

Prospektive Gestaltung der Ablenkungswirkung von In Vehicle Information Systems

L. Urbas

Technische Universität Dresden, Dresden

S. Leuchter

Fraunhofer IITB, Karlsruhe

N. Pape

Technische Universität Berlin, Berlin

S. Trösterer

Technische Universität Berlin, Berlin

Für die Bewertung der Ablenkungswirkung von In Vehicle Information Systems (IVIS) stehen aktuell eine Reihe von experimentellen Methoden zur Verfügung, die zum Einen den Aufwand für die Untersuchung deutlich zu senken versprechen, zum Anderen durch die standardisierten Prozeduren eine Objektivierung der Ergebnisse ermöglichen. Voraussetzung für den Einsatz der Methoden ist jedoch immer ein weitgehend funktionsfähiger Prototyp. In der Praxis bedeutet dies, dass eine Vielzahl von Entscheidungen bereits getroffen und Änderungen nicht mehr ohne größeren Aufwand möglich sind. Mit der Methode mtGOMS steht nun eine modellbasierte Methode zur Verfügung, die eine Abschätzung der Ablenkungswirkung anhand der Geräte- und Interaktionsspezifikation erlaubt. In dem Beitrag wird die Methode vorgestellt und an einem Beispiel die Güte der damit erzielbaren Ergebnisse vorgestellt.

1 Einleitung

1.1 Allgemeines

In dem sicherheitskritischen Mensch-Maschine-System Fahrer-Fahrzeug trägt das Verhalten des Fahrers wesentlich zur Sicherheit des Gesamtsystems bei. Für die Erhöhung der Sicherheit dieses Mensch-Maschine-Systems stehen mehrere Optionen offen. Erstens können Auswirkungen von Fehlern der Fahrer reduziert werden. Hierzu werden Sicherheitssysteme als Sicherheitswächter (*safety guards*) konzipiert. Das Sicherheitssystem agiert hier als low-level-Konstrukt, das gefährliche Situationen erkennt und das System in einen sicheren Zustand zwingt. Als prominente Beispiele für Systeme im Fahrzeug, die dem Sicherheitswächterprinzip folgen, seien Antiblockiersystem (überstimmt Fahrer, um den unsicheren Zustand des Gleitens zu vermeiden) und Notbremsassistent (nimmt bei Unterschreitung eines kritischen Abstands selbsttätig kinetische Energie aus dem Fahrzeug) genannt.

Der zweite Hebel liegt in der Minimierung der Fahrerfehler durch eine geeignete Gestaltung der Arbeitsumgebung. Auslassungsfehler und zeitliche Fehler des Fahrers lassen sich häufig auf ungenügendes Situationsbewusstsein sowie Ablenkung und Bindung von Informationsverarbeitungsressourcen durch Nebenaufgaben zurückführen (z.B. Green 1999, Baumann, Rösler & Krems 2007). Das bedeutet, dass eine ungünstige Gestaltung von Nebenaufgaben unmittelbar die Sicherheit des Gesamtsystems beeinträchtigt. Aufgrund der zunehmenden Anzahl von Systemen zur Unterstützung von Nebenaufgaben des Fahrers, wurden standardisierte empirische Methoden zur Bewertung der Ablenkungswirkung entwickelt und eingeführt. Nachteilig ist jedoch, dass für den Einsatz dieser Methoden ein weitgehend funktions-tüchtiger Prototyp vorliegen muss. Mit dem in diesem Artikel beschriebenen modellgestützten Ansatz, mit dessen Hilfe die zu erwartende Ablenkung von der Hauptaufgabe bereits aus der Spezifikation der Mensch-Maschine-Interaktion abgeleitet werden kann, wird dieser Nachteil überwunden.

Im Folgenden werden zunächst aktuelle Modellierungsmethoden zur Beschreibung und Spezifikation der Interaktion bezüglich ihrer Fähigkeit analysiert, die Veränderung der Verfügbarkeit von Ressourcen für die sicherheitskritische Primäraufgabe Fahrzeugregelung abzubilden. Anschließend werden ausgewählte empirische Methoden zur Bewertung von Ablenkung vorgestellt. Der Hauptteil des Artikels beschreibt die neu entwickelte Methode *multitasking GOMS* (mtGOMS) und stellt erste Ergebnisse ihrer Anwendung in einer Studie zur Entwicklung eines neuartigen Dienstes zum „vernetzten Fahren“ vor.

2 Modellierung der Mensch-Maschine-Interaktion

Eine wesentliche Voraussetzung für den Einsatz modellgestützter Methoden in der Entwicklung ist, dass für den abzubildenden Bereich nicht nur eine beschränkte Anzahl von Gesetzmäßigkeiten identifiziert werden kann, sondern diese auch soweit formalisiert und quantifiziert werden können, dass quantitative Vorhersagen möglich sind.

Einen frühen Ansatz der Modellierung der Mensch-Rechner-Interaktion für die Systemgestaltung stellt die Familie der GOMS-Methoden dar (Card, Moran & Newell 1983). Das Akronym GOMS leitet sich aus den grundlegenden Modellierungskonstrukten dieser Analysemethoden ab: Ziele (Goal), atomare Operatoren (Operator), Methoden als Zusammenfassung von Operatoren zur Erreichung der Ziele (Methods) und Auswahlregeln zur Anpassung an den Handlungskontext (Selection Rules). Der Ansatz fasst Befunde der angewandten Psychologie zu einem bewusst vereinfachten Modell eines menschlichen Prozessors zusammen. Erklärtes Ziel der Methoden ist, mit möglichst geringem Aufwand mittlere Fehlerraten und zeitliche Dauern der Ausführung gut gelernter Handlungen näherungsweise vorherzusagen. Unsicherheiten in den Parametern des menschlichen Prozessors können durch verschiedene Parametersätze (slowman, fastman, middleman) adressiert werden (Card, Moran & Newell 1983, S. 44).

Voraussetzung für eine angemessene Übereinstimmung von GOMS-Modellvorhersage und Beobachtung ist, dass die Ausführung der beschriebenen Aufgaben im Wesentlichen von reaktivem und automatisiertem Verhalten geprägt ist und einen vergleichsweise geringen Anteil höherer kognitiver Leistungen wie Planen, Diagnose, etc. erfordert. Für den hier relevanten Betrachtungsbereich der Bedienung von In-Vehicle Information Systems (IVIS) ist dies in weitem Umfang gegeben. Green (1999) setzt die SAE J2365 Prozedur (Recommended Practi-

ce for Calculating the Time to Complete In-Vehicle Navigation and Route Guidance Tasks) erfolgreich in ein GOMS Modell um und kann die Prädiktionskraft des Modells durch einen Vergleich mit empirisch erhobenen Daten nachweisen. Hamacher, Kraiss und Marrenbach (2002) zeigen mit dem Werkzeug TREVIS einen Ansatz auf, wie GOMS-Benutzermodelle zur Evaluierung der Gebrauchsfähigkeit von interaktiven Systemen eingesetzt werden können.

Da die Methoden der GOMS-Familie in ihrer ursprünglichen Form jedoch keinerlei Mechanismen für die gleichzeitige bzw. verschränkte Abarbeitung mehrerer Aufgaben bereit stellen, kann damit im Kontext Fahren lediglich die Aufgabenbearbeitung im Stand modelliert und vorhergesagt werden. Das ist für die Bewertung der Beeinträchtigung der Sicherheit durch die evaluierten Systeme nicht ausreichend. In der Literatur werden verschiedene Ansätze berichtet, um GOMS für die Beschreibung komplexerer Aufgaben zu erweitern: CPM-GOMS (John 1990) adressiert die Parallelisierbarkeit von Teilschritten einer einzelnen Aufgabe. Die Abhängigkeiten zwischen perceptiven, motorischen und kognitiven Prozessen werden manuell mit der Methode PERT (Program Evaluation and Review Technique) bzw. in einem daraus abgeleiteten Gantt-Diagramm abgebildet. Über den kritischen Pfad zwischen den Prozessen kann dann die kürzeste mögliche Ausführungszeit bestimmt werden. Basis dieser Analyse-methode ist ein Modell der gleichzeitigen Nutzbarkeit verschiedener kognitiver Ressourcen (Wickens 1984). Lewis, Howes und Vera (2004) schlagen ein mathematisches Verfahren für die Berechnung einer optimalen Verschränkungsstruktur vor. Durch ein Gedächtnis mit beschränkter Kapazität können Teilaufgaben nicht nur überlappend gestaffelt sondern auch zeitlich entzerrt werden. Kieras et al. (1999) implementieren und integrieren in der kognitiven Architektur EPIC verschiedene aus empirischen Befunden abgeleitete Theorien zur menschlichen Wahrnehmung und exekutiven Kontrolle, um den von Card, Moran und Newell (1983) beschriebenen *Human Model Processor* vollständig abzubilden. Bedienermodelle können in dieser Architektur um Regeln zur Beschreibung einer zentralen Exekutive zur Aufmerksamkeitsverteilung ergänzt werden. Allerdings müssen diese Strategien zur Aufgabenverschränkung explizit formuliert werden: „One limitation is that the executive processes of our models have been customized for particular task combinations. Although these processes may be somewhat similar across contexts, their formulation has incorporated considerable task-specific knowledge“ (Kieras et al. 1999, S.18).

Generalisierbare Mechanismen der Aufgabenverschränkung in Mehraufgabenumgebungen sind Gegenstand verschiedener aktueller Untersuchungen (z.B. Salvucci 2005, Kiefer & Urbas 2006). Diesen Arbeiten ist jedoch gemein, dass die Bedienermodelle auf einer sehr detaillierten Beschreibungsebene formuliert werden müssen. Die informationsverarbeitenden Prozesse werden sehr kleinteilig in einer Art „kognitiven Assemblersprache“ mit einer zeitlichen Auflösung von 50 bis 100 Millisekunden beschrieben. Dies führt zum Einen zu einem extrem hohen Modellierungsaufwand, zum Anderen ist die Angabe vieler Details der Schnittstelle notwendig, die in frühen Phasen der Systemspezifikation noch nicht gegeben sind. Um lauffähige Modelle erzeugen zu können, müssten daher dummy-Spezifikationen generiert werden. In diesem Beitrag werden die fein-granularen Methoden zur Verhaltensmodellierung deshalb nicht weiter betrachtet.

3 Messen von Ablenkung

Die im Rahmen der hier angestellten Betrachtungen wesentliche Gestaltungsherausforderung für IVIS ist die Reduzierung der Ablenkung des Fahrers von der Hauptaufgabe Fahrzeugführung. Dies kann durch die Erhebung von Performanzmaßen überprüft werden. Hierbei wird untersucht, wie die IVIS-Bedienung die Leistung in der Fahraufgabe verändert. Sowohl aus pragmatischen Gründen (Kosten, Risiko, notwendige Reife), aber auch aus einer testtheoretischen Sicht (Wiederholbarkeit, Kontrollierbarkeit), ist die Überprüfung der Verträglichkeit von IVIS-Bedienung und Fahraufgabe in Realfahrten während der Systementwicklung nicht empfehlenswert. Deshalb wurden Methoden entwickelt und eingesetzt, die das Messen der Ablenkungswirkung im Labor erlauben. Gemeinsam ist diesen Methoden, dass sie ausgewählte Aspekte des Fahrens unter kontrollierten Bedingungen im Labor nachstellen und damit Indikatoren für die Verträglichkeit von Haupt- und Nebenaufgabe erfassen. Deutliche Unterschiede gibt es jedoch bezüglich des Auswahlaspekts und der Operationalisierung von Ablenkung.

3.1 Okklusionsmethode

Die visuelle Okklusion (Verschluss) als Methode zur Untersuchung des Fahrverhaltens unter Doppelaufgabenszenarien wurde bereits von Senders et al. (1967) angewendet. Wurde anfänglich die Okklusion noch durch Öffnen und Schließen eines Helmvisiers realisiert, setzen neuere Systeme Okklusionsbrillen ein, die ein Umschalten zwischen Öffnung und Verschluss im Millisekundenbereich ermöglichen. Die Okklusionsmethode kann einerseits zur Bewertung der visuellen Beanspruchung aus der Fahrsituation (Blickabwendungszeiten von der Straße) und zur Bewertung der visuellen Beanspruchung der Bedienung eines IVIS eingesetzt werden. Bei letztgenannter Anwendung wird die visuelle Beanspruchung der Fahraufgabe (Blickverhalten) durch entsprechende Verschluss- und Öffnungszeiten simuliert. Die Hauptaufgabe ist also fixiert, gemessen wird die Veränderung der IVIS-Bedienung.

3.2 Peripheral Detection Task (PDT)

Der PDT wurde von Martens und van Winsum (2000) als Aufgabenmaß zur Erfassung der Beanspruchung von Fahrern durch Zweitaufgaben entwickelt. Der PDT basiert auf der Beobachtung, dass sich unter erhöhter Beanspruchung die Größe des funktionalen visuellen Wahrnehmungsfeldes verkleinert (Tunneleffekt). Während der Fahrt werden beim PDT im peripheren Blickfeld alle drei bis sechs Sekunden für maximal zwei Sekunden visuelle Reize dargeboten, auf die durch Tastendruck reagiert werden soll. Die induzierte Beanspruchung durch die Primär- und Sekundaraufgabe sollte sich im Vergleich zu Baseline-Untersuchungen in geringeren Trefferzahlen beim Erkennen der visuell dargebotenen Reize und längeren Reaktionszeiten niederschlagen. Die Validität der Methode lässt sich durch Analogiebildung der visuellen Reize bezüglich wahrzunehmender Objekte oder Ereignisse im peripheren Sichtfeld während der Fahraufgabe begründen.

3.3 Lane Change Task (LCT)

Der LCT (Mattes 2003) ist ein Instrument zur Evaluation von Performanzdaten der Fahraufgabe in Doppelaufgabenszenarien. Per Computersimulation wird die Fahrt auf einer dreispurigen Straße mit konstanter Geschwindigkeit simuliert. Die Fahraufgabe ist als eine Sequenz

von Spurwechselmanövern definiert. Die Spurwechsel werden durch die Darbietung von Schildern, auf denen die jeweilig zu befahrende Spur (engl. lane) abgebildet ist, angewiesen. Die Fahrleistung errechnet sich aus den Parametern Wahrnehmung (wurden alle Schilder gesehen?), der resultierenden Reaktionszeit bis zum Einleiten des Manövrierverhalten zum Spurwechsel und der nachfolgenden Spurhaltung. Durch Vergleich der Performanzdaten der reinen Fahraufgabe (LCT) und der Fahraufgabe in Doppelaufgabenszenarien (LCT + IVIS) lassen sich Systeme hinsichtlich ihres Ablenkungspotenzials zur Fahraufgabe objektiv bewerten. Der LCT besitzt eine hohe Reliabilität, da die Fahrscenarien exakt reproduziert werden können. Die Validität des Tests in Hinblick auf die Abbildung der Fahraufgabe (Beanspruchung motorischer, perzeptiver und kognitiver Ressourcen) wird durch die detailgetreue Computersimulation in Kombination mit einer Force-Feedback-Lenkradeinheit sichergestellt.

3.4 Zusammenfassung Evaluationsmethoden

Die beschriebenen Evaluationsmethoden reduzieren erfolgreich die Fahraufgabe auf die Verfügbarkeit von Ressourcen für die Nebenaufgabe (Unterbrechung der Nebenaufgabe in der Okklusionsmethode) bzw. erfassen die Auswirkungen einer mangelnden Verfügbarkeit von visuellen Ressourcen für die Fahraufgabe (Wahrnehmung von Signalen in PDT und LCT). In dem im Folgenden beschriebenen Lösungsansatz zur modellgestützten Vorhersage der Ablenkungswirkung einer Nebenaufgabe wird der Ansatz der Vereinfachung der Hauptaufgabe unter Beibehaltung für die Fahrleistung relevanter Merkmale aufgegriffen - die für das sichere Fahren situationsbezogen notwendige Bereitstellung von verschiedenen Ressourcen wird in Form von Ressourcenprofilen beschrieben.

4 Vorhersage der Ablenkung aus der Spezifikation

Für den Entwurf von Komponenten für das interaktive sicherheitskritische System Fahrer-Fahrzeug ist es von Vorteil, bereits aus der Spezifikation der Nebenaufgabe die Kompatibilität mit der Hauptaufgabe des Fahrers vorhersagen zu können. Der hier vorgestellte Lösungsansatz nimmt die Strategie einer auf das wesentliche reduzierten Testsituation auf und übersetzt die Ansätze der modellgestützten Analyse und der empirischen Bewertungsmethoden in ein computergestütztes Evaluationsverfahren. Der Algorithmus besteht aus drei Komponenten. Die Hauptaufgabe Fahren wird durch ein Ressourcenprofil dargestellt - eine Beschreibung der zeitlichen Sequenz der minimal aufzubringenden kognitiven, manuellen, auditiven und motorischen Ressourcen in einer Fahrsituation. Die zu evaluierende Nebenaufgabe wird als GOMS-Modell dargestellt. Allerdings ist eine multitasking-spezifische Erweiterungen dieses Modells notwendig. Eine Interferenz-Engine generiert aus den beiden Teilmodellen ein integriertes Multitasking-Modell unter Berücksichtigung der gegenseitigen Beeinflussung von Hauptaufgabe Fahren und Nebenaufgabe IVIS-Bedienung. Aus dem Vergleich der Vorhersagen von Einzelaufgaben- und Mehraufgabenmodell werden abschließend Kennzahlen gewonnen, mit deren Hilfe das Ablenkungspotenzial der Nebenaufgabe bewertet werden kann.

4.1 Ressourcenprofil

Mit Ressourcenprofilen wird stark vereinfacht die Beanspruchung des Fahrzeugsführers in idealtypischen Fahrsituationen abgebildet. Das Profil beschreibt eine Sequenz von Einzelanforderungen an die kognitiven, auditiven, visuellen und motorischen Ressourcen des Fahrers.

Abgebildet wird die zeitliche Charakteristik und der Umfang der Belegung kognitiver, motorischer und visueller Ressourcen, zudem wird die in der beschriebenen Verkehrssituation zulässige Verschiebungen und Schwankungsbreiten der Einzelanforderungen definiert.

Abbildung 1 illustriert exemplarisch ein ad-hoc Modell eines Überholvorgangs. Die Belegung der Ressource C (kognitiv) wird über einen definierten Zeitraum belegt (statischer Fall), die Belegung der Ressource V (visuell) ist als wiederholt regelmäßige Belegung mit definierten Belegungs- und Freigabezeiten (dynamischer Fall erster Art) modelliert. Die Ressource RH (rechte Hand, motorisch) wird als eine Sequenz von Einzelbelegungen (dynamischer Fall zweiter Art) dargestellt.



Bild 1: Exemplarisches Ressourcenprofil für die Situation „Überholen Autobahn“

Wesentliche Voraussetzung für den Einsatz der Methode ist die Verfügbarkeit eines Satzes von qualitativ und quantitativ repräsentativen Ressourcenprofilen. Ausgehend von Befunden der Verkehrspsychologie, z.B. maximal eyes off-road time (Schweigert 2003) wurden empirische Untersuchungen in einem Fahrsimulator durchgeführt und Ressourcenprofile für grundlegende Fahrzeugführungsaufgaben abgeleitet. Idealtypische Profile für komplexere Aufgaben wie Folgefahrt im Stadtverkehr, Kreuzungsverkehr und andere sind in Arbeit.

4.2 Modell der Nebenaufgabe

Für die Modellierung der IVIS-Bedienung werden Aufgabenmodelle in einer für den Mehraufgabenkontext erweiterten GOMS-Notation genutzt. Das in GOMS formulierte hierarchische Aufgabenmodell der IVIS-Bedienung wird dabei zunächst als Einzelaufgabe beschrieben und anschließend um Hinweise für die Bearbeitung in Multitasking-Umgebungen ergänzt. Dadurch können existierende Werkzeuge für die Modellierung einzelner Bedienungsaufgaben eingesetzt werden. Die neuen Sprachelemente zeichnen Operatoren [O] und Methoden [M] bezüglich der in Anspruch genommenen Ressourcen sowie hinsichtlich Ihrer Unterbrechbarkeit und der für eine Wiederaufnahme notwendigen Aktivitäten aus.

O: RESSOURCE = { (M(OTOR) | V(ISUAL) | A(UDIO) | C(OG)) }

Das Attribut Ressource beschreibt die Ressourcenanforderung durch ein Operatorelement.

M,O: CHECKPOINT = (YES | NO | <t> ResumeMethod)

Checkpunkte sind Punkte in der Bediensequenz, an denen die Ausführung unterbrochen und mit geringem bzw. bestimmbarem Aufwand wieder aufgenommen werden kann. Wenn das Attribut Checkpoint nicht angegeben ist, wird das Verhalten bei einer Unterbrechungsanforderung durch das Attribut INTERRUPTIBLE der übergeordneten Methode bestimmt. Bei Angabe von „YES“ kann die Ausführung der Nebenaufgabe nach der Ausführung des Elements unterbrochen werden und ggf. auch mit Zusatzaufwand (siehe Attribut RESUMEMETHOD) wieder aufgenommen werden. Zudem kann hier spezifiziert werden, ob zusätzlicher Aufwand notwendig ist, wenn die Unterbrechungsanforderung länger als <t> Zeiteinheiten andauert. Mit NO wird spezifiziert, dass aufgrund einer engen Kopplung zum folgenden Element nach Ausführung des Elements üblicherweise nicht unterbrochen wird.

M: INTERRUPTIBLE = (YES | NO)

Das Merkmal Interruptible bestimmt das Default-Verhalten bei Unterbrechungsanforderungen während der Ausführung der Methode. Mit NO wird definiert, dass die Methode zwischen den Einzelschritten nicht unterbrochen wird, sofern an dem Einzelschritt nicht explizit CHECKPOINT=YES vereinbart ist. Mit YES wird vereinbart, dass die Methode zwischen den Einzelschritten unterbrochen werden kann, die nicht explizit durch die Angabe von CHECKPOINT=NO als mit dem Folgeschritt eng gekoppelt ausgezeichnet sind.

M,O: RESUMEMETHOD = (Method)

Mit diesem Attribut wird das Wiederaufnahmeverhalten an den mit CHECKPOINT=YES ausgezeichneten Einzelementen sowie an den Einzelschritten der mit INTERRUPTIBLE=YES ausgezeichneten Methoden spezifiziert.

4.3 Interferenzmaschine

Die Interferenzmaschine implementiert eine regelbasierte Berechnung der Vereinbarkeit und Interferenz von Ressourcenanforderungen aus den Teilmodellen. Die Arbeitsweise entspricht einem Scheduling-Algorithmus, der ausführbare Sequenzen von Anforderungen an die Ressourcen aus Haupt- und Nebenaufgabe ermittelt. Ausführbar bedeutet hier, dass die Randbedingungen, die in der GOMS-Erweiterung und dem Ressourcenprofil formuliert wurden, eingehalten werden.

Der derzeit implementierte Satz von Regeln adressiert die Kompatibilität von Ressourcenanforderungen nach dem Ressourcenmodell von Wickens (1984), erlaubt das unbeschränkte Schieben und Unterbrechen von Anforderungen aus der Sekundäraufgabe sowie eine Modifikation der Hauptaufgabe gemäß der im Ressourcenprofil definierten Freiheitsgrade. Wesentliche Treiber für die Verschiebung einer Anforderung aus der Hauptaufgabe ist das Erreichen von Checkpoints in der Nebenaufgabe. Dadurch können beispielsweise Motive wie das Abschließen einer Eingabesequenz abgebildet werden.

5 Anwendung

Die Methode wurde in dem interdisziplinären Verbundprojekt *Mensch-Maschine-Interaktion für Vernetztes Fahren* eingesetzt, um zu überprüfen, ob die in diesem Projekt entwickelten Interaktionsdienste den Fahrer unbotmäßig ablenken. Die Analyse wurde anhand von zwei für das in dem Projekt entwickelte IVIS zentralen Bedienaufgaben, *Empfangen einer Meldung* und *Absetzen einer Nachricht*, durchgeführt.

Hierzu wurden zunächst von vier verschiedenen Modellierern Bedienmodelle mit Angaben von Unterbrechbarkeit und Aufwänden für die Wiederaufnahme aus der Spezifikation der Nahtstelle abgeleitet. In einem anschließenden Workshop wurden die Teilmodelle und die Unterbrechbarkeits- und Wiederaufnahmeannahmen kanonisiert. Mit den resultierenden Modellen wurden dann Bedienzeiten für den Stand und verschiedene Fahrsituationen - (a) Geradeausfahrt, (b) Geradeausfahrt mit Baustelle, (c) Kreuzungsfahrt ohne und (d) Kreuzungsfahrt mit anderem Verkehrsteilnehmer - vorhergesagt. Da sich die in einem Vorversuch erhobenen empirischen Ressourcenprofile für die Fahrsituationen Geradeausfahrt (a) und Baustelle (b) sowie den beiden Kreuzungsfahrten (c) und (d), gemittelt über die Versuchsteilnehmer nur so geringfügig unterschieden, dass im Rahmen der Abbildungsgenauigkeit der Methode keine Unterschiede zwischen den beiden Geradeausfahrten bzw. der Kreuzungsfahrten zu erwarten waren, wurden die Primäraufgaben für die Vorhersage durch die zwei Ressourcenprofile *einfach* und *schwierig* abgebildet. In Anlehnung an die *resumability ratio* der Okklusionsmethode (ISO/DIS 16673.2) wurde ein Expansionsfaktor als Verhältnis von Bearbeitungszeit beim Fahren bezogen auf die Bearbeitungszeit im Stand berechnet.

Abschließend wurden die vorhergesagten Bedienzeiten im Stand, während des Fahrens und die Expansionszeiten an einer prototypischen Implementierung des IVIS-Systems und in einem Fahrsimulator empirisch überprüft (n=24, durchschnittliches Alter 26, SD=4,3).

6 Ergebnisse

Die Modellvorhersagen für die Bearbeitungsdauern im Stand (4 Sekunden für Versenden, 5 Sekunden für Empfangen) wurden im Rahmen der in der Literatur berichteten maximal erzielbaren Genauigkeit der GOMS-Methoden von ca. 20% lediglich für die Aufgabe Empfangen vorhergesagt: die durchschnittlich gemessenen Bearbeitungsdauern für Versenden betragen 7 Sekunden, für Empfangen 4 Sekunden. Dieser Fehler pflanzt sich in der Anwendung der Methode mtGOMS fort – lediglich die Expansion der Aufgabe Empfangen wird von dem mtGOMS-Modell für beide Fahrsituationen korrekt vorhergesagt (Modell/Empirie für einfache Fahrsituation 147%/135%, für schwierige Fahrsituation 206%/200%). Die Expansionsfaktoren der Aufgabe Versenden zeigen eine deutliche Überschätzung des Modells für beide Fahrsituationen (Modell/Empirie für einfache Fahrsituation 184%/165%, schwierige Fahrsituation 280%/192%).

Eine Re-Analyse des Versenden-Modells zeigte, dass die kognitiven Vorgänge bei der Auswahl der möglichen Sendeoptionen nicht ausreichend berücksichtigt wurden. Ein überarbeitetes Modell des Versendens, das die Auswahl beim Senden und der Auswahl verschiedener Alternativen berücksichtigt, führt zu einer Bearbeitungsdauer im Stand von 6,4 Sekunden, einem Expansionsfaktor von 175% in der einfachen Fahrsituation und 196% in der schwieri-

gen Fahrsituation und ist somit in der Lage, die empirischen Daten sehr gut wieder zu geben (Abbildung 2).

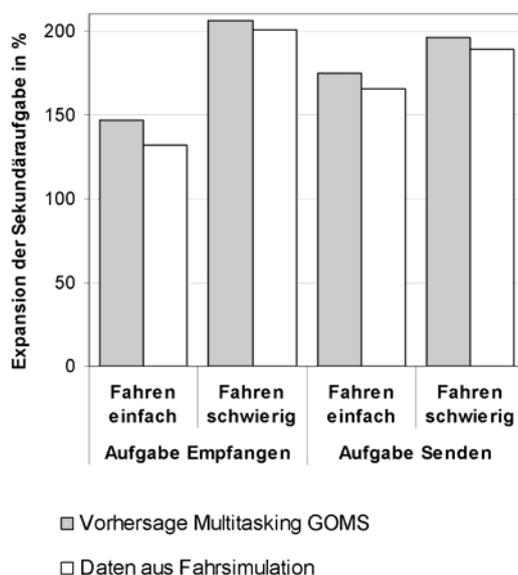


Bild 2: Vorhergesagte und gemessene Expansion der Bearbeitungszeit während des Fahrens gegenüber der Bedienung im Stand des überarbeiteten Modells

7 Zusammenfassung und Ausblick

Die Methode mtGOMS greift bewährte Verfahren zur Modellierung der Mensch-Maschine-Interaktion auf und erweitert diese durch eine formale Beschreibung der Aufgabenbewältigung in einem Mehraufgabenkontext. Dies erlaubt einen effektiven und effizienten Einsatz der Methode Nutzermodellierung für die Bewertung des Ablenkungspotenzials von Automotive User Interfaces. Veränderung von Bearbeitungszeiten und Ablenkungspotenzial von Nebenaufgaben im Fahrzeug können gut vorhergesagt werden, sofern ein ausreichend gutes Modell der Aufgabenbearbeitung im Stand vorliegt. Kritisch anzumerken ist an dieser Stelle, dass insbesondere visuelle und kognitive Aufwände und Dauern bei Auswahlaufgaben sehr stark von der konkreten Ausprägung der Oberflächengestaltung (Icons, Schrifttypen und Größen, Anordnung) abhängen – Details, die während der Spezifikationsphase noch nicht vorliegen. Für die *resumability ratio* der Okklusionsmethode bzw. den Expansionsfaktor von mtGOMS sind zudem derzeit keine harten Grenzen festgelegt. Es kann lediglich davon ausgegangen werden, dass mit steigendem Expansionsfaktor die (visuelle) Ablenkung steigt.

Unabhängig davon ermöglicht die Methode jedoch in Bezug auf die Koordination mit dem Fahren kritische Punkte im Interaktionsverlauf zu identifizieren und die Aufmerksamkeit der Designer, Human Factors Experten und Softwaregestalter an diese Stellen zu richten, und dadurch die Verfügbarkeit der Ressourcen der Controller-Komponente Fahrer des sicherheitskritischen Systems Fahrer-Fahrzeug sicher zu stellen.

8 Danksagung

Die Arbeiten wurden unterstützt von VolkswagenStiftung (Nachwuchsgruppen an deutschen Universitäten), DFG (Graduiertenkolleg 1013 prometei) und EU (EFRE, Programm ProFIT). Die Autoren bedanken sich bei den Projektpartnern im Projekt MMI für Vernetztes Fahren, insbesondere bei Dr. Anja Naumann und Dr. Dirk-Schulze Kissing für die intensive interdisziplinäre Auseinandersetzung an den Nahtstellen von Psychologie und Informatik.

9 Literatur

- ISO/DIS 16673.2 (2005) □ Road vehicles – Ergonomic aspects of transport information and control systems – Occlusion method to assess visual distraction due to the use of in-vehicle systems.
- SAE J2365 (2002) Calculation of the Time to Complete In-Vehicle Navigation and Route Guidance Tasks.
- Baumann, M., Rösler D. & Krems, J. F. (2007). Situation awareness and secondary task performance while driving. In: D. Harris (Hrsg.), *Engineering psychology and cognitive ergonomics*. Berlin: Springer. S. 256–263.
- Card, S.K., Moran, T.P. & Newell, A. (1983). *The Psychology of Human-Computer Interaction*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Green, P. (1999) Estimating Compliance with the 15-Second Rule for Driver-Interface Usability and Safety. In: *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 43rd Annual Meeting* (CDROM). Santa Monica, CA: Human Factors and Ergonomics Society. S. 987–991.
- Hamacher, N., Kraiss, K.-F. & Marrenbach, J. (2002). Einsatz formaler Methoden zur Evaluierung der Gebrauchsfähigkeit interaktiver Geräte. *it + ti Informationstechnik und Technische Informatik*, **44**(1), S. 49–55.
- John, B.E. (1990). Extensions of GOMS analyses to expert performance requiring perception of dynamic visual and auditory information. In: J.C. Chew, J. Whiteside (Hrsg.). *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems: Empowering People*. New York, NY: ACM Press. S. 107-116
- Kieras, D.E., Meyer, D.E., Ballas, J. & Lauber, E. (1999) Modern Computational Perspectives on Executive Mental Processes and Cognitive Control: Where to from Here? *EPIC Report No. 12* (TR-99/ONR-EPIC-12).
- Kiefer, J. & Urbas, L. (2006). How to model different strategies in dynamic task environments. In: *Proceedings of the Seventh International Conference on Cognitive Modeling*. S. 172-176.
- Lewis, R.L., Howes, A. & Vera, A. (2004). A constraint-based approach to understanding the composition of skill. In: *Proceedings of International Conference on Cognitive Modeling*. Pittsburgh, PA: CMU/University of Pittsburgh. S. 148-153.
- Mattes, S. (2003). The lane-change-task as a tool for driver distraction evaluation. In: *Annual Spring Conference of the GfA/17th Annual Conference of the International-Society-for-Occupational-Ergonomics-and-Safety (ISOES)*, S. 57-60.
- Martens, M.H. & van Winsum, W. (2000). Measuring distraction: The Peripheral Detection Task. <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/departments/nrd-13/driver-distraction/PDF/34.PDF> (Letzter Zugriff 06-2008).

- Salvucci, D. D. (2005). A multitasking general executive for compound continuous tasks. *Cognitive Science*, **29**, S. 457–492.
- Schweigert, M. (2003). *Fahrerblickverhalten und Nebenaufgaben*. Dissertation, TU München.
- Senders, J. W., Kristofferson, A. B., Levison, W., Dietrich, C. W. & Ward, J. L. (1967). The attentional demand of automobile driving. *Highway Research Record*, **195**, S. 13-15.
- Wickens, C. D. (1984). *Engineering Psychology and Human Performance*. Columbus, OH: Charles E. Merrill Publishing.