

## **Kompetenzerwerb für Fahrerinformationssysteme: Bedeutung von Bedienkontext und Menüstruktur (Learnability of Menu-Driven Information Systems: The Importance of User Context and Menu Structure)**

Dipl. Psych. **Nadja Rauch**, Dipl. Psych. **Ingo Totzke** & Prof. Dr. **Hans-Peter Krüger**, Würzburg

### **Kurzfassung:**

Im Rahmen des Forschungsprojekts „Kompetenzerwerb für Fahrerinformationssysteme“ (durchgeführt im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen und der Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V.) wurde der Einfluss der Menüstruktur in einer Single-Task (Studie 1) sowie in einer Dual-Task Situation (parallele Trackingaufgabe in einem Fahrsimulator ohne Bewegungssystem; Studie 2) untersucht. Dazu wurden zwei Menüsysteme konstruiert: Ein breites Menüsystem mit je 8 Optionen auf zwei Menüebenen (8\*8-Struktur) und ein tiefes Menüsystem mit je 2 bzw. 4 Optionen pro Ebene (4\*2\*2\*4-Struktur). N = 24 Probanden mussten Menüfunktionen auf der jeweils untersten Menüebene möglichst schnell und präzise ansteuern.

Mit zunehmender Übung erhöht sich in der Single-Task Situation die Bediengeschwindigkeit im Umgang mit dem Menüsystem bei gleich bleibender Genauigkeit. Übereinstimmend mit zahlreichen Befunden aus der Literatur wird das breite Menüsystem in der Single-Task Situation schneller, aber mit einer ähnlichen Genauigkeit wie das tiefe Menüsystem bedient.

In der Dual-Task Situation zeigen sich vor allem zu Lernbeginn Einbußen in der Bediengeschwindigkeit durch die Interferenz mit der parallel zu bearbeitenden Trackingaufgabe. Es ergeben sich keine Unterschiede in der Bedienleistung in Abhängigkeit der Menüstruktur, die gleichzeitig auszuführende Trackingaufgabe wird jedoch bei Bedienung des breiten Menüs schlechter gelöst. Einhergehend damit sind im breiten Menü längere Blickdauern bei einer vergleichbaren Blickanzahl zur Bedienung als im tiefen System notwendig. Die Varianz in den Blickdauern ist bei Bedienung des breiten Menüs ebenfalls größer. Ferner wird deutlich, dass je kürzer und gleichmäßiger die notwendigen Blicke zur Bedienung des Menüsystems sind, desto besser kann gleichzeitig die Trackingaufgabe erledigt werden. Unter diesem Aspekt der Verschränkbarkeit von Menübedienung und Trackingaufgabe ist das tiefe Menüsystem dem breiten Menüsystem somit überlegen.

Hieraus ergeben sich folgende Schlussfolgerungen: Die Evaluation von Informationssystemen im Fahrzeug sollte in Dual-Task Settings stattfinden, sofern

Informationssysteme während der Fahrt bedient werden dürfen. Ferner sollten Informationssysteme bei einer Bedienung im Stand verstärkt auf breite Menüstrukturen bzw. während der Fahrt insbesondere auf tiefe Menüstrukturen zurückgreifen.

**Abstract:**

Within the scope of the research project "Learnability of Driver Information Systems" (commissioned by the Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V. and the Federal Highway Research Institute) the influence of menu structure was analyzed under single-task (study 1) vs. dual-task conditions (using a parallel tracking task in a driving simulator without movement system; study 2). For this purpose two menu systems were constructed: one broad system with eight options on each of two levels (8\*8 structure), one deep system with two respectively four options per level (4\*2\*2\*4 structure). N = 24 subjects had to navigate through the system as fast and accurate as possible to reach a target item on the lowest level of the menu. With increasing practice the speed of use increased in interaction with the system during the single-task situation whereas the accuracy of use remained constant. Consistent with results from the literature the broad menu can be handled faster but with comparable accuracy than the deep menu.

In the dual-task condition there are losses in the speed of use in interaction with the system especially at the beginning due to the interference with the simultaneous tracking task. Subject to menu structure no differences in the efficiency of use can be found. The tracking task which has to be simultaneously performed is solved worse during the use of the broad menu. At the same time longer display glances at an equal number of glances are needed to handle the broad menu compared to the deep menu. The variance in the duration of display glances is also higher in the broad menu. In addition, the shorter and steadier the required glances are the better the tracking task can be performed simultaneously. Under this aspect of task switching between menu use and tracking task the deep system is superior to the broad system.

Hence two conclusions arise: At first the evaluation of Information Systems in vehicles should be take into account the demands in the real user context. Whenever Information Systems may be used during driving evaluation should be carried out in dual-task settings. Further different menu structures are adapted to the context of use. Thus Information Systems for use in standing vehicles should access broad menu structures whereas Information Systems for use during driving should access deep menu structures.

## **1. Kompetenzerwerb und Struktur von Menüsystemen**

### **1.1 Kompetenzerwerb als Ansatz zur HMI-Gestaltung**

Mensch-Maschine-Interaktionen innerhalb des Fahrzeugs umfassen ein sich ständig erweiterndes Spektrum von Funktionen. Neben bekannten Funktionen, wie Mobiltelefon und Navigationssystem, wird insbesondere die Integration von Infotainment-Systemen (z.B. Internet, E-Mail, SMS) und des sog. Mobilen Büros in das Fahrzeug diskutiert. Damit einhergehend kommt es zu einer deutlichen Erweiterung der bestehenden Informationssysteme. Wie zahlreiche Studien zeigen, ist insbesondere bei visuellen Human-Machine-Interfaces (HMI) im Fahrzeug mit erheblichen Einbußen in der Güte der Fahrzeugführung zu rechnen (z.B. [1] bis [7]). Daher sind Maßnahmen notwendig, um diese negativen Effekte von Mensch-Maschine-Interaktionen zu vermeiden. Eine Möglichkeit ist die optimale HMI-Gestaltung im Fahrzeug, d.h. eine Anpassung des HMI an Anforderungen und Fähigkeiten des Fahrers, so dass der Fahrer durch die Mensch-Maschine-Interaktion nur minimal zusätzlich belastet wird. Diesbezüglich relevante Ansatzpunkte liefern ergonomische Kriterien, die z.B. in Form von Gestaltungsgrundsätzen in ISO-Normen formuliert werden. Die ISO-Norm 9241 [8] definiert beispielsweise ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten. Speziell Teil 10 thematisiert Grundsätze der Dialoggestaltung, die auf HMI im Fahrzeug verallgemeinerbar sind. Als Gestaltungsgrundsätze zur Dialoggestaltung werden genannt: Aufgabenangemessenheit, Selbstbeschreibungsfähigkeit, Steuerbarkeit, Erwartungskonformität, Fehlertoleranz, Individualisierbarkeit und Erlernbarkeit bzw. Lernförderlichkeit. Zur Umsetzung der Erlernbarkeit bzw. Lernförderlichkeit wird z.B. eine einfache und klare Informationsdarstellung, direkte und eindeutige Sprache, eine Reduktion der Beanspruchung des Nutzers, unmittelbare Rückmeldung, eine Benutzerführung sowie nutzerorientierte Terminologie empfohlen [9].

### **1.2 Kompetenzerwerb für Menüsysteme**

Obwohl in der Lern- und Gedächtnispsychologie zahlreiche empirische Befunde zum Erlernen komplexer Fertigkeiten vorliegen (für eine Übersicht: [10] bis [13]), ist im Bereich des Kompetenzerwerbs für Menüsysteme bislang keine systematische Forschungsaktivität festzustellen. In einer eigenen Studie [14] wurde gezeigt, dass das Erlernen des Umgangs mit Menüsystemen zu deutlichen Leistungszuwächsen sowohl in der Bediengeschwindigkeit als auch in der Bediengüte führt. Während zu Beginn des Systemkontakts starke Leistungszuwächse auftreten, werden diese mit zunehmender Übung immer geringer. Zugleich nimmt mit zunehmender Systemerfahrung die interindividuelle Variabilität ab. Der

Kompetenzerwerb für Menüsysteme kann folglich mittels des „Potenzgesetz der Übung“ beschrieben werden, dessen Gültigkeit auch für komplexe Fertigkeiten gezeigt wurde (z.B. [15]; für eine Übersicht: [16], [17]).

### **1.3 Kompetenzerwerb in Dual-Task Situationen**

Trotz einer nachweisbaren Leistungssteigerung in Form eines Anstiegs von Geschwindigkeit und Genauigkeit einer ausgeführten Handlung (z.B. [14]) kommt es mit zunehmender Übung einer Fertigkeit zu einem Absinken der physischen und mentalen Beanspruchung der handelnden Person. Damit einhergehend können zwei Tätigkeiten parallel erledigt werden, wobei die wechselseitige Beeinträchtigung der Tätigkeiten (sog. Interferenz) abnimmt [18]. Guski und Bosshardt [19] nennen vier Gründe, warum Doppelaufgabeninterferenzen mit zunehmender Übung abnehmen:

- (1) Beherrschung der Einzelaufgaben
- (2) Entwicklung von Strategien, um beide Aufgaben gleichzeitig mit minimalen Einbußen zu bearbeiten
- (3) Minimierung des Gebrauchs von Aufmerksamkeits- oder anderen zentralen Ressourcen bei der Aufgabenbearbeitung
- (4) Minimierung der notwendigen Ressourcen zum Steuern der Tätigkeit

Theoretischer Hintergrund zum Auftreten von Interferenzen zwischen zwei oder mehr gleichzeitig auszuführenden Aufgaben sind zumeist Kapazitäts- oder Ressourcenmodelle (z.B. [7], [20] bis [23]). Diesen Modellen ist gemein, dass nur begrenzt Möglichkeiten zur Informationsverarbeitung einer Person zur Verfügung stehen. Werden diese vorhandenen Möglichkeiten zur Informationsverarbeitung überschritten, so führt diese Überforderung (engl.: Overload) zu einer Abnahme der Leistung der handelnden Person. Somit ist zu erwarten, dass auch beim Kompetenzerwerb für Menüsysteme in Dual-Task Situationen (z.B. während der Fahrt) zu Beginn des Systemkontakts Interferenzen zwischen Systembedienung und weiterer Aufgabe (hier: Fahrzeugführung) auftreten werden. Diese Interferenzen sollten mit zunehmender Übung im Menüsystem abnehmen. Momentan liegen keine empirischen Befunde zu den Auswirkungen von Menüsystemen auf die Fahrzeugführung unter Berücksichtigung des Kompetenzerwerbs vor.

### **1.4 Auswirkungen der Menüstruktur**

Wie zahlreiche Studien zeigen, beeinflusst die Menüstruktur in einem erheblichen Maße sowohl Systemverständnis und –wissen als auch Geschwindigkeit und Qualität der Systembedienung (für eine Übersicht: [24], [25]). Als für Systemrepräsentation und

Systembedienung zentrale Strukturmerkmale werden u.a. die Menübreite (Anzahl der Menüoptionen pro Menüebene) und Menütiefe (Anzahl der Menüebenen bis zum Erreichen der Zielfunktion) genannt [24]. Breite Menüs werden zusammenfassend als günstiger bewertet [24]. So sind bei breiten Menüs zwar längere Suchzeiten und erhöhte Reaktionszeiten bis zur Auswahl eines Handlungsschritts zu erwarten, über alle Menüebenen hinweg bis zum Erreichen der Zielfunktion wirkt sich dies jedoch günstiger aus als in tiefen Menüs. Insbesondere bei sukzessiven Menüs, in denen nur Ausschnitte des Menüs gezeigt werden, sind breite Menüs von Vorteil [26]. Als günstig werden 3 bis 12 Optionen pro Menüebene angegeben [24], als optimal 7 +/- 2 Optionen (z.B. [27] bis [29]). Bei tiefen Menüs nehmen zwar pro Menüebene die Such- und Reaktionszeiten ab, über alle Ebenen hinweg führt dies jedoch zu ähnlichen Bearbeitungsdauern wie bei vergleichbaren breiten Menüs ([28], [30] bis [32]). Erschwerend kommt hinzu, dass mit zunehmender Menütiefe stärkere Orientierungsprobleme auftreten können (d.h. die Nutzer wissen nicht mehr, wo im Menü sie sich gerade befinden; [33]). Begrifflich nicht-eindeutige Systemfunktionen führen vor allem in tiefen Menüs zu Bediendefiziten [34]. Als optimale Tiefe werden zwei bis drei Ebenen empfohlen [28]. Müssen weitere Funktionen in ein Menü integriert werden, ist anstelle einer Hinzunahme weiterer Menüebenen eine Verbreiterung der bereits bestehenden Menübereiche anzustreben. Diese Befunde stützen sich ausnahmslos auf Ergebnisse, die nach einem längeren Umgang mit einem Menüsystem gewonnen wurden. Das Erlernen von Menüs unter Berücksichtigung von Strukturmerkmalen (wie z.B. Menütiefe und -breite) wurde in empirischen Studien bislang nur vereinzelt betrachtet. So wird übereinstimmend berichtet, dass vor allem in tiefen Menüsystemen starke Leistungszuwächse auftreten ([28], [31], [35]).

## **1.5 Zusammenfassung**

Aus diesen Darstellungen lassen sich folgende Hauptannahmen zum Kompetenzerwerb für Menüsysteme formulieren, die im Folgenden weiter betrachtet werden sollen:

- Breite Menüs sind sowohl hinsichtlich Bediengeschwindigkeit als auch Bediengüte tiefen Menüs gegenüber überlegen.
- Zu Beginn des Systemkontakts in einer Dual-Task Situation werden deutliche Interferenzen zwischen Bedienung des Menüsystems und einer parallelen (Primär-) Aufgabe erwartet.

Studie 1 untersucht den Einfluss der Menüstruktur auf den Kompetenzerwerb für Menüsysteme an einem Bildschirmarbeitsplatz (Single-Task Situation), Studie 2 in einer Dual-Task Situation.

## **2. Studie 1: Einfluss der Menüstruktur in Single-Task Situationen**

### **2.1 Methodisches Vorgehen**

#### **2.1.1 Beschreibung des Menüsystems**

Um die Auswirkungen der Menüstruktur auf den Kompetenzerwerb zu untersuchen, wurden zwei Menüsysteme konstruiert: Ein tiefes Menü, das aus vier Menüebenen bestand, und ein breites Menü, das aus zwei Menüebenen bestand. Das tiefe Menü umfasste vier Optionen auf der ersten Menüebene (Menübereiche „Navigation“, „Entertainment“, „Telefon“ und „Bordcomputer“), je zwei Optionen auf der zweiten bzw. dritten Ebene und vier Funktionen auf der vierten Ebene (4\*2\*2\*4 System). Die Gliederung bzw. Reihenfolge der Menübereiche wurde per Zufall bestimmt, d.h. die Reihenfolge der Menüinhalte wurde weder anhand alphabetischer oder thematischer Aspekte noch anhand der Häufigkeit der Benutzung eines Menübereichs definiert. Es liegt im Vergleich zu marktüblichen Menüsystemen somit die schlechtmöglichste Form der begrifflichen Menügestaltung vor. Das breite Menü wiederum setzte sich aus zwei Ebenen mit jeweils acht Optionen zusammen (8\*8 System; Menübereiche Ebene 1: „Ziele“, „Route“, „Audio“, „TV“, „Anruflisten“, „Text-Mitteilungen“, „Fahrzeugeinstellungen“ und „Fahrzeuginformationen“). Beide Menüs bestanden aus 64 Funktionen.

Um die beiden Menüs miteinander vergleichen zu können, wurden identische Menüinhalte verwendet. Dies wurde möglich, indem bei der Konstruktion des breiten Systems die erste und dritte Ebene des tiefen Menüs entfernt wurden. Somit war die erste Ebene des breiten Systems identisch mit der zweiten Ebene des tiefen Systems bzw. die zweite Ebene des breiten Systems mit der vierten Ebene des tiefen Systems. Mittels einer Voruntersuchung (N = 6 Probanden) wurde kontrolliert, dass beide Menüs hinsichtlich sprachlicher Merkmale vergleichbar waren. Bei beiden Menüs wurde auf dem Bildschirm jeweils nur die aktuelle Menüebene, auf der die Probanden sich befanden, dargestellt.

Die Probanden sollten mittels des Menüsystems möglichst schnell und präzise Aufgaben bearbeiten. Die Navigation innerhalb des Systems erfolgte über einen Joystick, die Auswahl einer Menüfunktion auf der jeweils untersten Menüebene über eine zusätzliche Auswahl-Taste. Nach dem erfolgreichen Ansteuern einer Menüfunktion wurde eine neue Aufgabe gegeben. Steuerte der Proband einen falschen Menüpunkt an, wurde ein sog. Falsch-Bildschirm eingeblendet, auf dem die anzusteuernde Funktion noch einmal genannt wurde. Im Anschluss musste die richtige Menüfunktion ausgewählt werden.

Es wurden drei Blöcke mit jeweils 48 Aufgaben vorgegeben. Erfasst wurden folgende Parameter der Menübedienung: „Mittlere Navigationszeit“ (Zeitdauer, in der die Probanden innerhalb des Menüsystems navigieren), „Mittlere Schrittdauer“ (Dauer pro Einzelschritt im

Menü, berechnet aus mittlerer Navigationszeit/Zahl der gegangenen Schritte pro Aufgabe) sowie „Überflüssige Wegstrecke“ als Parameter der Bediengüte (Verhältnis tatsächlich gegangener Schritte zu notwendigen Schritten zur Bearbeitung einer Aufgabe).

### **2.1.2 Versuchsdurchführung**

Am Versuch nahmen  $N = 12$  Probanden (7 weiblich, 5 männlich, Mittleres Alter: 23.7 Jahre) teil. Je  $n = 6$  Probanden gingen mit dem breiten Menü (8\*8-Struktur) bzw. dem tiefen Menü (4\*2\*2\*4-Struktur) um. Unabhängig vom Menüsystem bearbeiteten alle Probanden identische Aufgabenblöcke. Es liegt demzufolge ein Mischversuchsplan mit den Faktoren „Übung“ (3 Blöcke; within-Faktor) und „Menüstruktur“ (breit vs. tief; between-Faktor) vor. Der Versuch dauerte ca. 90 Minuten.

## **2.2 Ergebnisse**

In den untersuchten Menüs findet zu Lernbeginn eine deutliche Beschleunigung der Mittleren Navigationszeit von 9075 ms (sd = 6033 ms) in Block 1 zu 6362 ms (sd = 3178 ms) in Block 2 statt (siehe Bild 1 oben). Mit zunehmender Übung verringert sich die Mittlere Navigationszeit nur noch geringfügig (Block 3:  $m = 6098$  ms,  $sd = 2907$  ms). Die Abnahme der Mittleren Navigationszeit ist auf eine Beschleunigung der Mittleren Schrittdauern zurückzuführen (Block 1:  $m = 925$  ms,  $sd = 535$  ms; Block 2:  $m = 653$  ms,  $sd = 192$  ms; Block 3:  $m = 625$  ms,  $sd = 206$  ms; siehe Bild 1 unten links). Bild 1 unten rechts zeigt, dass die zurückgelegte Wegstrecke für den Kompetenzerwerb im untersuchten Menü weitgehend unbedeutend ist: Unabhängig vom Durchgang ist durchschnittlich 20 % der im Menü zurückgelegten Strecke nicht notwendig, um die Zielfunktion zu erreichen (Quotient „Überflüssige Wegstrecke“ Block 1:  $m = 1.24$ ,  $sd = .78$ ; Block 2:  $m = 1.18$ ,  $sd = .58$ ; Block 3:  $m = 1.18$ ,  $sd = .58$ ). Die Menüs scheinen sowohl hinsichtlich ihrer begrifflichen Struktur als auch ihrer Bedienung leicht verständlich zu sein, so dass keine größere Fehlerzahl im Umgang mit dem Menüsystem auftritt. In den untersuchten Menüs kommt es vor allem zu einer zeitlichen Optimierung des Systemumgangs, d.h. die Bediengeschwindigkeit nimmt bei einer konstanten Bediengüte zu. Zusätzlich wird deutlich, dass mit zunehmender Übung die Variabilität zwischen den Probanden abnimmt.

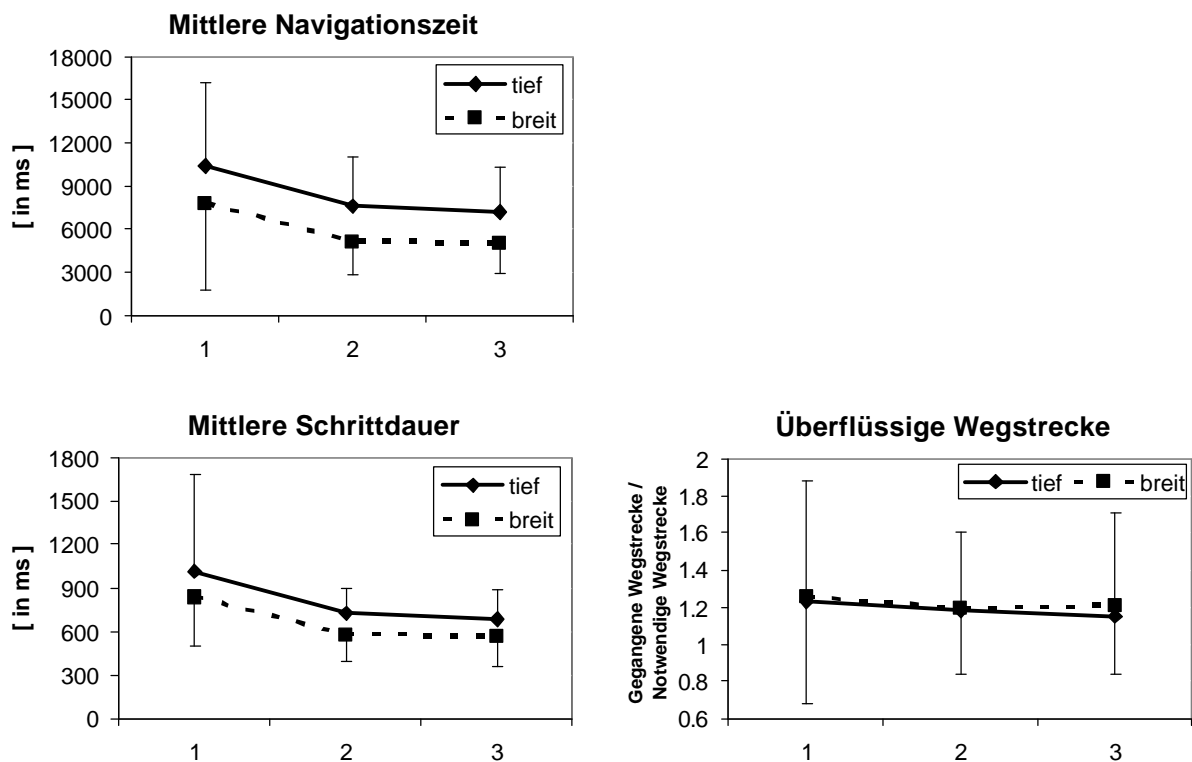


Bild 1: Mittlere Navigationszeit (oben), Mittlere Schrittdauer (unten links) und Überflüssige Wegstrecke (unten rechts) zur Bearbeitung der Aufgaben im Menüsystem. Dargestellt sind Mittelwerte mit Standardabweichung sowie die Ergebnisse der Split-Plot-Varianzanalysen mit dem dreifach abgestuften Faktor „Block“ (Block 1 vs. Block 2 vs. Block 3) und dem zweifach abgestuften Faktor „Struktur“ (Breit vs. Tief).

Picture 1: Mean navigation time (top), Mean step time (below left) and redundant way (below right) in menu navigation. Means with standard deviation as well as results of a split-plot analysis of variance (factor 1: “block”, factor 2: “structure”) are displayed.

Unabhängig vom Kompetenzerwerb ist das breite Menü günstiger als das tiefe Menü. Bild 1 zeigt, dass über alle drei Aufgabenblöcke hinweg beim breiten Menü sowohl die Mittlere Navigationszeit als tendenziell auch die Mittlere Schrittdauer geringer sind als beim tiefen Menü. Die Überflüssige Wegstrecke als Parameter der Bediengüte weist keine strukturbedingten Unterschiede auf. Breite Menüs sind somit besonders günstig für die Bediengeschwindigkeit.

### 3. Studie 2: Einfluss der Menüstruktur unter Dual-Task Bedingungen

#### 3.1. Fragestellung

In dieser zweiten Studie soll der Frage nachgegangen werden, inwiefern die in einer Single-Task Situation erzielten Ergebnisse zum Kompetenzerwerb für Menüsysteme auf Dual-Task Situationen (z.B. während einer Autofahrt) generalisiert werden können und die Ergebnisse

geeignet sind, die Auswirkungen der Menüstruktur auf die Fahrsicherheit abzuschätzen. So kann einerseits erwartet werden, dass breite Menüs in der Dual-Task Situation günstiger sind, da hier der Orientierungsaufwand weniger hoch ist als im tiefen Menü. Andererseits können im Gegensatz zur Single-Task Bedingung breite Menüs aufgrund ihrer größeren Informationsmenge, die simultan dargeboten wird, eine höhere visuelle Beanspruchung des Nutzers bedingen. Dies könnte dazu führen, dass unter Dual-Task Bedingungen eine stärkere Interferenz zwischen der ebenfalls visuellen Fahrzeugführung und der Systembedienung für breite Menüs auftritt.

Um diese Hypothesen zu prüfen, wurden die bereits unter Single-Task Bedingungen geprüften Menüsysteme (siehe Kapitel 2) in einer Dual-Task Situation eingesetzt. Hierzu wurde eine Trackingaufgabe eingeführt, die die Probanden als Primäraufgabe möglichst präzise bearbeiten sollten. Sie sollten das Menüsystem nur dann bedienen, wenn entsprechende kognitive Kapazitäten frei wären. Abgesehen von der Dual-Task Situation, in der o.g. Menüs parallel zu einer Trackingaufgabe zu bedienen waren, war das methodische Vorgehen identisch zur vorherigen Studie unter Single-Task Bedingungen (siehe Kapitel 2).

## **3.2 Methodisches Vorgehen**

### **3.2.1 Beschreibung der Trackingaufgabe**

Um die aus der Bedienung von menügesteuerten Informationssystemen während der Fahrt resultierende Beanspruchung des Fahrers nachzubilden, haben sich Trackingaufgaben als geeignet erwiesen und sind deshalb auch als Methode zur Untersuchung der Leistung unter Mehrfachbelastung zu empfehlen [36].

In der vorliegenden Studie wurde auf eine Trackingaufgabe zurückgegriffen, die aus einem Kreuz bestand, das konstant einige Meter vor dem Ego-Fahrzeug auf den Straßenbelag einer leicht kurvigen Landstraße projiziert wurde (siehe Bild 2 rechts). Dieses Kreuz variierte seine Position auf der Fahrbahn. Nach 9 bis 10 s in der Spurmitte bewegte es sich, initiiert durch einen Zufallsalgorithmus, innerhalb von 3 s um 0.85 m aus der Fahrspurmitte mit konstanter Geschwindigkeit nach rechts oder links. Von dort bewegte es sich nach 9-10 s Ruhelage wieder innerhalb von 3 s zur Spurmitte zurück. Zu beachten ist, dass das Kreuz sich in seiner Lage links und rechts von der Spurmitte immer noch innerhalb der Fahrspur des Ego-Fahrzeugs befand, die Reifen des Fahrzeugs also nicht die Spurmarkierungen berühren mussten.



Bild 2: Fahrsimulator (links) und Trackingaufgabe (Screenshot; rechts).

Picture 2: Driving simulator (left) and tracking task (screenshot; right).

Aufgabe der Probanden war es, den Bewegungen des Kreuzes möglichst präzise zu folgen. Dazu musste die Versuchsperson eine an der Fahrzeugkonsole angebrachte Markierung möglichst konstant mit dem Schnittpunkt der Kreuzbalken in Übereinstimmung bringen und halten (siehe Bild 2 rechts). Die Probanden sollten das Menüsystem nur dann bedienen, wenn entsprechende kognitive Kapazitäten frei waren. Mittels dieser Trackingaufgabe sollte die Fokussierung des Fahrers auf ein sicherheitsorientiertes Fahren simuliert werden.

Der Versuch fand in einem Fahrsimulator ohne Bewegungssystem statt, dessen Hardware im Kern aus fünf PCs besteht. Der Hauptrechner erhält die Eingaben aus der Fahrzeugbedienung (Lenkwinkel, Gaspedalstellung und Bremspedalstellung) mit einer Abtastrate von 100 Hz. Auf der Basis des verwendeten Fahrzeugmodells werden die Eingangssignale in Bewegungsgrößen des Fahrzeugs umgerechnet. Ein Soundmodell generiert das Motorengeräusch in Abhängigkeit von Drehzahl und Last. Das Lenkmomentmodell simuliert über einen Lenkmotor die Lenkkräfte. Die Visualisierung der Szenerie übernimmt ein Grafik PC, an den die Daten über das Netz übertragen werden. Das vorhandene Umweltmodell verwaltet die Szenerie der Fahrt (Streckennetz, Objekte) sowie zur Szenerie gehörende Nebenaufgaben. Das Umweltmodell steuert die Grafikausgabe, die als dreidimensionale, texturierte Grafik angezeigt wird. Die Probanden sitzen in einer Fahrkonsole mit Lenkrad, Gas- und Bremspedal (siehe Bild 2 links). Straße und Umwelt werden von einem Videobeamer auf eine 2.40 m vor ihnen stehende Leinwand (Bildgröße 2.63 x 2.15m) projiziert.

### 3.2.2 Erfassung des Blickverhaltens

Um zusätzlich abschätzen zu können, mit welcher visuellen Beanspruchung die Menüsysteme einhergehen und inwiefern der Kompetenzerwerb im Umgang mit den Menüs

die visuelle Beanspruchung beeinflusst, wurde das Blickverhalten mittels Lidschlussgeber erhoben. Hierzu wurde je eine kleine Magnetspule an Unter- und Oberlid angebracht, die Lidbewegungen unabhängig von der Bewegung des Augapfels erfassen [37]. Die angebrachten Spulen sind in Bild 3 zu sehen.



Bild 3: Proband mit Magnetspulen zur Erfassung des Lidschlusses und des Blickverhaltens. Eine der beiden Spulen ist am Oberlid, die andere am Unterlid befestigt.

Picture 3: Subject with magnet coil for measuring eyelid closure and glance behaviour. On of the coils is fixed at the upper eyelid, the other at the lower eyelid.

Zur Bestimmung der Blickzuwendungen zum Display des Menüsystems in der Fahrsimulation werden um Lidschließungen bereinigte Veränderungen des Augenöffnungsniveaus aus der Lidschlagmessung extrahiert und in ihrer Dauer erfasst (Frequenz: 100 Hz). Augenöffnungen auf einem mittleren Öffnungsniveau (d.h. in Höhe des Displays zur Darstellung des Menüsystems im Fahrerstand), die länger als 300s dauerten, wurden als sog. Displayblicke klassifiziert. Hierfür wurden Mittlere Anzahl, Mittlere Dauer und Variation der Dauer der Displayblicke errechnet.

### 3.2.3 Versuchsdurchführung

An diesem Versuch nahmen  $N = 12$  Probanden (5 weiblich, 7 männlich, mittleres Alter 24.5 Jahre) teil. Während des Versuchs wurden zwei Blöcke mit je 48 Aufgaben vorgegeben. Die Aufgabenblöcke waren identisch zur Versuchsreihe unter Single-Task Bedingungen. Je  $n = 6$  Probanden bearbeiteten während der Trackingaufgabe das breite Menü (8\*8-Struktur) bzw. das tiefe Menü (4\*2\*2\*4-Struktur). Es liegt somit ein Mischversuchsplan mit den Faktoren „Übung“ (2 Blöcke; within-Faktor) und „Menüstruktur“ (breit vs. tief; between-Faktor) vor. Die Prüfsitzung dauerte ca. 90 Minuten. Einige Tage zuvor wurde eine Trainingssitzung durchgeführt, in der die Probanden ein intensives Simulatortraining erhielten und den Umgang mit der Trackingaufgabe übten. Die Trainingssitzung dauerte ebenfalls ca. 90 Minuten.

### 3.3 Ergebnisse

#### 3.3.1 Einfluss der Dual-Task Situation auf die Menübedienung

Wie erwartet führt die Einführung der Trackingaufgabe als Primäraufgabe, mit der die Bedienung des Menüsystems als Sekundäraufgabe verschränkt werden muss, zu deutlichen Einbußen in der Menübedienung. So wird die Bediengeschwindigkeit des Menüsystems durch Einführung der Trackingaufgabe erheblich verringert (siehe Bild 4 links). Während die Mittlere Navigationszeit in der Single-Task Situation in Aufgabenblock 1 bei 9075 ms (sd = 6033 ms) und in Block 2 bei 6361 ms (sd = 3178 ms) liegt (d.h. Verringerung von 30%), beträgt die entsprechende Mittlere Navigationszeit mit Trackingaufgabe 18958 ms (sd = 10507 ms) für Block 1 bzw. 11198 ms (sd = 4683 ms) für Block 2 (d.h. Verringerung um 41%). Ähnlich ist die interindividuelle Variabilität der Systembedienung unter Dual-Task Bedingungen erheblich vergrößert. Somit ist zum einen ein erheblicher Einfluss der Primäraufgabe auf die Systembedienung festzustellen, zum anderen eine stärkere, lernbedingte Beschleunigung der Menübedienung in einer Dual-Task Situation erkennbar.

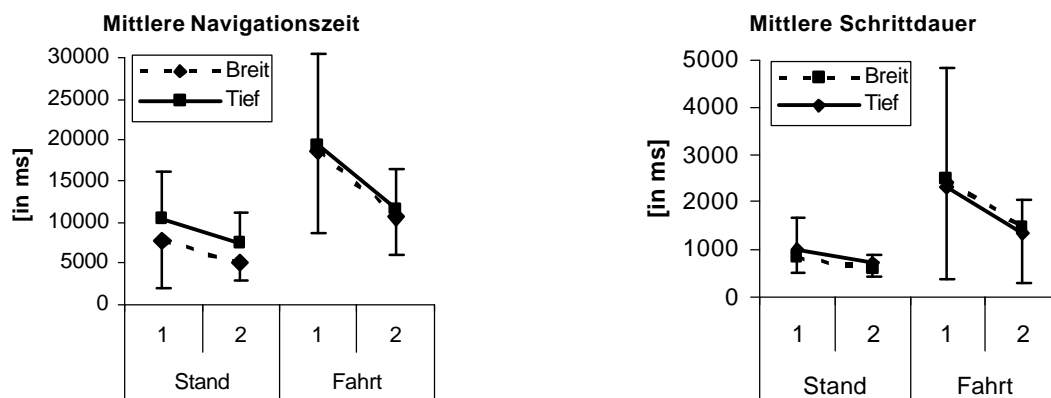


Bild 4: Mittlere Navigationszeit (links) und Mittlere Schrittdauer (rechts) zur Bearbeitung der Aufgaben im Menüsystem in Abhängigkeit von Aufgabenblock und Menüstruktur. Dargestellt sind Mittelwerte mit Standardabweichungen sowie die Ergebnisse der Split-Plot-Varianzanalysen mit den zweifach abgestuften Faktoren „Block“ (Fahrt 1 vs. Fahrt 2), „Situation“ (Single-Task vs. Dual-Task) und „Struktur“ (Breit vs. Tief).

Picture 4: Mean navigation time (left) and Mean step time (right) in menu navigation dependent on task block and menu structure. Means with standard deviation as well as results of split-plot analysis of variance (factor 1: "block", factor 2: "situation", factor 3: "structure") are displayed.

Der Vorteil für das breite Menüsystem, wie er in der Single-Task Bedingung zu beobachten war, kann in der Dual-Task Bedingung nicht mehr festgestellt werden (Mittlere Navigationszeit für tiefes Menü: 14687 ms, sd = 7912 ms; breites Menü: 15468 ms, sd = 7268 ms; siehe Bild 4 links). Während der Trackingaufgabe scheinen Geschwindigkeit und Genauigkeit der Menübedienung unabhängig von der Menüstruktur zu sein.

### 3.3.2 Kompetenzerwerb für Menüsysteme und Leistung in Trackingaufgabe

Demgegenüber ergeben sich für die Leistung in der Trackingaufgabe deutliche Unterschiede in Abhängigkeit der Menüstruktur. So weichen die Probanden bei Bearbeitung des tiefen Menüs unabhängig vom Kompetenzerwerb weniger stark von der Kreuzposition ab als Probanden des breiten Menüs (breites Menü:  $m = .20$  m,  $sd = .05$  m; tiefes Menü:  $m = .14$  m,  $sd = .02$  m; Parameter „Mittlere Abweichung“, siehe Bild 5 links). Dieser Parameter kann als Güte einer Spurhaltung in der Trackingaufgabe interpretiert werden. Die Probanden des tiefen Menüsystems können somit im Mittel der Kreuzbewegung in der Trackingaufgabe besser folgen als die Probanden des breiten Systems.

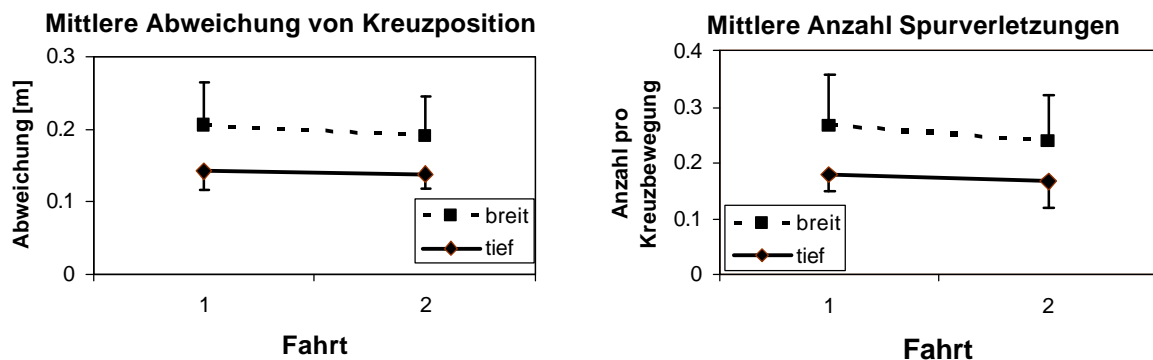


Bild 5: Mittlere Abweichungen von der Kreuzposition (links) bzw. Mittlere Anzahl der Spurverletzungen (rechts) in Abhängigkeit von Fahrt-Nr. und Menüstruktur. Dargestellt sind Mittelwerte mit Standardabweichungen sowie die Ergebnisse der Split-Plot-Varianzanalysen mit den zweifach abgestuften Faktoren „Block“ (Block 1 vs. Block 2) und „Struktur“ (Breit vs. Tief).

Picture 5: Mean deviations of the cross position (left) and Mean number of lane violations (right) dependent on block and menu structure. Means and standard deviations as well as results of split-plot analysis of variance (factor 1: “block”, factor 2: “structure”) are displayed.

Zusätzlich wird bei Bearbeitung des breiten Menüsystems unabhängig vom Kompetenzerwerb häufiger die Randmarkierung der Fahrbahn, in der das Kreuz der Trackingaufgabe seine Position variiert, berührt als bei Bearbeitung des tiefen Menüs (Parameter „Mittlere Anzahl Spurverletzungen“, siehe Bild 5 rechts). Bearbeiten die Probanden ein tiefes Menü, treten im Mittel seltener sicherheitskritische Situationen auf als bei Bearbeitung des breiten Menüs.

Diese Effekte der Menüstruktur sowohl für die Güte der Spurhaltung als auch für die Häufigkeit sicherheitskritischer Situationen in der Trackingaufgabe sind unabhängig vom Kompetenzerwerb für Menüsysteme. Dies bedeutet, dass das Erlernen des Umgangs mit

einem Menüsystem für die Trackingleistung per se unerheblich ist. Auf Seiten der Bearbeitung des Menüsystems ergeben sich jedoch insofern deutliche lernbedingte Effekte, als dass mit zunehmender Übung im Umgang mit dem Menüsystem bei einer gleichzeitigen Trackingaufgabe mehr Menübedienungen erfolgen (Parameter „Mittlere Anzahl von Menübedienungen pro Sekunde“, erfasst über Anzahl der Joystickbewegungen bzw. Betätigung der Auswahl-Taste; siehe Bild 6). Während in Fahrt 1 im Mittel 0.40 Bedienungen pro Sekunde ( $sd = .16$ ) ausgeführt werden können, steigert sich die Zahl der Bedienungen auf 0.69 in Fahrt 2 ( $sd = .16$ ). Die Verschränkung von Menübedienung und Trackingaufgabe gelingt durch Übung der Dual-Task Bedingung deutlich besser. Auf Seite der Zahl der Bedienungen in Abhängigkeit der Menüstruktur ergibt sich kein Unterschied zwischen breitem und tiefem Menüsystem (siehe Bild 6). Pro Sekunde werden in beiden Menüsystemen ähnlich viele Bedienhandlungen ausgeführt.

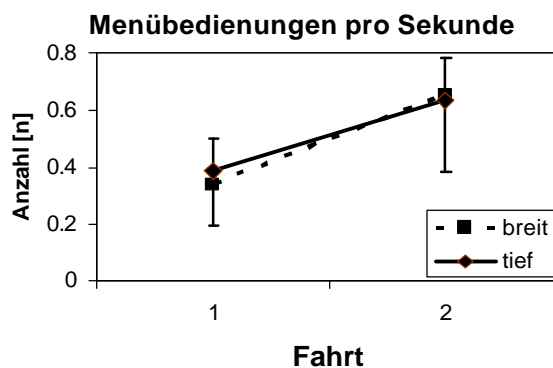


Bild 6: Mittlere Anzahl der Menübedienungen pro Sekunde während der Trackingaufgabe in Abhängigkeit von Fahrt-Nr. und Menüstruktur. Dargestellt sind Mittelwerte und Standardabweichungen sowie die Ergebnisse der Split-Plot-Varianzanalyse mit den zweifach abgestuften Faktoren „Block“ (Block 1 vs. Block 2) und „Struktur“ (Breit vs. Tief).

Picture 6: Mean number of menu operations per second during the tracking task dependent on block and menu structure. Means and standard deviations as well as results of split-plot analysis of variance (factor 1: “block”, factor 2: structure”) are displayed.

### 3.3.3 Kompetenzerwerb für Menüsysteme und Blickverhalten

Weitere Belege für Vorteile des tiefen Menüsystems in der Dual-Task Situation liefert das Blickverhalten der Probanden (d.h. die Blickzuwendung zum Menüdisplay). Bild 7 oben stellt dar, dass beim tiefen Menü im Mittel während der ersten Fahrt ähnlich viele Blicke benötigt werden wie beim breiten Menü, um die gestellten Aufgaben zu erledigen (breites Menü:  $m = 4.41$ ,  $sd = 1.25$ ; tiefes Menü:  $m = 4.77$ ,  $sd = 1.31$ ). Berücksichtigt man die Mittlere Blickdauer bzw. die Variation der Mittleren Blickdauern, so wird deutlich, dass beim Umgang mit dem

tiefen Menü kürzere Mittlere Blickdauern (breites Menü:  $m = .70$  s,  $sd = .40$  s; tiefes Menü:  $m = .56$  s,  $sd = .12$  s; siehe Bild 7 unten links) bei einer geringeren Variation der Blickdauer (breites Menü:  $m = .34$  ,  $sd = .14$ ; tiefes Menü:  $m = .22$ ,  $sd = .11$ ; siehe Bild 7 unten rechts) auftreten.

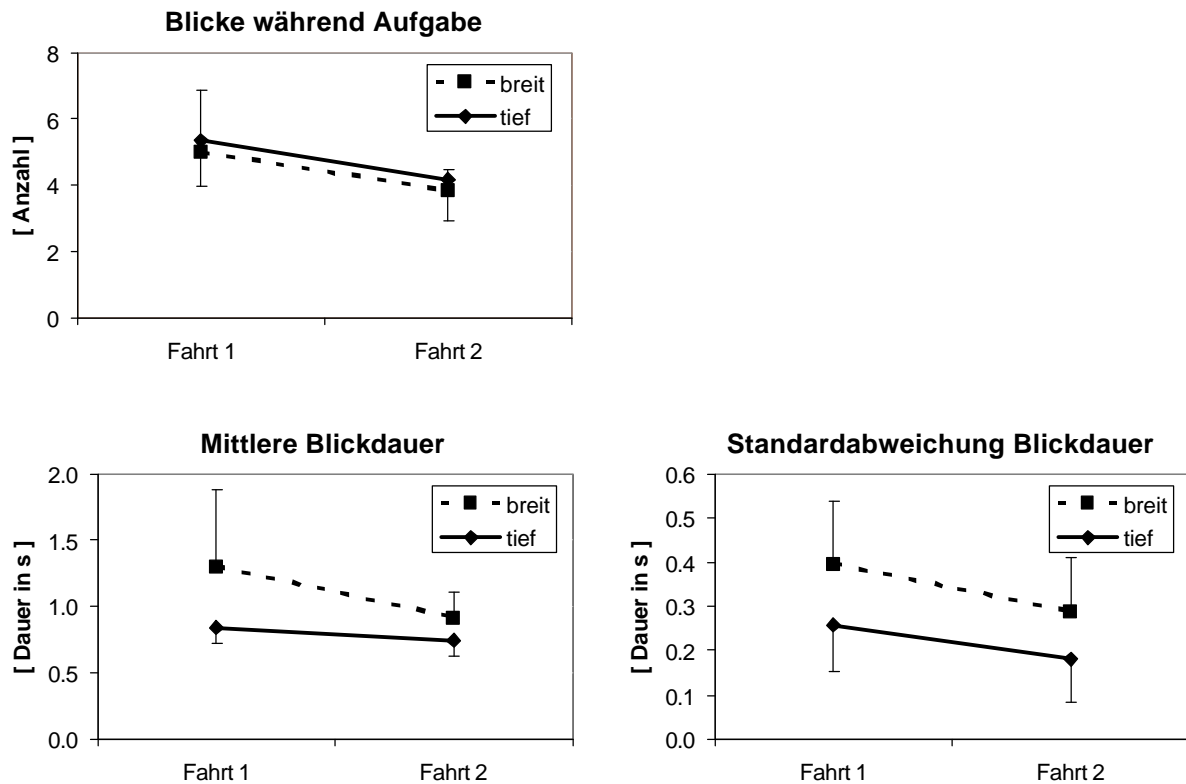


Bild 7: Mittlere Blickanzahl (oben), Mittlere Blickdauer (unten links) und Standardabweichung der Blickdauern (unten rechts) in Abhängigkeit der Fahrt-Nr. und Menüstruktur. Dargestellt sind Mittelwerte mit Standardabweichung sowie die Ergebnisse der Split-Plot-Varianzanalysen mit den zweifach abgestuften Faktoren „Block“ (Block 1 vs. Block 2) und „Struktur“ (Breit vs. Tief).

Picture 7: Mean Number of glances (top), Mean glance duration (below left) and standard deviation of glances (below right) dependent on block and menu structure. Means and standard deviations as well as results of split-plot-analysis of variance (factor 1: “block”, factor 2: “structure”) are displayed.

Die mittlere Anzahl an notwendigen Blicken, um im tiefen Menü die gestellten Aufgaben zu erledigen, ist zwar ähnlich wie im breiten Menü. Aufgrund der längeren Blickdauer und deren größeren Variation scheint jedoch vom breiten Menü eine höhere visuelle Beanspruchung in der Dual-Task Situation auszugehen.

Dabei ist ein Lerneffekt im Umgang mit dem Menü zu berücksichtigen: Mit zunehmender Übung werden tendenziell weniger Blicke zur Aufgabenbearbeitung benötigt (Block 1:  $m = 5.2$  Blicke pro Aufgabe,  $sd = 1.65$ , Block 2:  $m = 4.0$ ,  $sd = 0.92$ ). Zusätzlich nehmen die

Mittleren Blickdauern (Block 1: 1.0s pro Blick, Block 2: 0.8s pro Blick) und die Variation der Blickdauern (Block 1: 0.35s pro Blick, Block 2: 0.25s pro Blick) ab. Durch den Kompetenzerwerb verringert sich somit die visuelle Beanspruchung durch die Bedienung des Menüsystems in dieser Dual-Task Situation. Diese übungsbedingte Abnahme der visuellen Beanspruchung gilt dabei gleichermaßen für das breite und das tiefe Menüsystem, d.h. die aus der Menüstruktur resultierenden Unterschiede in der visuellen Beanspruchung sind nicht abhängig vom Kompetenzerwerb für die Menüsysteme.

### **3.3.4 Verschränkbarkeit von Trackingaufgabe und Menübedienung**

In einem weiteren Schritt wurde geprüft, ob das unterschiedliche Blickverhalten in breitem und tiefem Menü in direktem Zusammenhang mit der Leistung in der Trackingaufgabe steht. Dazu wurden partielle Korrelationen zwischen Parametern des Blickverhaltens und Parametern der Trackingleistung berechnet, in der die Drittvariable „Menüstruktur“, die sich auf beide Parametergruppen auswirkt, statistisch kontrolliert ist. Es zeigten sich signifikante Zusammenhänge zwischen „Mittlerer Blickdauer“ und „Güte der Spurhaltung“ ( $r = .58$ ) sowie „Mittlere Anzahl Spurverletzungen“ ( $r = .50$ ). Des Weiteren konnten signifikante Korrelationen zwischen „Standardabweichung Blickdauer“ und „Güte der Spurhaltung“ ( $r = .64$ ) sowie „Mittlere Anzahl Spurverletzungen“ ( $r = .56$ ) gefunden werden. Korrelationen zwischen „Mittlerer Blickanzahl“ und Parametern der Trackingleistung wurden nicht signifikant. Unabhängig von der Menüstruktur scheint somit die Blickdauer und die Variation in der Blickdauer mit der Güte der Trackingleistung zu korrelieren, während die Blickanzahl keinen Einfluss hat. Je gleichmäßiger und kürzer somit die Blickabwendungen von der Fahrbahn auf den Menübildschirm sind, desto besser kann gleichzeitig die Trackingaufgabe ausgeführt werden.

Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Menübedienung als diskontinuierliche Aufgabe sinnvoll zwischen das Tracking als kontinuierliche Aufgabe geschaltet werden muss, d.h. beide Aufgaben effizient miteinander verschränkt werden müssen. Bei der Bedienung des tiefen Menüs muss die Trackingaufgabe kürzer unterbrochen werden, wodurch eine häufigere und gleichmäßigere Überwachung der Spurhaltung gewährleistet ist. Unter diesem Aspekt der Verschränkbarkeit ist das tiefe Menü dem breiten Menü in der Dual-Task Bedingung somit überlegen.

## **4. Zusammenfassung**

Zusammenfassend ergibt sich zu den Auswirkungen der Menüstruktur auf den Kompetenzerwerb unter Single-Task Bedingungen, dass breite Menüs günstiger sind als

tiefe Menüs: Bei einer höheren Bediengeschwindigkeit (aufgrund geringerer Mittlerer Schrittdauern) und einer ähnlichen Bediengüte sind breite Menüs überlegen.

Für die Auswirkungen der Menüstruktur auf den Kompetenzerwerb unter Dual-Task Bedingungen wurde gezeigt, dass tiefe Menüs mit ähnlichen Bediengeschwindigkeiten (bei einer ähnlichen Bediengüte) einhergehen wie breite Menüs. Zusätzlich gehen mit der Bearbeitung des tiefen Menüs geringere Defizite in der Güte der Spurhaltung und seltener sicherheitskritische Situationen (wie z.B. Berührung der Spurmarkierung) in der Trackingaufgabe einher. Zunehmende Erfahrung im Umgang mit den Menüsystemen während der Trackingaufgabe ist für die Trackingleistung weitgehend irrelevant, auf Seiten der Menübedienung ist jedoch eine höhere übungsbedingte Bedienleistung festzustellen. Es kommt somit mit zunehmender Systemerfahrung zu einer Verringerung der Interferenz zwischen der Trackingaufgabe und der Menübedienung als Sekundäraufgabe.

Die unter Single-Task Bedingungen erzielten Ergebnisse zu den Auswirkungen der Menüstruktur auf die Bedienleistung und den Kompetenzerwerb für Menüsysteme sind somit nicht ohne weiteres auf die Dual-Task Situation übertragbar. Unter Single-Task Bedingungen wird das breite Menü (bei einer ähnlichen Bediengüte) schneller bedient als das tiefe Menü. In einer Dual-Task Situation schneidet demgegenüber das tiefe Menü hinsichtlich der Auswirkungen auf die Leistung in der Trackingaufgabe und der visuellen Beanspruchung besser ab. Durch die kürzeren und gleichmäßigeren Blickabwendungen wird eine bessere Verschränkbarkeit zwischen Menübedienung und Trackingaufgabe erzielt. Aus der größeren Informationsmenge, die im breiten Menü simultan auf dem Bildschirm dargeboten wird, resultiert eine höhere Beanspruchung des Systemnutzers, so dass im Umgang mit breiten Menüs unter Dual-Task Bedingungen stärkere Interferenzen zwischen Fahrzeugführung und Systembedienung zu erwarten sind.

Aus diesen Befunden ergeben sich insbesondere zwei Schlussfolgerungen: Zunächst ist die Evaluation von Fahrerinformationssystemen im Fahrzeug derart zu gestalten, dass sie möglichst stark den Anforderungen des realen Bedienkontextes entspricht. So sind Dual-Task Settings zu wählen, sofern Informationssysteme während der Fahrt bedient werden dürfen. Ferner sind aufgrund der Abhängigkeit der Ergebnisse vom Bedienkontext gegebenenfalls unterschiedliche Menüstrukturen in Abhängigkeit des Bedienkontextes zu empfehlen. So sollten Informationssysteme bei einer Bedienung im Stand verstärkt auf breite Menüstrukturen bzw. während der Fahrt insbesondere auf tiefe Menüstrukturen zurückgreifen.

#### **4. Literatur**

- [1] Byblow, W.D.: Effects of Redundancy in the Comparison of Speech and Pictorial Display in the Cockpit Environment. Applied Ergonomics Bd. 21, 1990, S. 121-128
- [2] Mutschler, H., Baum, W. & Waschulewski, H.: Report of Evaluation Results in German, SENECA D22- 3.1. Forschungsbericht 2000
- [3] Sperandio, J. C. & Dessaigne, M. F.: Une comparaison expérimentale entre modes de présentation visuels ou auditifs de messages d'informations routières a des conducteurs automobiles. Travail Humain Bd. 51, 1988, S. 257-269
- [4] Verwey, W.: How can we Prevent Overload of the Driver? In: Parkes, A.M. & Franzén, S. (Hrsg.), Driving Future Vehicles. London: Taylor & Francis 1993, S. 235-244
- [5] Verwey, W.B. & Veltman, J.A.: Measuring Workload Peaks while Driving. A Comparison of Nine Common Workload Assessment Techniques. Journal of Experimental Psychology: Applied Bd. 2, 1995, S. 270-285
- [6] Vollrath, M. & Totzke, I.: In-Vehicle Communication and Driving: An Attempt to Overcome their Interference. Driver Distraction Internet Forum, 2000. URL <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/departments/nrd-13/driver-distraction/PDF/33.PDF> - Aktualisierungsdatum 28.08.2003.
- [7] Wickens, C.D.: The Structure of Attentional Resources. In: Nickerson, R. (Hrsg.), Attention and Performance. Bd. VIII. Englewood Cliffs, NJ: Erlbaum 1980, S. 239-257
- [8] EN ISO 9241 Teil 10: Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten. Grundsätze der Dialoggestaltung. Berlin: Beuth 1996
- [9] Burmester, M.: Guidelines and Rules for Design of User Interfaces for Electronic Home Devices. ESPRIT-Project 6984. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 1997
- [10] Bednorz, P. & Schuster, M.: Einführung in die Lernpsychologie. 3. Aufl. München: Ernst Reinhardt-Verlag 2002
- [11] Dörner, D. & van der Meer, E.: Das Gedächtnis, Probleme - Trends - Perspektiven (Hrsg.). Göttingen: Hogrefe-Verlag 1995
- [12] Lefrancois, G.R.: Psychologie des Lernens. 3., unv. Auflage. Berlin: Springer-Verlag 1994
- [13] Schermer, F.F.: Lernen und Gedächtnis. Bd. 10: Grundriss der Psychologie. 2. über. und erw. Auflage. Stuttgart: Verlag W. Kohlhammer 1998
- [14] Totzke, I., Meilinger, T. & Krüger, H.-P.: Erlernbarkeit von Menüsystemen im Fahrzeug – mehr als „nur“ eine Lernkurve. In: Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.), Der Fahrer im 21. Jahrhundert, VDI-Berichte 1768. Düsseldorf: VDI-Verlag 2003, S. 171-195

- [15] Neves, D.M. & Anderson, J.R.: Knowledge Compilation: Mechanisms for the Automatization of Cognitive Skills. In: Anderson, J.R. (Hrsg.), *Cognitive Skills and their Acquisition*. Hillsdale, NJ: Erlbaum 1981
- [16] Anderson, J.R.: *Kognitive Psychologie*. 3. Auflage. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag 2001
- [17] Jahn, G., Oehme, A., Rösler, D. & Krems, J.F.: *Kompetenzerwerb im Umgang mit Fahrerinformationssystemen*. Bericht der Bundesanstalt für Straßenwesen. Bergisch-Gladbach: Bundesanstalt für Straßenwesen 2004
- [18] Schmidtke, H.: *Lehrbuch der Ergonomie*. 3., neubearb. u. erw. Aufl. München: Hanser 1993
- [19] Guski, R. & Bosshardt, H.-G.: *Theorien und Befunde zur geteilten Aufmerksamkeit*. URL <http://frog.eco.psy.ruhr-uni-bochum.de/download/AllgPsy1/Einfuhr10/Einfue10.pdf> - Aktualisierungsdatum 27.02.2003
- [20] Broadbent, D.E.: *Perception and Communication*. London: Pergamon Press 1958
- [21] Kahneman, D.: *Attention and Effort*. Englewood Cliffs: Prentice Hall 1973
- [22] Moray, N.: *Where is Capacity Limited? A Survey and a Model*. *Acta Psychologica* Bd. 27, 1967, S. 84-92
- [23] Wickens, C.D.: *Processing Resources in Attention*. In: Parasuraman, R. (Hrsg.), *Varieties of Attention*. London: Academic Press 1984, S. 63-102
- [24] Norman, K.L.: *The Psychology of Menu Selection: Designing Cognitive Control of the Human/Computer Interface*. Norwood, NJ: Ablex Publishing Corporation 1991
- [25] Jacko, J.A., Salvendy, G. & Koubek, R.J.: *Modelling of Menu Design in Computerized Work*. *Interacting with Computers* Bd. 7, 1995, S. 304-330
- [26] Zaphiris, P., Shneiderman, B. & Norman, K.L.: *Expandable Indexes versus Sequential Menus for Searching Hierarchies on the World Wide Web*. *Behavior and Information Technology* Bd. 21, 2002, S. 185-201
- [27] Lee, E. & MacGregor, J.: *Minimizing User Search Time in Menu Retrieval Systems*. *Human Factors* Bd. 27, 1985, S. 157-162
- [28] Miller, D.P.: *The Depth/Breadth Tradeoff in Hierarchical Computer Menus*. *Proceedings of the Human Factors Society – 25th Annual Meeting*. Santa Monica: Human Factors Society 1981, S. 296-300
- [29] Robertson, G., McCracken, D. & Newell, A.: *The ZOG Approach to Man-Machine Communication*. *International Journal of Man-Machine-Studies* Bd. 14, 1981, S. 461-488

- [30] Larson, K. & Czerwinski, M.: Web Page Design: Implications of Memory, Structure and Scent for Information Retrieval. UR <http://www.microsoft.com/usability/UEPostings/p2l Larson.pdf> - Aktualisierungsdatum 03.10.2002
- [31] Snowberry, K., Parkinson, R. & Sisson, N.: Computer Display Menus. Ergonomics Bd. 26, 1983, S. 699-712
- [32] Zaphiris, P.: Depth vs. Breadth in the Arrangement of Web Links. Proceedings of the 44<sup>th</sup> Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society (HFES 2000), San Diego, CA. 2000, S. 139-144
- [33] Paap, K. & Cooke, N.: Design of Menus. In: Helander, M., Landauer; T. & Prabhu, P. (Hrsg.), Handbook of Human-Computer Interaction. Elsevier Science Publication 1997, S. 533-572
- [34] Miller, C.G. & Remington, R.W.: A Computational Model of Web Navigation: Exploring Interactions between Hierarchical Depth and Link Ambiguity. URL <http://www.tri.sbc.com/hfweb/miller/hfweb.css> - Aktualisierungsdatum 03.10.2002
- [35] Fenton, D.M.: Computer Menu Design: An Investigation of the Interface Between User Characteristics and Menu Structure. Australian-Psychologist Bd. 22, 1987, S. 233-243
- [36] O'Donnell, W.D. & Eggemeier, F.T.: Workload assessment methodology. In: Boff, K.R., Kaufman, L. & Thomas, E.D. (Hrsg.), Handbook of Human Performance, Vol. 2, Cognitive Processes and Performance. Chichester: Wiley 1986, S. 137-143
- [37] Galley, N.: Physiologische Grundlagen, Meßmethoden und Indikatorfunktion der okulomotorischen Aktivität. In: Rösler, F. (Hrsg.), Enzyklopädie der Psychologie – Theorie und Forschung (C) – Biologische Psychologie (Serie I), Band 4. Göttingen: Hogrefe 2001