde die Zeit für die Durchführung der Aufgabe gemessen, wobei eine Versuchsdauer von mindestens einer Stunde angestrebt werden war.

2.3 Displays

Die Art der Displays zur Darstellung der Karten war die einzige unabhängige Variable des Experiments und umfasste drei Versuchsbedingungen (HMD/RD/HHD). Die Displays werden im Folgenden beschrieben:

Head-Mounted Display (HMD): Das monokulare, polychrome Display vom Typ *Xybernaut MA®IV* (Bild 2) hat einen halbtransparenten Spiegel, der in einem Abstand von etwa 8 cm vor dem Auge der Vpn an einem Helm befestigt ist, sodass er teilweise die Sicht über-



Bild 2: Head-Mounted Display
Figure 2: Head-mounted display
Illustration 2: Écran monté sur tête



Bild 3: Retinal Display
Figure 3: Retinal Display
Illustration 3: Écran retinal

deckt. Die virtuelle Entfernung der Karte vom Beobachter betrug etwa 1 m. Die eigene Position auf der Karte wurde durch einen grünen Punkt angezeigt.

Retinal Display (RD): Hierbei handelt es sich um ein monokulares Display vom Typ *Microvision NOMAD ND 2100* (Bild 3). Das Display war auf einen Helm montiert. Die in diesem HMD abgebildete Karte verdeckte die Sicht ebenfalls teilweise. Der Laserstrahl wird über einen transparenten Spiegel reflektiert und bildete die Information direkt auf der Netzhaut ab. Im Gegensatz zu den anderen elektronischen Displays ist die Abbildung monochrom (rot). Das Display verfügt aufgrund der höheren Leuchtdichte über einen wesentlich transparenteren Spiegel zur Reflexion des Lasers ins Auge als das HMD. Die virtuelle Entfernung der Karte vom Beobachter betrug etwa 1 m. Die eigene Position auf der Karte wurde durch einen roten Punkt dargestellt.

Hand-Held Display (HHD): Das polychrome Display vom Typ *Xybernaut*

MA®IV besteht aus einem 6 Zoll LCD Bildschirm, der links vor den Vpn in einem Abstand von etwa 1 m in einem Winkel von ca. 75 Grad zur Horizontalen nach hinten geneigt war. Die eigene Position auf der Karte wurde durch einen grünen Punkt angezeigt (Bild 4).

2.4 Nebenaufgabe

Um die Displays in Bezug auf die periphere Aufmerksamkeit in der Außensicht zu vergleichen, wurde eine Nebenaufgabe entworfen. Dabei werden in einem schmalen „Rahmen“ um die Sichtsimulation die Zahlen von 1-4 als Reize für Wahlreaktionen dargeboten. Der Rahmen ist in 12 gleich große Segmente aufgeteilt (drei pro Seite). Die Zahlen, die Rahmensegmente, in denen die Zahlen auftreten und die Zeitabstände zwischen den Zahlen werden nach Zufall bestimmt. Die Darbietungszeit beträgt 5 s, die Interstimulusintervalle belaufen sich auf 30-50 Sekunden. Die Vp reagiert auf die Zahlen mit einer von vier zugeordneten Tasten auf dem Steuerknüppel. Generell bestand Priorität für die Hauptaufgabe.

Zur Bewertung der Leistung in der Nebenaufgabe wurden die mittleren Reaktionszeiten aus allen richtigen und falschen Reaktionen in Millisekunden berechnet. Weiterhin wurde der Prozentsatz der richtigen und falschen Reaktionen sowie der Auslassungen registriert. Absolute Werte wurden



Bild 4: Hand-Held Display und Karte
Figure 4: Hand-held display and map
Illustration 4: Écran tenu dans la main et carte

nicht ausgewertet, da die Versuchszeiten in Abhängigkeit von den Vpn variieren. Die Nebenaufgabe wurde vor den Hauptversuchen zunächst trainiert.

2.5 Subjektive Messmethoden

Zur Untersuchung des Einflusses der Displays auf die Beanspruchung wurde der *NASA Task Load Index (NASA-TLX)* von Hart & Staveland (1988) eingesetzt. Mit der Methode werden über bipolare Ratingskalen die geistigen, körperlichen und zeitlichen Anforderungen, sowie die eigene Leistung, Anstrengung und Frustration bewertet. Über einen Paarvergleich aller Subskalen werden deren Gewichtungen berechnet und daraus ein Gesamtwert für die Beanspruchung abgeleitet. Die Bewertung mit NASA-TLX wurde vor den Hauptversuchen mit Rechenaufgaben unterschiedlichen Schwierigkeitsgrades trainiert.

Mit dem *Simulator Sickness Questionnaire (SSQ)* von Kennedy et al. (1993) wurden Symptome der Simulatorkrankheit in Abhängigkeit von den Displays gemessen. Solche Symptome können bei HMDs beobachtet werden, wenn z. B. Divergenzen zwischen der visuellen und vestibulären Bewegungsrückmeldung auftreten. Mit dem SSQ werden über 16 Ratings die Subskalen Nausea (u. a. Übelkeit, Aufstoßen, Magenbeschwerden, erhöhter Speichelfluss), okulomotorische Symptome (u. a. überanstrengte Augen, Schwierigkeiten beim Fokussieren, verschwommene Sicht, Kopfschmerzen) und Desorientierung (u. a. Schwindel, Gleichgewichtsstörungen) erfasst. Um gegebenenfalls vor dem Versuch bereits bestehende erhöhte Ausgangswerte zu berücksichtigen, wurde der Fragebogen vor und nach dem Versuch vorgegeben und daraus die Differenzwerte berechnet.

Da die Art des Displays die visuelle Ermüdung beeinflusst (Bangor 2000), wurde die Variable im vorliegenden Experiment mit dem *Visual Fatigue Questionnaire (VFQ)* von Bangor (2000) gemessen. Der Fragebogen erfasst über 17 Ratingskalen Symptome wie tränende Augen, schmerzende Au-

gen, Schwierigkeiten scharf zu sehen, Kopfschmerzen, Doppelsehen usw. Neben den Einzelwerten für die Symptome wurde auch ein Gesamtwert berechnet. Auch der VFQ wurde vor und nach dem Versuch vorgegeben und daraus die Differenzwerte für die Symptome und den Gesamtwert berechnet, um gegebenenfalls bereits vor dem Versuch bestehende erhöhte Ausgangswerte zu berücksichtigen.

2.6 Versuchsablauf und statistische Auswertung

Der Versuch bestand aus folgenden Abschnitten:

- Prüfung der Farbtauglichkeit und Sehschärfe mit dem Bernell-O-Scope
- Prüfung der Augendominanz mit dem Daumentest (zur Positionierung des HMDs und RDs am dominanten Auge)
- Training von NASA-TLX mit Rechenaufgaben
- Prätest SSQ und VFQ
- Training der Haupt- und Nebenaufgabe
- Hauptversuch
- NASA-TLX mit Paarvergleich
- Posttest SSQ und VFQ
- Befragung zur Erfahrung mit PCs, Videospiele und Steuerknüppeln

Es wurde ein einfaktorielles Versuchsplan mit dem Faktor Display für unabhängige Stichproben mit den drei Versuchsbedingungen HMD, HHD, RD verwendet. Entsprechend wurden alle abhängigen Variablen einzeln mit einfachen Varianzanalysen für unabhängige Stichproben (Eimer 1978; Sachs 1997) mit drei Stufen ausgewertet. Beim SSQ und VFQ wurden die Prä-Post-Differenzwerte der Gesamtwerte und der Subskalenwerte in die statistischen Verfahren eingesetzt, bei allen anderen Variablen (NASA-TLX, Haupt- und Nebenaufgabe) die gemessenen Rohwerte (Zeiten, Fehler etc.). Weiterhin

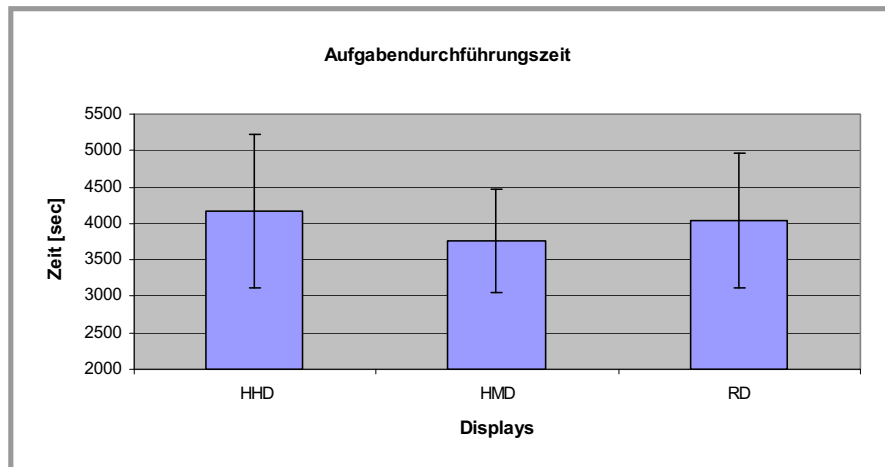


Bild 5: Aufgabendurchführungszeit für die geografischen Orientierungsaufgabe (M und s) in Abhängigkeit von den Displays

Figure 5: Task completion time for the geographic orientation task (M and s) as a function of the displays

Illustration 5: Temps d'accomplissement de la tâche d'orientation géographique (M et s) en fonction des écrans

Tabelle 1: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (s) der Leistungen in der Nebenaufgabe in Abhängigkeit von den Displays. Ergebnisse der varianzanalytischen Überprüfung der Unterschiede zwischen den Displays (F- und p-Werte; für alle F-Werte gilt: $df=2/45$)

Table 1: Mean values (M) and standard deviations (s) of the performance in the secondary task as a function of the displays. Comparisons of the displays: Results of the analysis of variances (F and p values with $df=2/45$)

Tableau 1: Valeurs moyennes (M) et écarts standard (s) des performances dans la tâche secondaire en fonction de l'écran. Comparaisons des écrans: Résultats des analyses de variance (F et p avec $df=2/45$)

Variable	HMD		HHD		RD		F	p
	M	s	M	s	M	s		
Reaktionszeit (s)	2.0	0.3	2.3	0.7	2.4	0.6	1.614	0.210
Fehler (%)	3.5	3.4	3.2	3.4	5.0	10.5	0.310	0.735
Auslassungen (%)	12.2	15.3	17.2	17.6	21.0	17.8	1.086	0.346
Richtige Reaktionen (%)	84.3	15.9	79.5	18	74	18.6	1.378	0.263

wurden die Ergebnisse der Befragung (Erfahrung mit PCs etc.) mit den subjektiven und objektiven Variablen korreliert, um Zusammenhänge zwischen der Vorerfahrung der Vpn und den Versuchsergebnissen zu ermitteln.

3 Ergebnisse

Hauptaufgabe: Die für die Durchführung der Hauptaufgabe benötigten

Zeiten (Mittelwerte und Streuung) in Abhängigkeit von den Displays sind in Bild 5 dargestellt. Beim HMD wird die kürzeste Aufgabendauer festgestellt. Die Varianzanalyse zeigt jedoch, dass keine signifikanten Unterschiede zwischen den Displays bestehen ($F=0.787, p=0.461, df=2/45$).

Nebenaufgabe: Die Leistungen in der Nebenaufgabe werden in Tabelle 1 wiedergegeben. Mit dem HMD werden die kürzesten Reaktionszeiten, der geringste Prozentsatz an Auslassungen und der höchste Prozentsatz an richtigen

Tabelle 2: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (s) der Gesamtwerte und Subskalenwerte des Simulator Sickness Questionnaires (Prä-Post-Differenzwerte) in Abhängigkeit von den Displays. Ergebnisse der varianzanalytischen Überprüfung der Unterschiede zwischen den Displays (F- und p-Werte; für alle F-Werte gilt: $df=2/45$)

Table 2: Mean values (M) and standard deviations (s) of the total values and the subscale values of the Simulator Sickness Questionnaire (pre-post differences) as a function of the displays. Comparisons of the displays: Results of the analysis of variances (F and p values with $df=2/45$)

Tableau 2: Valeurs moyennes (M) et écarts standard (s) des valeurs totales et des valeurs particulières du questionnaire de la maladie de simulateur (différences pré-post) en fonction des écrans. Comparaisons des écrans: Résultats des analyses de variance (F et p avec $df=2/45$)

Variable	HMD		HHD		RD		F	p
	M	s	M	s	M	s		
Nausea	8.3	20.2	7.7	21.7	11.9	24	0.170	0.844
Okulomotorik	21.3	23.1	15.1	24.2	20.8	24.3	0.327	0.723
Desorientierung	20.8	24.9	12.9	25.5	23.4	34.7	0.689	0.507
Gesamtwert	19.4	22.5	13.7	25	21.2	28.9	0.368	0.694

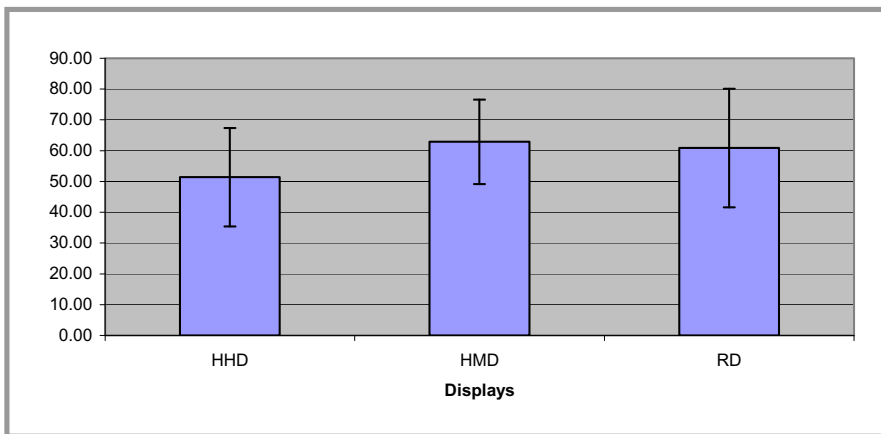


Bild 6: Gewichtete Gesamtwerte von NASA-TLX (M und s) in Abhängigkeit von den Displays

Figure 6: Mean Weighted Workload score of NASA-TLX (M and s) as a function of the displays

Illustration 6: Valeurs totales de NASA-TLX (M et s) en fonction des écrans

Reaktionen erzielt, während beim RD generell die niedrigsten Leistungen beobachtet werden. Es können jedoch keine signifikanten Leistungsunterschiede zwischen den Displays festgestellt werden.

Beanspruchung: Die gewichteten Gesamtwerte von NASA-TLX in Abhängigkeit von den Displays sind in Bild 6 dargestellt. Bei allen Displays liegt ein hohes Beanspruchungsniveau vor, wobei dieses beim HMD am höchsten und beim HHD am niedrigsten ist. Die Varianzanalyse der Daten ergibt allerdings keine signifikanten Unterschiede zwischen den Displays

($F=2.226$, $p=0.120$, $df=2/45$). Bei den Subskalen werden überdurchschnittlich hohe Werte für alle Displays bei den zeitlichen Anforderungen ($M=61.1$) und der Anstrengung ($M=67.8$) festgestellt, unterdurchschnittliche Werte dagegen bei der Bewertung der eigenen Leistung ($M=40.8$) und der Frustration ($M=32.6$). Auch die Subskalenwerte des NASA-TLX weisen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Displays auf.

Simulatorkrankheit: Die Prä-Postdifferenzen der SSQ-Gesamtwerte und der Subskalenwerte in Abhängigkeit von den Displays sowie die resultie-

renden Ergebnisse der varianzanalytischen Vergleiche der Displays werden in Tabelle 2 gezeigt. Beim HHD werden die niedrigsten Werte in der Gesamtskala und allen Subskalen des SSQ beobachtet. Die Varianzanalysen der Gesamtwerte und der Subskalenwerte belegen jedoch, dass sich die drei Displays bezüglich der Symptome der Simulatorkrankheit nicht signifikant unterscheiden. Nach der Symptomkategorisierung von Stanney et al. (1997) deuten die Post-Test-Gesamtwerte bei allen Displays, besonders aber beim HMD und RD, auf starke Symptome der Simulatorkrankheit hin ($HMD=31$; $HHD=27.5$; $RD=30.6$). Nach Stanney et al. liegen bei SSQ-Werten zwischen 15 und 20 bedenkliche Symptome der Simulatorkrankheit vor, während Simulatoren mit SSQ-Werten >20 als „schlecht“ eingestuft werden. Bei allen Displays sind die Symptome der Desorientierung und Okulomotorik stärker ausgeprägt als die der Nausea.

Visuelle Ermüdung: Die Prä-Post-Differenzwerte der VFQ-Skalen und des Gesamtwertes in Abhängigkeit von den Displays sowie die Ergebnisse der varianzanalytischen Vergleiche der Displays in Bezug auf diese Werte sind in Tabelle 3 dargestellt. Die meisten Werte lassen nur eine geringe visuelle Ermüdung erkennen. Erhöht sind lediglich die Skalen „trockene Augen“, „Kopfschmerzen“, „Nackenschmerzen“ und „geistige Ermüdung“. Das HHD weist die meisten niedrigen Werte auf, die meisten hohen Werte werden beim RD beobachtet. Allerdings können auch bei der visuellen Ermüdung keine signifikanten Unterschiede zwischen den Displays festgestellt werden.

Korrelationen: Aus den Produktmomentkorrelationen zwischen den Versuchsergebnissen und den Ergebnissen der Befragung lassen sich u. a. folgende Zusammenhänge ableiten (** = ≤ 0.01 ; * = ≤ 0.05):

- Je mehr Erfahrung die Vpn mit Computerspielen aufweisen, desto besser sind die Leistungen in der Haupt- und der Nebenaufgabe [Korrelation mit Versuchszeiten in der Hauptaufgabe ($r = -0.553^{**}$), mit den richtigen Reaktionen in der Nebenaufgabe ($r = 0.407^{**}$), mit den Reaktionszeiten in der Nebenaufgabe ($r = -0.383^{**}$)].

Tabelle 3: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (s) der Gesamtwerte und Subskalenwerte des Visual Fatigue Questionnaires (Prä-Post-Differenzwerte) in Abhängigkeit von den Displays. Ergebnisse der varianzanalytischen Überprüfung der Unterschiede zwischen den Displays (F- und p-Werte; für alle F-Werte gilt: $df=2/45$)

Table 3: Mean values (M) and standard deviations (s) of the total values and the subscale values of the Visual Fatigue Questionnaire (pre-post differences). Comparison of the displays: Results of the analysis of variances (F and p values with $df=2/45$)

Tableau 3: Valeurs moyennes (M) et écarts standard (s) des valeurs totales et des valeurs particulières du questionnaire de fatigue visuelle (différences pré-post) en fonction des écrans. Comparaisons des écrans: Résultats des analyses de variance (F et p avec $df=2/45$)

Variable	HMD		HHD		RD		F	p
	M	s	M	s	M	s		
Trockene Augen	10.0	22.2	0.1	17.9	16.2	28.1	1.958	0.153
Tränende Augen	2.8	17.6	3.4	22.2	5.9	14.3	0.132	0.876
Augen gereizt	9.2	19	5.8	13.2	12.4	21.9	0.520	0.598
Augen schmerzen	6.1	13.4	2.3	8.4	7.7	14.5	0.784	0.463
Augen schwer	15.9	18.5	11.7	22	7.7	22.3	0.624	0.540
Linienfolgen	2.6	7	6.1	16.2	4	11.7	0.330	0.720
Scharf sehen	4.3	13.7	0.9	14.9	3.7	13.6	0.274	0.761
Springender Text	0.8	5	0.1	1.4	1.5	6.5	0.326	0.723
Verschw. Buchst.	0.2	15.5	0.9	17.1	7	15.9	0.864	0.436
Blendung	-1.9	6.1	3.1	16.3	8	22.5	1.489	0.236
Verschw. Sicht	4.4	12.4	5.1	14.7	7.2	18.2	0.146	0.865
Doppelsehen	-1.3	2.5	0.6	5.1	0.3	7	0.650	0.527
Kopfschmerzen	18.2	21	8.2	17.7	11.1	22.7	1.004	0.374
Nackenschmerzen	19.4	27.6	13.9	18.5	37.9	36.1	3.156	0.052
Schwindel	6.5	16.2	1.7	4.4	6.6	15.1	0.732	0.487
Übelkeit	5.4	15.3	2.5	6.2	4.9	11.7	0.284	0.754
Geistige Ermüd.	25.9	21.5	17.9	22.7	25.3	22.6	0.635	0.535
Gesamtwert	7.6	7.2	5	10.5	9.9	12.7	0.879	0.422

- Je mehr Erfahrung die Vpn mit Computerspielen aufweisen, desto niedriger bewerten sie die geistigen Anforderungen (NASA-TLX) der Aufgabe ($r = -0.307^*$) und die mit der Aufgabe verbundene Anstrengung (NASA-TLX) ($r = -0.294^*$).
- Je kürzer die Versuchszeit in der Hauptaufgabe, desto schwächer die Symptome der Simulatorkrankheit (SSQ Gesamtwert) ($r = 0.368^{**}$).
- Je größer die Anstrengung (NASA-TLX), desto stärker die geistige Ermüdung (VFQ geistige Ermüdung) ($r = 0.369^{**}$).
- Je größer die Anstrengung (NASA-TLX), desto stärker die Symptome der Simulatorkrankheit (SSQ Gesamtwert) ($r = 0.348^*$).

4 Diskussion der Ergebnisse

Im vorliegenden Experiment wurden drei mobile elektronische Displays zur Kartendarstellung bei einer geografischen Orientierungsaufgabe hinsichtlich der Leistung, Beanspruchung, visuellen Ermüdung und Symptome der Simulatorkrankheit verglichen. Weiterhin sollte über eine Nebenaufgabe die Aufmerksamkeit im peripheren Bereich der Außensicht erfasst werden. Bei der Orientierungsaufgabe mussten die Vpn in einer Simulation eine Stadt durchqueren, wozu entweder ein HMD, ein HHD oder ein RD benutzt wurden, auf denen die zur Orientierung erforderlichen Karten dargestellt waren. Die Aufgabendauer war gegenüber einem zuvor durchgeführten vergleichbaren Experiment (Pfundler 2005), bei dem keine signifikanten Unterschiede zwi-

schen den Displays gefunden wurden, von etwa 20 auf 65 Minuten (Mittelwerte) verlängert worden. Durch die Verlängerung der Versuchsdauer waren displayspezifische Auswirkungen auf die abhängigen objektiven und subjektiven Variablen erwartet worden. In keiner der gemessenen Variablen konnten jedoch signifikante Unterschiede zwischen den Displays gefunden werden. Diese Ergebnisse lassen es dennoch gerechtfertigt erscheinen, einige Hinweise auf die Vor- und Nachteile der einzelnen Displays abzuleiten, die allerdings in weiteren Untersuchungen mit verfeinerten Methoden statistisch abgesichert werden sollten. So werden eine Reihe von hypothesenkonformen Tendenzen beobachtet. Abgesehen von wenigen Ausnahmen kann festgestellt werden, dass das HMD die besten objektiven und das HHD die besten subjektiven Ergebnisse liefert, während das RD in Bezug auf beide Arten von Variablen zumeist die schlechtesten Werte aufweist.

Hauptaufgabe: Die Doppelaufgabensituation (geografischen Orientierungsaufgabe und Nebenaufgabe) bot die Möglichkeit, potentielle Vorteile des HMDs und RDs zu objektivieren. Der ständig erforderliche Aufmerksamkeitswechsel zwischen der Karte und der Außensicht wurde durch die permanente Präsenz der gesamten Information im Blickfeld der Vpn sowie die kürzeren Blickbewegungszeiten beim HMD und RD begünstigt. Dementsprechend wurde bei beiden Displays eine kürzere Bearbeitungszeit für die geografische Orientierungsaufgabe gegenüber dem HHD erwartet. Wie sich zeigte, ist die durchschnittliche Versuchsdauer beim RD (67.2 Minuten) und HMD (62.8 Minuten) auch hypothesenkonform kürzer als beim HHD (69.4 Minuten). Die drei Versuchszeiten unterscheiden sich jedoch nicht signifikant, so dass nicht behauptet werden kann, dass das HMD und das RD Leistungsvorteile bieten.

Nebenaufgabe: Signifikante Vorteile der HMDs waren ebenfalls in den Leistungen der Nebenaufgabe erwartet worden. Auch hier weist das HMD mit Ausnahme des Fehleranteils die besten Leistungen auf, während allerdings beim RD die niedrigsten Leistungen beobachtet werden. Die Unterschiede sind jedoch nicht signifikant. Es wird

vermutet, dass Nachteile der monochromen Darstellung beim RD das Ergebnis beeinträchtigen. Hier ist die schlechtere Erkennbarkeit der Positionsangabe zu nennen, die sich farblich nicht von der Karte unterscheidet.

Beanspruchung: Durch die geteilte Aufmerksamkeit und die erforderlichen größeren Blick- und Kopfbewegungen zwischen der Außensicht und dem Display wurde beim HHD eine höhere Beanspruchung hinsichtlich des Gesamtwertes und der Subskalenwerte von NASA-TLX als beim HMD und RD erwartet. Im Gegensatz dazu wird jedoch die niedrigste Beanspruchung beim HHD festgestellt. Dies gilt für den gewichteten Gesamtwert als auch für die Subskalenwerte (mit Ausnahmen der Skalen Leistung und Frustration). Die Unterschiede sind jedoch nicht signifikant. Die Hypothese einer niedrigeren Beanspruchung beim HMD und RD konnte damit nicht bestätigt werden.

Insgesamt bewirkte die geografische Orientierungsaufgabe zusammen mit der Nebenaufgabe bei allen Displays eine überdurchschnittliche Beanspruchung, was sich aus den gewichteten Gesamtwerten des NASA-TLX ersehen lässt. Im ersten Experiment zur geografischen Orientierung (Pfundler 2005) lag dagegen die Beanspruchung auf einem eher niedrigen Niveau. Offensichtlich lässt sich diese Wirkung auf die verlängerte Versuchsdauer zurückführen.

Simulatorkrankheit: Bei den HMDs wurde von inkonsistenten vestibulären und visuellen Bewegungsrückmeldungen ausgegangen, da zur Verfolgung des Kurses in der Sicht Kopfbewegungen durchgeführt werden, während die Kartendarstellung im HMD - abgesehen von der Positionsanzeige - stationär blieb. Deshalb wurden beim HMD und RD stärkere Symptome der Simulatorkrankheit vorhergesagt. Die Ergebnisse stimmen mit dieser Vorhersage überein. Das HMD und das RD weisen in Bezug auf die Veränderungswerte stärkere Symptome der Simulatorkrankheit auf als das HHD. Die Unterschiede zwischen den Displays sind jedoch nicht signifikant.

Nach der Klassifizierung von Stanney et al. (1997) werden bei allen Displays

starke Symptome der Simulatorkrankheit beobachtet. Dabei ist zu bedenken, dass die Simulatorkrankheit nicht nur durch die HMD-Technologie verursacht werden kann, sondern auch durch Merkmale der Simulation, wie z. B. durch technisch bedingte Zeitverzögerungen (vgl. Stanney et al. 1997), die in der Echtsituation nicht auftreten können. Im vorliegenden Experiment könnte u. a. eine geringfügige Zeitverzögerung bei der Bewegung der Positionsangabe auf der Karte im Vergleich zur Sicht zu diesem Effekt beigetragen haben. Zusätzlich können sich solche Symptome der Simulatorkrankheit mit zunehmender Expositionsdauer verstärken (Stanney et al. 1997). Die Ergebnisse im ansonsten vergleichbaren, aber wesentlich kürzeren Versuch von Pfendler (2005), in dem nur sehr schwache Symptome der Simulatorkrankheit auftraten, könnten auf diese weitere Ursache hindeuten.

Bei der Gegenüberstellung der Subskalenwerte des SSQ fällt weiterhin auf, dass die Symptome der Nausea generell niedriger sind, als die der Okulomotorik und der Desorientierung.

Visuelle Ermüdung: Auch die Veränderungswerte des VFQ (Gesamtwerte und Subskalenwerte) liefern keine signifikanten Unterschiede zwischen den Displays. Sowohl die Gesamtwerte als auch die meisten Subskalenwerte des VFQ sind niedrig und weisen auf keine wesentliche Ermüdung hin. Lediglich die Skalen trockene Augen, geistige Ermüdung sowie Kopf- und Nackenschmerzen sind beim HMD und RD leicht erhöht. Die Hypothese einer stärkeren visuellen Ermüdung beim HHD, die durch ständige Blickbewegungen zwischen der Außensicht und dem Display verursacht sein könnte, ließ sich somit nicht bestätigen. Die Veränderungswerte des VFQ (Subskalen- und Gesamtwerte) sprechen im Gegenteil eher für eine höhere Ermüdung beim HMD und RD, die von Sichtbehinderungen durch den Spiegel verursacht sein könnten. Die Ursache für die erhöhten Werte bei den Skalen Kopfschmerzen und Nackenschmerzen könnte darin liegen, dass beim HMD und RD jeweils nur eine Helmgröße verwendet werden konnte, so dass gelegentlich Probleme mit der Passgenauigkeit und dem Tragekomfort entstanden (Verrut-

schen des Helms bzw. Druckempfindungen).

Korrelationen: Aus den Korrelationen zwischen den Versuchsdaten und der Befragung der Vpn lässt sich ableiten, dass aus der Beschäftigung mit Computerspielen auch positive Konsequenzen für praktische Aufgabenstellungen resultieren können, da ein positiver Übungstransfer feststellbar ist. Je größer die Erfahrung mit Computerspielen, desto besser ist die Leistung in der Haupt- und Nebenaufgabe. Gleichzeitig werden bei zunehmender Erfahrung mit Computerspielen die Anstrengung und die mit der Aufgabe verbundenen geistigen Anforderungen niedriger bewertet und es tritt eine geringere Neigung zu Schwindel auf. Zu prüfen wäre, ob auch andere praktische Aufgaben durch diese Vorerfahrung positiv beeinflusst werden können.

5 Ausblick

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass trotz der Vielzahl der erfassten subjektiven und objektiven Variablen (ca. 35) keine signifikanten Unterschiede zwischen den Displays festgestellt werden konnten. Alle überprüften Displays eignen sich nach den vorliegenden Ergebnissen im gleichen Maße für geografische Orientierungsaufgaben des untersuchten Typs.

Da jedoch eine Reihe von hypothesenkonformen Tendenzen festgestellt wurde, sollten diese in weiteren Experimenten mit verfeinerten Methoden weiterverfolgt werden. So wurden mit dem HMD bei den meisten Variablen der Haupt- und Nebenaufgabe Leistungsvorteile beobachtet. Es wird angenommen, dass z. B. mit einer veränderten Nebenaufgabe die Leistung besser erfasst werden kann. Im vorliegenden Versuch wurden die peripheren Signale mit konstanten Zeiten dargeboten. Es liegt nahe, diese Zeiten zu variieren, wie dies z. B. die Konstanzmethode und adaptive Methoden der Psychophysik zur Schwellenbestimmung vorsehen. Mit variablen Signaldarbietungszeiten könnten die interindividuellen Unterschiede in der Restkapazität bei der

Informationsverarbeitung vermutlich besser erfasst werden, als mit konstanten Zeiten. Damit bestände die Möglichkeit, displayspezifische Erkennungsschwellen für periphere Signale während der Durchführung der Hauptaufgabe zu bestimmen.

Literatur

BANGOR, A.W.: Display technology and ambient illumination influences on visual fatigue at VDT Workstations. At: <http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-03072001-091123/unrestricted/vfatigue.pdf>, 2000

Eimer, E.: *Varianzanalyse*. Kohlhammer, Stuttgart, 1978

Hart, S.G.; Staveland, L.E.: Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. In *Human mental workload*, P.A. Hancock & N. Meshkati (Eds.) (Amsterdam: North-Holland.), pp. 139 – 183, 1988

Howarth, P.A.; Costello, P.J.: The nauseogenicity of using a head-mounted

display, configured as a personal viewing system, for an hour. At: www.lboro.ac.uk/departments/hu/groups/viserg/pisa.htm, 1996

Kennedy, R.S.; Berbaum, K.S.; Lilienthal, M.G.: Simulator Sickness Questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness. *The International Journal of Aviation Psychology*, **3(3)**, pp. 203-220, 1993

Kooi, F.: *Visual strain: A comparison of monitors and Head-mounted displays*. SPIE Proceedings Series Vol. 2949, The International Society for Optical Engineering (SPIE): Bellingham, WA, 1997

Pfendler, C.: *Eignung verschiedener Displaytechnologien für elektronische Karten im mobilen Einsatz*. FKIE-Bericht Nr. 98, Wachtberg-Werthhoven, 2005

Pfendler, C.; Widdel, H.: *Vergleich eines Head-Mounted- und eines Hand-Held Displays bei einer Zielentdeckungsaufgabe*. FKIE-Bericht Nr. 71, Wachtberg-Werthhoven, 2004

Rash, C. E.; Suggs, Ch. L.; Mora, J. C.; van de Pool, C.; Reynolds, B. S.; Crowley, J. S.: *Visual Issue Survey of AH-*

64 Apache Aviators (Year 2000), USAARL Report No. 2002-02. U.S. Army Aero-medical Research Laboratory: Fort Rucker, AL, 2002

Sachs, L.: *Angewandte Statistik*. Springer, Berlin, 1997

Stanney, K. M.; Kennedy, R. S.; Drexler, J. M.: *Cybersickness is not simulator sickness*. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics society 41st Annual Meeting, pp. 1138-1142, 1997

Widdel, H.; Post, D. L. (eds.): *Color in Electronic Displays*. Plenum Press, New York and London, 1992

Zvariková, M.; Juscaková, Z.: Gender differences in tests of space ability. At: http://mat.fsv.cvut.cz/gcg/sbornik/zvarikova_juscakova.pdf, 2005

Anschrift des Verfassers

Dipl.-Psych. Claudius Pfendler
Forschungsinstitut für Kommunikation,
Informationsverarbeitung und Ergonomie (FKIE)
Wachtberg – Werthhoven
Neuenahrer Str. 20
D-53343 Wachtberg
E-Mail: pfendler@fgan.de