

Kontinuierliche Kopfgesten – eine alternative Eingabeform für menübasierte Informationssysteme?

· *Benutzerschnittstelle · Gestensteuerung · Kopforientierung · Kopfbewegung · Multifunktions-Stellteil · Menüsysteme*

Zusammenfassung

Im Rahmen einer experimentellen Untersuchung wurde ein kopfgestenbasiertes Bedienkonzept für Menüsysteme im Fahrzeug mit einem konventionellen, auf einem Drehdrucksteller basierten Bedienkonzept verglichen. Die Evaluierung fand im Fahrsimulator unter Berücksichtigung objektiver Performanzkriterien sowie subjektiver Variablen statt. Die Ergebnisse zeigen keinen eindeutigen Vorteil der untersuchten kopfgestenbasierten Eingabemethode.

Praktische Relevanz

Die Verwendung eines zentralen Drehdruckstellers zur Steuerung von Menüsystemen im Fahrzeug scheint sich bei vielen Automobilherstellern durchzusetzen. Dabei weist diese Eingabeform aus ergonomischen Gesichtspunkten eindeutige Schwachpunkte auf. Es sollten daher alternative Bedienkonzepte entwickelt und getestet werden, um eine komfortablere und sicherere Nutzung der Systeme im Fahrzeug – besonders während der Fahrt – zu gewährleisten.

Mouvements continus de la tête – une méthode alternative d'entrée des données pour les systèmes d'information à affichage par menus dans l'automobile?

· *Interface utilisateur · contrôle des gestes · orientation de la tête · mouvements de la tête · dispositif de commande à multifonction · systèmes à menus*

Résumé

Dans le cadre d'une étude expérimentale dans le domaine automobile, on a procédé à une étude comparative entre un concept de commande basé sur les mouvements de la tête pour les systèmes d'affichage par menus et un système classique de commande basé sur un commutateur rotatif central. L'évaluation qui s'est déroulée en simulateur de conduite a pris en compte des critères de performance objectifs ainsi que des variables subjectives. Les résultats ne montrent aucun avantage significatif en faveur de la méthode d'entrée des données basée sur les gestes de la tête.

Importance Pratique

De nombreux fabricants de voitures semblent favoriser l'utilisation d'un commutateur rotatif central pour la commande des systèmes à affichage par menus. Pourtant cette méthode d'entrée des données a des inconvénients indiscutables du point de vue ergonomique. Il serait donc souhaitable de développer et de tester des concepts alternatifs de commande, afin de garantir le confort et la sécurité des personnes pendant l'utilisation des systèmes dans la voiture, notamment pendant la conduite du véhicule.

Continuous head gestures – an alternative way of controlling menu based in-vehicle information systems?

· *User interface · gesture control · head orientation · head movement · multifunctional controller · menu systems*

Summary

Infotainment systems inside modern vehicles include a great number of features such as multimedia players, car diagnosis systems or communication functions. In order to keep these systems usable and safe while driving special care needs to be taken for the user interface design. Multi-functional Rotary-Push Systems (RPS) seem to become a standard input device for controlling these kinds of systems in Europe and the USA (Rößger & Hofmeister 2003). However, from an ergonomic point of view this user interface concept has also weaknesses which cause usability difficulties for many drivers. This report describes an experimental study that compares an alternative interaction concept based on continuous head gestures against the standard approach using a rotary-push-device. The new concept utilises a sensor that measures the driver's head orientation in real time. This parameter can be used to control a pointer or to highlight an area on the central screen. The confirmation of a highlighted area can be achieved by pressing a simple button at the steering wheel. A theoretical analysis of the head gesture based interaction concept reveals potential advantages: First, the homing operation (moving finger/hand towards the input device) should be simpler and take less time (mainly looking at display vs. moving hand towards rotary-push-device). Second, the hands don't need to be taken off the steering wheel for controlling the graphical user interface on the central screen. Another advantage over the rotary-push-device is that the movements of the head are compatible with the graphical feedback of the system. This is not the case with rotary-push-devices since turning the device clockwise often causes system reactions either up or down. However, there are also potential disadvantages of the head based concept: Since there is no haptic feedback the interaction may capture more visual attention than the (haptic) rotary controller. The experiments covered various comparisons between the head based interaction concept and the RPS concept in terms of

- driving performance (while interacting with the system),
- task performance (while driving) and
- subjective criteria such as mental effort and acceptance.

Both interaction concepts were implemented in the immersive driving simulator run by Fraunhofer IAQ. 10 subjects (8 males, 2 females) took part in the experiment. The primary task was to drive a 40 km stretch of highway at a speed of 100 km/h while performing a specially designed secondary task. The graphical user interface of the secondary task was based on an abstract menu with six buttons at each level. Following a within-subject design the task was to select a series of buttons with a particular given number either by head movements (experimental condition) or by turning the rotary-push-device (control condition). The

order of the conditions was counterbalanced to avoid learning effects. All participants were able to practice each interface concept while standing still and also while driving. The results related to driving performance can be summarised as following: The Standard Deviation of the Driving Speed (SDDS) while performing the secondary task did not significantly differ between the interaction concepts (Wilcoxon, $z = -1.274$, $p(2\text{-sided}) = .232$), nor did the Standard Deviation of Lateral Position (SDLP) (Wilcoxon, $z = -0.968$, $p(2\text{-sided}) = .375$). However, the mean values were slightly smaller for the RPS condition. The results related to secondary task performance showed that task completion time increased by 10% when using head movements as input method. This difference was statistically significant (Wilcoxon, $z = -2.701$, $p(2\text{-sided}) = .004$). Also the number of input errors increased significantly by an average of 0.3 errors per task when using head movements as input device (Wilcoxon, $z = -2.620$, $p(2\text{-sided}) = .008$). Looking at subjective criteria the results revealed that the perceived mental effort was significantly higher in the head control condition (Wilcoxon, $z = -2.703$, $p(2\text{-sided}) = .004$). Mean RSME (Rating Scale Mental Effort: Min=0, Max=150) values differed by approx. 30 units (RSME head control: 75.5 vs. RSME rotary-push-device: 46.7). Finally, acceptance ratings showed a tendency that interaction with the rotary-push-device was perceived as being more useful and satisfactory. In summary, the obtained results are not in favour of using continuous head gestures. This effect can hardly be attributed to technical shortcoming of the head tracking technology since real time performance and optimal calibration was guaranteed for each subject. Only the difference in training (rotary-push-devices were more familiar than continuous head gestures) could explain the obtained results to a certain degree. However, high mental workload (RSME) values suggest that the head control interaction mode was visually more loading for this type of task. Further research will reveal whether simpler tasks (e.g. vertical scrolling in only one list or simple horizontal selection tasks) can bring out the potential advantages of the head based interaction mode.

Practical Relevance

Multi-functional central controllers (e.g. rotary-push-devices) are becoming more and more a standard for controlling menu based information systems inside the vehicle. However, the rotary-push-device has clear weaknesses from an ergonomic point of view. It is therefore essential to develop and evaluate new interaction concepts in order to ensure a more comfortable and safer use of in-vehicle information systems, especially while driving.

1 Einführung

Der immer größer werdende Funktionsumfang von Infotainmentsystemen in Fahrzeugen führt oft zu menü-basierten Benutzerschnittstellen, die als Haupteingabegerät ein zentrales Bedienteil im Greifbereich (z. B. Drehdrücksteller) und als Hauptausgabelement ein zentrales Display in der Mittelkonsole aufweisen. Zentrale Bedienkonzepte ermöglichen eine weitgehende Reduzierung vieler einzelner Stellteile und Anzeigen. Ob allerdings auch eine Verbesserung der Bedienbarkeit während der Fahrt erreicht wird, hängt wesentlich von der Logik der Menügestaltung und der Intuitivität des Eingabemediums ab.

Eines der gängigsten Eingabemedien im Fahrzeug ist zum heutigen Zeitpunkt der Drehdrücksteller. Beim Umgang von Probanden mit dem Drehdrücksteller kann beobachtet werden, dass dieser oft schwierig zu bedienen ist, weil nicht ohne weiteres ersichtlich ist, in welche Richtung er bei einer Auswahl von vertikalen Listeneinträgen gedreht werden soll (Neuss 2000).

Die Verwendung von Head- und Eye-Tracking als Messinstrument wird in der Wahrnehmungs- und Kognitionsforschung bereits seit Längerem erprobt. Auch als Steuerungsgerät für Desktop-Computer ist die Idee der Kopf- und Augensteuerung nicht neu (vgl. Kjeldsen 2001; Beinbauer 2006). Ein mögliches Prinzip einer Kopfsteuerung besteht darin, über die erfasste Kopforientierung eine räumliche Auswahl auf einer Anzeige vorzunehmen. Dies kann entweder über die Steuerung eines Zeigers oder einer besonderen Hervorhebung des aktivierten Eintrags geschehen. Kontinuierliche Kopfgesten werden als eine interessante Alternative für die berührungslose Steuerung von Systemen angesehen (Remillard et al. 2005). Für die Bedingungen im Fahrzeug kann ein (zuvor per Kopfbewegung ausgewählter) Eintrag außerdem per einfachen Tastendruck am Lenkrad bestätigt werden. In einer Arbeit von Geiger (2003) wurde zudem bereits der Vorteil von diskreten Kopfgesten (z. B. Kopfnicken) bei der Steuerung von einfachen Auswahldialogen nachgewiesen. Kontinuierliche Kopfgesten wurden im Fahrkontext bisher noch nicht untersucht und sol-

len deswegen in dieser Arbeit genauer analysiert werden.

Eine Analyse der Steuerung eines Menüsystems per Kopforientierung zeigt mehrere potentielle Vorteile gegenüber konventionellen manuellen Eingabeformen:

Die sogenannte Homing-Operation (Card et al. 1983), d. h. die Hand- oder Fingerbewegung zum Eingabegerät hin, ist bei der kopfbasierten Eingabe deutlich reduziert. Der weitgehende Wegfall dieser Bewegungskomponente könnte einerseits zu einer Verkürzung der Bedienzeiten führen und sollte einen positiven Einfluss auf die Fahrzeugführung haben, da während der Bedienung beide Hände am Lenkrad bleiben können. Sprachbasierte Interaktionsformen, bei denen die Homing-Operation ebenfalls nicht notwendig ist, zeigen in Studien beispielsweise einen subjektiven Sicherheitsgewinn gegenüber konventionellen Eingabeformen (Engeln et al. 2004). Ein anderer Vorteil der kopfbasierten Eingabemethode ist die Direktheit der Interaktion. Kjeldsen (2001) spricht sogar von einer Analogie zur Mensch-Mensch-Kommunikation, wenn Kopfbewegungen für eine räumliche Auswahl verwendet werden. Die damit verknüpfte Gestaltungsanforderung der Bewegungskompatibilität besagt, dass jede Bewegung des Eingabemediums mit der entsprechenden Systemreaktion kompatibel sein soll, d. h. eine Eingabebewegung nach unten sollte auf der Systemseite ebenfalls eine Bewegung nach unten bewirken. Diese Forderung kann bei der Kopfeingabe leichter erfüllt werden als bei der Eingabemethode über einen Drehsteller.

Ein möglicher Nachteil der Kopfeingabe ist die starke Bindung der visuellen Aufmerksamkeit an die Bedienungsaufgabe. Es ist im Gegensatz zu konventionellen Bedienmethoden nicht möglich, das Zielelement eines bereits bekannten Menüs mit Hilfe der meist verfügbaren haptischen Rückmeldung „blind“ anzusteuern und zu bestätigen. Vielmehr sollte zumindest der Kopf für die Bedienungsaufgabe kontinuierlich auf das Display gerichtet bleiben. Inwieweit diese Anforderung die bereits formulierten Vorteile der Kopfsteuerung einschränkt, sollte ebenfalls im Rahmen dieses Experiments untersucht werden.

Für diese Arbeit wurden deswegen folgende Vergleiche realisiert:

- Vergleich der Fahrperformanz während der Bearbeitung der Bedienungsaufgabe
- Vergleich der Bedienperformanz während der Fahraufgabe
- Vergleich der Akzeptanz zwischen den Bedienalternativen.

2 Methodik

Design

Bei der Untersuchung handelte es sich um eine Fahrstudie, die im immersiven Fahrsimulator am Fraunhofer IAQ in Stuttgart (Marberger & Dangelmaier 2005) stattfand. Der Fahrsimulator basiert auf einem realen Fahrzeug umgeben von sechs Projektionsflächen zur Darstellung von virtuellen Umgebungen (siehe Bild 1).

Als Vergleichssystem für die Kopfsteuerung (HC für HeadControl) diente ein zentral in der Armlehne integrierter Drehdrücksteller (DDS). Für das Experiment wurde ein Within-Subject-Design gewählt, bei dem jeder Proband sowohl mit dem Drehdrücksteller (DDS) als auch mit der Kopfsteuerung (HC) dieselbe Bedienungsaufgabe löste. Um möglichen Positionseffekten entgegenzuwirken, wurde die Reihenfolge der Versuchsbedingungen bei jedem Probanden gewechselt. Somit ergaben sich zwei Versuchsreihenfolgen, denen die Versuchsteilnehmer randomisiert zugeteilt wurden. In der ersten Versuchsreihenfolge kam zuerst der Drehdrücksteller (DDS) als Kontrollbedingung und dann die Kopfsteuerung (HC) als Experimentalbedingung zum Einsatz. In der zweiten Versuchsreihenfolge wurde umgekehrt zuerst die Kopfsteuerung (HC) als Experimentalbedingung und dann der Drehdrücksteller (DDS) als Kontrollbedingung benutzt. Als Vergleichsmaße dienten in dieser Studie sowohl objektive Performanzmaße als auch subjektive Rating-Skalen. Bis auf die unterschiedlichen Bediensysteme wur-



Bild 1: Immersiver Fahrsimulator am Fraunhofer IAO
Figure 1: Immersive driving simulator at Fraunhofer IAO
Illustration 1: Simulateur de conduite immersif à l'Institut Fraunhofer (IAO)

de das gesamte experimentelle Setting gleichgehalten.

Versuchspersonen

Die Stichprobe wurde überwiegend aus Studenten der Universität Stuttgart in technischen Studiengängen rekrutiert, die seit mindestens 2 Jahren in Besitz eines gültigen Führerscheins sind. An der Studie nahmen 10 Personen teil (8 Männer, 2 Frauen), die zum ersten Mal in einem Fahrsimulator fuhren. Bezüglich des Alters gaben 9 Probanden die Kategorie „18 bis 24 Jahre“ und 1 Proband die Kategorie „25 bis 34 Jahre“ an. Bei der Selbsteinschätzung des eigenen Fahrstils wurde dieser, abgesehen von einem Probanden, von etwa der Hälfte der Stichprobe als „sportlich-dynamisch“ und von der anderen Hälfte als „sicher-gelassen“ eingestuft. Insgesamt handelte es sich also um eine homogene, technisch versierte und junge Stichprobe von recht erfahrenen Fahrern. Eher unkonventionelle Systeme, wie eine Bedienung per Gesten, Kopf oder Augen wurden von der Stichprobe noch nie benutzt, bezüglich des Drehdrückstellers (DDS) kann bei der gesamten Stichprobe ebenfalls von einer eher geringen Erfahrung ausgegangen werden, womit große Verzerrungseffekte zugunsten des DDS nicht angenommen werden.

Eingabemethoden

Für das Bediensystem des Drehdrückstellers (DDS) wurde ein programmierbarer Versuchsdrücksteller von Siemens VDO benutzt. Für die Erfassung der Kopfbewegung wurde das Kopferfassungssystem TrackIR der Firma NaturalPoint Inc. verwendet. Das auf dem Markt befindliche System wird vor allem für Computerspiele benutzt. Es besteht aus einer Kamera und einem Clip mit 3 Reflektoren, die an eine Baseballmütze (TrackHat) angebracht werden, die während des Trackings getragen werden muss (NaturalPoint Track IR, 2005). Damit das Tragen des TrackHats keinen Verzerrungseffekt verursacht, wurde dieser sowohl bei HC als auch bei DDS getragen. Das TrackIR Eingabesystem wurde für das Experiment wie folgt kalibriert: Die erfasste Kopforientierung bei einer natürlichen Blickzuwendung zum Display bewirkte eine Auswahl des zentralen Menüeintrags. Kopfbewegungen nach links/rechts bzw. oben/unten erlaubten die entsprechende Ansteuerung aller Menüoptionen, wobei durch Vorversuche sichergestellt war, dass der Blick des Fahrers auch bei einer Ansteuerung der Randeinträge immer auf das Display gerichtet bleiben konnte. Die kopfgestenbasierte Interaktion mit dem Menüsystem wurde außerdem derart gestaltet, dass bei jeder Kopf-

orientierung im Erfassungsbereich des Sensors ein passender Eintrag des Menüsystems ausgewählt war. Eine Bestätigung des ausgewählten Eintrags erfolgte mit Hilfe eines einfachen Drückknopfes auf der rechten Seite des Lenkrads. Bei einem Wechsel des aktivierten Eintrags ertönte jeweils ein kurzes, dezentes akustisches Signal. Bild 2 zeigt den Fahrzeuginnenraum mit den verwendeten Eingabegeräten.

Aufgabenstellung

Bei der vorliegenden Studie wurde das Doppel- oder auch Nebenaufgabenparadigma umgesetzt, mit dem viele verkehrspsychologische Studien die Auswirkungen eines Systems auf das Fahrerverhalten und die mentale Beanspruchung testen (vgl. Gelau 2004).

Für die primäre Fahraufgabe wurden die Probanden angewiesen, jeweils 20 km auf einer Autobahnstrecke mit geringer Verkehrsdichte zu fahren und dabei eine konstante Geschwindigkeit von 100 km/h einzuhalten. Als Bedienaufgabe sollten die Probanden zusätzlich zu ihrer Fahraufgabe das Menüsystem auf dem Bordmonitor bedienen. Es handelte sich hierbei also um eine Sekundäraufgabe, die den Probanden gegenüber als Nebenaufgabe vorgestellt wurde, damit die Priorität klar auf die Fahrzeugführung gerichtet blieb. Das Menüsystem der Bedienaufgabe wurde dabei abstrakt gehalten und bestand aus einer quadratischen Matrix mit sechs Schaltflächen, denen jeweils die Zahlen 1 bis 6 zugeordnet waren (siehe Bild 3 und 4). Des Weiteren wurde es in sechs Menüebenen unterteilt, die für die Lösung der gesamten Bedienaufgabe bearbeitet werden mussten. Die Bedienaufgabe für die Probanden bestand darin, von Ebene 1 (= Ausgangszustand) bis in Ebene 6 (= Zielzustand) des Menüsystems zu gelangen, indem sie jeweils diejenige Schaltfläche auswählten und bestätigten sollten, in deren Menüebene sie sich gerade befanden. Es sollte also in der ersten Menüebene die Schaltfläche 1, in der zweiten Menüebene die Schaltfläche 2 usw. ausgewählt werden bis das Ziel - Menüebene 6 - erreicht wurde. Dabei erfolgte bei dem Bediensystem DDS die Auswahl per Drehen und die Bestätigung per Drücken des Drehdrückstellers (siehe Bild 3). Bei HC

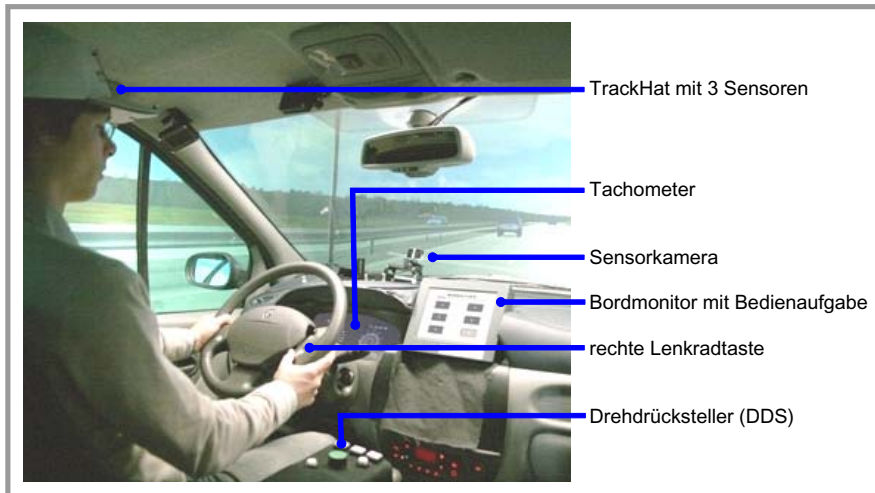


Bild 2: Fahrzeuginnenraum mit abgebildeten Ein- und Ausgabegeräten

Figure 2: Car interior with input and output devices

Illustration 2: Intérieur du véhicule montrant les dispositifs d'entrée/de sortie

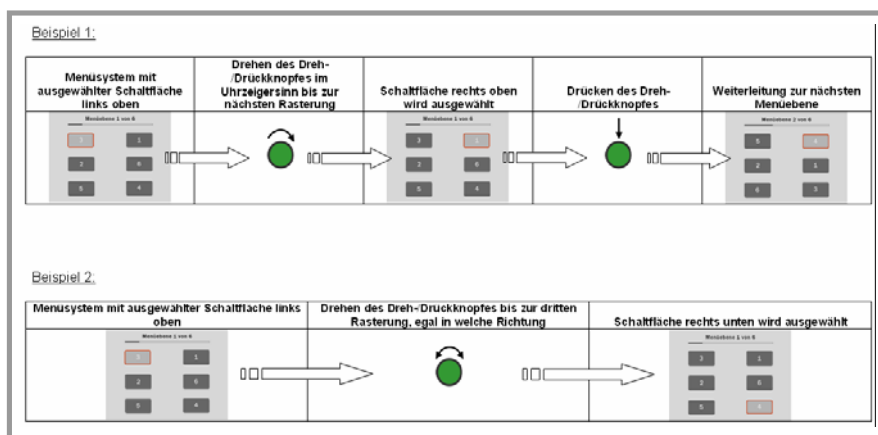


Bild 3: Beispielinteraktion mit dem Drehdrücksteller (DDS)

Figure 3: Sample interaction with Rotary-Push System (RPS)

Illustration 3: Exemple d'interaction avec le commutateur rotatif central (DDS)

wurden die Schaltflächen durch Kopfbewegungen ausgewählt und durch Drücken der rechten Lenkradtaste bestätigt (siehe Bild 4). Die Zuordnung von Zahlen zu den Schaltflächen pro Menüebene erfolgte in beiden Bedingungen zufällig.

Abhängige Variablen

Die Einschätzung der Güte der Fahrzeuglängsregelung erfolgte dabei über die Standardabweichung der Geschwindigkeit (Standard Deviation of the Driving Speed = SDDS), die bereits in

anderen Studien Anwendung fand und in der Literatur zu diesen Zwecken häufig vorgeschlagen wird (vgl. DIN EN ISO 17287:2003, 2003; Brookhuis et al. 2004; Johansson und Engström 2005). Damit wird die Variabilität der Geschwindigkeit während eines bestimmten Test- oder Zeitintervalls, hier während der Bedienungsaufgaben, gemessen. Angesichts des experimentellen Settings, wonach die Probanden angewiesen wurden, während der gesamten Fahrsimulatorfahrt mit konstanter Geschwindigkeit von 100 km/h zu fahren, wird dementsprechend eine höhere mittlere SDDS als eine Abschwächung der Fahrperformanz interpretiert.

Als Maß für die Güte der Fahrzeugquerregelung wurde in der vorliegenden Studie die Standardabweichung der Seitenposition (Standard Deviation of Lateral Position = SDLP) verwendet, womit die Variabilität der Fahrzeugposition innerhalb einer Spur erfasst wird (DIN EN ISO 17287:2003, 2003). Bei der SDLP handelt es sich um eines der am häufigsten benutzten und vorgeschlagenen Performanzmaße, wobei eine höhere mittlere SDLP traditionell mit der Abnahme der Fahrgüte in Zusammenhang gebracht wird (vgl. dazu de Waard 1996; Brookhuis et al. 2004; Johansson & Engström 2005). Für alle Variablen der Fahrperformanz wurden nur die relevanten Zeitperioden, in denen die Bedienungsaufgabe gelöst wurde, herausgefiltert und davon die relevanten Mittelwerte und Standardabweichungen berechnet.

Für die Bedienperformanz wurden die Dauer der Bedienungsaufgabe in Millisekunden sowie die Fehlerhäufigkeit bei den Bedienungsaufgaben erfasst.

Neben den objektiven Performanzmaßen wurden nach jeder Fahrt mit einem der beiden Bediensysteme auch subjektive Einschätzungsmaße mittels Rating-Skalen erhoben. Dies diente der Erfassung der subjektiven Beanspruchung und der Akzeptanz. Hierfür wurden folgende Skalen als deutsche Übersetzungen eingesetzt:

- ♦ Rating Scale Mental Effort (RSME) – ist eine 1993 von Zijlstra entwickelte eindimensionale Skala zur Einstufung der investierten mentalen Anstrengung mit sowohl verbalen als auch numerischen Ankerpunkten und einer Spannweite von 0 = gar keine Anstrengung bis 150 = extrem hohe Anstrengung (vgl. dazu de Waard 1996; DIN EN ISO 17287:2003, 2003; Cherri et al. 2005).
- ♦ Akzeptanzskala – ist eine aus 9 Items bestehende 5 stufige Skala in Form eines semantischen Differentials, die separat über zwei Subskalen (Nützlichkeitskala = 5 Items & Zufriedenheitsskala = 4 Items) ausgewertet wird. Dabei wird die Skala von -2 (= keine Nützlichkeit/Zufriedenheit) bis +2 (= hohe Nützlichkeit/Zufriedenheit) kodiert (van der Laan et al., 1997). In dieser Studie wurde die Akzeptanzskala pro

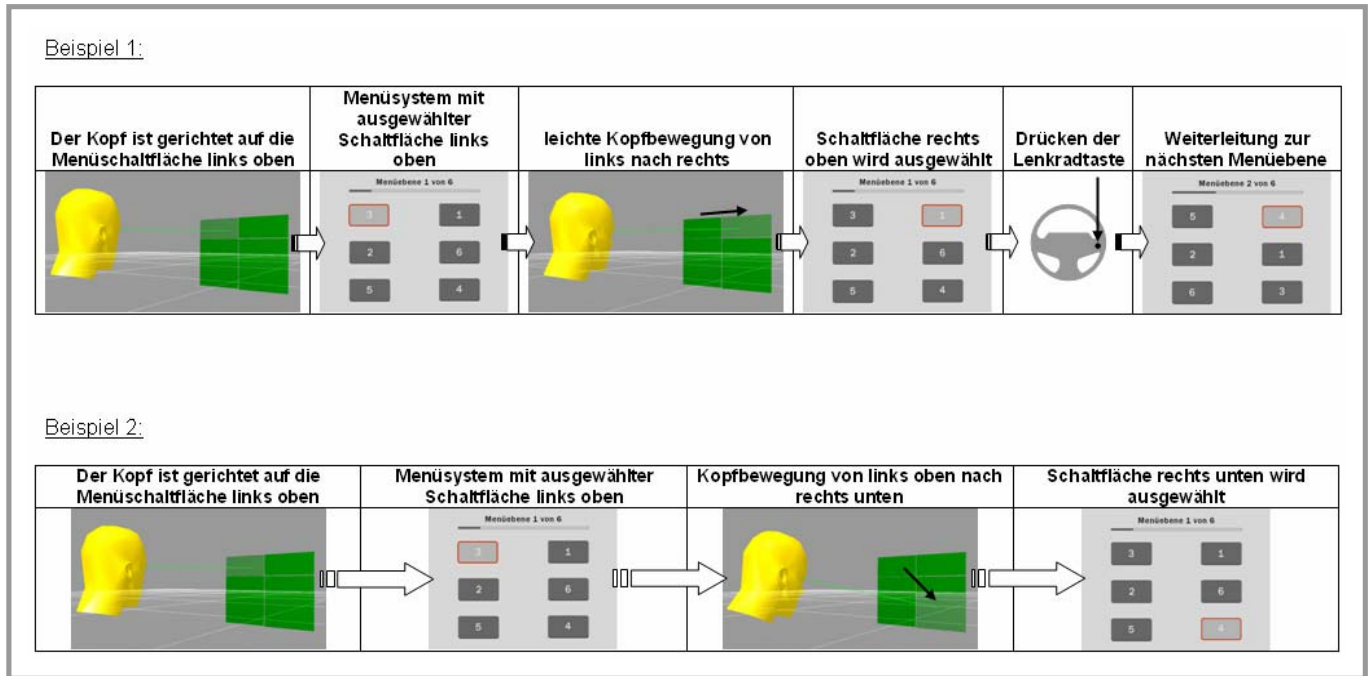


Bild 4: Beispielinteraktion mit kontinuierlichen Kopfgesten (HC)

Figure 4: Sample interaction with continuous head gestures (HC)

Illustration 4: Exemple d'interaction avec les gestes de la tête en continu (HC)

Bedienaufgabe jeweils nach der ersten Systembeschreibung und dann noch einmal nach der Systemnutzung eingesetzt.

Durchführung

Der Versuchsablauf gliederte sich in 5 Teile, die in Tabelle 1 zusammengefasst sind.

Die Fahrsimulatorfahrt bestand ihrerseits aus 3 Teilen, die jedoch kontinuierlich ineinander übergingen: 1.) Übung der Bedienaufgabe 5 Mal im Stand; 2.) Eingewöhnungsfahrt im Fahrsimulator und Übung der Bedienaufgabe 5 Mal während der Fahrt; 3.) Eigentliche Versuchsfahrt, in der die Bedienaufgabe 10 Mal erledigt wurde. Dabei wurden nur die Daten der Versuchsfahrt erfasst und ausgewertet. Während der Versuchsfahrt sollte die Bedienaufgabe so schnell wie möglich gelöst werden, ohne jedoch die Fahraufgabe zu vernachlässigen.

Damit die Erfassung der exakten Kopforientierung optimal funktionierte, wurde das System vor jeder Bedienaufgabe neu kalibriert, was mit einem Tastendruck durch den Versuchsleiter möglich war. Dafür wurden die Probanden ange-

Tabelle 1: Versuchsablauf und erfasste Daten

Table 1: Experimental procedure and data

Tableau 1: Déroulement de l'essai et données saisies

Versuchsablauf	Erfasste Daten
1. Vorbefragung	Demographie, Fahrpraxis, Erfahrung mit Bediensystemen, Fahrsimulatorerfahrung, Beschreibung von DDS oder HC, Akzeptanz nach Systembeschreibung
2. Simulatorfahrt mit DDS oder HC	Fahr- und Bedienperformanz
3. Zwischenbefragung	RSME, Akzeptanz nach Systemnutzung, Beschreibung von HC oder DDS, Akzeptanz nach Systembeschreibung
4. Simulatorfahrt mit HC oder DDS	Fahr- und Bedienperformanz
5. Nachbefragung	RSME, Akzeptanz nach Systemnutzung

wiesen, vor jeder Bedienaufgabe ein kleines Kreuz in der Mitte des Bordmonitors zu fixieren und dies dem Versuchsleiter verbal mitzuteilen. Danach wurde die Bedienaufgabe unmittelbar vom Ver-

suchsleiter ausgelöst. Um die Versuchsbedingungen bis auf die Variation der Bediensysteme gleichzuhalten, wurde diese Kalibrierungsprozedur sowohl bei HC als auch bei DDS ausgeführt.

Tabelle 2: Vergleich zwischen DDS und HC bezüglich SDDS pro Bedienungsaufgabe in Kilometer pro Stunde (km/h) *Anm.:* Δ steht hier für die Differenz zwischen den Mittelwerten von DDS und HC mit der Angabe des Signifikanzniveaus: n.s. = $p > .05$, * = $p \leq .05$, ** = $p \leq .01$, *** = $p \leq .001$; weitere Erläuterungen siehe Text

Table 2: Comparison of DDS and HC in terms of SDDS per task (in km/h)

Tableau 2: Comparaison entre DDS et HC du point de vue de SDDS pour chaque opération d'utilisation en kilomètre par heure (km/h)

Bediensystem	SDDS pro Bedienungsaufgabe in km/h				
	M	SD	MIN	MAX	Δ
DDS	0.838	± 0.514	0.372	2.084	0.209 n.s.
HC	1.047	± 0.427	0.558	2.080	

Tabelle 3: Vergleich zwischen DDS und HC bezüglich SDLP pro Bedienungsaufgabe in Meter (m) *Anmerkung:* siehe Tabelle 2

Table 3: Comparison of DDS and HC in terms of SDLP per task (in meter)

Tableau 3: Comparaison entre DDS et HC du point de vue de SDLP pour chaque opération d'utilisation en mètre (m)

Bediensystem	SDLP pro Bedienungsaufgabe in m				
	M	SD	MIN	MAX	Δ^\dagger
DDS	0.219	± 0.072	0.137	0.374	0.025 n.s.
HC	0.245	± 0.058	0.143	0.346	

Tabelle 4: Vergleich zwischen DDS und HC bezüglich der durchschnittlichen Dauer der Bedienungsaufgabe in Sekunden (s) *Anmerkung:* siehe Tabelle 2

Table 4: Comparison of DDS and HC in terms of task completion time (in seconds)

Tableau 4: Comparaison entre DDS et HC du point de vue de la durée moyenne de chaque opération d'utilisation en seconde (s)

Bediensystem	Durchschnittliche Dauer der Bedienungsaufgabe in s				
	M	SD	MIN	MAX	Δ
DDS	9.612	± 1.752	7.054	12.970	1.033 **
HC	10.645	± 1.898	8.927	14.423	

Aufgrund des experimentellen Designs und des Versuchsablaufs konnte in dieser Untersuchung von annähernd standardisierten Bedingungen ausgegangen werden.

3 Ergebnisse

Für die statistische Auswertung wurde wegen der kleinen Stichprobengröße ($N = 10$) jeweils der verteilungs-

freie Wilcoxon-Test für Paardifferenzen in seiner exakten Form gewählt (Bortz 1999).

Fahrzeuglängsregelung

Die Durchschnittsgeschwindigkeit während der 10 Bedienungsaufgaben der Versuchsfahrt lag während der DDS Nutzung bei 99.76 km/h und während der HC Nutzung bei 99.10 km/h. Der geringe und auf dem Tacho nicht wahrnehmbare Unterschied von 0.60 km/h zwischen den beiden Bediensystemen sowie die Nähe zu der vorgegebenen Geschwindigkeit von 100 km/h zeigen, dass die Fahraufgabe, mit einer konstanten Geschwindigkeit von 100 km/h zu fahren, im Schnitt nahezu perfekt sowohl während der Bedienung mit DDS als auch mit HC von den Versuchsteilnehmern erfüllt wurde. Um festzustellen, ob es einen Unterschied in der Variabilität im Fahren mit konstanter Geschwindigkeit zwischen den beiden Bediensystemen gab, wurde die Variable Standard Deviation of the Driving Speed (SDDS) ausgewertet. Der Vergleich zwischen DDS und HC bezüglich der SDDS über alle 10 Bedienungsaufgaben der Versuchsfahrt und alle Versuchsteilnehmer ist in Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2 verdeutlicht, dass die Versuchsteilnehmer mit DDS während der 10 Bedienungsaufgaben der Versuchsfahrt im Durchschnitt um 0.209 km/h weniger Variabilität im Fahren mit konstanter Geschwindigkeit aufwiesen als mit HC. Dieser kleine und praktisch vernachlässigbare Unterschied ist nicht signifikant [Wilcoxon, $z = -1.274$, $p(2\text{-seitig}) = .232$].

Fahrzeugquerregelung

Um die Güte der Fahrzeugquerregelung während der Bedienung von DDS und HC miteinander zu vergleichen, wurde die Variable Standard Deviation of Lateral Position (SDLP) benutzt. Der Vergleich zwischen DDS und HC bezüglich der mittleren SDLP pro Bedienungsaufgabe ist in Tabelle 3 dargestellt.

Die Versuchsteilnehmer wiesen mit DDS während der 10 Bedienungsaufgaben der Versuchsfahrt durchschnittlich um circa 2.5 cm weniger Abweichung in der

Tabelle 5: Vergleich zwischen DDS und HC bezüglich der Fehlerhäufigkeit pro Bedienaufgabe *Anmerkung:* siehe Tabelle 2

Table 5: Comparison of DDS and HC in terms of errors per task

Tableau 5: Comparaison entre DDS et HC du point de vue de la fréquence d'erreur pour chaque opération d'utilisation

Bediensystem	Fehlerhäufigkeit pro Bedienaufgabe				Δ
	M	SD	MIN	MAX	
DDS	0.1	±0.125	0	0.3	0.32 **
HC	0.42	±0.199	0.1	0.8	

Fahrzeugquerposition innerhalb einer Spur auf als mit HC. Dieser Unterschied ist jedoch nicht signifikant [Wilcoxon, $z = -0.968, p(2\text{-seitig}) = .375$].

Bedienperformanz – Dauer der Bedienaufgabe

Der Vergleich zwischen DDS und HC im Bezug auf die durchschnittliche Dauer der Bedienaufgabe ist in Tabelle 4 zusammengefasst.

Die Versuchsteilnehmer waren mit DDS um 1.033 Sekunden schneller pro Bedienaufgabe als mit HC. Dieser Ef-

fekt ist sehr signifikant [Wilcoxon, $z = -2.701, p(2\text{-seitig}) = .004$].

Bedienperformanz – Fehlerhäufigkeit pro Bedienaufgabe

Der Vergleich zwischen DDS und HC bezüglich der mittleren Fehlerhäufigkeit pro Bedienaufgabe ist in Tabelle 5 zusammengefasst.

Die Versuchsteilnehmer machten bei der Bedienung mit DDS durchschnittlich 0.32 Fehler weniger pro Bedienaufgabe als bei der Bedienung mit HC. Dieser Unterschied ist sehr signifikant

[Wilcoxon, $z = -2.620, p(2\text{-seitig}) = .008$].

Rating Scale Mental Effort (RSME)

Bezüglich der über RSME erfassten mentalen Anstrengung konnte der Wilcoxon-Test für abhängige Stichproben einen sehr signifikanten Unterschied [$z = -2.703, p(2\text{-seitig}) = .004$] zwischen DDS ($M = 46.7, SD = \pm 17.372, MIN = 28, MAX = 83$) und HC ($M = 75.7, SD = \pm 19.505, MIN = 42, MAX = 107$) zugunsten des DDS nachweisen.

Akzeptanzskala

Die Akzeptanzskala wurde pro Bediensystem sowohl nach der Systembeschreibung als auch nach der Systemnutzung erhoben. Mit diesem Vorgehen kann eine eventuelle Veränderung in der Einstellung zu einem System auf Grund der tatsächlichen Systemerfahrung festgestellt werden (van der Laan, Heino & de Waard 1997). Die Ergebnisse der Akzeptanzskala unterteilt in die Subskalen Nützlichkeit und Zufriedenheit sind Bild 5 zu entnehmen.

Deskriptiv zeigt Bild 5 auf, dass sich auf beiden Subskalen die Werte zwischen der ersten Messung nach der Systembeschreibung (= VORHER) und der zweiten Messung nach der tatsächlichen Systemnutzung (= NACHHER) bei DDS verbesserten und bei HC verschlechterten, wobei DDS im Schnitt in beiden Messungen hinsichtlich der Nützlichkeit und Zufriedenheit besser bewertet wurde.

Inferenzstatistisch konnten für die Dimension der Nützlichkeit durch Wilcoxon-Tests keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bediensystemen einerseits und den Messzeitpunkten andererseits gefunden werden. Bezüglich der Dimension Zufriedenheit unterschieden sich statistisch signifikant die Bediensysteme jedoch nach der Systemnutzung (Wilcoxon, $z = -2.053, p(2\text{-seitig}) = .041$).

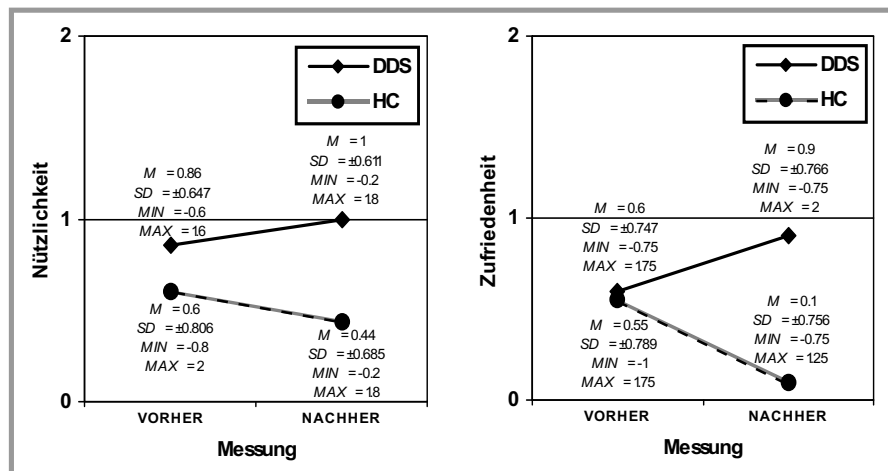


Bild 5: Vergleich zwischen DDS und HC hinsichtlich der beiden Akzeptanz-Subskalen Nützlichkeit und Zufriedenheit

Figure 5: Comparison of DDS and HC in terms of usefulness and satisfaction (subscales of acceptance)

Illustration 5: Comparatif entre DDS et HC du point de vue des deux sous échelles d'acceptation de la satisfaction et de l'utilité

4 Diskussion

Der Vergleich der Fahrerperformanz zwischen beiden Eingabesystemen

(Standardabweichungen von Geschwindigkeit und Spurposition) zeigt keine statistisch signifikanten Unterschiede zugunsten eines bestimmten Systems. Es ist jedoch anzumerken, dass für die SDLP Analyse in der DDS Bedingung zwei Ausreißer zu verzeichnen waren. Nach dem Ausschluss dieser beiden Probanden war der Unterschied zwischen DDS ($M = 0.188$, $SD = \pm 0.031$, $MIN = 0.137$, $MAX = 0.226$) und HC ($M = 0.236$, $SD = \pm 0.061$, $MIN = 0.143$, $MAX = 0.346$) nur noch knapp nicht signifikant [Wilcoxon, $z = -1.960$, $p(2\text{-seitig}) = .055$], und ist auf 4.7 cm angestiegen. Das Nichterreichen des Signifikanzniveaus von mindestens $\alpha = 5\%$ ist in diesem Falle wahrscheinlich auf die sehr kleine, nach dem Ausschluss von zwei Teilnehmern nur noch aus $N = 8$ bestehende Stichprobe zurückzuführen. Die Erledigung der Bedienung dauerte mit HC im Mittel ca. 10% länger als mit dem DDS. Dies steht nicht in Einklang mit den theoretischen Vorüberlegungen und kann auch auf die vermehrt aufgetretenen Fehler bei der Auswahl von Zielfeldern in der HC Bedingung zurückgeführt werden. Noch deutlicher als in den objektiven Maßen ist die Unterlegenheit der kontinuierlichen Kopfsteuerung in den subjektiven abhängigen Variablen zu finden: Die berichtete mentale Anstrengung ist bei der kopfbasierten Interaktion deutlich höher als bei der manuellen Bedienung. Auch zeigen die Akzeptanzwerte eine Ernüchterung bei der Beurteilung der Kopfeingabe nach dem Versuch. Die berichtete Zufriedenheit fiel deutlich zugunsten des Drehdrückstellers aus. Eine Erklärung für die gefundenen Effekte könnte darin liegen, dass sich die qualitativen Vorteile der untersuchten Variante einer kontinuierlichen Kopfsteuerung quantitativ nicht gegen deren Nachteile durchsetzen können. Die stärkere visuelle Gebundenheit an die Bedienung wird vermutlich als deutlich anstrengender wahrgenommen als die haptisch geprägte Interaktionsform per Drehdrücksteller.

Als weitere Erklärung für die dargestellten Ergebnisse kann auch die völlig fehlende Vorerfahrung mit kopfbasierten Eingabemethoden angeführt werden. Auch wenn die Probanden von nur wenig Vorerfahrung mit Drehdrückstellern berichteten, so ist dieses Eingabemedium dennoch durch ähnliche

Eingabegeräte bereits ansatzweise vertraut und könnte somit schneller erlernt werden als die unbekannte Eingabemethode per Kopfbewegung. Schließlich ist die geringe Versuchspersonenzahl von $N=10$ anzumerken, die vereinzelte Tendenzen zugunsten des DDS nicht signifikant werden lässt.

5 Schlussfolgerungen

Mit diesem Experiment sollte untersucht werden, ob eine alternative Steuerung eines Menüsystems über kontinuierliche Kopfgesten Vorteile bezüglich Bedienbarkeit und Fahrsicherheit mit sich bringt. Störvariablen wie technische Mängel bei der Erfassung der Kopforientierung sowie versuchs-technische Störeffekte wurden durch das experimentelle Setting weitgehend vermieden bzw. kontrolliert. Dennoch stehen die Ergebnisse nicht in Einklang mit den theoretischen Vorüberlegungen, nach denen die kontinuierliche kopfgestengestützte Eingabe bestimmte Vorteile gegenüber der konventionellen Eingabe haben müsste. Die Ergebnisse dieser Untersuchung deuten darauf hin, dass eine kopfgestengestützte Interaktion, wie sie im Rahmen dieses Experiments untersucht wurde, nicht als vollwertiger Ersatz für konventionelle Eingabemethoden verwendet werden kann. Folgeuntersuchungen werden zeigen, ob der Einsatz für eindimensionale Auswahlvorgänge (z.B. Vertikales Scrollen in nur einer Liste oder horizontale Auswahl von nur zwei Alternativen) die potentiellen Vorteile der kontinuierlichen Kopfgestensteuerung zur Geltung bringt.

Literatur

- Beinhauer, W.:** A widget library for gaze-based interaction elements. In ETRA '06: Proceedings of the 2006 symposium on Eye tracking research & applications (p. 53) [San Diego, California, March 27-29]. New York, NY: ACM Press. 2006
- Bortz, J.:** *Statistik für Sozialwissenschaftler* (5., vollst. überarb. Aufl.). Berlin: Springer 1999
- Brookhuis, K.; de Waard, D.; Samyn, N.:** Effects of MDMA (ecstasy), and mul-

tiiple drugs use on (simulated) driving performance and safety. *Psychopharmacology*, 173, 440-445. Epub, Online, URL: http://www.maps.org/new/2004/2004_brookhuis_6325_1.pdf [Stand 2006-08-10]

Card, S.; Moran, T.P.; Newell, A.: *The psychology of human-computer interaction*. Hillsdale, NJ: Erlbaum. 1983

Cherri, C.; Nodari, E.; Toffetti, A.: Subjective assessment methods. In Deliverable D2.2.1_Final_v2.doc Review of existing techniques and metrics for IVIS and ADAS assessment (pp. 57-76) [Status: Final, Adaptive Integrated Driver-vehicle Interface (AIDE) Intergrated Project]. URL: http://www.aideeu.org/pdf/aide_d2-2-1_final.pdf [Stand 2006-08-13]. 2005

de Waard, D.: *The Measurement of Drivers' Mental Workload*. Ph.D. thesis, University of Groningen. Haren, The Netherlands: University of Groningen, Traffic Research Centre. 1996

DIN EN ISO 17287: *Ergonomische Aspekte von Fahrerinformations- und assistenzsystemen, Verfahren zur Bewertung der Gebrauchstauglichkeit beim Führen eines Kraftfahrzeugs*. Berlin: Beuth Verlag. 2003

Engeln, A.; König, W.; Wittig, T.: SENECA: Evaluation einer Sprachbedienung im Kfz. In B. Schlag (Hrsg.), *Verkehrspsychologie: Mobilität – Sicherheit – Fahrerassistenz* (S. 371-383). Lengerich: Pabst Science Publishers. 2004

Geiger, M.: *Berührungslose Bedienung von Infotainment-Systemen im Fahrzeug*. Dissertation, Technische Universität München. 2003

Gelau, C.: Fahrerablenkung durch Informations- und Kommunikationssysteme im Fahrzeug: Auswirkungen auf das Fahrerverhalten und die Verkehrssicherheit. In B. Schlag (Hrsg.), *Verkehrspsychologie: Mobilität – Sicherheit – Fahrerassistenz* (S. 297-316). Lengerich: Pabst Science Publishers. 2004

Johansson, E.; Engström, J.: Driving performance. In Deliverable D2.2.1_Final_v2.doc Review of existing techniques and metrics for IVIS and ADAS assessment (pp. 5-29) [Status: Final, Adaptive Integrated Driver-vehicle Interface (AIDE) Intergrated

Project]. URL: http://www.aide-eu.org/pdf/aide_d2-2-1_final.pdf [Stand 2006-08-13]. 2005

Kjeldsen, R.: Head Gestures for Computer Control. In *Proceedings of the IEEE ICCV Workshop on Recognition, Analysis, and Tracking of Faces and Gestures in Real-Time Systems* (pp. 61-67) [Vancouver, B.C., Canada, July 13]. Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society. 2001

Marberger, C.; Dangelmaier, M.: Virtual Prototyping and Driving Simulation at Fraunhofer IAO – Lab Presentation, Proceedings ATA International Conference, Roma 2005. 2005

NaturalPoint Track IR: *Users Manual version 4.1.028*. NaturalPoint Inc. URL: <http://www.naturalpoint.com/trackir/06-support/TrackIR-manual->

[v4.1.028/tir4-index.html](http://www.naturalpoint.com/trackir/06-support/TrackIR-manual-v4.1.028/tir4-index.html) [Stand 2007-03-27]. 2005

Neuss, R.: *Usability Engineering als Ansatz zum Multimodalen Mensch-Maschine-Dialog*. Dissertation an der Technischen Universität München, Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation. 2000

Remillard, J.; Nordman, D.; Pither, D.: Communicating with head movement: Computer accessibility for people with quadriplegia. *Red River College Forum: Applied Research and Innovation*, 2, 77–85. 2005

Rößger, P.; Hofmeister, J.: Cross Cultural Usability: An International Study on Driver Information Systems. In J. Jacko & C. Stephanidis (Eds.), *Human-Computer Interaction: Theory and Practice (Part II)*, *Proceedings of HCI International 2003* (Vol.

2, pp. 253-257). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates. 2003

van der Laan, J. D.; Heino, A.; de Waard, D.: A simple procedure for the assessment of acceptance of advanced transport telematics. *Transportation Research - Part C: Emerging Technologies*, 5, 1-10. Deutsche Version der Akzeptanzskala verfügbar unter URL: http://home.wanadoo.nl/hfesecc/accept_de.htm [Stand 2007-03-26]. 1997

Anschrift der Verfasser

Dipl. Psych. Claus Marberger

Dipl. Psych. Michael Kondzior

Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation

Nobelstr. 12, D-70569 Stuttgart

E-Mail: claus.marberger@iao.fhg.de