

Modellgestützte Bewertung der Ablenkungswirkung von neuen interaktiven Diensten im Fahrzeug

Leon Urbas, Sandro Leuchter, Torsten Schaft, Marcus Heinath

Abstract: Interaktive Dienste für das sicherheitskritische System (SKS) Fahrer-Fahrzeug müssen nicht nur ihre Komfortaufgaben erfüllen, sie dürfen auch nicht den Fahrer bei der Wahrnehmung seiner sicherheitskritischen Aufgabe Fahrzeugführung ablenken und somit im Gesamtsystem Fahrer-Fahrzeug Ursache für Auslassungsfehler oder zeitliche Fehler sein. Das aktuelle Methodenarsenal zur Zusicherung dieser Eigenschaft setzt auf die empirische Erhebung der Ablenkungswirkung. Zur Unterstützung der Softwareentwicklung für SKS ist dies zu spät, da die Voraussetzung für die Anwendung eine zumindest prototypische Implementierung des Systems ist. Die Autoren haben daher eine modellgestützte analytische Methode entwickelt, die aus der Softwarespezifikation ableitbare Bedienmodelle nutzt, um die Interferenz mit idealisierten Fahraufgaben zu berechnen. Die Kernelemente der Methode werden anhand eines Beispiels illustriert, sowie erste Ergebnisse zur Anwendung und empirischen Fundierung der Methode berichtet.

1 Einleitung

In dem sicherheitskritischen Mensch-Maschine-System Fahrer-Fahrzeug trägt das Verhalten des Fahrers wesentlich zur Sicherheit des Gesamtsystems bei. Im Regler Mensch, d.h. dem Fahrer, begründete Ursachen für Unfälle lassen sich hier analog zu den Betrachtungen von [ZES⁺03] in Auslassungsfehler (error of omission), Fehlbedienung (error of commission) und zeitliche Fehler (timing error) klassifizieren.

Für die Erhöhung der Sicherheit dieses Mensch-Maschine-Systems stehen mehrere Optionen offen. Zum Ersten können Auswirkungen von Fehlern des Regelsystems reduziert werden. Hierzu werden Sicherheitssysteme als Sicherheitswächter (safety guard) konzipiert, d.h. das Sicherheitssystem agiert hier als low-level-Konstrukt, das gefährliche Situationen erkennt und das System in einen sicheren Zustand zwingt (siehe Abbildung 1). Als prominente Beispiele für Systeme im Fahrzeug, die dem Sicherheitswächterprinzip folgen, seien Antiblockiersystem (überstimmt Fahrer, um den unsicheren Zustand Gleiten zu vermeiden) und Notbremsassistent (nimmt bei Unterschreitung eines kritischen Abstands selbsttätig kinetische Energie aus dem Fahrzeug) genannt.

Der zweite Hebel für die Gestaltung des Systems ist die Identifikation von Ursachen für die oben genannten Fehler des Regelsystems. Auslassungsfehler und zeitliche Fehler des Fahrers lassen sich häufig auf ungenügendes Situationsbewusstsein sowie Ablenkung und Bindung von Informationsverarbeitungsressourcen durch Nebenaufgaben zurückführen (e.g. [Gre99, BRK07]). Das bedeutet, dass im SKS Fahrer-Fahrzeug eine ungünstige Gestaltung von Nebenaufgaben unmittelbar die Sicherheit des Gesamtsystems beeinträchtigt.

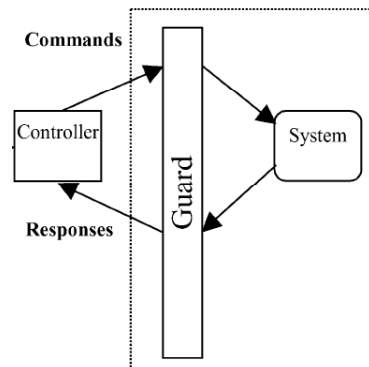


Abbildung 1: Struktur eines sicherheitskritischen Systems mit Wächter (nach [ZES⁺03])

Aufgrund der zunehmenden Anzahl von Systemen zur Unterstützung von sekundären und tertiären Aufgaben des Fahrers, wurden standardisierte empirische Methoden zur Bewertung der Ablenkungswirkung entwickelt und eingeführt. Voraussetzung für den Einsatz dieser Methoden ist, dass ein weitgehend funktionstüchtiger Prototyp vorliegt.

In diesem Artikel wird ein Ansatz beschrieben, mit dem Aussagen zur Ablenkung bereits aus der Spezifikation der Mensch-Maschine-Interaktion ableitet werden können. Zunächst werden aktuelle Methoden zur Beschreibung und Spezifikation der Interaktion im Hinblick auf ihre Fähigkeit diskutiert, 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 entwickelte Methode "Multitasking GOMS" (mtGOMS) und stellt erste Ergebnisse der Anwendung in einem Entwicklungsprojekt für einen vernetzten Dienst 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 [CMN83]. 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, fehlerfreier Handlungen näherungsweise vorherzusagen. Unsicherheiten in den Parametern des menschlichen Prozessors können durch verschiedene Parametersätze (slowman, fastman, middleman) adressiert werden [CMN83, S.44].

Voraussetzung für eine angemessene Übereinstimmung von 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 "In-Vehicle Information Systems" (IVIS) ist dies in weitem Umfang gegeben. [Gre99] setzt die SAE J2365 Prozedur (Recommended Practice 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. [HKM02] 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, können 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 [Joh90] adressiert die Parallelisierbarkeit von Teilschritten einer einzelnen Aufgabe. Die Abhängigkeiten zwischen perceptiven, motorischen und kognitiven Prozessen werden manuell in einem PERT (Program Evaluation and Review Technique) bzw. einem daraus abgeleiteten Gantt-Diagramm abgebildet. Über den kritischen Pfad zwischen den Prozessen kann dann die optimale Ausführungszeit bestimmt werden. Basis dieser Analysemethode ist ein Modell der gleichzeitigen Nutzbarkeit verschiedener kognitiver Ressourcen [Wic84]. [LHV04] schlagen ein mathematisches Verfahren für die Berechnung einer optimalen Verschränkungsstruktur vor. Durch ein Gedächtnis mit beschränkter Kapazität können Teilaufgaben nicht nur überlappt sondern auch zeitlich entzerrt werden. [KMBL99] implementieren und integrieren in der kognitiven Architektur EPIC verschiedene aus empirischen Befunden abgeleitete Theorien zur menschlichen Wahrnehmung und exekutiven Kontrolle, um den von [CMN83] 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 manuell kodiert 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" [KMBL99, S.18]. Generalisierbare Mechanismen der Aufgabenverschränkung in Mehraufgabenumgebungen sind Gegenstand verschiedener aktueller Untersuchungen, e.g. [SBD04, Sal05, KU06]. Diesen Arbeiten ist jedoch gemein, dass die Bedienermodelle auf einer sehr detaillierten Beschreibungsebene formuliert wer-

den 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 extrem hohen Modellierungsaufwand, zum Anderen ist die Angabe vieler Details der Schnittstelle notwendig, die in frühen Phasen der Systemspezifikation 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. Empirisch wird dies üblicherweise durch die Erhebung von Performanzmaßen überprüft. 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. Diese Methoden stellen ausgewählte Aspekte des Fahrens unter kontrollierten Bedingungen im Labor nach und erfassen Indikatoren für die Verträglichkeit von Haupt- und Nebenaufgabe. Deutliche Unterschiede gibt es bezüglich des Auswahlaspekts und der Operationalisierung von Ablenkung.

3.1 Okklusionsmethode

Die visuelle Okklusion (Verschluss) als Methode zur Untersuchung des Fahrverhalten unter Doppelaufgabenszenarien wurde bereits von [SKL⁺67] 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 [Mv00] 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 wachsender Objekte oder Ereignisse im peripheren Sichtfeld während der Fahraufgabe begründen.

3.3 Lane Change Task (LCT)

Der LCT [Mat03] 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 Ablenkungspotentials 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, perceptiver 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 interaktive sicherheitskritische Systemen ist es von Vorteil, bereits aus der Spezifikation der Nebenaufgabe die Kompatibilität mit der Hauptaufgabe des "Controllers" 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 Erweiterung 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 Ablenkungspotential der Nebenaufgabe bewertet werden kann.

4.1 Ressourcenprofil

Mit Ressourcenprofilen wird stark vereinfacht die Beanspruchung des Fahrzeugführers in idealtypischen Fahrsituationen abgebildet. Das Profil beschreibt eine Sequenz von Einzelanforderungen an die kognitiven, auditiven, visuellen und motorischen Ressourcen des Fahrers. Es setzt sich aus folgenden Elementen zusammen:

- die zeitliche Charakteristik der Belegung kognitiver, motorischer und visueller Ressourcen,
- Angaben über die Dauer der Fahrsituation,
- den Umfang, d.h. Anteil der Belegung der Ressourcennutzung,
- die Art der Ressourcenanforderung (gleichmäßig vs. unvorhersehbar),
- die Frequenz der Ressourcenanforderung
- und zulässige Verschiebungen und Schwankungsbreiten der Einzelanforderungen

Abbildung 2 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.



Abbildung 2: Beschreibung eines Ressourcenprofils am Beispiel "Überholen" als schematische Darstellung (a), als Gantt-Chart (b) und als XML-Beschreibung (c)

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 [Sch03] 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 Resource 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.

YES Nach der Ausführung des Elements kann unterbrochen werden.

<t> ResumeMethod Nach der Ausführung des Elements kann unterbrochen werden. Wenn die Unterbrechungsanforderung länger als <t> Zeiteinheiten andauert, wird die bei Wiederaufnahme die hier spezifizierte Methode ResumeMethod ausgeführt, ansonsten die im Attribut RESUMEMETHOD angegebene.

NO Die Methode wird nach der Ausführung des Elements aufgrund einer engen Kopplung zum folgenden Element üblicherweise nicht unterbrochen.

M: INTERRUPTIBLE = (YES | NO) Das Merkmal Interruptible bestimmt das Default-Verhalten bei Unterbrechungsanforderungen während der Ausführung der Methode.

NO Die Methode kann zwischen den Einzelschritten der Methode nicht unterbrochen werden, sofern an dem Einzelschritt nicht explizit CHECKPOINT=YES vereinbart ist.

YES Die Methode kann zwischen den Einzelschritten der Methode unterbrochen werden, 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 normale Wiederaufnahmeverhalten an den mit CHECKPOINT=YES ausgezeichneten Einzelelementen 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 [Wic84], 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 Bedienungsaufgaben, "Empfangen einer Meldung" und "Absetzen einer Nachricht", durchgeführt. Die Aufgabenmodelle wurden hierzu von vier Modellierern manuell 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).

5.1 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 durchschnittliche gemessene 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 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 schwierigen Fahrsituation und ist somit in der Lage, die empirischen Daten sehr gut wieder zu geben (Abbildung 3).

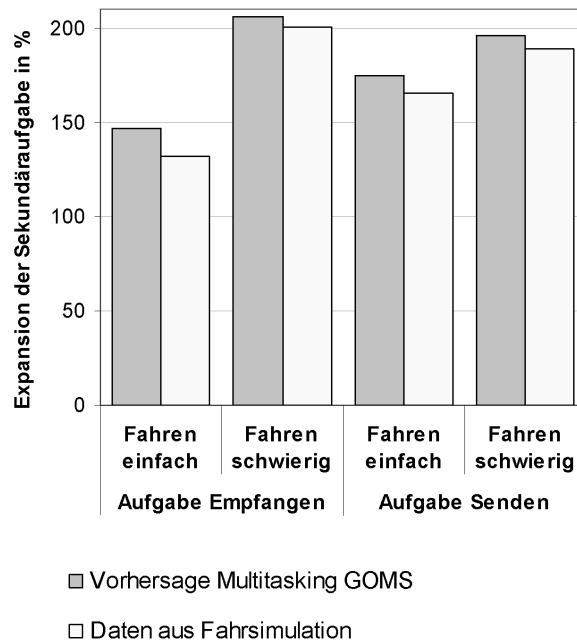


Abbildung 3: Vorhergesagte und gemessene Expansion der Bearbeitungszeit während des Fahrens gegenüber der Bedienung im Stand

6 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 Ablenkungspotential von Automotive User Interfaces. Veränderung von Bearbeitungszeiten und Ablenkungspotential 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 SKS Fahrer-Fahrzeug sicher zu stellen.

7 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, Dr. Dirk-Schulze Kissing, Nele Pape und Sandra Trösterer für die intensive interdisziplinäre Auseinandersetzung an den Nahtstellen von Psychologie und Informatik.

Literatur

- [BRK07] M. Baumann, D. Rösler und J. F. Krems. Situation awareness and secondary task performance while driving. In D. Harris, Hrsg., *Engineering psychology and cognitive ergonomics*, Seiten 256–263. Springer, Berlin, 2007.
- [CMN83] S.K. Card, T.P. Moran und A. Newell. *The Psychology of Human-Computer Interaction*. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, New Jersey, 1983.
- [Gre99] Paul Green. 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)*, Seiten 987–991. Human Factors and Ergonomics Society, Santa Monica, CA, 1999.
- [HKM02] N. Hamacher, K.-F. Kraiss und J. Marrenbach. Einsatz formaler Methoden zur Evaluierung der Gebrauchsfähigkeit interaktiver Geräte. *it + ti Informationstechnik und Technische Informatik*, 44(1):49–55, 2002.
- [Joh90] B.E. John. Extensions of GOMS analyses to expert performance requiring perception of dynamic visual and auditory information. In J.C. Chew und J. Whiteside, Hrsg., *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems: Empowering People*, Seiten 107–116. ACM Press, New York, NY, 1990.
- [KMBL99] D.E. Kieras, D.E. Meyer, J. Ballas und E. Lauber. Modern Computational Perspectives on Executive Mental Processes and Cognitive Control: Where to from Here? EPIC Report No. 12 (TR-99/ONR-EPIC-12), 1999.
- [KU06] J. Kiefer und L. Urbas. How to model different strategies in dynamic task environments. In *Proceedings of the Seventh International Conference on Cognitive Modeling*, Seiten 172–176. 2006.

- [LHV04] R.L. Lewis, A. Howes und A. Vera. A constraint-based approach to understanding the composition of skill. In *Proceedings of International Conference on Cognitive Modeling*, Seiten 148–153. CMU/University of Pittsburgh, Pittsburgh, PA, 2004.
- [Mat03] S. Mattes. 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)*, Seiten 57–60. 2003.
- [Mv00] M.H. Martens und W. van Winsum. Measuring distraction: The Peripheral Detection Task, 2000.
- [Sal05] D. D. Salvucci. A multitasking general executive for compound continuous tasks. *Cognitive Science*, 29:457–492, 2005.
- [SBD04] W. Schoppek und D. A. Boehm-Davis. Opportunities and challenges of modeling user behavior in complex real world tasks. *MMI interaktiv*, 7:47–60, 2004.
- [Sch03] M. Schweigert. Fahrerblickverhalten und Nebenaufgaben. Dissertation, TU München, 2003.
- [SKL⁺67] J. W. Senders, A. B. Kristofferson, W. Levison, C. W. Dietrich und J. L. Ward. The attentional demand of automobile driving. *Highway Research Record*, 195:13–15, 1967.
- [Wic84] C. D. Wickens. *Engineering Psychology and Human Performance*. Charles E. Merrill Publishing Co, Columbus, OH, 1984.
- [ZES⁺03] Janusz Zalewski, Wolfgang Ehrenberger, Francesca Saglietti, Janusz Gorski und Andrew Kornecki. Safety of computer control systems: challenges and results in software development. *Annual Reviews in Control*, 27(1):23–37, 2003.